รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์โครงการบริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

An analysis of on campus public transportation service project: A case study of Prince of Songkla university, Hat Yai campus

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์ และคณะ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้

มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2557

รหัสโครงการ ENG580975S

ชื่อโครงการ:

การวิเคราะห์โครงการบริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ผู้วิจัย และหน่วยงานต้นสังกัด:

1. รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์
   ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
   ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ดร.นายวนัฐณพงษ์ คงแก้ว
   ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยการให้ความช่วยเหลือจากผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ทั้งที่ได้ออกนามและมิได้ออกนาม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภทวิจัยสถาบัน ประจำปีงบประมาณ 2557 สัญญาเลขที่ ENG 580975S

ขอขอบพระคุณหน่วยงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คุณประจักษ์ ปานเจิม หัวหน้างานยานยนต์ และบุคลากรทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการดำเนินโครงการ และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานเพื่อการทำวิจัย

คณะวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จากการสำรวจความพึงพอใจในการใช้บริการรถรับ-ส่งภายในมหาวิทยาลัยในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่านักศึกษาซึ่งเป็นกลุ่มผู้โดยสารหลัก มีความพึงพอใจน้อยในด้านความตรงต่อเวลา ความเหมาะสมของการจัดตารางการเดินรถ การกำหนดจุดจอดรถ และเส้นทางเดินรถที่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้พัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์ของการให้บริการระบบขนส่งมวลชนของมหาวิทยาลัยโดยใช้ซอฟต์แวร์ ProModel®2011 และนำเสนอทางเลือกที่เหมาะสมในการให้บริการในด้านของจำนวนผู้โดยสารในแต่ละวัน โดยพิจารณาเส้นทางเดินรถ จำนวนรถที่ใช้และตารางการเดินรถ ภายใต้ช่วงเวลาของการให้บริการที่กำหนดในแต่ละวัน ผลการวิจัยพบว่าซอฟต์แวร์โปรโมเดลสามารถใช้แก้ปัญหาในการจำลองระบบขนส่งมวลชนของมหาวิทยาลัยได้เป็นอย่างดี โดยตัวแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือกที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวันได้ถึง 9,882 คนต่อวัน และมีอรรถประโยชน์การใช้รถสูงขึ้นอยู่ที่ 66.25% นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณต้นทุนการให้บริการได้ 1,890,328 บาทต่อปี

Abstract

This study aims to simulate and to improve the service of the public transportation within Prince of Songkla University (PSU), Hat-Yai campus. In the previous satisfaction survey of the PSU transportation service, it found that students who are the main passengers have less satisfaction with punctuality, appropriate scheduling, bus stop locations, and suitable routes. In this paper, the PSU transportation service operation is imitated through simulation process, by using ProModel®2011 simulation software. This model is also utilized to search for new suitable scenarios related to the number of daily passengers. In addition, all developed scenarios are considered under conditions of bus route, number of buses, and bus schedule in the specific time-period of a day. The result shows that ProModel simulation software can be adopted to simulate transportation problems as well. The proposed alternative model can support an increase in the number of daily passengers in the PSU transportation service to 9,882 people/day. Moreover, the utilization of bus can be increased to 66.25%. The total cost of suitable scenario is 1,890,328 baht/year.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	10
2.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	10
2.2 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและสภาพปัญหาของโครงการบริการขนส่งมวลชน	13
2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการ	13
2.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานะปัจจุบัน	14
2.5 วิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน	16
2.6 นำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ	16
2.7 การสรุปผลการวิจัย	17
บทที่ 3 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล	
3.1 ข้อมูลการให้บริการโครงการบริการขนส่งมวลชน	18
3.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการในปัจจุบัน	25
3.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน	32
3.4 การวิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน	51
3.5 การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ	52
บทที่ 4 บทสรุป	
4.1 สรุปผล	65
4.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ก การสร้างตัวแบบจำลอง	71
ภาคผนวก ข แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล	77
ภาคผนวก ค การเข้ามาของผู้โดยสาร	79

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 สถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2553-2556 23

3.2 ต้นทุนการให้บริการระบบขนส่งมวลชน ปีการศึกษา 2553-2556 25

3.3 อัตราค่าตอบแทนด้านแรงงาน โครงการขนส่งมวลชน มหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์ 26

3.4 ต้นทุนค่าจ้างบุคลากร ประจำปีการศึกษา 2553-2556 27

3.5 ต้นทุนการบำรุงรักษา ประจำปีการศึกษา 2553-2556 28

3.6 ต้นทุนการบำรุงรักษาต่อปี 28

3.7 ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ ประจำปีการศึกษา 2553-2556 29

3.8 ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ 29

3.9 ต้นทุนด้านพลังงานของรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ประจำปีการศึกษา 2553-2556 30

3.10 ระยะทางรวมที่ให้บริการโดยรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ประจำปีการศึกษา 2553-2556 31

3.11 ต้นทุนแปรผันของการให้บริการโครงการขนส่งมวลชน 32

3.12 ระยะห่างของจุดจอดรถและระยะทางรวมแต่ละเส้นทาง 37

3.13 จำนวนผู้โดยสารต่อวันและอัตราส่วนผู้โดยสารแต่ละสายต่อวัน 39

3.14 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในแต่ละวันทั้ง 4 ช่วงเวลา 39

3.15 จำนวนและอัตราส่วนผู้โดยสารขึ้นและลงแต่ละป้ายเฉลี่ยต่อวัน 41

3.16 การแจกแจงในการออกรถแต่ละคัน 44

3.17 เวลาที่ใช้ในการเดินรถ 44

3.18 ความเร็วเฉลี่ยของรถ พิจารณาแยกสายและช่วงเวลา 45

3.19 จำนวนผู้โดยสารที่เก็บจากระบบจริงและที่ได้จากการจำลองตัวแบบ 46

3.20 ผลการคำนวณจำนวนรอบทำซ้ำ 47

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

3.21 ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน 51
3.22 ปัจจัยที่ใช้ออกแบบแนวทางการปรับปรุง 53
3.23 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบทั้ง 64 สถานการณ์ในการให้บริการขนส่งมวลชน 53
3.24 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการจำลองสถานการณ์การให้บริการขนส่งมวลชน 56
3.25 ระยะทางการให้บริการขนส่งมวลชนในวันราชการ 60
3.26 ระยะทางการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี 60
3.27 ต้นทุนด้านแรงงานต่อปี 61
3.28 ต้นทุนคงที่ของการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี 61
3.29 ต้นทุนแปรผันของการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี 62
3.30 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปีสุทธิ 62
3.31 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อกิโลเมตร 62
3.32 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการขนส่งมวลชนต่อปี 63
3.33 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคน 64
ข-1 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเวลาและจำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นลงแต่ละป้าย 77
ข-2 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเวลาและจำนวนผู้โดยสาร ณ สถานี 78
ค-1 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 7:30 น – 9:30 น. 79
ค-2 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 9:30 น – 11:30 น. 80
ค-3 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 11:30 น – 13:30 น. 81
ค-4 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 13:30 น – 17:30 น. 82

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

2.1 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย (Flow chart) 12
3.1 รถไฟฟ้าที่ให้บริการภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 19
3.2 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 1 20
3.3 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 2 21
3.4 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 3 22
3.5 แนวโน้มสถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชน ปีการศึกษา 2553-2556 24
3.6 แผนภาพการไหล (Flow chart) ของการให้บริการขนส่งมวลชน 33
3.7 แบบจำลองระบบของการให้บริการขนส่งมวลชน 34
3.8 เส้นทางเดินรถสายที่ 1 36
3.9 เส้นทางเดินรถสายที่ 2 36
3.10 เส้นทางเดินรถสายที่ 3 37
3.11 การทดสอบ Two-way ANOVA ระหว่างจำนวนผู้โดยสารกับปัจจัยด้านวัน และด้านช่วงเวลา 40
3.12 ตัวอย่างการหาการแจกแจงช่วงเวลาการออกรถ ในช่วงเร่งด่วน 2 ของสายที่ 2 43
3.13 การทวนสอบตัวแบบโดยใช้คำสั่ง “Trace” ของโปรแกรม ProModel® 48
3.14 การทดสอบแบบ Two-sample t-test ในช่วงเร่งด่วนที่ 1 49
3.15 การทดสอบแบบ Two-sample t-test ในช่วงปกติที่ 1 50
3.16 การทดสอบแบบ Two-sample t-test ในช่วงเร่งด่วนที่ 2 50
3.17 การทดสอบแบบ Two-sample t-test ในช่วงปกติที่ 2 50
3.18 การเปรียบเทียบจำนวนผู้โดยสารก่อนและหลังการปรับปรุง 57
3.19 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อจำนวนผู้โดยสาร 58
3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนผู้โดยสาร 58
3.21 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อกิโลเมตร 63
3.22 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคน 64

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

ก-1 การสร้าง Location 71

ก-2 การสร้าง Entities 72

ก-3 การสร้าง Path network 72

ก-4 การสร้าง Resources 73

ก-5 การสร้าง Processing 74

ก-6 การสร้าง User distributions 74

ก-7 การสร้าง Arrivals 75

ก-8 การสร้าง Attributes 75

ก-9 การสร้าง Variables (global) 76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ระบบขนส่งมวลชนได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการดำเนินชีวิตของประชาชนทำให้เกิดความสะดวกสบายในการเดินทาง ประชาชนสามารถเลือกรูปแบบการเดินทางที่เหมาะสมได้ตามความต้องการ สำหรับการบริหารงานด้านการดูแลทรัพยากรบุคคลขององค์กรนั้น พบว่ามีบริษัทจำนวนมากที่ให้ความสำคัญกับการลงทุนด้านขนส่งมวลชนให้กับพนักงาน โดยการมอบสวัสดิการทางด้านการเดินทางให้แก่พนักงาน ทำให้เกิดความสะดวกสบายโดยไม่คิดค่าโดยสาร ซึ่งถือเป็นสิ่งหนึ่งที่เป็นแรงจูงใจในการจ้างงานของบริษัทได้ เช่นเดียวกันกับการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยซึ่งมักจะมีพื้นที่กว้างขวาง ภายในมหาวิทยาลัยจึงจำเป็นต้องใช้ยานพาหนะในการเดินทาง ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยจึงมีการมอบสวัสดิการนี้ให้แก่นักศึกษา บุคลากร หรือบุคคลภายนอกให้สามารถเดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยหรือพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเป็นการลดปัญหาการจราจรได้อีกด้วย ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะไม่คิดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ตัวอย่างมหาวิทยาลัยในประเทศไทยที่ให้บริการรถขนส่งมวลชนภายใน ได้แก่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยนเรศวร และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นต้น

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ริเริ่มให้มีระบบขนส่งมวลชนภายในเพื่อบริการแก่นักศึกษาและบุคลากรในปี พ.ศ. 2547 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดระเบียบการสัญจรให้เหมาะสมกับการเป็นสถานศึกษาและเป็นตัวอย่างที่ดีของชุมชน ก่อนที่จะเริ่มโครงการได้มีการศึกษาดูงานบริการขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยต่างๆในประเทศไทย ซึ่งมีการใช้ยานพาหนะที่แตกต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะปรับเปลี่ยนรถโดยสารที่ใช้เชื้อเพลิง มาเป็นรถโดยสารที่ใช้พลังงานสะอาดแทน ซึ่งมีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นมหาวิทยาลัยแรกที่นำเอารถไฟฟ้ามาใช้ในการให้บริการแก่นักศึกษาในการบรรเทาปัญหาจราจรและมลพิษ หลังจากการศึกษาดูงานมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้ดำเนินโครงการขนส่งมวลชนซึ่งเป็นการลดปัญหาการจราจรและที่จอดรถ และยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยการใช้แหล่งพลังงานสะอาดเพื่อการขับเคลื่อน โดยใช้งบประมาณจากคณะหน่วยงานและเงินรายได้สะสมสำหรับปีเริ่มต้น จากนั้นให้เรียกเก็บจากนักศึกษาในปีถัดไปซึ่งเก็บรวมในค่าใช้จ่ายแต่ละภาคการศึกษา ซึ่งเริ่มเปิดให้บริการได้ ในภาคการศึกษาแรกของปีการศึกษา 2553

การดำเนินงานโครงการบริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยฯ มีกลุ่มนักศึกษาหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯเป็นกลุ่มผู้ใช้บริการหลัก ส่วนบุคลากรและนักศึกษาที่อาศัยภายนอกมหาวิทยาลัยฯใช้บริการเป็นจำนวนน้อย โดยจากข้อมูลสำนักงานหอพักในปีการศึกษา 2556 ในภาคการศึกษาที่ 1 มีนักศึกษาที่อาศัยอยู่ในหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯจำนวนรวมทั้งสิ้นสูงถึง 7,998 คน

จากข้อมูลงานวิจัยของ เขมินี ทองมา และภาสกร ชุมแก้ว [1] ได้ประเมินผลการดำเนินโครงการรถขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยการใช้แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างโดยมีการประเมิน 3 ด้านคือ

1) การประเมินการลดการใช้รถจักรยานยนต์และพาหนะอื่นๆของนักศึกษา ซึ่งจากแบบสอบถามพบว่าปริมาณการใช้รถจักรยานยนต์ของนักศึกษามากถึงร้อยละ 52.47 ของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือนักศึกษามีการใช้รถจักรยานยนต์ที่ร้อยละ 20 ของกลุ่มตัวอย่าง

2) การประเมินผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าซึ่งจำนวนการใช้บริการที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ 500,000 ครั้งต่อปีในปีการศึกษา 2553 และ 2555

3) การประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการรถไฟฟ้าของนักศึกษาที่ใช้บริการ ซึ่งความพึงพอใจที่ผ่านการเกณฑ์การประเมินได้แก่ ด้านการติดต่อสื่อสาร ด้านความปลอดภัย ด้านพนักงานขับรถ และด้านลักษณะภายนอกของสมรรถนะของรถไฟฟ้า แต่ประเด็นหนึ่งที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินได้แก่ ด้านความสะดวกของการใช้บริการรถไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย ความตรงต่อเวลาในการให้บริการ ความเหมาะสมของตารางการเดินรถ ความเหมาะสมของจุดจอดรถ และความเหมาะสมของเส้นทางการให้บริการ ซึ่งประเด็นที่ไม่ผ่านการประเมินนี้เป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญโดยการดำเนินงานปรับปรุงเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ที่จะก่อให้เกิดความพึงพอใจทั้งในมุมมองของผู้ใช้บริการ และในมุมมองของผู้ให้บริการในการบริหารการขนส่งที่ดียิ่งขึ้น

สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยฯหนาแน่นเป็นอย่างมากในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน และยังพบปัญหาที่จอดรถไม่เพียงพอกับปริมาณรถที่ภายในมหาวิทยาลัยฯ จากข้อมูลจำนวนรถที่ขึ้นทะเบียนในมหาวิทยาลัยฯในปี พ.ศ. 2556 ของบุคลากรและนักศึกษา (ยกเว้นนักศึกษาหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯ) มีจำนวนรถยนต์และรถจักรยานยนต์ทั้งสิ้น 1,276 คันและ10,332 คันตามลำดับ อีกทั้งยังมีรถที่เข้าออกมหาวิทยาลัยฯของนักศึกษาที่ไม่ได้ขึ้นทะเบียนและรถของบุคคลภายนอกเป็นจำนวนมาก และสิ่งที่น่าสนใจคือ ทั้งจำนวนรถของนักศึกษาหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯมีการฝืนกฎการห้ามใช้รถของมหาวิทยาลัยฯเป็นจำนวนมาก จำนวนการใช้บริการรถขนส่งมวลชนที่ลดลง การประเมินความพึงพอใจด้านความสะดวกในการใช้บริการที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน และปริมาณการใช้รถจักรยานยนต์โดยเฉพาะนักศึกษาหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯ สะท้อนให้เห็นถึงสมรรถนะของ

บริการขนส่งมวลชนที่ตอบสนองความต้องการของนักศึกษาได้ไม่มากเท่าที่ควร ดังนั้นโครงการบริการขนส่งมวลชนควรมีการปรับปรุงสมรรถนะในการให้บริการ โดยมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มสมรรถนะที่มีผลกระทบต่อการเลือกใช้บริการในประเด็นด้านความสะดวก อันได้แก่ การจัดตารางเวลาการเดินรถ การกำหนดจุดจอดรถ เส้นทางการให้บริการ รวมไปถึงจำนวนรถที่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้บริการ โดยการกำหนดรูปแบบการเดินรถที่เหมาะสม ซึ่งจะทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าต่างๆ เพื่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น

สำหรับการปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้านั้น เป็นสิ่งที่ยากในการปฏิบัติจริงเนื่องจากข้อจำกัดในหลายๆด้าน เช่น ข้อจำกัดด้านระยะเวลา ข้อจำกัดด้านทรัพยากร และข้อจำกัดด้านงบประมาณ เป็นต้น สิ่งต่างๆเหล่านี้สามารถใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อจำลองสถานการณ์ที่ต้องการศึกษาได้ ซึ่งการใช้แบบจำลองสถานการณ์นั้น เป็นการสร้างสถานการณ์สมมติที่อาศัยข้อเท็จจริงเสมือนสถานการณ์จริงเพื่อทดลองตัดสินใจแก้ไขปัญหาและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการทดลองก่อนนำไปใช้แก้ไขปัญหาในสถานการณ์จริงต่อไป โดยแบบจำลองสถานการณ์นั้นนิยมนำมาใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เหมาะกับปัญหาที่มีความซับซ้อน ต้องอาศัยการสุ่มค่าการตัดสินใจ อีกทั้งยังอยู่ภายใต้สภาวการณ์ที่ไม่มีความแน่นอนและมีความเสี่ยง นอกจากนี้การใช้แบบจำลองสถานการณ์ยังช่วยให้เกิดการประเมินผลลัพธ์ในการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ได้ จากการจำลองสถานการณ์และผลลัพธ์ที่ได้นั้น จะถูกนำเสนอในรูปแบบของข้อเสนอทางเลือกที่จะช่วยให้สมรรถนะของระบบขนส่งมวลชนดียิ่งขึ้น และสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทางเลือกต่างๆได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รูปแบบที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการใช้บริการที่เพิ่มขึ้นนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่างๆ อาทิ การลดความหนาแน่นของการจราจรภายในมหาวิทยาลัยจากการใช้รถส่วนตัว ลดพื้นที่จอดรถ ลดการปล่อยมลพิษจากการใช้รถไฟฟ้าแทนรถที่ใช้เชื้อเพลิง โดยรูปแบบข้อเสนอทางเลือกนั้นจะถูกพิจารณาไปควบคู่กับการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพื่อหาต้นทุนของการให้บริการรถขนส่งมวลชน การวิเคราะห์ต้นทุนจะวิเคราะห์ทั้งต้นทุนในสภาพปัจจุบันและต้นทุนของข้อเสนอทางเลือก เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจด้านงบประมาณในการบริหารจัดการบริการขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลา นครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของการให้บริการรถขนส่งสาธารณะภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นแนวทางในการวางแผนการให้บริการโครงการรถขนส่งสาธารณะ ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

2) ลดภาวะการจราจรที่หนาแน่นภายในพื้นที่มหาวิทยาลัย อันเนื่องมาจากการใช้รถส่วนบุคคล

3) ลดการปล่อยมลพิษและลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง

4) เป็นตัวอย่างให้กับหน่วยงานอื่นนำไปประยุกต์ใช้

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาโครงการบริการรถขนส่งมวลชน ในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยา-เขตหาดใหญ่ โดยการใช้รถไฟฟ้าเป็นยานพาหนะ วิเคราะห์หารูปแบบการให้บริการที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วยจำนวนรถ การจัดตารางเวลาการเดินรถ จุดจอดรถ และเส้นทางการเดินรถ การคำนวณหาต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานได้ทั้งในสภาวะปัจจุบันและรูปแบบข้อเสนอทางเลือก สามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการวางแผนงบประมาณและการสนับสนุนด้านการเงินจากหน่วยงานต่างๆ

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 ระบบขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย

ระบบขนส่งมวลชนสาธารณะได้ถูกนำมาพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับในพื้นที่มหาวิทยาลัยส่วนใหญ่มีขอบเขตบริเวณกว้างขวาง ระบบขนส่งมวลชนจึงเข้ามามีบทบาทต่อการเดินทางเป็นอย่างมาก ทำให้มีผู้สนใจทำการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงการให้บริการ อาทิ Brown และคณะ [2] ได้ใช้การเพิ่มการเข้าถึงในการให้บริการขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถทำให้จำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้น 56% จากปีแรกของการให้บริการ ซึ่งผลดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณการใช้รถส่วนตัวและพื้นที่จอดรถได้เป็นอย่างมาก ต่อมา Bond และ Steiner [3] ได้กำหนดนโยบายด้านการขนส่งอย่างยั่งยืน โดยทำการวิจัยด้านการจัดการความต้องการของบริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยโดยร่วมมือกับบริษัทผู้ประกอบการ ในมหาวิทยาลัยฟลอริด้า สหรัฐอเมริกา โดยการกำหนด 4 นโยบาย หลัก ได้แก่ การลดปริมาณที่จอดรถส่วนตัว ราคาที่จอดรถ ระบบขนส่งที่มีการเข้าถึงได้อย่างไม่จำกัด และการปรับปรุงบริการการขนส่ง โดยการลดเวลารอคอยและลดเวลาเดินทางต่อเที่ยว ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนผู้โดยสารได้เป็นจำนวนมาก

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาด้านการอนุรักษ์พลังงานและรูปแบบการเดินทาง กรณีศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดย Singhirunnusorn และคณะ [4] ได้ใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา ผลการศึกษาพบว่านักศึกษาส่วนใหญ่ (72% ของกลุ่มตัวอย่าง) สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างถูกต้อง และนักศึกษาเลือกวิธีการใช้รถร่วมกับผู้อื่นมากที่สุดในการร่วมอนุรักษ์พลังงาน

1.5.2 การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ถูกใช้เป็นเครื่องมือเพื่อการสนับสนุนการตัดสินใจในหลากหลายสาขา อาทิเช่น ด้านการบริการสุขภาพ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกิดการไหลของกระบวนการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น วนัฐณพงษ์ คงแก้ว [5] ได้ประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel) เพื่อปรับปรุงการทำงานภายในแผนกจ่ายยาผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ โดยการศึกษาวิธีการทำงานและการศึกษาเวลา เพื่อลดระยะเวลาในระบบกระบวนการจัดยาของใบสั่งยา โดยแนวทางการปรับปรุงได้แก่ การออกแบบการทดลองของการจัดสรรเจ้าหน้าที่ประจำสถานี และการเพิ่มสายพานลำเลียงเพื่อช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการ ซึ่งทำให้ระยะเวลาลดลง 20.44% จากเวลาที่ใช้ในกระบวนการเดิม ต่อมา Fung Kon Jin และคณะ [6] ได้ปรับปรุงขีดความสามารถในการใช้งานเครื่อง CT scan ในการให้บริการแก่ผู้ป่วยในโรงพยาบาลให้เกิดกระบวนการไหลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล ซึ่งผู้ป่วยจะถูกจัดลำดับการเข้ารับการรักษาเป็น 3 ประเภท คือ ผู้ได้รับแผลบาดเจ็บ (Trauma) ผู้ป่วยเร่งด่วน (Urgent) และผู้ป่วยทั่วไป (Regular) ตามลำดับ พัฒนาด้วยการใช้ภาษา JAVA และออกแบบสถานการณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ เวลาในการรอคอยต่ำที่สุด เครื่อง CT scan มีช่วงเวลาว่างสูงสุดเพื่อให้ตอบสนองความต้องการได้มากที่สุด และเวลาการใช้งานที่เกินเวลาที่กำหนดนั้นต่ำสุด

ต่อมา Samaranayake และ Kiridena [7] ได้สร้างแบบจำลองการเดินทางเข้ามาของผู้ป่วย ร่วมกับโครงสร้างข้อมูลในการบริการสุขภาพในโรงพยาบาล และบ่งชี้ความสัมพันธ์ของกระบวนการโดยพิจารณาตั้งแต่การเข้ามาของผู้ป่วยจนกระทั่งเสร็จภาระกิจและออกจากโรงพยาบาล ปรับปรุงกระบวนการในทุกๆส่วนที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้ป่วย การบำบัด การวางแผนการทำงานและการจัดซื้อจัดหา โดยในงานวิจัยจะใช้แบบจำลองกระบวนการบริการ Event-driven process chain (EPC) และเทคนิคโครงสร้างเป็นหนึ่งเดียว งานวิจัยนี้จะช่วยในการพัฒนาการบริการดูแลสุขภาพเพื่อให้เกิดการไหลที่มีประสิทธิภาพ จัดการข้อมูลได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น ส่งผลต่อความรวดเร็วซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้ป่วยต้องการเป็นอย่างมากที่จะได้รับการรักษาที่ทันเวลาและเกิดความพึงพอใจในการใช้บริการ

นอกจากนี้ Paul และ Lin [8] ได้ใช้การจำลองสถานการณ์ สำหรับเหตุการณ์ที่ไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและเพิ่มศักยภาพในการทำงานของแผนกฉุกเฉินในโรงพยาบาล โดยมุ่งเน้นที่ปริมาณการทำงานและระยะเวลาการรอคอย จากการจำลองแบบพบว่าสาเหตุที่ทำให้ปริมาณงานลดลงนั้น มาจากความขาดแคลนแพทย์ในช่วงเวลาเร่งด่วน ความล่าช้าในขั้นตอนการรับผู้ป่วยใน ความล่าช้าในการทดสอบในห้องปฏิบัติการและรังสีวิทยา เมื่อทำการปรับปรุงการดำเนินงานแล้วสามารถเพิ่มศักยภาพการทำงานได้ โดยที่ตัวแบบจำลองมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถจำลองระบบที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี

ทางด้านการจัดการอุตสาหกรรม Kesen และ Baykoç [9] ได้จำลองระบบรถนำทางอัตโนมัติ (Autometed guided vehicle: AGV) บนพื้นฐานการทำงานด้วยระบบทันเวลาพอดี (Just-in-time: JIT) ด้วยซอฟต์แวร์อารีน่า (ARENA) ซึ่งโดยทั่วไปนั้นมีการใช้การจำลองสถานการณ์กับระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow shop) อย่างแพร่หลาย แต่ในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้การจำลองสำหรับกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job shop) พัฒนาอัลกริทึ่มสำหรับการเคลื่อนย้ายพาหนะผ่านสถานีงานต่างๆ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการขนส่ง และใช้การออกแบบการทดลอง ที่ 4 ปัจจัย 2 ระดับ เพื่อสังเกตและวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการทดลองที่เกิดขึ้น นอกจากนั้น Nasereddin และคณะ [10] ได้สร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์ในอุตสาหกรรมผลิตบ้าน ซึ่งจำลองทั้งกระบวนการผลิตชิ้นส่วนการประกอบบ้านและการขนส่งเพื่อการก่อสร้างบ้าน โดยใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel) ในการจำลองระบบซึ่งมีลักษณะที่ซับซ้อน ร่วมกับการพัฒนาลำดับวิธีการคิดด้วย Visual Basic for Applications (VBA) เช่นเดียวกับ เมธาวี มานิต [11] ที่ได้ทำการศึกษาเวลา (Time study) เพื่อหาเวลามาตรฐานในการทำงานของพนักงานในกระบวนการติดฉลากและบรรจุกล่องผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง และประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ เพื่อการวางแผนการจัดจำนวนพนักงานในสายการผลิตให้สอดคล้องกับจำนวนการผลิต นอกจากนี้ยังได้พัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการตัดสินใจโดยพัฒนาโปรแกรมบน Microsoft Excel ซึ่งเชื่อมโยงข้อมูลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์ ด้วยคำสั่ง Visual Basic for Applications (VBA) ในการป้อนข้อมูลปัจจัยนำเข้า และแสดงผลลัพท์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ เพื่อการใช้งานที่ง่ายมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้แบบจำลองสถานการณ์สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของบริการขนส่งมวลชนบนความไม่แน่นอน โดย Chen และ Chen [12] ได้ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์การให้บริการโดยวิธี Monte Carlo ในการลดเวลารอของผู้โดยสาร ทำการจำลองการเดินรถของเส้นทางกรณีศึกษาในประเทศจีน พบว่าความแปรผันของเวลาเดินรถและการเข้ามาของผู้โดยสารที่ไม่แน่นอนนั้น นำไปสู่เวลาการเดินทางที่เปลี่ยนแปลงไปรวมถึงเวลารอเฉลี่ยซึ่งเป็นสาเหตุของความไม่น่าเชื่อถือของการบริการ

ยิ่งไปกว่านั้นการจำลองสถานการณ์ยังสามารถประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการขนส่งได้เป็นอย่างดี วลักษ์กมล คงยัง [13] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดทำระบบรถโรงเรียนในเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยทางด้านเทคนิค ได้ทำการจัดเส้นทางการเดินรถโดยใช้เทคนิค Routing ของโปรแกรม ArcGIS Network Analyst และจำลองสถานการณ์ด้วยตัวแบบจำลองคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel) เพื่อจัดเส้นทางการเดินรถรับ-ส่งนักเรียนจำนวน 9 โรงเรียน ซึ่งใช้วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีกรอบเวลา (Vehicle routing problem with time window: VRPTW) มาช่วยในการหาคำตอบ

Cortés และคณะ [14] ได้สร้างตัวแบบด้วยซอฟต์แวร์อารีน่า (ARENA) เพื่อจำลองการขนส่งสินค้ายังจุดเทียบท่าของท่าเรือในตอนใต้ของประเทศสเปน ตั้งแต่เริ่มต้นเคลื่อนย้ายจากปากแม่น้ำจนกระทั่งเรือเข้าสู่ท่าเรือ งานวิจัยนี้สามารถที่จะอธิบายลักษณะระบบการทำงานภายในท่าเรือได้ และนำเสนอตัวแบบจำลองในแต่ละประเภทของการขนส่งที่เกิดขึ้นบริเวณท่าเรือ นอกจากนี้ยังสามารถประเมินขีดความสามารถในการรองรับการขนส่งของท่าเรือได้

ต่อมา Motraghi และ Marinov [15] ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการขนส่งสินค้าในเขตเมืองด้วยระบบราง โดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยซอฟต์แวร์อารีน่า (ARENA) เพื่อศึกษาสมรรถนะของโครงการขนส่ง Newcastle Metro และทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้การขนส่งสินค้าด้วยระบบราง โดยมุ่งเน้นที่การวัดอรรถประโยชน์ของการใช้งานในระบบ ซึ่งสินค้าที่ทำการขนส่งนั้นมีขนาดเล็ก แต่มีความสำคัญทางธุรกิจและมีมูลค่าต่อผู้ใช้งานสูง เช่นเดียวกับ Woroniuk และ Marinov [16] ที่ใช้ซอฟต์แวร์อารีน่า (ARENA) ในการศึกษาพฤติกรรมของระบบการขนส่งสินค้าทางราง พิจารณาอรรถประโยชน์ที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดซึ่งทำให้เกิดอรรถประโยชน์ในการใช้งานระบบขนส่งทางรางสูงสุด ต่อมา Kamrani และคณะ [17] ได้จำลองสถานการณ์ทางจราจรของแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน ด้วยซอฟต์แวร์อารีน่า (ARENA) โดย โดยกำหนดรูปแบบการตัดสินใจและลำดับความคิดในกระบวนการเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากที่สุด วิเคราะห์จุดคอขวดซึ่งทำให้เกิดปัญหาการจราจร เมื่อทำการปรับปรุงแล้วพบว่าตัวแบบที่ถูกนำเสนอสามารถลดเวลาการรอคอยลงได้

นอกจากนี้ยังได้มีการใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อพิจารณานโยบายการเข้าแถวคอยในการนำรถไฟฟ้ามาชาร์จยังสถานีภายในมหาวิทยาลัยโอไฮโอ้ สหรัฐอเมริกา โดย De Filippo และคณะ [18] โดยใช้ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อหารูปแบบสถานการณ์การเข้าแถวคอยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการรอคอยได้และใช้เวลาในการชาร์จน้อยที่สุด

1.5.3 การหารูปแบบการเดินทางที่เหมาะสม

ในการออกแบบเส้นทางและรูปแบบการเดินทางที่เหมาะสมนั้น ได้มีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้าช่วยในการวางแผนรูปแบบการเดินทาง ซึ่งคำนึงถึงระยะทางรวมน้อยที่สุด Chou [19] โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาประยุกต์ใช้กับระบบช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบเส้นทางเดินรถ ของผู้โดยสารในเขตเทศบาลและโรงเรียน โดยใช้โปรแกรมภาษามาโคร (Macro language programs) และออกแบบจุดหยุดรถที่เหมาะสม ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณรูปแบบทั้ง 6 รูปแบบ ได้แก่ เส้นทางเดี่ยว ระยะทางการเดิน หยุดจอดรถที่เหมาะสม จุดของผู้โดยสาร เส้นทางหลายเส้นทาง และเส้นทางหลายเส้นทางที่ซับซ้อน นอกจากนั้น ชุติมา เจิมขุนทด และคณะ [20] ได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสาตร์เพื่อใช้วิเคราะห์ระดับการเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะ โดยรถสองแถวในพื้นที่เขตเทศบาล จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ระดับการเข้าถึงระบบขนส่งมวลชนสาธารณะ (Public transport accessibility level: PTAL) จากหน่วยงานด้านการขนส่งของกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ

ปัญหาการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยนั้น มีความคล้ายคลึงกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโรงเรียน (School bus routing problem) นั่นคือ ลักษณะการแก้ปัญหามุ่งเน้นที่จะสร้างหรือปรับเปลี่ยนจุดจอดรถ เส้นทางเดินรถ และตารางเวลาเดินรถ จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา Park และ Kim [21] ได้จำแนกการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโรงเรียนตามลักษณะปัญหา ลักษณะพฤติกรรมการให้บริการ และวิธีการแก้ปัญหา โดยการแก้ปัญหามีวิธีการที่แตกต่างกันไป อาทิเช่น Schittekat และคณะ [22] ได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem) และแก้ปัญหาด้วยวิธีการตัดระนาบ (Cutting plane algorithm) หรือ การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and bound algorithm) โดย Kim และคณะ [23] หรือการใช้วิธีแตกกิ่งและตัดระนาบ (Branch and cut algorithm) ในการแก้ปัญหาการเลือกจุดจอดรถและการสร้างเส้นทางเดินรถโดย Riera-Ledesma และ Salazar-González [24] หรือใช้วิธีแตกกิ่งและตัดระนาบ เพื่อสร้างตารางเวลาในการเดินรถ Fügenschuh [25] และการใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์ ได้แก่ การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบอาณาจักรมด (Ant colony optimization) โดย Arias-Rojas และคณะ [26]

1.5.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการ

ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากที่ควรนำมาพิจารณาการลงทุน โดย Zhang และ Sheng [27] ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ทางด้านการสนับสนุนทางการเงินของระบบขนส่งสาธารณะ ในเขตเมืองของประเทศจีน โดยทำการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ระดับจุลภาค และเปรียบเทียบแหล่งที่มาทางการเงิน พบว่าการลงทุนที่สูญเปล่าและไม่สำเร็จมาจาก

การประเมินทางการเงินที่ไม่ถูกต้อง ขาดนโยบายโดยรัฐบาล ขาดแนวทางการปฏิบัติโดยผู้ประกอบการ ปราศจากความพยายามที่จะลดค่าใช้จ่ายและการสร้างกำไร

สิ่งหนึ่งที่สำคัญในการให้บริการด้านขนส่งมวลชนคือ การลดต้นทุนในการให้บริการ โดยการบริหารจัดการที่เหมาะสม ปัทมา อยู่เย็น [28] ได้ศึกษาการลดต้นทุนการให้บริการ ในด้านการจัดตารางเวลาในการเดินรถขนส่งมวลชน ภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการเดินทางในชั่วโมงเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน โดยใช้โปรแกรมเอกเซลโซลเวอร์ (Excel solver) เพื่อนำมาปรับตารางเวลาในการเดินรถขนส่งมวลชนให้เหมาะสมกับความต้องการการเดินทางและเพื่อเป็นการช่วยลดต้นทุนในการให้บริการในการเดินรถขนส่งมวลชนของมหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าเมื่อจัดตารางเวลาเดินรถใหม่ ทำให้ลดต้นทุนการดำเนินการคิดเป็น 30.92% ของต้นทุนในด้านการจัดตารางเวลาเดินรถแบบเดิม

ต่อมา พนิดา ทองสุข [29] ได้วิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนการประกอบการขนส่งรถโดยสารประจำทาง เปรียบเทียบต้นทุนการประกอบการระหว่างรถโดยสารขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพกับรถเอกชนร่วมบริการในเขตการเดินรถที่ 5 โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนาย้อนหลัง (Retrospective descriptive study) วิเคราะห์ต้นทุนโดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-based Costing) พบว่าต้นทุนรวมของรถโดยสารขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพมีจำนวนสูงกว่ารถเอกชนร่วมบริการ แนวทางการแก้ไขคือการลดต้นทุนการประกอบการขนส่งรถโดยสารขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ ได้แก่ การใช้ก๊าซธรรมชาติทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเดินรถ การลดค่าใช้จ่ายด้านดอกเบี้ยที่เกิดจากการกู้เงินจากสถาบันการเงิน การปรับปรุงเส้นทางการเดินรถที่ซ้อนทับกัน และการลดจำนวนบุคลากรตามความสมัครใจโดยเข้าโครงการเกษียณอายุก่อนกำหนด (Early retirement)

วีรพันธ์ รุจิเกียรติกำจร และ วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ [30] ได้ศึกษาผลกระทบของราคาพลังงานที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในการเดินทางในเส้นทางสะพานใหม่-สีลม ใน 3 รูปแบบการเดินทาง และได้เสนอแนวคิดในการลดค่าใช้จ่าย ได้แก่ การปรับปรุงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการเดินทางโดยเพิ่มค่าใช้จ่ายรถยนต์ส่วนบุคคล การลดค่าใช้จ่ายของการใช้ระบบขนส่งมวลชนลง การปรับต้นทุนในการเดินรถโดยสารโดยเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติ และการเพิ่มจำนวนผู้โดยสารให้มากขึ้น

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์โครงการบริการขนส่งมวลชนที่ให้บริการภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงการให้บริการ ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบนั้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือหลักที่สำคัญที่จะช่วยในการสังเกตผลลัพธ์ และสามารถสะท้อนให้เห็นถึงพฤติกรรมของระบบในปัจจุบัน และทำการปรับปรุงการให้บริการโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางในการดำเนินงานให้โครงการขนส่งมวลชนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพคือ ขีดความสามารถในการรองรับจำนวนผู้โดยสาร และอรรถประโยชน์ของการใช้รถ ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

2.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

กิจกรรมที่ 1 ศึกษาสภาพปัจจุบันและรวบรวมข้อมูล

ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโครงการบริการรถขนส่งมวลชน ในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ถึงที่มาในการจัดตั้งโครงการ แหล่งการให้เงินสนับสนุน สถิติการให้บริการ การสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องถึงการให้บริการและปัญหาที่เกิดขึ้นของโครงการ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อการวางแผนและออกแบบแนวทางปฏิบัติของงานวิจัย นอกจากนี้ยังรวมถึงการรวบรวมข้อมูลต้นทุนการให้บริการ

กิจกรรมที่ 2 วิเคราะห์ต้นทุนในปัจจุบัน

นำข้อมูลการให้บริการ ในส่วนของต้นทุนมาพิจารณาเพื่อจำแนกประเภทต่างๆของต้นทุนการดำเนินการที่เกิดขึ้น

กิจกรรมที่ 3 สร้างแบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน

ทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อเป็นตัวแทนเสมือนจริงของระบบปัจจุบัน โดยเริ่มตั้งแต่การจำลองลักษณะทางกายภาพของระบบ อาทิ สภาพแวดล้อมและสถานที่ดำเนินงาน จุดจอดรถ แผนผัง ตารางการเดินรถ และเส้นทางการเดินรถ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ให้มีลักษณะเหมือนจริงมากที่สุด จากนั้นกำหนดกรอบแนวคิดของตัวแบบเพื่อให้ตัวแบบดำเนินไปเสมือนกับกระบวนการการทำงานของระบบจริง แล้วกำหนดตัวแปรสำคัญที่จะใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในตัวแบบ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการให้บริการ โดยการเก็บข้อมูลการ

ให้บริการของขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้แก่ จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถขนส่งมวลชนในแต่ละวัน การเข้ามาของผู้โดยสารบริเวณจุดเริ่มต้น และบริเวณจุดจอดรถ จำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นและลง รวมไปถึงการอัตราการใช้บริการรถในแต่ละสาย ต่อมาจะต้องนำข้อมูลที่เก็บได้นั้น มาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อหาลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่เหมาะสมของข้อมูลแต่ละประเภท และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถป้อนเข้าในโปรแกรมจำลองแบบได้ จากนั้นทำการรันตัวแบบ เพื่อสังเกตผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้สิ่งหนึ่งที่สำคัญในการสร้างตัวแบบนั้น จะต้องมีการทวนสอบแบบจำลองสถานการณ์ โดยใช้การคำนวณทางสถิติเพื่อหาความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับระบบจริงในปัจจุบันมากที่สุด

กิจกรรมที่ 4 วิเคราะห์ผลจากแบบจำลองสถานการณ์ในปัจจุบัน

ทำการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองสถานการณ์ในสภาวะปัจจุบัน โดยการรันโปรแกรมจำลองสถานการณ์ ซึ่งจะให้ผลออกมาเป็นตัวเลข เช่น อัตราการใช้ประโยชน์ของรถไฟฟ้า จำนวนการเข้ารับบริการ ระยะเวลาการรอคอย เป็นต้น ซึ่งสามารถนำผลที่ได้นี้วิเคราะห์และเปรียบเทียบกับสถานการณ์ทางเลือกได้

กิจกรรมที่ 5 สร้างแบบจำลองสถานการณ์ของรูปแบบข้อเสนอทางเลือก

จากการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองสถานการณ์ในปัจจุบัน ทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ข้อเสนอรูปแบบทางเลือกในหลายๆรูปแบบ เพื่อการปรับปรุงให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิจกรรมที่ 6 วิเคราะห์ผลข้อเสนอแต่ละทางเลือก และเปรียบเทียบทางเลือก

วิเคราะห์ผลที่ได้จากการใช้แบบจำลองสถานการณ์ของรูปแบบทางเลือก เพื่อนำมาพิจารณา อัตราการใช้ประโยชน์ของรถไฟฟ้าหรือจำนวนผู้ใช้บริการที่เปลี่ยนแปลงไป หากมีการเพิ่มจำนวนรถ ปรับเปลี่ยนเส้นทางเดินรถ หรือปรับเปลี่ยนตารางเวลาเดินรถ เป็นต้น

กิจกรรมที่ 7 วิเคราะห์ต้นทุนสถานการณ์ทางเลือก

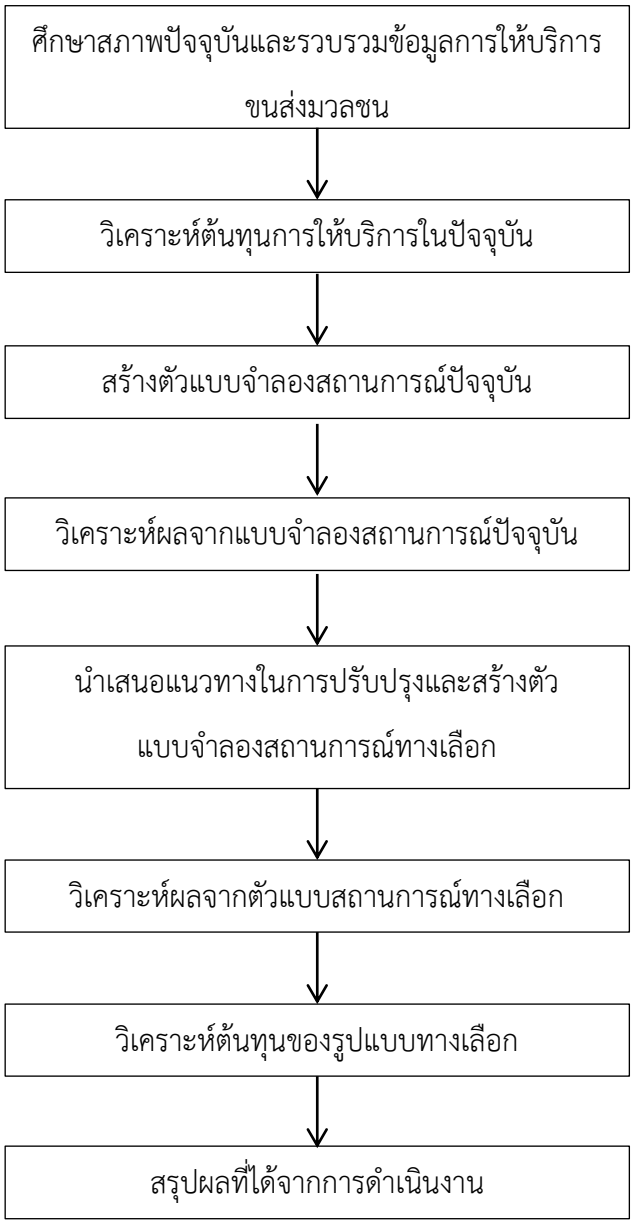
วิเคราะห์ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้ทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการดำเนินงานเปลี่ยนแปลงไป เพื่อเป็นการประกอบการตัดสินใจในการบริหารงานของผู้ที่เกี่ยวข้อง

กิจกรรมที่ 8 สรุปผลที่ได้จากการดำเนินงาน

สรุปผลที่ได้จากการวิจัย ทั้งในด้านการประเมินสมรรถนะของการให้บริการในโครงการบริการขนส่งมวลชนในปัจจุบัน และข้อสรุปจากข้อเสนอทางเลือกในการปรับปรุงการให้บริการในด้านรูปแบบการเดินทางต่างๆจากแบบจำลองสถานการณ์ รวมทั้งการลงทุนสำหรับ

ข้อเสนอที่ถูกเลือก เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการปรับปรุงโครงการบริการขนส่งมวลชนโดยรถไฟฟ้า ภายในมหาวิทยาลัยฯ

จากขั้นตอนและการดำเนินงานวิจัย สามารถเขียนแผนภาพการไหลที่แสดงลำดับขั้นตอนการวิจัยได้ดังภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 แผนภาพการไหล (Flow chart) แสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย

2.2 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและสภาพปัญหาของโครงการบริการขนส่งมวลชน

ในขั้นตอนนี้ ทำการศึกษาข้อมูลของโครงการขนส่งมวลชน เพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหา โดยมีขอบเขตการศึกษาคือ ทำการศึกษาการให้บริการขนส่งมวลชน ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะรูปแบบการให้บริการ และผลการประกอบการที่ผ่านมา โดยข้อมูลที่ได้นั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกต และการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ หน่วยงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์

2) ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมเอกสารต่างๆ ซึ่งถูกรวบรวมไว้โดยหน่วยงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ ได้แก่ ข้อมูลการก่อตั้งโครงการขนส่งมวลชน ข้อมูลทางกายภาพของเส้นทางการให้บริการ ข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในแต่ละปี รวมถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดการให้บริการ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่ได้มาจาก โครงงานนักศึกษาที่ได้ทำการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการโดยการใช้แบบสอบถาม ซึ่งสามารถสนับสนุนสาเหตุของสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

การศึกษาและเก็บข้อมูลจะนำมาสู่การวิเคราะห์สภาพปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในโครงการให้บริการขนส่งมวลชน เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการ

วิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานในการให้บริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยการวิเคราะห์เอกสาร ซึ่งใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ ที่รวบรวมจาก กลุ่มงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้จะไม่พิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุนของการก่อตั้งโครงการ แต่พิจารณาต้นทุนรวมจากการดำเนินงานที่ผ่านมาในแต่ละปี ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น ต้นทุนค่าพลังงาน ค่าซ่อมบำรุง ค่าตอบแทนพนักงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ เปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี นอกจากนี้ยังจำแนกประเภทต้นทุน เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ต้นทุนคงที่ เป็นต้นทุนที่ไม่แปรผันตามจำนวนการผลิตหรือกิจกรรม และมีจำนวนคงที่ในช่วงที่พิจารณา ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว หากเป็นการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการก่อตั้งโครงการ จะมีการพิจารณาต้นทุนการลงทุนก่อตั้งโครงการ ซึ่งจะต้องพิจารณาต้นทุนถาวร ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน และเงินทุนหมุนเวียน แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาเฉพาะต้นทุนจากการดำเนินการที่เกิดขึ้นที่ผ่านมา

2) ต้นทุนแปรผัน เป็นต้นทุนที่ผันแปรไปกับการเปลี่ยนแปลงการเดินรถและระยะทางการเดินรถ เมื่อสามารถจำแนกต้นทุนตามประเภทได้แล้วนั้น ทำการหาต้นทุนเฉลี่ยที่เกิดขึ้น ซึ่ง

สามารถนำไปใช้คำนวณต้นทุนจากแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือกได้ ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการให้บริการ อาจส่งผลให้ต้นทุนเปลี่ยนแปลงไป ทั้งเพิ่มขึ้น หรือลดลง ตามปัจจัยต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป

2.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานะปัจจุบัน

ขั้นตอนนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ในปัจจุบันของการให้บริการขนส่งมวลชน โดยข้อมูลที่ได้มาก่อนหน้านั้น จะถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลอง (Simulation model) ด้วยซอฟต์แวร์ ProModel® 2011 ทำการป้อนข้อมูลป้อนเข้า (Input) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเกตผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลนำออก (Output)

2.4.1 กรอบแนวคิดสำหรับการสร้างตัวแบบ

ทำการออกแบบตรรกะการดำเนินงาน (Logical flow) ของระบบขนส่งมวลชน โดยการสร้างแผนภาพการไหล (Flow chart) พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของลำดับวิธีการดำเนินงานให้สอดคล้องกับระบบจริง จากนั้นสร้างตัวแบบจำลองเพื่อเลียนแบบระบบ ให้มีองค์ประกอบของการสร้างตัวแบบที่ครบถ้วน

2.4.2 การพัฒนาตัวแบบจำลอง

สร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์เพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของระบบการให้บริการขนส่งมวลชน โดยการใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วย ProModel® 2011 ในสถานะปัจจุบัน เพื่อใช้อธิบายเหตุการณ์หรือปัญหาหรือปัจจัยต่างๆ อย่างเป็นระบบ และสามารถเข้าใจได้ง่าย

2.4.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า

การกำหนดตัวแปรหรือข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ในงานวิจัย ทั้งข้อมูลทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์คำนวณ และข้อมูลที่ใช้สำหรับเป็นตัวแปรนำเข้าในซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ โดยที่การกำหนดตัวแปรสามารถช่วยให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง ไม่เสียเวลาในการกลับไปเก็บข้อมูลซ้ำหากข้อมูลที่ได้ก่อนหน้าไม่สมบูรณ์

เมื่อได้กำหนดตัวแปรที่สำคัญที่จำเป็นในการสร้างตัวแบบแล้วนั้น จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นตัวแทนของระบบจริงอย่างแม่นยำและถูกต้อง ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลและรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสม ทำการเก็บข้อมูลในช่วงระหว่างวันจันทร์ ถึงวันศุกร์ โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มให้บริการจนสิ้นสุดการให้บริการตั้งแต่เวลา 7:30–17:30 น. ระยะเวลาการเก็บข้อมูล 3 สัปดาห์ โดยการเก็บข้อมูลนั้นจะประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ การบันทึกจำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นลงแต่ละจุดจอดรถและเวลาที่รถแต่ละคันมาถึงแต่จุดจอด และการบันทึกเวลารถออกจากสถานีเพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบและจัดเรียงลำดับเวลาให้เป็นไปตามลำดับ เนื่องจากมีการให้บริการรถขนส่งมวลชนทั้งสิ้น 3 สาย

ทดสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยใช้หลักการทางสถิติ เพื่อให้ข้อมูลที่จะนำไปใช้สำหรับการจำลองสถานกาณ์นั้น สามารถเป็นตัวแทนของระบบจริงได้ นอกจากนั้นทำการทดสอบทางสถิติเพื่อทดสอบว่า ลักษณะการเข้ามาของผู้โดยสารในแต่ละช่วงเวลาและในแต่ละวันแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) แล้วทำการพิจารณาค่า P-value ที่เกิดขึ้น

2.4.4 รันตัวแบบจำลอง

เมื่อสร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์ และป้อนข้อมูลนำเข้าต่างๆที่จำเป็นสำหรับการเลียนแบบพฤติกรรมของระบบอย่างครบถ้วนแล้ว ทำการรันตัวแบบ และกำหนดค่าตัวเลือกต่างๆให้ระบบดำเนินการภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด

2.4.5 การทำซ้ำ

เมื่อรันตัวแบบจำลองสถานการณ์แล้วนั้น พิจารณาค่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากตัวแบบเพื่อเก็บข้อมูลนำออกเบื้องต้น ได้แก่ จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในระบบ ทำการรันซ้ำเบื้องต้นเป็นจำนวนการทำซ้ำ 5 รอบ ในทุกช่วงของการทดลอง นำผลที่ได้จากแบบจำลองไปคำนวณเพื่อหาจำนวนรอบการทำซ้ำที่เหมาะสม (N_m) โดยใช้สมการ ที่ (1) ที่ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ 10% หากค่าที่คำนวณได้น้อยกว่าจำนวนรอบการทำซ้ำในเบื้องต้น (น้อยกว่า 5 รอบ) ไม่ต้องรันตัวแบบเพิ่มเติม แต่หากจำนวนรอบการทำซ้ำมากกว่า 5 รอบ จะต้องรันตัวแบบเพิ่มเติมให้ครบตามจำนวนรอบที่คำนวณได้

$$N_m = \left(\frac{S(m) \times t_{m-1,1-\frac{\alpha}{2}}}{\bar{x}(m)\varepsilon} \right)^2 \qquad (1)$$

โดยที่

$S(m)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูล

$t_{m-1,1-\frac{\alpha}{2}}$ คือ ค่าการแจกแจง Student t

$\bar{x}(m)$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล

และ ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

2.4.6 ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง

ก่อนนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปทำการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการต่างๆ จะต้องทำการตวรจสอบให้มั่นใจว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความถูกต้อง โดย

การตรวจสอบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือทำการทวนสอบแบบจำลอง (Verification) และการยืนยันความถูกต้องของตัวแบบ (Validation)

2.4.6.1 การทวนสอบ (Verification)

การทวนสอบ เป็นกิจกรรมที่ถูกใช้ตลอดการสร้างตัวแบบเพื่อให้การสร้างนั้นเป็นไปตามรูปแบบหรือแนวคิดที่กำหนดไว้ เช่น การตรวจตราลำดับขั้นตอนในกระบวนการสร้างตัวแบบเปรียบเทียบกับระบบจริง การเปรียบเทียบกับแผนภาพการไหลที่รวมเอาลำดับความคิดที่เป็นไปได้ของระบบจริง การตรวจสอบโดยใช้ภาพเคลื่อนไหวเปรียบเทียบกับแผนภาพการไหล เป็นต้น

2.4.6.2 การยืนยันความถูกต้อง (Validation)

การยืนยันความถูกต้องทำให้แน่ใจว่าตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับระบบจริงที่ศึกษา ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทวนสอบโดยใช้วิธีทางสถิติเพื่อยืนยันผลของความสมเหตุสมผลของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น โดยจำลองตัวแบบแล้วบันทึกจำนวนผู้โดยสารที่ได้จากการจำลอง จากนั้นเปรียบเทียบผลการจำลองกับจำนวนผู้โดยสารที่เก็บได้จากระบบจริง โดยการตั้งสมมติฐานหลักในการทดลอง (Null hypothesis) ว่าผลการจำลองกับจำนวนผู้โดยสารที่เก็บได้จากระบบจริงไม่มีความแตกต่างกัน (H_0: $\mu_1=\mu_2$) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.0.5 จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากร (Two-sample t-test)

2.5 วิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการรันตัวแบบมาวิเคราะห์สำหรับสถานการณ์ปัจจุบัน เพื่อนำไปสู่การนำเสนอแนวทางปรับปรุงแก้ไข

2.6 นำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ

ในการปรับปรุงจะนำตัวแบบการให้บริการในปัจจุบันมาใช้วิเคราะห์เพื่อออกแบบแนวทางการปรับปรุง โดยพิจารณาการปรับเปลี่ยนปัจจัย (Factor) ต่างๆที่อาจมีผลต่อจำนวนผู้โดยสารและอรรถประโยชน์ของการใช้รถ ซึ่งใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Experimental design) เพื่อออกแบบสถานการณ์ทางเลือก จากนั้นสังเกตข้อมูลนำออก (Output) ของแต่ละรูปแบบทางเลือก แล้วทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง และเลือกสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถทำให้มีอรรถประโยชน์การใช้รถมากที่สุด และสามารถรองรับจำนวนผู้โดยสารได้สูงสุด

2.7 การสรุปผลการวิจัย

ทำการสรุปผลการวิจัยโดยการนำข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมด มาวิเคราะห์ผลให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย คือ สามารถปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ได้ โดยการนำเสนอแนวทางในการดำเนินงานเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่องค์กร

บทที่ 3

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

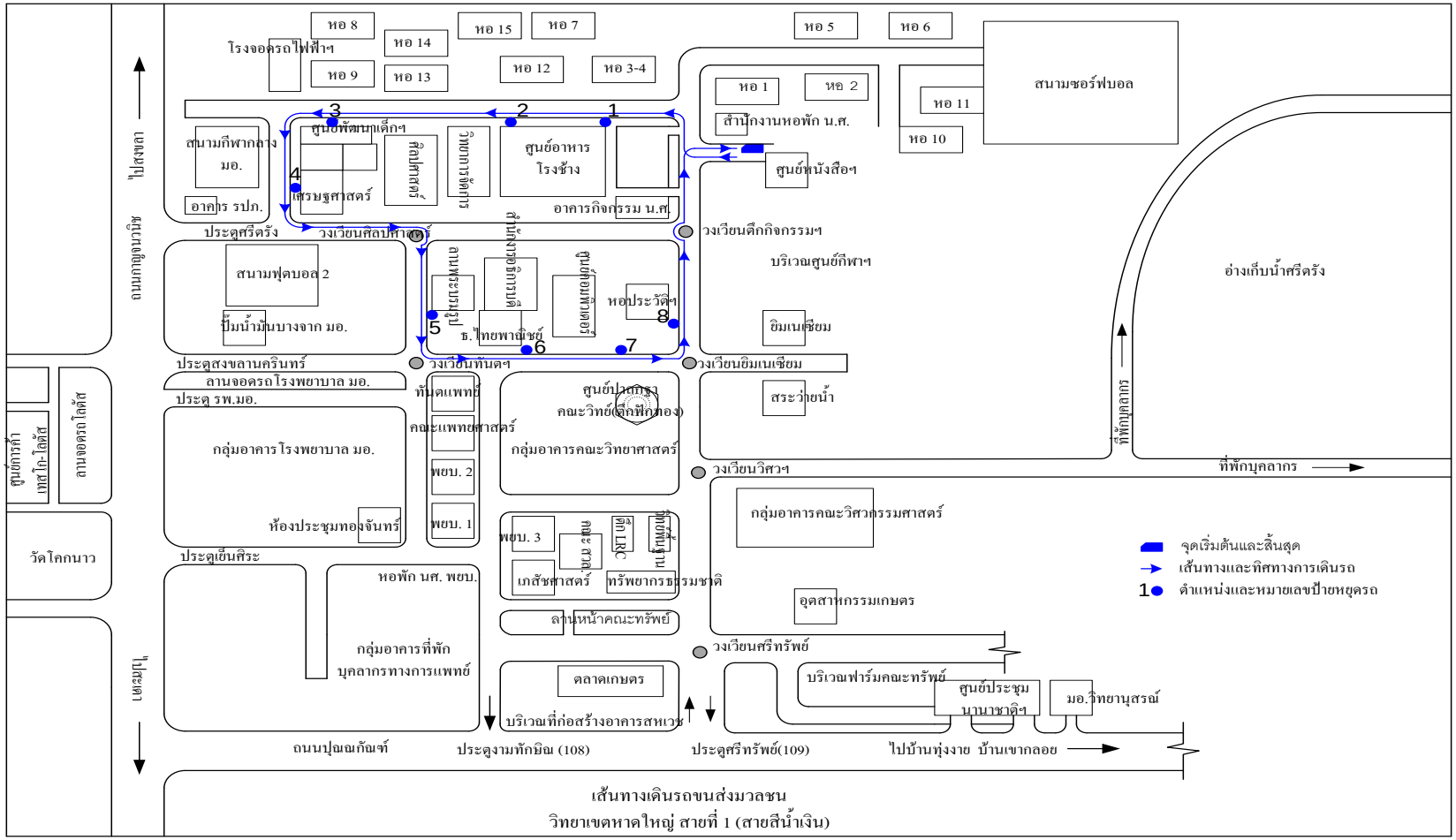
3.1 ข้อมูลการให้บริการโครงการบริการขนส่งมวลชน

โครงการบริการขนส่งมวลชนเริ่มเปิดให้บริการในภาคการศึกษาแรกของปีการศึกษา 2553 โดยมีรถไฟฟ้า 5 คัน ร่วมกับรถเครื่องยนต์ดีเซล 2 คัน ในปีแรก และมีนโยบายในการซื้อรถไฟฟ้าเพิ่มในทุกปีงบประมาณ ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2557) มีรถไฟฟ้าทั้งหมด 10 คัน และรถเครื่องยนต์ดีเซล 2 คันให้บริการ โดยมีกลุ่มงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการบริการขนส่งมวลชนโดยใช้รถไฟฟ้าเป็นยานพาหนะ แบ่งเป็น 3 ประเภทซึ่งมีลักษณะการจัดวางที่นั่งที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสามารถรองรับผู้โดยสารได้ 25 ที่นั่ง และพื้นที่ยืน 20 ที่ สามารถบรรทุกผู้โดยสารได้สูงสุด 45 ที่ต่อเที่ยว รถไฟฟ้าที่ให้บริการภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์แสดงดังภาพประกอบ 3.1

การประจุแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันใช้ได้กับทั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ โดยทั่วไประบบประจุเร็ว (Quick charge) จะใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที และในระบบประจุไฟฟ้าแบบธรรมดา ใช้เวลาประมาณ 5-8 ชั่วโมง ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญคือโครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้าต้องมีไฟฟ้าเพียงพอให้สามารถรองรับการประจุแบตเตอรี่ให้กับยานยนต์จำนวนมาก ซึ่งหน่วยงานยานยนต์ผู้รับผิดชอบโครงการขนส่งมวลชน เลือกใช้การชาร์จในระบบประจุไฟฟ้าธรรมดาที่ช่วยรักษาสภาพและคงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ดีกว่าระบบประจุเร็ว โดยใช้แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (Li-ion battery) ซึ่งแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 2 ปี ขึ้นอยู่กับลักษณะการชาร์จ โดยที่รถไฟฟ้าจะมีแบตเตอรี่จำนวน 24 ลูกต่อคัน สำหรับความเร็วในการวิ่งของรถไฟฟ้า มีความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งถูกจำกัดความเร็วในการวิ่งไว้ไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

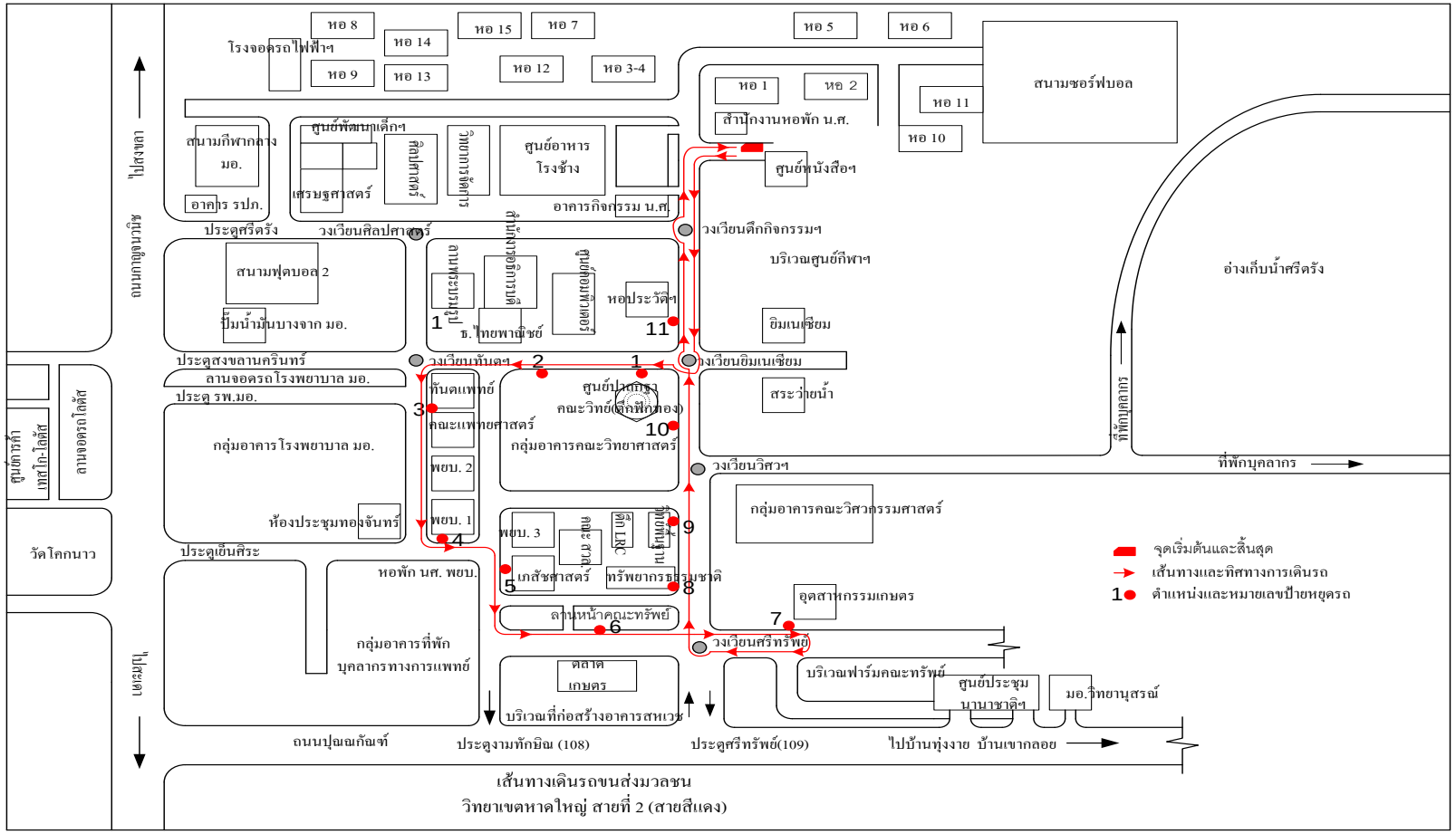
ภาพประกอบ 3.1 รถไฟฟ้าที่ให้บริการภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การให้บริการขนส่งมวลชนจะให้บริการ 3 เส้นทาง ครอบคลุมพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 3.2-3.4 สำหรับรูปแบบการเดินรถนั้น ใช้ตารางเวลาการเดินรถในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนในช่วงเวลา 7:30-9:00 น. และ 11:30-13:00 น. ซึ่งมีผู้ใช้บริการจำนวนมาก รถจะออกเดินทางทุกๆ 10 นาที และรถจะออกเดินทางทุกๆ 20 นาทีในช่วงเวลาปกติในทุกเส้นทางการเดินรถ



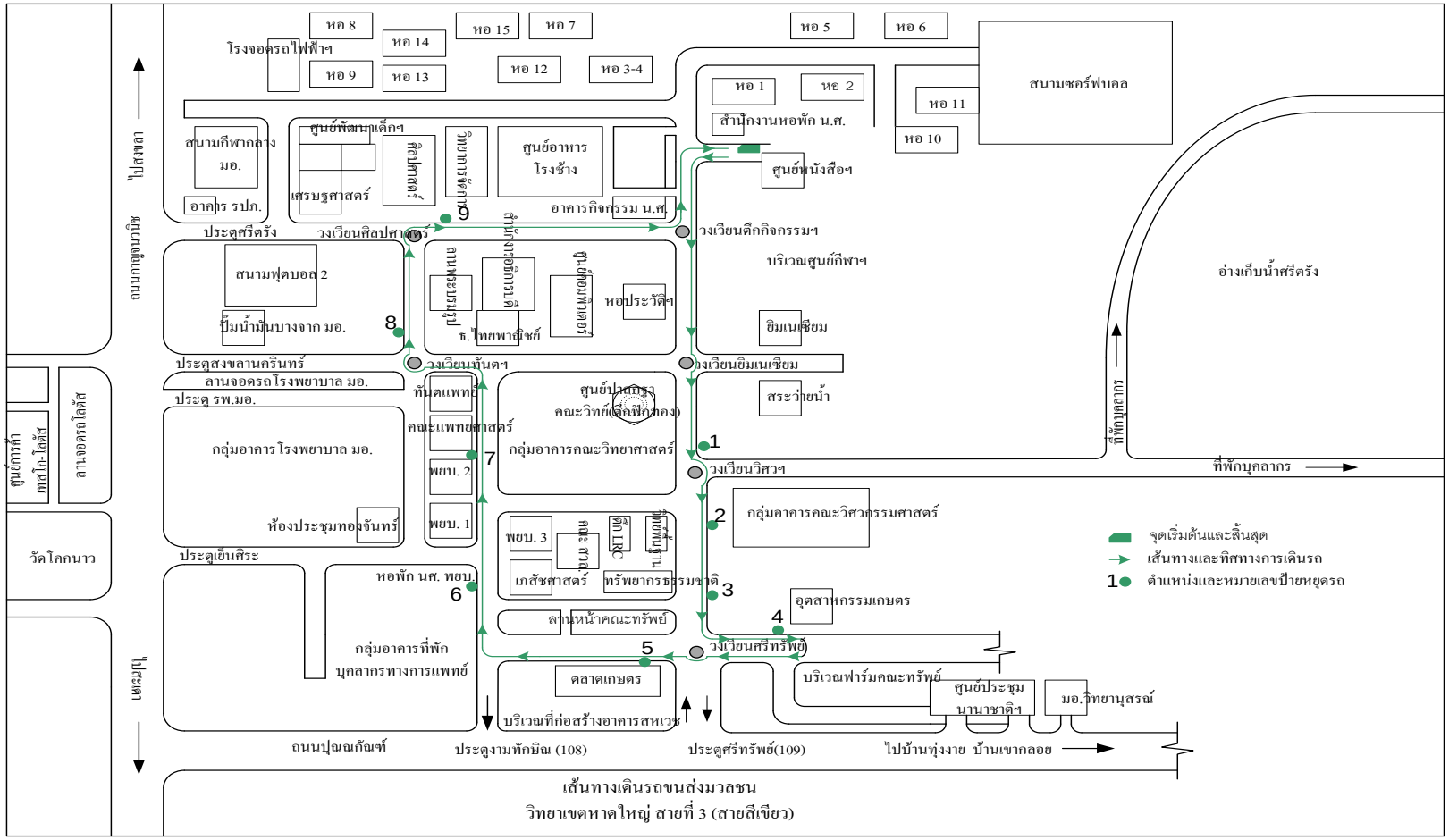
ภาพประกอบ 3.2 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 1

(ที่มา: ยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.2557)



ภาพประกอบ 3.3 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 2

(ที่มา: ยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.2557)



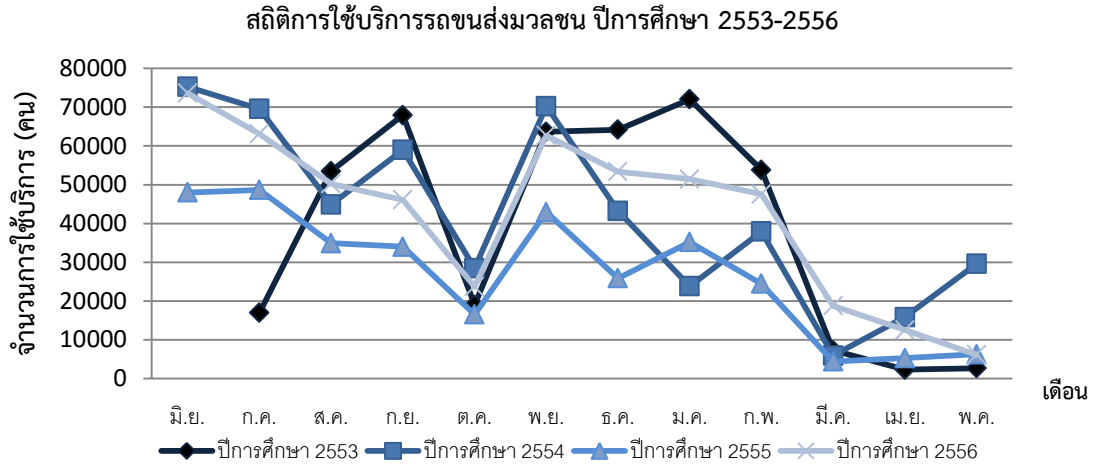
ภาพประกอบ 3.4 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 3

(ที่มา: ยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.2557)

จากการดำเนินงานโครงการบริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยฯ มีกลุ่มนักศึกษาหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯเป็นกลุ่มผู้ใช้บริการกลุ่มหลัก สถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในปีการศึกษาแรกของการดำเนินงานจนถึงปีการศึกษาปัจจุบัน (2553-2556) แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงแนวโน้มสถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชนได้ดังภาพประกอบ 3.5

ตารางที่ 3.1 สถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	**จำนวนผู้การใช้บริการ (คน)**			
	ปีการศึกษา 2553	**ปีการศึกษา 2554**	**ปีการศึกษา 2555**	**ปีการศึกษา 2556**
มิถุนายน	-	75,269	48,010	73,604
กรกฎาคม	17,009	69,559	48,661	63,117
สิงหาคม	53,484	44,909	34,919	50,217
กันยายน	67,936	58,988	34,022	46,092
ตุลาคม	18,982	28,493	16,561	23,692
พฤศจิกายน	63,667	70,243	42,932	62,697
ธันวาคม	64,204	43,253	25,883	53,353
มกราคม	72,025	23,799	35,197	51,427
กุมภาพันธ์	53,840	37,918	24,468	47,570
มีนาคม	7,246	5,955	4,421	18,778
เมษายน	2,298	15,850	5,287	12,549
พฤษภาคม	2,679	29,596	6,247	6,126
รวมทั้งสิ้น	423,370	503,832	326,608	509,222



ภาพประกอบ 3.5 แนวโน้มสถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชน ปีการศึกษา 2553-2556

จากภาพประกอบ 3.5 แสดงให้เห็นถึงจำนวนการใช้บริการขนส่งมวลชนซึ่งมีแนวโน้มแปรผันตามช่วงเวลาในแต่ละเดือน ในช่วงเดือนมิถุนายนของทุกปีจะมีจำนวนการใช้บริการสูงสุดเนื่องจากอยู่ในช่วงเปิดภาคเรียนที่1 และมีแนวโน้มลดลงในเดือนถัดไปจนถึงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงปิดภาคเรียนที่ 1 ซึ่งสมมติฐานของจำนวนผู้โดยสารที่ลดลงอาจมาจากการที่ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ซึ่งเป็นนักศึกษาส่วนใหญ่ในหอพักมีทางเลือกในการเดินทางมากขึ้น เช่น การนำรถจักรยานยนต์มาใช้ การใช้เส้นทางเดินเท้าที่สามารถลดระยะทางให้สั้นลง เป็นต้น รวมไปถึงความถี่ในการเข้าชั้นเรียนที่ลดลง ซึ่งเป็นลักษณะนี้ในทุกๆปี จากนั้นการให้บริการจะสูงขึ้นอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากอยู่ในช่วงเปิดภาคเรียนที่ 2 ซึ่งมีความถี่ในการเข้าชั้นเรียนสูง และมีจำนวนลดลงจนถึงเดือนมีนาคมเนื่องจากเป็นช่วงปิดภาคเรียน ส่วนในการเปิดเรียนภาคฤดูร้อนมีจำนวนการใช้บริการเพิ่มขึ้นจากเดือนมีนาคมเล็กน้อย ยกเว้นในปีการศึกษา 2554 การให้บริการสูงขึ้นเนื่องจากรถขนส่งมวลชนมีการให้บริการงานกีฬามหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทยครั้งที่ 39 ที่จัดขึ้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จากข้อมูลสถิติการใช้บริการในปีการศึกษา 2553 ซึ่งเป็นปีเริ่มต้นของการให้บริการ มีผู้ใช้บริการรวม 423,270 ครั้ง และเพิ่มขึ้นในปีการศึกษาถัดมา (2554) มีจำนวนการใช้บริการมากขึ้นถึง 503,832 ครั้ง จนกระทั่งถึงปีการศึกษา 2555 จำนวนการใช้บริการลดลงจากปีการศึกษาที่ผ่านมาเหลือเพียง 326,608 ครั้ง หรือลดลง 35.18% และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในปีการศึกษา 2556 ซึ่งมีผู้ใช้บริการสูงสุดจากการดำเนินงานที่ผ่านมาอยู่ที่ 509,222 ครั้ง

3.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการในปัจจุบัน

วิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานในการให้บริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยการวิเคราะห์เอกสาร ซึ่งใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ ที่รวบรวมจาก กลุ่มงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้จะไม่พิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุนของการก่อตั้งโครงการ โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการได้ดังนี้

3.2.1 แหล่งที่มาของเงินทุนสนับสนุน

โครงการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลาครินทร์เป็นโครงการที่ไม่เรียกเก็บค่าบริการจากผู้โดยสารโดยตรง แต่มีการเรียกเก็บเงินสนับสนุนจากคณะและหน่วยงานต่างๆภายในมหาวิทยาลัยฯ โดยในช่วงแรกของการให้บริการ เริ่มต้นในปีการศึกษา 2553 ถึงปีการศึกษา 2554 เรียกเก็บเงินสนับสนุนโครงการขนส่งมวลชนเป็นจำนวน 60% ของจำนวนบุคลากรของคณะและหน่วยงาน เป็นจำนวน 400 บาทต่อคน และในปีการศึกษา 2555 ถึงปัจจุบัน หน่วยงานผู้รับผิดชอบได้เรียกเก็บเงินสนับสนุนจากนักศึกษา ซึ่งรวมไว้ในส่วนของค่าธรรมเนียมการศึกษา เป็นจำนวน 400 บาทต่อคน

3.2.2 ต้นทุนการให้บริการโครงการขนส่งมวลชน

ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการขนส่งมวลชนโดยสรุป ในปีการศึกษา 2553 ถึงปีการศึกษา 2556 แสดงได้ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นต้นทุนรวมจากการดำเนินงานที่ผ่านมาในแต่ละปี ประกอบด้วยต้นทุนค่าพลังงาน ค่าซ่อมบำรุง ค่าตอบแทนพนักงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ

ตารางที่ 3.2 ต้นทุนการให้บริการระบบขนส่งมวลชน ปีการศึกษา 2553-2556

รายการต้นทุนการให้บริการ		**ต้นทุนการดำเนินงาน (บาท)**			
		2553	**2554**	**2555**	**2556**
ค่าพลังงาน	ค่าไฟฟ้า	26,731.25	48,357.25	87,062.80	172,246.39
	ค่าเชื้อเพลิง	185,216.41	234,435.00	64,897.18	104,761.79
ค่าซ่อมบำรุง	รถไฟฟ้า	20,700.00	491,912.00	751,271.40	121,040.40
	รถยนต์ดีเซล	4,545.00	47,512.00	-	-
ค่าตอบแทนพนักงาน		683,532.00	903,386.00	968,491.00	1,153,704.28
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ		-	46,377.00	50,877.66	34,350.00
รวมค่าใช้จ่าย		920,724.66	1,771,979.25	1,922,600.04	1,586,102.86

(ที่มา: ยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.2557)

เมื่อพิจารณาต้นทุนการดำเนินการที่เกิดขึ้นจริงในการให้บริการขนส่งมวลชนนั้น สามารถนำมาจำแนกต้นทุนการให้บริการได้เป็น ต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน ซึ่งพิจารณาจากข้อมูลของหน่วยงานยานยนต์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 ต้นทุนคงที่

1) ต้นทุนด้านแรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ต้นทุนคงที่ด้านการบริหาร ได้แก่ ค่าตอบแทนผู้จัดการ และต้นทุนคงที่ด้านการขนส่ง ได้แก่ ค่าจ้างพนักงานขับรถ และค่าล่วงเวลา โดยอัตราค่าตอบแทนแสดงดังตารางที่ 3.3 สำหรับจำนวนการจ้างพนักงานขับรถนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามจำนวนรถไฟฟ้าที่ได้มีการจัดซื้ออย่างต่อเนื่อง โดยในปีเริ่มต้นมีพนักงานขับรถ 8 คน และเพิ่มเป็น 12 คน ในปีการศึกษา 2556 ซึ่งต้นทุนการจ้างบุคลากรระหว่างปีการศึกษา 2553 ถึง 2556 แสดงดังตารางที่ 3.4 ซึ่งค่าที่ไม่แน่นอนนั้นมาจากการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนพนักงาน ค่าล่วงเวลา และเบี้ยสมทบค่าประกันสังคม จึงทำให้จำนวนค่าใช้จ่ายมีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละเดือน ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนพนักงานขับรถเท่ากัน

ตารางที่ 3.3 อัตราค่าตอบแทนด้านแรงงาน โครงการขนส่งมวลชน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รายการ	**อัตราค่าจ้าง**	**หน่วย**
ค่าตอบแทนผู้จัดการ	7,000	บาท/คน/เดือน
ค่าจ้างพนักงานขับรถ	7,500	บาท/คน/เดือน
ค่าล่วงเวลา		
-วันทำงานปกติ (จ่ายไม่เกิน 200 บาท/วัน/คน)	50	บาท/คน/ชั่วโมง
-วันหยุดราชการ (จ่ายไม่เกิน 420 บาท/วัน/คน)	60	บาท/คน/ชั่วโมง

(ที่มา: ยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2557)

ตารางที่ 3.4 ต้นทุนค่าจ้างบุคลากร ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	ต้นทุนค่าจ้างบุคลากรจำแนกตามปีการศึกษา (บาท)			
	2553	2554	2555	2556
มิถุนายน	-	55,833	65,405	101,558
กรกฎาคม	28,532	62,122	69,948	92,500
สิงหาคม	57,250	62,122	60,638	92,500
กันยายน	57,250	61,765	54,600	92,500
ตุลาคม	57,250	62,125	89,600	92,500
พฤศจิกายน	57,250	62,125	76,900	85,500
ธันวาคม	57,250	62,125	76,900	69,100
มกราคม	57,250	62,125	69,900	69,625
กุมภาพันธ์	57,250	72,794	83,900	69,625
มีนาคม	57,250	82,000	76,900	96,046
เมษายน	57,250	84,250	76,900	101,125
พฤษภาคม	57,250	84,000	76,900	101,125
รวม	601,032	813,386	878,491	1,063,704

2) ต้นทุนการบำรุงรักษา สามารถจำแนกเป็นต้นทุนการบำรุงรักษารถไฟฟ้า และรถยนต์ดีเซล ซึ่งรายละเอียดต้นทุนที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 3.5 โดยต้นทุนการบำรุงรักษารถยนต์ดีเซลในปีการศึกษา 2555 และ 2556 ไม่ปรากฏข้อมูล ดังนั้นจึงไม่นำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณ และต้นทุนการบำรุงรักษาต่อปี แสดงดังตารางที่ 3.6 โดยทั่วไปนั้นต้นทุนการบำรุงรักษาส่วนใหญ่จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มต้นทุนแปรผัน แต่ในงานวิจัยนี้ ต้นทุนการบำรุงรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การบำรุงรักษารถไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ตามอายุการใช้งานของรถเป็นหลัก ทุกๆสองปีโดยประมาณ ซึ่งพิจารณาร่วมกับระยะทางการใช้งานของรถ โดยจะต้องได้รับการตรวจสภาพจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานแบตเตอรี่ที่คงเหลืออยู่ ก่อนทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.5 ต้นทุนการบำรุงรักษา ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	ต้นทุนการบำรุงรักษา (บาท)							
	รถไฟฟ้า				รถยนต์ดีเซล			
	2553	2554	2555	2556	2553	2554	2555	2556
มิถุนายน	-	5,000.00	-	48,502.00	-	27,300.00	N/A	N/A
กรกฎาคม	1,000.00	476,463.00	-	4,650.00	2,205.00	150.00	N/A	N/A
สิงหาคม	1,000.00	-	1,926.00	31,809.00	-	2,686.00	N/A	N/A
กันยายน	1,000.00	6,840.00	278.00	2,054.00	1,170.00	680.00	N/A	N/A
ตุลาคม	1,000.00	-	-	-	-	5,490.00	N/A	N/A
พฤศจิกายน	1,000.00	-	8,174.40	4,108.40	-	-	N/A	N/A
ธันวาคม	1,000.00	-	214.00	28,691.00	-	830.00	N/A	N/A
มกราคม	1,000.00	699.00	174,664.00	380.00	-	2,376.00	N/A	N/A
กุมภาพันธ์	1,000.00	2,910.00	8,090.00	364.00	-	-	N/A	N/A
มีนาคม	1,000.00	-	-	-	1,170.00	-	N/A	N/A
เมษายน	10,700.00	-	-	482.00	-	-	N/A	N/A
พฤษภาคม	1,000.00	-	557,925.00	-	-	8,000.00	N/A	N/A
รวม	20,700.00	491,912.00	751,271.40	121,040.00	24,677.00	21,048.00	N/A	N/A

ตารางที่ 3.6 ต้นทุนการบำรุงรักษาต่อปี

รายการ	รถไฟฟ้า	รถยนต์ดีเซล	หน่วย
ต้นทุนการบำรุงรักษาเฉลี่ย	346,231.00	22,862.50	บาท/ปี

3) ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ ซึ่งต้นทุนในส่วนนี้จะเป็นค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกิดขึ้นในการให้บริการขนส่งมวลชน และไม่สามารถจำแนกไว้ในต้นทุนคงที่ประเภทดังกล่าวที่ผ่านมาได้ อาทิ ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ ให้กับรถและโรงจอดรถของโครงการ

ค่าติดตั้งป้ายหยุดรถ ค่าอุปกรณ์ทำความสะอาด และชุดเครื่องแบบพนักงานขับรถ เป็นต้น รายละเอียดค่าใช้จ่ายอื่นๆแสดงดังตารางที่ 3.7 โดยไม่ปรากฏข้อมูลในปีการศึกษา 2553 และต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆแสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.7 ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	**ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ (บาท)**			
	2553	**2554**	**2555**	**2556**
มิถุนายน	N/A	6,900.00	-	1,800.00
กรกฎาคม	N/A	3,496.00	8,616.00	-
สิงหาคม	N/A	12,000.00	1,410.00	-
กันยายน	N/A	5,200.00	2,330.46	-
ตุลาคม	N/A	8,881.00		960.00
พฤศจิกายน	N/A	-	36,210.00	-
ธันวาคม	N/A	-	2,311.20	-
มกราคม	N/A	7,150.00	-	24,180.00
กุมภาพันธ์	N/A	2,750.00	-	1,300.00
มีนาคม	N/A	-		-
เมษายน	N/A	-		6,110.00
พฤษภาคม	N/A	-		-
รวม	N/A	46,377.00	50,877.66	34,350

ตารางที่ 3.8 ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ

รายการ	**จำนวน**	**หน่วย**
ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆเฉลี่ย	43,868.22	บาท/ปี

3.2.2.2 ต้นทุนแปรผัน เป็นต้นทุนที่ผันแปรไปกับการเปลี่ยนแปลงการเดินรถและระยะทางการเดินรถ โดยที่การวิเคราะห์ต้นทุนประเภทนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการคำนวณเพื่อ

หาค่าเฉลี่ยของต้นทุนต่อระยะการเดินทาง 1 กิโลเมตร ทั้งนี้เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์ต้นทุนที่จะเกิดขึ้นเมื่อทำการปรับเปลี่ยนการให้บริการในแต่ละสถานการณ์ทางเลือก ซึ่งได้แก่ ต้นทุนด้านพลังงาน วิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงในการให้บริการขนส่งมวลชน ประกอบด้วย ต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า จากการใช้งานรถขนส่งมวลชนประเภทใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน และ ต้นทุนด้านเชื้อเพลิง จากการใช้งานรถขนส่งมวลชนประเภทใช้น้ำมันดีเซลในการขับเคลื่อน ค่าใช้จ่ายต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดขึ้น ตั้งแต่ปีการศึกษา 2553 ถึงปีการศึกษา 2556 ของรถไฟฟ้า และรถยนต์ดีเซล แสดงดังตารางที่ 3.9 โดยโครงการดังกล่าวเริ่มต้นดำเนินงานในเดือนกรกฎาคมปี พ.ศ.2553 ซึ่งจากตารางพบว่าในสองเดือนแรกยังไม่ปรากฏค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ เนื่องจากการก่อสร้างโรงจอดรถยังไม่แล้วเสร็จ จึงใช้ไฟฟ้ารวมกับอาคารจอดรถบัสรวม สำหรับการคำนวณต้นทุนต่อกิโลเมตรมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลระยะทางในการให้บริการ ซึ่งระยะทางรวมที่ให้บริการโดยรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซลแสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.9 ต้นทุนด้านพลังงานของรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท)							
	รถไฟฟ้า				รถยนต์ดีเซล			
	2553	2554	2555	2556	2553	2554	2555	2556
มิถุนายน	-	2,908.75	6,158.75	10,136.75	-	2,908.75	6,158.75	10,136.75
กรกฎาคม	N/A	3,055.00	6,305.00	14,966.25	11,508.00	3,055.00	6,305.00	14,966.25
สิงหาคม	N/A	3,006.25	6,256.25	15,999.75	16,134.89	3,006.25	6,256.25	15,999.75
กันยายน	4,810.00	4,208.75	5,694.00	12,587.25	31,277.72	4,208.75	5,694.00	12,587.25
ตุลาคม	3,055.00	3,558.75	4,364.80	13,391.00	14,650.00	3,558.75	4,364.80	13,391.00
พฤศจิกายน	3,770.00	4,741.75	5,625.60	19,057.89	23,679.80	4,741.75	5,625.60	19,057.89
ธันวาคม	2,860.00	4,403.75	10,268.80	13,494.44	24,595.00	4,403.75	10,268.80	13,494.44
มกราคม	3,363.75	4,761.75	8,147.20	17,783.89	25,200.00	4,761.75	8,147.20	17,783.89
กุมภาพันธ์	2,518.75	4,605.25	9,542.40	17,414.44	13,780.00	4,605.25	9,542.40	17,414.44
มีนาคม	2,128.75	4,085.25	7,569.25	12,570.28	14,441.00	4,085.25	7,569.25	12,570.28
เมษายน	2,112.50	3,649.75	8,892.00	13,971.39	4,100.00	3,649.75	8,892.00	13,971.39
พฤษภาคม	2,112.50	5,372.25	8,238.75	10,873.06	5,850.00	5,372.25	8,238.75	10,873.06
รวม	26,731.25	48,357.25	87,062.80	172,246.39	185,216.41	48,357.25	87,062.80	172,246.39

ตารางที่ 3.10 ระยะทางรวมที่ให้บริการโดยรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	ระยะที่ใช้ในการเดินทาง (กิโลเมตร)							
	รถไฟฟ้า				รถยนต์ดีเซล			
	2553	2554	2555	2556	2553	2554	2555	2556
มิถุนายน	-	2,565	3,287	5,189	-	2,465	1,210	1,423
กรกฎาคม	1,766	2,306	3,963	4,540	1,367	2,567	2,206	1,588
สิงหาคม	3,279	1,876	2,942	4,281	3,687	1,510	1,208	928
กันยายน	3,743	2,910	2,955	4,224	4,032	1,886	1,036	1,094
ตุลาคม	2,109	2,049	2,540	3,440	1,744	863	210	1,067
พฤศจิกายน	3,061	3,520	3,680	4,900	3,414	1,586	863	1,737
ธันวาคม	3,212	2,717	2,907	3,470	3,306	1,250	554	1,506
มกราคม	2,663	2,063	3,523	4,573	3,163	471	800	1,893
กุมภาพันธ์	2,931	3,045	3,410	4,478	1,922	1,397	376	1,786
มีนาคม	841	1,559	1,967	4,375	1,225	475	108	1,198
เมษายน	1,077	2,108	1,884	3,869	646	2,108	-	1,200
พฤษภาคม	1,104	1,958	2,273	3,011	171	4,470	63	1,565
รวม	25,786	28,676	35,331	50,350	24,677	21,048	8,634	16,985

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซลในตารางที่ 3.9 และระยะทางรวมที่ให้บริการโดยรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ดังตารางที่ 3.10 สามารถนำมาคำนวณต้นทุนด้านพลังงานต่อกิโลเมตรของการใช้พลังงานไฟฟ้า และการใช้เชื้อเพลิงได้ โดยพิจารณาเฉพาะเดือนที่ปรากฏข้อมูลดังสมการที่ (2) พิจารณาต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล แสดงได้ดังตารางที่ 3.11

$$\text{ต้นทุนด้านพลังงานเฉลี่ยต่อกิโลเมตร} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละเดือน}}{\text{ระยะการเดินทางในแต่ละเดือน}} \quad \ldots (2)$$

ตารางที่ 3.11 ต้นทุนแปรผันของการให้บริการโครงการขนส่งมวลชน

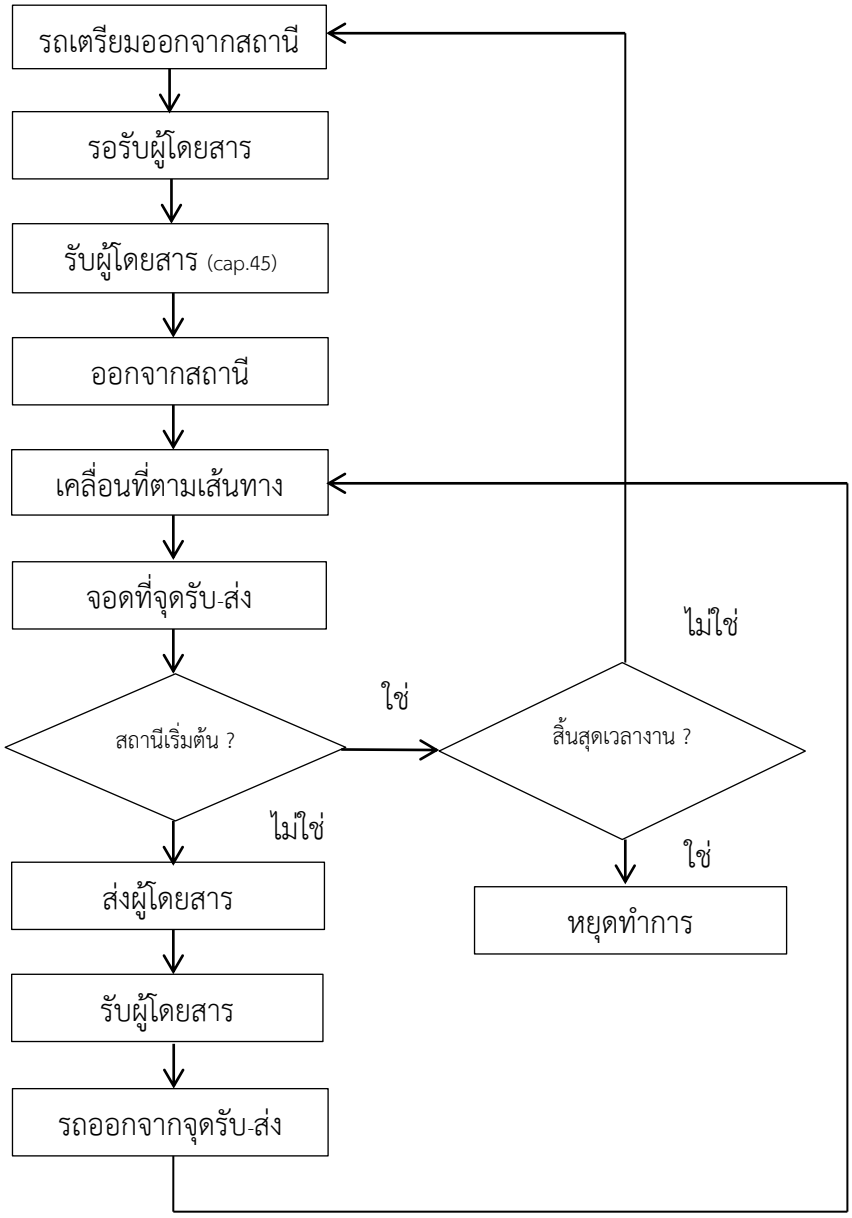
รายการ	รถไฟฟ้า	รถยนต์ดีเซล	หน่วย
ต้นทุนเชื้อเพลิง	2.39	9.22	บาท/กิโลเมตร

3.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

ทำการพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วย ProModel®2011 สำหรับจำลองการให้บริการขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งแสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 กรอบแนวคิดสำหรับการสร้างตัวแบบ

ออกแบบกรอบแนวคิดของการดำเนินงาน โดยการสร้างแผนภาพการไหล (Flow chart) ของระบบขนส่งมวลชน ดังภาพประกอบ 3.6 เพื่อนำไปสู่การสร้างตัวแบบจำลองตามลำดับวิธีการคิด โดยเริ่มต้นจาก การเตรียมออกจากสถานีของรถในแต่สาย การรับผู้โดยสาร การออกจากสถานี เพื่อเคลื่อนที่ไปยังจุดจอดรถต่างๆ รวมถึงส่งและรับผู้โดยสารในแต่ละจุดจอด

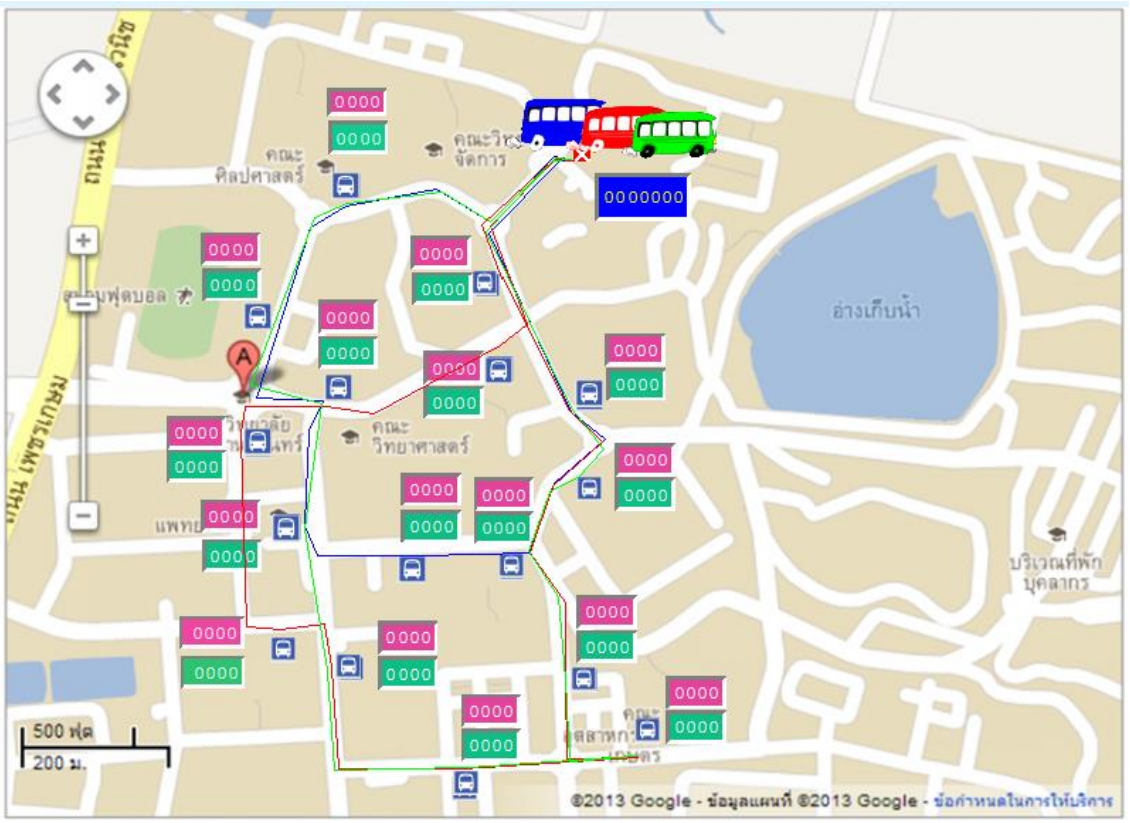


ภาพประกอบ 3.6 แผนภาพการไหล (Flow chart) ของการให้บริการขนส่งมวลชน

3.3.2 การพัฒนาตัวแบบจำลอง

เมื่อศึกษากระบวนการให้บริการขนส่งมวลชน ทำให้ทราบถึงลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน ซึ่งมีรายละเอียดที่ซับซ้อน ดังนั้นการสร้างตัวแบบจำลองจะสามารถช่วยในการตัดสินใจนำไปสู่การพัฒนาและการปรับปรุงการให้บริการได้ การสร้างแบบจำลองจะใช้กรอบแนวคิดสำหรับสร้างตัวแบบเพื่อเลียนแบบระบบจริง โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะสามารถเป็นตัวแทนของระบบได้

ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 3.7 สำหรับวิธีการสร้างแบบจำลองแสดงไว้ในภาคผนวก ก แบบจำลองระบบนี้จะพิจารณาข้อมูลนำเข้าในช่วงการให้บริการ 7:30-17:30 น.



ภาพประกอบ 3.7 แบบจำลองระบบของการให้บริการขนส่งมวลชน

3.3.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้าของระบบการให้บริการรถไฟฟ้า

3.3.3.1 กำหนดตัวแปรที่สำคัญ โดยตัวแปรที่จำเป็นในการสร้างตัวแบบเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของระบบ มีดังนี้

1) จุดจอดรถ
2) เส้นทางการเดินรถ
3) ระยะทางการเดินรถ
4) จำนวนผู้โดยสารต่อวัน
5) อัตราส่วนผู้โดยสารแต่ละเส้นทางต่อวัน
6) จำนวนผู้โดยสารขึ้นและลงแต่ละป้ายเฉลี่ยต่อวัน
7) อัตราส่วนผู้โดยสารขึ้นและลงแต่ละป้ายต่อวัน
8) การแจกแจงการเข้ามาของผู้โดยสารทุกๆ 10 นาที ณ สถานี

9) การแจกแจงช่วงเวลาการออกรถแต่ละคัน

10) เวลาเฉลี่ยในการเดินทาง

11) ความเร็วเฉลี่ยของรถ

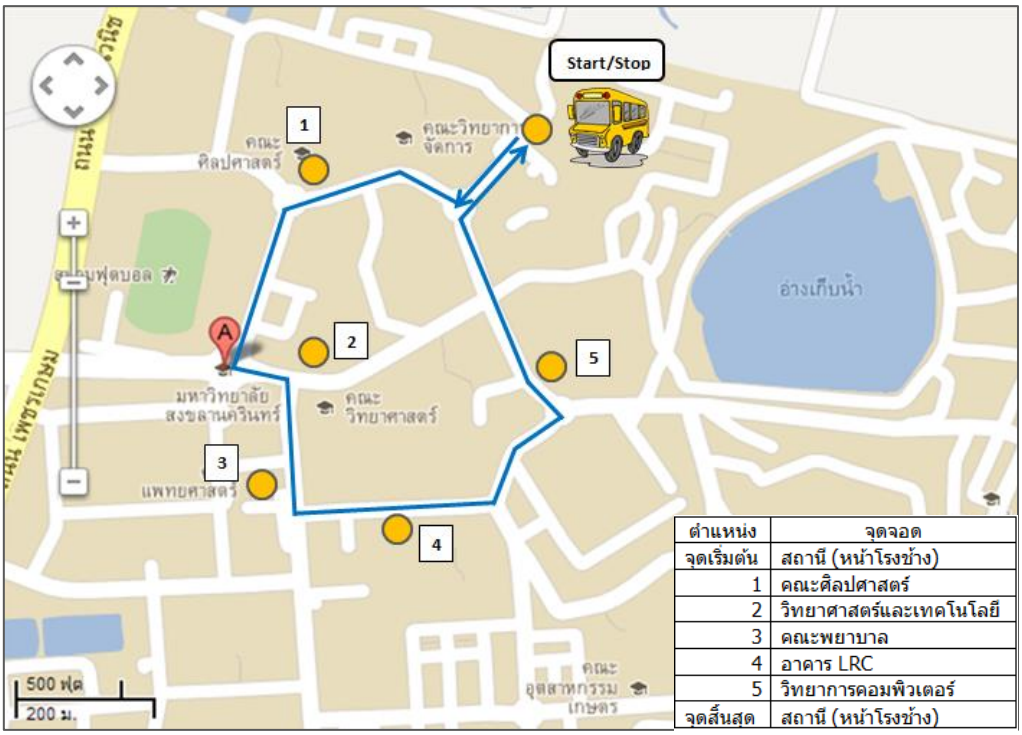
เมื่อได้กำหนดตัวแปรสำคัญต่างๆแล้ว จะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ตารางบันทึกข้อมูล แสดงดังภาคผนวก ข

3.3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้และการเตรียมข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลนำเข้าถือเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การจำลองแบบเพื่อหาคำตอบที่ต้องการได้ โดยข้อมูลที่เก็บมาได้นั้น ประกอบด้วยข้อมูลที่สามารถนำเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองได้ทันที เช่น ระยะทาง อัตราส่วนผู้โดยสารแต่ละสาย เป็นต้น และข้อมูลที่ต้องนำมาหารูปแบบการแจกแจงของข้อมูลและการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงที่หาได้ เช่น จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร เวลาระหว่างการออกรถแต่ละคัน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ไม่สามารถใช้งานได้ทันทีจะต้องนำมาหารูปแบบการแจกแจงและการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ ProModel® ที่เรียกว่า Stat::Fit โดยเลือกการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยวิธีไคสแควร์ (Chi-Square test) วิธีคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov test) และวิธีแอนเดอร์สัน-ดาร์ลิ่ง (Anderson Darling test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

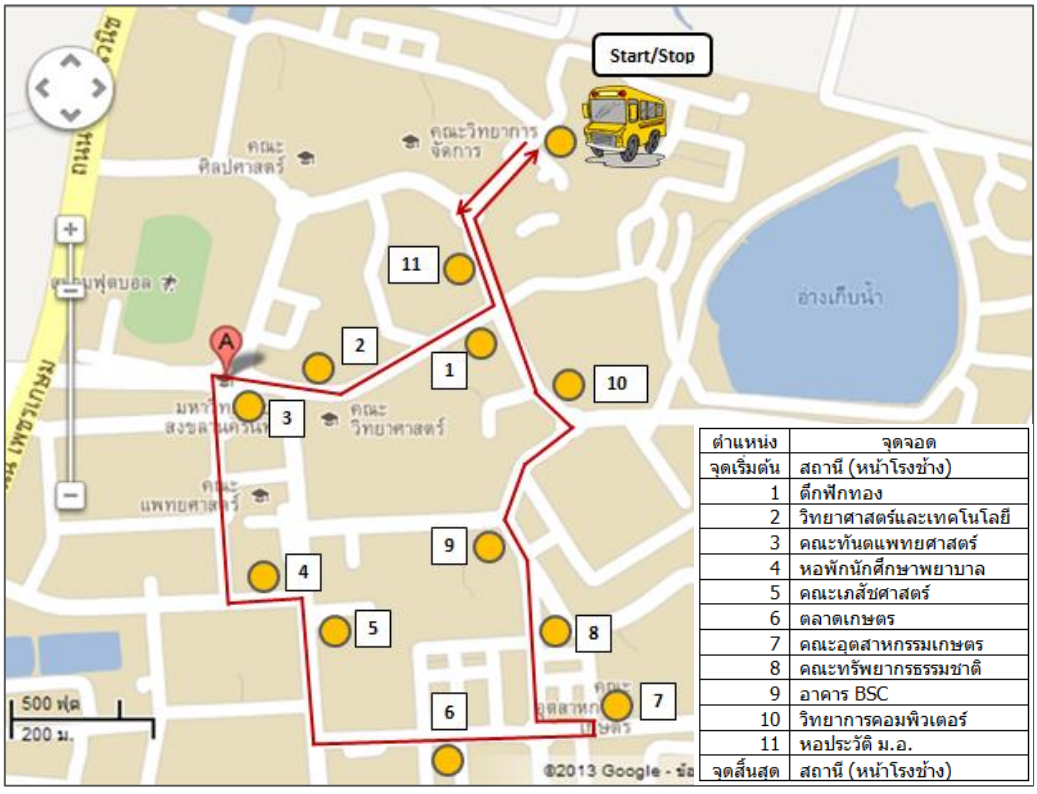
1) จุดจอดรถ เส้นทาง และระยะทางการเดินรถ

เส้นทางการให้บริการรถขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประกอบด้วย 3 เส้นทาง ซึ่งให้บริการครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของมหาวิทยาลัยฯ โดยเส้นทางเดินรถสายที่ 1 2 และ 3 แสดงภาพประกอบ 3.8-3.10 ตามลำดับ ซึ่งระยะห่างระหว่างแต่ละจุดจอดและระยะทางรวมของแต่ละเส้นทางแสดงดังตารางที่ 3.12



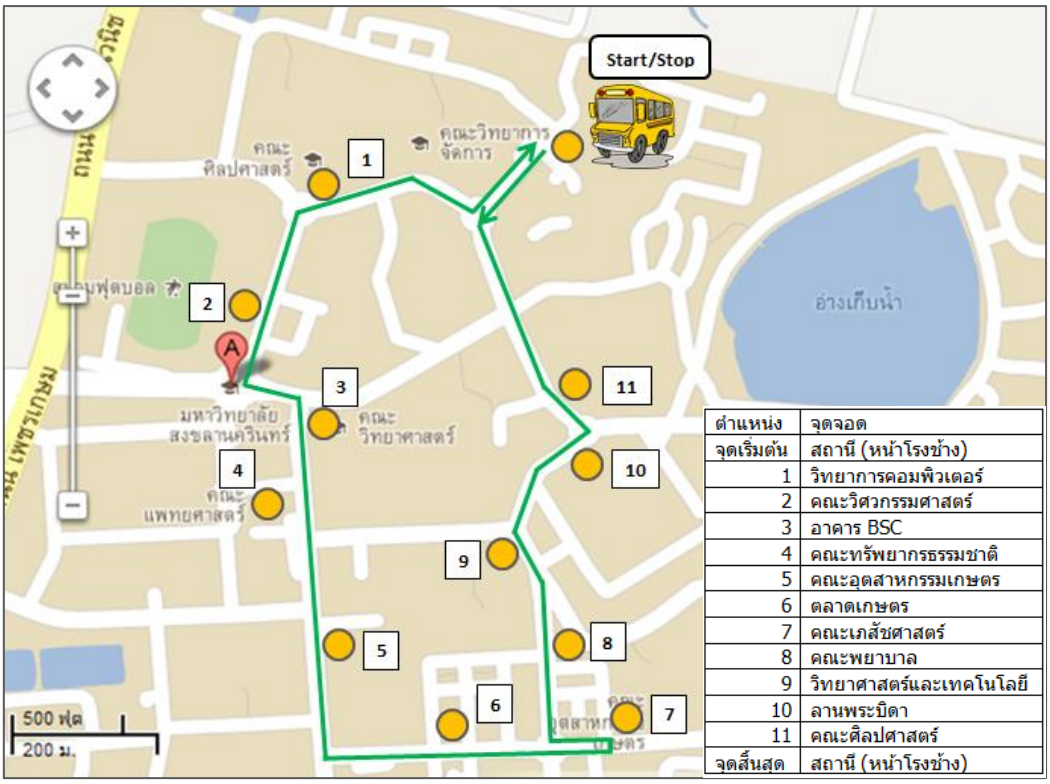
ตำแหน่ง	จุดจอด
จุดเริ่มต้น	สถานี (หน้าโรงช้าง)
1	คณะศิลปศาสตร์
2	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3	คณะพยาบาล
4	อาคาร LRC
5	วิทยาการคอมพิวเตอร์
จุดสิ้นสุด	สถานี (หน้าโรงช้าง)

ภาพประกอบ 3.8 เส้นทางเดินรถสายที่ 1



ตำแหน่ง	จุดจอด
จุดเริ่มต้น	สถานี (หน้าโรงช้าง)
1	ตึกฟักทอง
2	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3	คณะทันตแพทยศาสตร์
4	หอพักนักศึกษาพยาบาล
5	คณะเภสัชศาสตร์
6	ตลาดเกษตร
7	คณะอุตสาหกรรมเกษตร
8	คณะทรัพยากรธรรมชาติ
9	อาคาร BSC
10	วิทยาการคอมพิวเตอร์
11	หอประวัติ ม.อ.
จุดสิ้นสุด	สถานี (หน้าโรงช้าง)

ภาพประกอบ 3.9 เส้นทางเดินรถสายที่ 2



ภาพประกอบ 3.10 เส้นทางเดินรถสายที่ 3

ตารางที่ 3.12 ระยะห่างของจุดจอดรถและระยะทางรวมแต่ละเส้นทาง

สายที่	จุดจอดเริ่มต้น	จุดจอดสิ้นสุด	ระยะทาง (เมตร)
1	สถานี (หน้าโรงช้าง)	คณะศิลปศาสตร์	350
	คณะศิลปศาสตร์	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	350
	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	คณะพยาบาล	190
	คณะพยาบาล	อาคาร LRC	220
	อาคาร LRC	วิทยาการคอมพิวเตอร์	280
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	สถานี (หน้าโรงช้าง)	450
	รวมระยะทาง (เมตร)		1,840

ตารางที่ 3.12 ระยะห่างของจุดจอดรถและระยะทางรวมแต่ละเส้นทาง (ต่อ)

สายที่	จุดจอดเริ่มต้น	จุดจอดสิ้นสุด	ระยะทาง (เมตร)
2	สถานี (หน้าโรงช้าง)	ตึกฟักทอง	300
	ตึกฟักทอง	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	270
	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	คณะทันตแพทยศาสตร์	130
	คณะทันตแพทยศาสตร์	หอพักนักศึกษาพยาบาล	300
	หอพักนักศึกษาพยาบาล	คณะเภสัชศาสตร์	90
	คณะเภสัชศาสตร์	ตลาดเกษตร	350
	ตลาดเกษตร	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	160
	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	130
	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	อาคาร BSC	200
	อาคาร BSC	วิทยาการคอมพิวเตอร์	230
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	หอประวัติ ม.อ.	230
	หอประวัติ ม.อ.	สถานี (หน้าโรงช้าง)	220
	รวมระยะทาง (เมตร)		2,610
3	สถานี (หน้าโรงช้าง)	วิทยาการคอมพิวเตอร์	450
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	80
	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคาร BSC	150
	อาคาร BSC	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	200
	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	130
	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	ตลาดเกษตร	190
	ตลาดเกษตร	คณะเภสัชศาสตร์	350
	คณะเภสัชศาสตร์	คณะพยาบาล	140
	คณะพยาบาล	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	190
	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	ลานพระบิดา	220
	ลานพระบิดา	คณะศิลปศาสตร์	170
	คณะศิลปศาสตร์	สถานี (หน้าโรงช้าง)	350
	รวมระยะทาง (เมตร)		2,590

2) จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารบริเวณสถานีเริ่มต้น

จำนวนผู้โดยสารต่อวันแยกพิจารณาวันและสาย ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการดำเนินงาน เพื่อกำหนดลักษณะการเข้าใช้บริการรถในแต่ละสาย สำหรับสายที่ 1 2 และ 3 เทียบกับจำนวนผู้โดยสารทั้งหมดของวันนั้นๆ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 จำนวนผู้โดยสารต่อวันและอัตราส่วนผู้โดยสารแต่ละสายต่อวัน

วัน	จำนวนผู้โดยสารต่อวัน (คน)				อัตราส่วนจำนวนผู้โดยสารต่อวัน		
	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	รวม	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3
จันทร์	1,161	780	916	2,857	0.41	0.27	0.32
อังคาร	1,111	834	522	2,467	0.45	0.34	0.21
พุธ	1,241	1,310	715	3,266	0.38	0.40	0.22
พฤหัสบดี	803	870	758	2,431	0.33	0.36	0.31
ศุกร์	1,097	1,030	497	2,624	0.42	0.39	0.19

จากการศึกษาพฤติกรรมการเข้ามาในเบื้องต้นพบว่า การเข้ามาของผู้โดยสารมีลักษณะของจำนวนการเข้ามา ซึ่งช่วงเช้าและช่วงเที่ยงจะเป็นช่วงที่มีผู้ใช้บริการสูงกว่าช่วงอื่นๆ จึงกำหนดให้เป็นช่วงชั่วโมงเร่งด่วน และช่วงเวลาอื่นที่เหลือเป็นช่วงเวลาปกติ ดังนั้นสามารถแยกพิจารณาในแต่ละช่วงเวลาต่างๆที่มีปริมาณการเข้ามาใกล้เคียงกันได้เป็น 4 ช่วงคือ ช่วงเร่งด่วน 1 (7:30-9:30 น.) ช่วงปกติ 1 (9:30-11:30 น.) ช่วงเร่งด่วน 2 (11:30-13:30 น.) ช่วงปกติ 2 (13:30-17:30 น.) จากนั้นบันทึกจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในแต่ละวันและแต่ละช่วงเวลาได้ดังตารางที่ 3.14 ซึ่งจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 3,668 คน

ตารางที่ 3.14 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในแต่ละวันทั้ง 4 ช่วงเวลา

วัน	จำนวนผู้โดยสารในแต่ละช่วงเวลา (คน)				รวม (คน)	ผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวัน (คน)
	ช่วงเร่งด่วน 1	ช่วงปกติ 1	ช่วงเร่งด่วน 2	ช่วงปกติ 2		
จันทร์	1,421	650	685	1,198	3,954	3,668
อังคาร	1,155	628	827	850	3,460	
พุธ	1,,415	636	655	1,404	4,110	
พฤหัสบดี	1,145	484	540	1,004	3,173	
ศุกร์	1,067	665	691	1,219	3,642	

จากนั้นทำการทดสอบทางสถิติเพื่อทดสอบว่า ลักษณะการเข้ามาของผู้โดยสารในแต่ละช่วงเวลาและในแต่ละวันแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-value ของปัจจัยด้านวันและด้านช่วงเวลามีค่าเป็น 0.081 และ 0.000 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.11 นั่นคือ สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยด้านวันไม่มีผลต่อจำนวนผู้โดยสาร แต่ปัจจัยด้านช่วงเวลามีผลกับจำนวนผู้โดยสารอย่างมีนัยสำคัญที่ α = 0.05 เมื่อพิจารณา R^2 และ $R^2(adj.)$ พบว่า ค่า R^2 มีค่ามากกว่า 80% และมีค่าใกล้เคียงกับค่า $R^2(adj.)$ ดังนั้นการทดลองนี้ได้รับการออกแบบที่ดี

Two-way ANOVA: Passenger versus Day, Time

Source	DF	SS	MS	F	P
Day	4	316989	79247	2.71	0.081
Time	3	5035719	1678573	57.38	0.000
Error	12	351066	29256		
Total	19	5703774			

S = 171.0 R-Sq = 93.85% R-Sq(adj) = 90.25%

ภาพประกอบ 3.11 การทดสอบ Two-way ANOVA ระหว่างจำนวนผู้โดยสารกับปัจจัยด้านวันและด้านช่วงเวลา

3) จำนวนและอัตราส่วนผู้โดยสารขึ้นและลงแต่ละป้ายเฉลี่ยต่อวัน

จากการเก็บข้อมูล จะทำให้ทราบจำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นลงเฉลี่ยแต่ละวัน ในแต่ละจุดจอดรถ ซึ่งจำนวนดังกล่าวสามารถแปลงเป็นอัตราส่วนจำนวนผู้โดยสารแต่ละจุดจอด ดังตารางที่ 3.15 เพื่อใช้สำหรับเป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ได้ โดยอัตราส่วนการขึ้นลงในแต่ละสายได้มาจาก จำนวนผู้โดยสารขึ้นหรือลง ในแต่ละจุดจอดเทียบกับจำนวนผู้โดยสารทั้งหมดในแต่ละสาย

ตารางที่ 3.15 จำนวนและอัตราส่วนผู้โดยสารขึ้นและลงแต่ละป้ายเฉลี่ยต่อวัน

สายที่	จุดจอด	จำนวนผู้โดยสารแต่ละจุดจอด (คน)		อัตราส่วนจำนวนผู้โดยสารแต่ละจุดจอด	
		ขึ้น	ลง	ขึ้น	ลง
1	สถานี (หน้าโรงช้าง)	1,083	425	0.7029	0.2757
	คณะศิลปศาสตร์	30	126	0.0193	0.0817
	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	50	340	0.0323	0.2210
	คณะพยาบาล	16	57	0.0104	0.0369
	อาคาร LRC	352	577	0.2285	0.3744
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	10	16	0.0065	0.0104
	รวม	1,541	1,541	1.0000	1.0000
2	สถานี (หน้าโรงช้าง)	968	398	0.7014	0.2884
	ตึกฟักทอง	8	23	0.0055	0.0168
	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	100	305	0.0728	0.2209
	คณะทันตแพทยศาสตร์	21	60	0.0154	0.0437
	หอพักนักศึกษาพยาบาล	15	17	0.0112	0.0120
	คณะเภสัชศาสตร์	10	58	0.0075	0.0422
	ตลาดเกษตร	7	13	0.0049	0.0094
	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	0	5	0.0000	0.0035
	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	2	36	0.0017	0.0260
	อาคาร BSC	233	453	0.1690	0.3285
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	16	10	0.0119	0.0071
	หอประวัติ ม.อ.	0	2	0.0003	0.0015
	รวม	1,380	1,380	1.0000	1.0000

ตารางที่ 3.15 จำนวนและอัตราส่วนผู้โดยสารขึ้นและลงแต่ละป้ายเฉลี่ยต่อวัน (ต่อ)

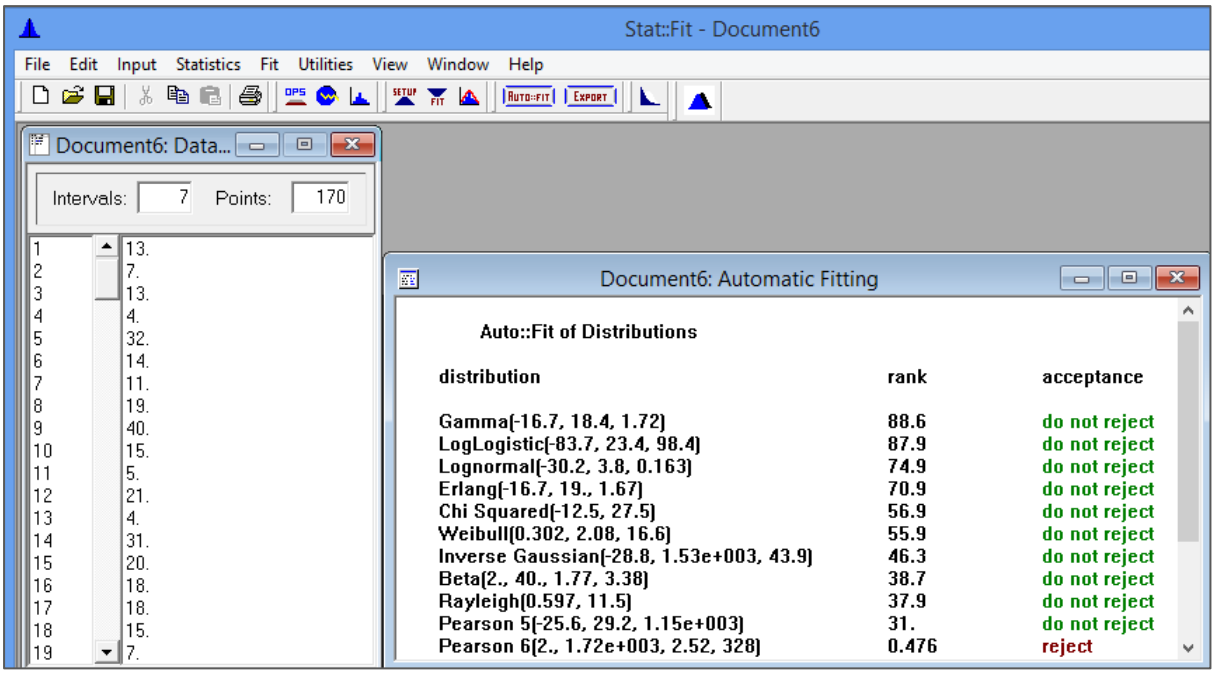
สายที่	จุดจอด	จำนวนผู้โดยสารแต่ละจุดจอด (คน)		อัตราส่วนจำนวนผู้โดยสารแต่ละจุดจอด	
		ขึ้น	ลง	ขึ้น	ลง
3	สถานี (หน้าโรงช้าง)	682	182	0.7589	0.2028
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	6	37	0.0071	0.0411
	คณะวิศวกรรมศาสตร์	2	32	0.0022	0.0351
	อาคาร BSC	131	409	0.1458	0.4542
	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	2	19	0.0020	0.0209
	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	1	2	0.0009	0.0027
	ตลาดเกษตร	3	7	0.0036	0.0073
	คณะเภสัชศาสตร์	5	12	0.0058	0.0131
	คณะพยาบาล	25	20	0.0278	0.0227
	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	33	135	0.0367	0.1501
	ลานพระบิดา	4	4	0.0049	0.0047
	คณะศิลปศาสตร์	5	41	0.0056	0.0454
	รวม	900	900	1.0000	1.0000

4) การแจกแจงการเข้ามาของผู้โดยสารทุกๆ 10 นาที ณ สถานี

การหาการแจกแจงของ ข้อมูลการเข้ามาของผู้โดยสารทุกๆ 10 นาที ณ สถานี จะพิจารณาโดยแยกตามช่วงเวลา เนื่องจากข้อมูลการเข้ามาทุกๆ10 นาทีของผู้โดยสารมีจำนวนที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาทั้ง 4 ช่วงเวลา จำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาทุกๆ 10 นาที แสดงได้ดังภาคผนวก ค การหาการแจกแจงของจะใช้ซอฟต์แวร์ Stat::Fit เพื่อคำนวณและหาการแจกแจงที่มีลักษณะที่เหมาะสมกับข้อมูลอย่างใกล้เคียงมากที่สุด จากข้อมูลที่เก็บทั้ง 3 สัปดาห์พบว่า ข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถหาการแจกแจงที่ใกล้เคียงได้ ไม่มีการยอมรับสมมติฐานว่าเป็นการแจกแจงใดๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การป้อนข้อมูลในโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการแจกแจงแบบกำหนดเอง (Empirical distribution)

5) การแจกแจงช่วงเวลาการออกรถแต่ละคัน

การหาการแจกแจงในการออกรถแต่ละคันนั้นจะแยกพิจารณาเป็น 3 สาย และ 4 ช่วงเวลา ซึ่งตัวอย่างการหาการแจกแจงที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้ ในช่วงเร่งด่วน 2 ของสายที่ 2 แสดงดังภาพประกอบ 3.12 สำหรับการพิจารณาในการเลือกการแจกแจงที่ซอฟต์แวร์ Stat::Fit ได้คำนวณและจัดลำดับนั้น จัดลำดับตาม P-value ในการทดสอบสมมติฐานว่าข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบใดๆ นอกจากนั้นยังพิจารณาได้จากความครอบคลุมของกราฟการแจกแจงว่าครอบคลุมพื้นที่กราฟของข้อมูลมากน้อยเพียงใด จากนั้นผู้วิจัยจะเลือกการแจกแจงที่มีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งการแจกแจงทั้งหมดที่เลือกใช้แสดงดังตารางที่ 3.16 โดยที่ค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นค่าการแจกแจงได้จากการซอฟต์แวร์ Stat::Fit นั้นจะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการจำลองแบบ โดยลักษณะการแจกแจงแต่ละประเภทจะมีการกำหนดค่าตัวแปรภายในที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 3.12 ตัวอย่างการหาการแจกแจงช่วงเวลาการออกรถ ในช่วงเร่งด่วน 2 ของสายที่ 2

ตารางที่ 3.16 การแจกแจงในการออกรถแต่ละคัน

สายที่	ช่วงเวลา	การแจกแจง	เวลาออกรถเฉลี่ย (นาที)	ค่าพารามิเตอร์ (นาที)
1	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	Lognormal	6.67	L(2.01, 0.668)
	ช่วงเวลาปกติ 1	Gamma	18.83	G(40.4, 1.85)
	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	Gamma	18.11	G(3.36, 5.57)
	ช่วงเวลาปกติ 2	Triangular	18.81	T(7,29,20.4)
2	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	Gamma	8.24	G(2.09, 3.6)
	ช่วงเวลาปกติ 1	Gamma	16.42	G(3., 4.37)
	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	Gamma	15.05	G(18.4, 1.72)
	ช่วงเวลาปกติ 2	Beta	15.44	B(2,45,1.70,3.84)
3	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	Gamma	9.22	G(2.39, 11.1)
	ช่วงเวลาปกติ 1	Lognormal	34.87	L(4,3.34,0.56)
	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	Lognormal	25.71	L(6,2.81,0.62)
	ช่วงเวลาปกติ 2	Lognormal	29.18	L(12,2.60,0.70)

6) เวลาที่ใช้ในการเดินรถ และความเร็วเฉลี่ยของรถ

นำข้อมูลที่เก็บได้มาคำนวณหาการแจกแจงของเวลาที่รถวิ่ง โดยแยกพิจารณาแยกสาย และแยกช่วงเวลาดังตารางที่ 3.17 โดยเวลาที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงนั้นจะสะท้อนถึงปัจจัยภายนอกต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อเวลาการเดินทาง อันได้แก่ สภาพการจราจรที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นหาความเร็วเฉลี่ยของรถ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.17 เวลาที่ใช้ในการเดินรถ

สายที่	ช่วงเวลา	การแจกแจง	เวลาเดินรถเฉลี่ย (นาที)	ค่าพารามิเตอร์ (นาที)
1	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	Beta	8.31	B(5,13.6,3.75,5.71)
	ช่วงเวลาปกติ 1	Triangular	8.70	T(4,12.7,9.2)
	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	Weibull	9.00	W(5,2.65,4.31)
	ช่วงเวลาปกติ 2	Weibull	9.06	W(6,3.14,3.45)
2	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	Beta	11.11	B(8,16,3.03,4.76)
	ช่วงเวลาปกติ 1	Weibull	10.79	W(9,2.56,2.56)

ตารางที่ 3.17 เวลาที่ใช้ในการเดินรถ (ต่อ)

สายที่	ช่วงเวลา	การแจกแจง	เวลาเดินรถเฉลี่ย (นาที)	ค่าพารามิเตอร์ (นาที)
2	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	Weibull	11.43	W(9,2.56,2.56)
	ช่วงเวลาปกติ 2	Triangular	11.65	T(8,15.4,10.8)
3	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	Weibull	10.51	W(8,2.16,3.10)
	ช่วงเวลาปกติ 1	Lognormal	10.73	L(7,1.24,0.5)
	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	Triangular	10.42	T(8,13.4,9.8)
	ช่วงเวลาปกติ 2	Weibull	11.43	Wl(8, 1.88,3.97)

ตารางที่ 3.18 ความเร็วเฉลี่ยของรถ พิจารณาแยกสายและช่วงเวลา

สายที่	ช่วงเวลาการออกรถ	ระยะทางต่อเที่ยว (เมตร)	เวลาเฉลี่ยต่อเที่ยว (นาที)	ความเร็วเฉลี่ยของรถ (เมตรต่อนาที)
1	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	1,840	8.31	221.42
	ช่วงเวลาปกติ 1	1,840	8.7	211.49
	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	1,840	9	204.44
	ช่วงเวลาปกติ 2	1,840	9.06	203.09
2	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	2,610	11.11	234.92
	ช่วงเวลาปกติ 1	2,610	10.79	241.89
	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	2,610	11.43	228.35
	ช่วงเวลาปกติ 2	2,610	11.66	223.84
3	ช่วงเวลาเร่งด่วน 1	2,610	11.11	234.92
	ช่วงเวลาปกติ 1	2,610	10.79	241.89
	ช่วงเวลาเร่งด่วน 2	2,610	11.43	228.35
	ช่วงเวลาปกติ 2	2,610	11.66	223.84

3.3.4 การรันตัวแบบจำลอง

เมื่อได้ตัวแบบจำลองและป้อนข้อมูลนำเข้าแล้ว จากนั้นทำการรันตัวแบบทั้ง 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเร่งด่วนที่ 1 ช่วงปกติที่ 1 ช่วงเร่งด่วนที่ 2 จำลองด้วยช่วงระยะเวลาเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน และช่วงปกติที่ 2 จำลองด้วยช่วงระยะเวลา 4 ชั่วโมงต่อวัน รวมทั้งสิ้น 10 ชั่วโมงต่อวัน จากนั้นจำลองตัวแบบเพื่อเก็บข้อมูลนำออกเบื้องต้นเป็นจำนวนการทำซ้ำ 5 รอบ ในทุกช่วงของการทดลอง จากนั้นบันทึกจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในแต่ละช่วงเวลาเปรียบเทียบกับจำนวนผู้โดยสารที่ได้จากการเก็บข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 จำนวนผู้โดยสารที่เก็บจากระบบจริงและที่ได้จากการจำลองตัวแบบ

รอบที่	จำนวนผู้โดยสารในแต่ละช่วงเวลา (คน)							
	ช่วงเร่งด่วน 1		ช่วงปกติ 1		ช่วงเร่งด่วน 2		ช่วงปกติ 2	
	จริง	จำลอง	จริง	จำลอง	จริง	จำลอง	จริง	จำลอง
1	1,421	1,213	650	633	685	630	1,198	1,478
2	1,155	1,282	628	636	827	666	850	1,298
3	1,415	1,217	636	656	655	635	1,404	1,339
4	1,145	1,201	484	630	540	649	1,004	1,264
5	1,067	1,179	665	712	691	642	1,219	1,304

3.3.5 การทำซ้ำ

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการรัน มาคำนวณหาจำนวนรอบการทำซ้ำ (N_m) ที่เหมาะสม โดยใช้สมการที่ (1) พิจารณาข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาๆละ 5 ข้อมูล ที่ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ 10% จากผลการคำนวณจำนวนการทำซ้ำในแต่ละช่วงเวลาดังแสดงดังตารางที่ 3.20 พบว่า จำนวนรอบการทำซ้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 1 - 3 รอบ ดังนั้นจากการทดลองเบื้องต้นที่รอบทำซ้ำจำนวน 5 ครั้งจึงเพียงพอสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

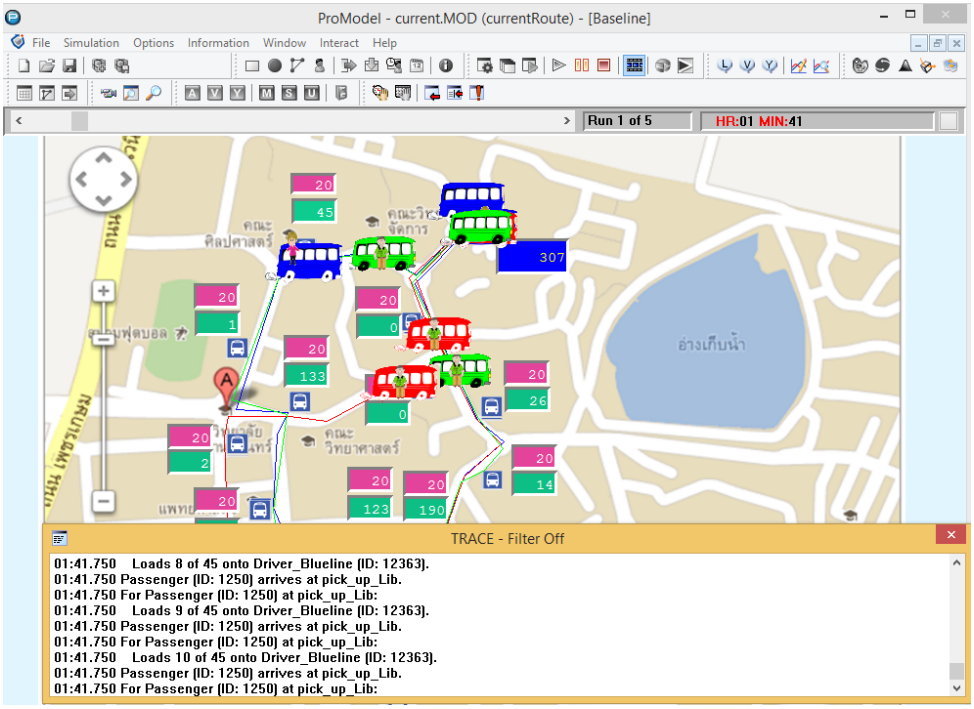
ตารางที่ 3.20 ผลการคำนวณจำนวนรอบทำซ้ำ

ช่วงเวลา	ค่าเฉลี่ย (คน)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนรอบทำซ้ำ (ครั้ง)
ช่วงเร่งด่วนที่ 1	1218.4	38.51	0.770
ช่วงปกติที่ 1	653.4	34.30	2.124
ช่วงเร่งด่วนที่ 2	644.4	14.05	0.366
ช่วงปกติที่ 2	1336.6	83.40	3.000

3.3.6 การทวนสอบและยืนยันความถูกต้องของตัวแบบจำลอง

3.3.6.1 การทวนสอบ

การทวนสอบ เป็นกิจกรรมที่ถูกใช้ตลอดการสร้างตัวแบบเพื่อให้การสร้างนั้นเป็นไปตามรูปแบบหรือแนวคิดที่กำหนดไว้ และทำให้ผู้พัฒนาตัวแบบมั่นใจได้ว่า ตัวแบบที่สร้างบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องและสอดคล้องกับระบบจริง โดยการทวนสอบในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีทวนสอบ ได้แก่ การให้ผู้เชี่ยวชาญที่เข้าใจในระบบเป็นอย่างดีตรวจตราลำดับขั้นตอนในกระบวนการสร้างตัวแบบเปรียบเทียบกับระบบจริง หรือเปรียบเทียบกับแผนภาพการไหลที่รวมเอาลำดับความคิดที่เป็นไปได้ของระบบจริง การทวนสอบความถูกต้องของผลการจำลองระหว่างการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้คำสั่ง “Trace” ของโปรแกรม ProModel® ซึ่งจะแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการของตัวแบบ ดังภาพประกอบ 3.13 นอกจากนี้ยังมีคำสั่ง “Debugger” ที่สามารถแจ้งเตือนหากผู้ที่ใช้งานซอฟต์แวร์มีการเขียนโปรแกรมด้วยคำสั่งที่ไม่ถูกต้อง



ภาพประกอบ 3.13 การทวนสอบตัวแบบโดยใช้คำสั่ง “Trace” ของโปรแกรม ProModel®

3.3.6.2 การยืนยันความถูกต้อง

หลังจากทวนสอบตัวแบบแล้ว การยืนยันความถูกต้องเป็นขั้นตอนถัดไป เพื่อทำให้แน่ใจว่าตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับระบบจริงที่ศึกษา ในงานวิจัยนี้ได้ทำการยืนยันความถูกต้องโดยใช้เครื่องมือทางสถิติมาในการทดสอบตัวแบบที่พัฒนาขึ้น ข้อมูลจำนวนผู้โดยสารโดยจำลองตัวแบบตามจำนวนรอบทำซ้ำและบันทึกผลที่ได้จากการจำลอง นั่นคือ จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการทั้งหมดโดยเฉลี่ย แล้วเปรียบเทียบผลการจำลองกับจำนวนผู้โดยสารที่เก็บมาจากระบบจริง จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการทั้งหมดที่ได้จากระบบจริงและแบบจำลอง จากนั้นยืนยันความสมเหตุสมผลของตัวแบบเทียบกับระบบจริงด้วยวิธีทางสถิติ จะนำข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการจากตารางที่ 3.19 มาทดสอบโดยการทดสอบสมมติฐานทั้ง 4 สมมติฐาน ดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน:

1) H_0: $\mu_1=\mu_2$ และ H_1: $\mu_1\neq\mu_2$

2) H_0: $\mu_3=\mu_4$ และ H_1: $\mu_3\neq\mu_4$

3) H_0: $\mu_5=\mu_6$ และ H_1: $\mu_5\neq\mu_6$

4) H_0: $\mu_7=\mu_8$ และ H_1: $\mu_7\neq\mu_8$

โดยที่ μ_1 μ_3 μ_5 และ μ_7 คือค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในแต่ละช่วงเวลาที่เก็บจากระบบจริง μ_2 μ_4 μ_6 และ μ_8 คือ จำนวนผู้โดยสารโดยเฉลี่ยที่ใช้บริการในแต่ละช่วงเวลาที่ได้จากการจำลองตัวแบบ ทำการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนผู้โดยสารที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ และข้อมูลจริงมีความแตกต่างกันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากร จะพิจารณาค่าความแปรปรวนก่อน ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น 2 ประเภทคือ Two-sample assuming equal variances กับ Two-sample assuming unequal variances ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสองชุดข้อมูลว่าเท่ากันหรือไม่ โดยกลุ่มประชากรมีจำนวนเท่ากัน ดังนั้นจึงมี Degree of freedom = 4 ทั้งสองชุดข้อมูล เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากตาราง F มีค่าเท่ากับ 6.39 จากนั้นคำนวณค่า F จากข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา โดยที่ $F = \frac{S^2_{\max}}{S^2_{\min}}$ จะได้ช่วงเร่งด่วนที่ 1 ช่วงปกติ 1 ช่วงเร่งด่วนที่ 2 และช่วงปกติที่ 2 มีค่า F = 18.59, 4.56, 53.08 และ 6.5 ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ในทุกช่วงเวลาซึ่งจะใช้การทดสอบแบบ แบบ Separated variance ยกเว้นช่วงปกติที่ 1 ซึ่ง $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ใช้การทดสอบแบบ Pooled variance จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากร ซึ่งแสดงในภาพประกอบ 3.14-3.17 ตามลำดับ

จากผลการทดสอบทางสถิติทั้ง 4 ช่วงเวลา สามารถสรุปผลได้ว่า ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักของทั้ง 4 สมมติฐาน นั่นคือ จำนวนผู้โดยสารโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์และจำนวนผู้โดยสารโดยเฉลี่ยที่ได้จากระบบจริงไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรืออาจกล่าวได้ว่า ตัวแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

```
Two-sample T for Total passenger (Rush1)

                                  SE
Type (Rush 1)  N    Mean  StDev  Mean
Observation    5    1240    166    74
Simulation     5  1218.4   38.5    17


Difference = mu (Observation) - mu (Simulation)
Estimate for difference:  22.0
95% CI for difference:  (-189.0, 233.0)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.29
P-Value = 0.787  DF = 4
```

ภาพประกอบ 3.14 การทดสอบแบบ Two-sample t-test ในช่วงเร่งด่วนที่ 1

```
Two-sample T for Total passenger (Normal 1)

Type (Normal 1)  N   Mean  StDev  SE Mean
Observation      5  612.6   73.3     33
Simulation       5  653.4   34.3     15


Difference = mu (observation) - mu (simulation)
Estimate for difference:  -40.8
95% CI for difference:  (-124.2, 42.6)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.13  P-
Value = 0.292  DF = 8
Both use Pooled StDev = 57.1997
```

ภาพประกอบ 3.15 การทดสอบแบบ Two-sample t-test ในช่วงปกติที่ 1

```
Two-sample T for Total passenger (Rush2)

Type (Rush 2)  N   Mean  StDev  SE Mean
Observation    5    680    102       46
Simulation     5  644.4   14.0      6.3


Difference = mu (Observation) - mu (Simulation)
Estimate for difference:  35.1
95% CI for difference:  (-93.1, 163.4)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.76
P-Value = 0.489  DF = 4
```

ภาพประกอบ 3.16 การทดสอบแบบ Two-sample t-test ในช่วงเร่งด่วนที่ 2

```
Two-sample T for Total passenger (Normal 2)

                                    SE
Type (Normal 2)  N    Mean  StDev  Mean
Observation      5    1135    213    95
Simulation       5  1336.6   83.4    37


Difference = mu (Observation) - mu (Simulation)
Estimate for difference:  -202
95% CI for difference:  (-465, 61)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.97
P-Value = 0.106  DF = 5
```

ภาพประกอบ 3.17 การทดสอบแบบ Two-sample t-test ในช่วงปกติที่ 2

3.4 การวิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบขนส่งมวลชน พบว่าตัวแบบมีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากจากการทดสอบสมตติฐานนั้น จำนวนผู้โดยสารโดยเฉลี่ยที่ได้จากการจำลอง และค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยผลการจำลองสถานการณ์แสดงได้ตารางที่ 3.21 ซึ่งประกอบด้วยจำนวนผู้โดยสารในแต่ละรอบการทดลองและอรรถประโยชน์การใช้รถ โดยจะเห็นได้ว่า จำนวนผู้โดยสารในรอบการทดลองที่ 1-5 เท่ากับ 3,954 3,882 3,847 3,744 และ3,837 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,853 คนต่อวัน และอรรถประโยชน์ของการใช้รถโดยเฉลี่ยเท่ากับของช่วงเร่งด่วน 1 ช่วงปกติ 1 ช่วงเร่งด่วน 2 และช่วงปกติ 2 มีอรรถประโยชน์เท่ากับ 27.43% 12.24% 13.09% และ 12.22% ตามลำดับ โดยมีอรรถประโยชน์การใช้รถเฉลี่ยรวม 16.25% ซึ่งได้มาจากจำนวนเวลาที่รถถูกใช้งานเปรียบเทียบกับเวลาทั้งหมดที่รถอยู่ในระบบ ซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้น ระบบจึงควรได้รับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ของรถบริการ โดยการลดปริมาณของรถที่ใช้ในแต่ละสาย นอกจากนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะพิจารณาการลดเส้นทางจากเดิม 3 เส้นทางเหลือเพียง 2 เส้นทางเนื่องจากเส้นทางเดิมมีการเดินทางที่ทับซ้อนกัน และประเด็นสุดท้ายเป็นการปรับเปลี่ยนตารางเวลาการเดินรถ

ตารางที่ 3.21 ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน

ช่วงเวลา	จำนวนผู้โดยสารในแต่ละรอบการทดลอง (คน)					อรรถประโยชน์การใช้รถเฉลี่ย (%)
	1	2	3	4	5	
ช่วงเร่งด่วน 1	1,213	1,282	1,217	1,201	1,179	27.43
ช่วงปกติ 1	633	636	656	630	712	12.24
ช่วงเร่งด่วน 2	630	666	635	649	642	13.09
ช่วงปกติ 2	1,478	1,298	1,339	1,264	1,304	12.22
รวม	3,954	3,882	3,847	3,744	3,837	16.25

3.5 **การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ**

3.5.1 การออกแบบแนวทางการปรับปรุง

ในการปรับปรุงจะนำตัวแบบการให้บริการในปัจจุบันมาใช้วิเคราะห์เพื่อออกแบบแนวทางการปรับปรุงที่พิจารณาปัจจัยจำนวน 3 ปัจจัย คือ จำนวนเส้นทางการเดินรถ จำนวนรถที่ให้บริการแต่ละสาย และตารางเดินรถ โดยแนวทางการปรับปรุงในแต่ละปัจจัยสามารถอธิบายได้ดังนี้

จำนวนเส้นทางการเดินรถ จะพิจารณา 2 กรณี คือ

(1) การกำหนดเส้นทางเดินรถ 3 เส้นทาง ซึ่งมีจำนวนเส้นทางตามสภาพปัจจุบัน

(2) การกำหนดเส้นทางเดินรถเหลือเพียง 2 เส้นทาง เนื่องจากเส้นทางเดิมมีการเดินทางที่ทับซ้อนกัน สำหรับสายที่ 2 และ 3 ดังนั้นเส้นทางการเดินรถที่ให้บริการ จะคงเหลือเพียงสายที่ 1 และ 3

จำนวนรถที่ให้บริการแต่ละสาย เนื่องจากอรรถประโยชน์เฉลี่ยของการใช้งานรถทั้ง 4 คันของทุกสายมีค่าน้อยมาก เฉลี่ยเพียง 16.25% จึงควรลดจำนวนรถที่ใช้ในการให้บริการลง เพื่อเพิ่มอรรถประโยชน์ในการใช้รถ ซึ่งจะพิจารณา 2 กรณี คือ

(1) ใช้รถจำนวน 3 คัน

(2) ใช้รถจำนวน 2 คัน

ตารางการเดินรถ จะพิจารณา 4 กรณี เนื่องจากจากการเก็บข้อมูลพบว่า ในการให้บริการ พิจารณาช่วงเวลาและสายการเดินรถ พบว่าช่วงเวลาในการออกรถจริงมีค่าระหว่าง 6.64 – 34.87 นาที แตกต่างจากตารางการออกรถที่ถูกกำหนดไว้คือ ออกรถทุกๆ 10 และ 20 นาที ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะออกแบบการทดลองของในช่วงเวลาที่เหมาะสม ดังนี้

(1) รถออกเดินทางทุกๆ 5 นาที

(2) รถออกเดินทางทุกๆ 10 นาที

(3) รถออกเดินทางทุกๆ 15 นาที

(4) รถออกเดินทางทุกๆ 20 นาที

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่จะใช้เป็นข้อกำหนดในการสร้างตัวแบบซึ่งเป็นทางเลือกของระบบแล้ว จะต้องมีการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยอาศัยค่าวัดสมรรถนะที่กำหนดขึ้น และเพื่อต้องการให้เกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผล จึงต้องนำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาใช้ในการวางแผนการทดลอง เพื่อให้มาซึ่งข้อมูลที่มีความเหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้จะออกแบบการทดลองจากการปรับเปลี่ยนปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย จะแสดงดังตารางที่ 3.22 ซึ่งทำให้สามารถสร้างตัวแบบจำลองสถานการ์ได้ 64 สถานการณ์

ตารางที่ 3.22 ปัจจัยที่ใช้ออกแบบแนวทางการปรับปรุง

ปัจจัย	ระดับ			
	1	2	3	4
จำนวนเส้นทาง	2 เส้นทาง	3 เส้นทาง	-	-
จำนวนรถต่อเส้นทาง	2 คัน	3 คัน	-	-
ตารางการเดินรถ	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที

3.5.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์

จากสถานการณ์ทางเลือกทั้ง 64 รูปแบบนั้น ซึ่งครอบคลุมการให้บริการทั้ง 4 ช่วงเวลาต่อวัน ทำการเลือกสถานการณ์ที่ดีที่สุด ภายใต้การพิจารณาด้านจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้นในการบริการสูงสุดในแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 3.23 ซึ่งจะแสดงสถานการณ์ในแต่ละช่วงเวลา และตารางที่ 3.24 แสดงสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสม โดยที่ RunOrder คือ ลำดับของการทดลอง ตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 64 โดยลำดับนั้นเป็นไปอย่างสุ่ม Block คือ ปัจจัยที่ถูกควบคุม ได้แก่ ช่วงเวลาทั้ง 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงเร่งด่วนที่ 1 (หมายเลข 1) ช่วงปกติที่ 1 (หมายเลข 2) ช่วงเร่งด่วนที่ 2 (หมายเลข 3) และช่วงปกติที่ 2 (หมายเลข 4) Route คือ จำนวนเส้นทางที่ใช้ในการให้บริการ Bus คือจำนวนรถที่ให้บริการในแต่ละเส้นทาง และ Schedule คือ ตารางการเดินรถ ซึ่งพิจารณาความถี่ในการออกรถ

ตารางที่ 3.23 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบทั้ง 64 สถานการณ์ในการให้บริการขนส่งมวลชน

StdOrder	RunOrder	Blocks	Route	Bus	Schedule	Mean	Stdev	Utilization of bus (%)
37	1	3	2	3	5	1889.0	51.5	62.2
48	2	3	3	3	20	541.7	63.9	15.9
34	3	3	2	2	10	966.7	22.0	45.5
45	4	3	3	3	5	2018.7	59.5	67.3
41	5	3	3	2	5	1776.0	8.2	92.1
46	6	3	3	3	10	1038.0	12.5	33.4
43	7	3	3	2	15	729.0	18.2	32.7
35	8	3	2	2	15	662.7	23.5	29.1

ตารางที่ 3.23 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบทั้ง 64 สถานการณ์ในการให้บริการขนส่งมวลชน (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Blocks	Route	Bus	Schedule	Mean	Stdev	Utilization of bus (%)
33	9	3	2	2	5	1801.3	36.2	89.2
44	10	3	3	2	20	541.7	63.9	23.8
40	11	3	2	3	20	519.0	26.5	13.8
38	12	3	2	3	10	966.7	22.0	30.3
42	13	3	3	2	10	1038.0	12.5	50.0
39	14	3	2	3	15	662.7	23.5	19.4
47	15	3	3	3	15	729.0	18.2	21.8
36	16	3	2	2	20	519.0	26.5	20.8
1	17	1	2	2	5	1728.7	9.1	86.0
4	18	1	2	2	20	446.7	38.7	20.1
9	19	1	3	2	5	1708.7	20.0	90.0
16	20	1	3	3	20	499.7	10.3	15.4
12	21	1	3	2	20	499.7	10.3	23.1
3	22	1	2	2	15	602.7	12.4	46.0
7	23	1	2	3	15	602.7	12.4	18.8
10	24	1	3	2	10	931.0	25.7	48.6
8	25	1	2	3	20	446.7	38.7	13.4
13	26	1	3	3	5	1812.3	55.5	65.4
5	27	1	2	3	5	1830.7	27.5	59.8
11	28	1	3	2	15	676.0	41.8	31.8
14	29	1	3	3	10	931.0	25.7	32.4
15	30	1	3	3	15	676.0	41.8	21.2
6	31	1	2	3	10	912.3	28.0	29.4
2	32	1	2	2	10	912.3	28.0	44.1
27	33	2	3	2	15	677.0	45.5	32.0
24	34	2	2	3	20	452.3	26.7	13.9
19	35	2	2	2	15	619.7	27.4	29.1
28	36	2	3	2	20	521.0	39.2	23.3
23	37	2	2	3	15	619.7	27.4	19.4
26	38	2	3	2	10	1017.7	61.4	49.0

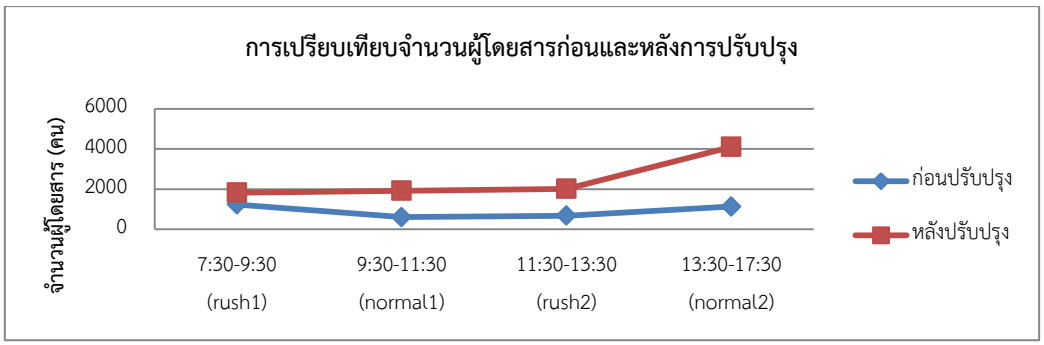
ตารางที่ 3.23 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบทั้ง 64 สถานการณ์ในการให้บริการขนส่งมวลชน (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Blocks	Route	Bus	Schedule	Mean	Stdev	Utilization of bus (%)
29	39	2	3	3	5	1924.3	27.6	65.9
25	40	2	3	2	5	1736.7	13.6	91.2
31	41	2	3	3	15	677.0	45.5	21.3
17	42	2	2	2	5	1721.0	24.4	87.8
32	43	2	3	3	20	521.0	39.2	23.3
22	44	2	2	3	10	931.7	28.3	30.3
21	45	2	2	3	5	1814.7	30.2	62.2
18	46	2	2	2	10	931.7	28.3	45.5
30	47	2	3	3	10	1017.7	61.4	32.7
20	48	2	2	2	20	452.3	26.7	20.8
50	49	4	2	2	10	2103.7	61.3	50.2
59	50	4	3	2	15	1691.7	26.6	35.5
60	51	4	3	2	20	1235.0	52.1	26.3
49	52	4	2	2	5	3584.7	55.0	92.4
56	53	4	2	3	20	1175.7	50.6	16.1
57	54	4	3	2	5	3705.3	9.9	94.6
62	55	4	3	3	10	2281.3	67.3	35.8
64	56	4	3	3	20	1235.0	52.1	17.5
58	57	4	3	2	10	2281.3	67.3	53.7
61	58	4	3	3	5	4108.3	96.5	72.0
51	59	4	2	2	15	1513.7	77.0	32.9
55	60	4	2	3	15	1513.7	77.0	21.9
63	61	4	3	3	15	1691.7	26.6	23.7
53	62	4	2	3	5	3945.0	63.2	67.8
54	63	4	2	3	10	2103.7	61.3	33.5
52	64	4	2	2	20	1175.7	50.6	24.1

ตารางที่ 3.24 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการจำลองสถานการณ์การให้บริการขนส่งมวลชน

StdOrder	RunOrder	Blocks	Route	Bus	Schedule	Mean	Stdev	Utilization of bus (%)
45	4	3	3	3	5	2018.7	59.5	67.3
5	27	1	2	3	5	1830.7	27.5	59.8
29	39	2	3	3	5	1924.3	27.6	65.9
61	58	4	3	3	5	4108.3	96.5	72.0
Total						9,882		66.25

จากตารางที่ 3.24 จะเห็นได้ว่าจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย และอรรถประโยชน์ของรถเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวแบบแทนระบบปัจจุบัน และแนวโน้มของปัจจัยในการให้บริการในแต่ละช่วงเวลาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีการให้บริการ 3 เส้นทาง ในช่วงปกติที่ 1 ช่วงเร่งด่วนที่ 2 และช่วงปกติที่ 2 (มีเพียงช่วงเวลาเร่งด่วนที่ 1 เท่านั้นที่ให้บริการ 2 เส้นทาง) โดยใช้รถขนส่งเพื่อบริการเป็นจำนวน 3 คัน และตารางเดินรถควรกำหนดให้ออกทุกๆ 5 นาที จะทำให้มีผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นจาก 3,668 คนต่อวัน ซึ่งเป็นจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยที่ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในสภาวะปัจจุบัน เพิ่มสูงขึ้นเป็นจำนวน 9,882 คนต่อวัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยจากปัจจุบันถึง 2.56 เท่า นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาอรรถประโยชน์เฉลี่ยรวมของรถในทุกช่วงเวลา พบว่ามีอรรถประโยชน์ของรถเพิ่มขึ้นสูงจาก 16.25% เป็น 66.25% หรือ 4.08 เท่า ทำให้เกิดการใช้งานรถขนส่งมวลชนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นสำหรับการเปรียบเทียบจำนวนผู้โดยสารจากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์หลังการปรับปรุงการให้บริการกับจำนวนผู้โดยสารในระบบจริงก่อนปรับปรุง แสดงได้ดังภาพประกอบ 3.18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จำนวนผู้โดยสารหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้นในทุกๆช่วงเวลา



ภาพประกอบ 3.18 การเปรียบเทียบจำนวนผู้โดยสารก่อนและหลังการปรับปรุง

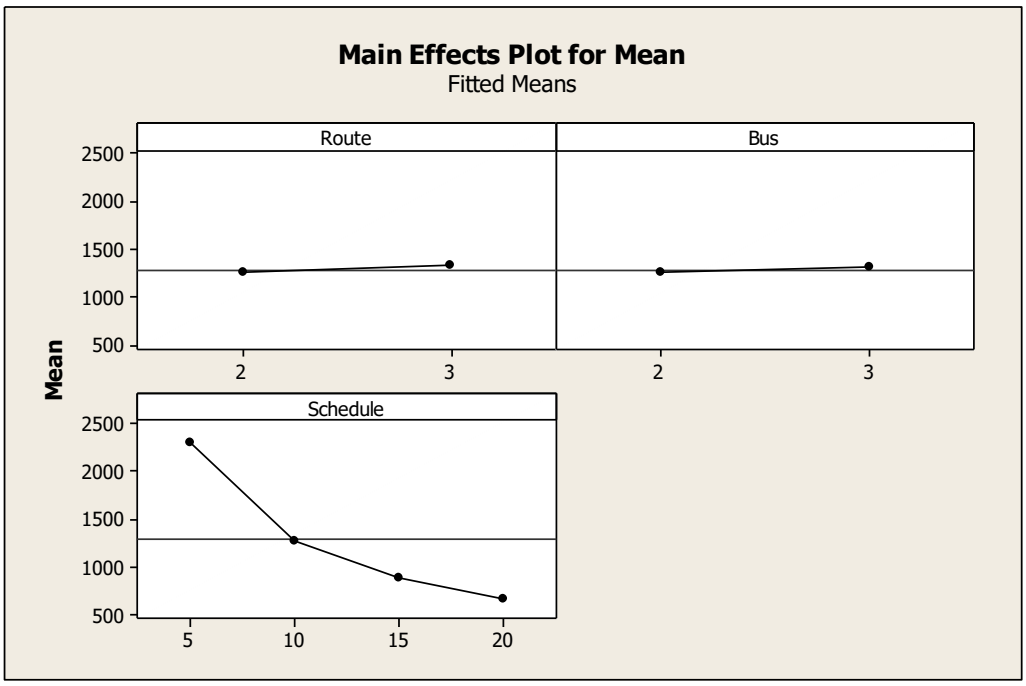
3.5.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและความสัมพันธ์

ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ที่มีผลต่อจำนวนผู้โดยสารที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ได้แก่ จำนวนเส้นทาง จำนวนรถโดยสารในแต่ละเส้นทาง และตารางการเดินรถ ดังภาพประกอบ 3.19 ผลจากการปรับเปลี่ยนปัจจัยจำนวนเส้นทางที่ 2 และ 3 เส้นทาง ทำให้จำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการปรับเปลี่ยนจำนวนรถ ที่ 2 และ 3 คันต่อเส้นทาง แต่สำหรับการปรับเปลี่ยนตารางเดินรถนั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของจำนวนผู้โดยสารอย่างเห็นได้ชัด โดยจำนวนผู้โดยสารจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อตารางเดินรถออกรถถี่มากยิ่งขึ้น คือออกรถทุกๆ 5 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัยดังภาพประกอบ 3.20 ได้ดังนี้

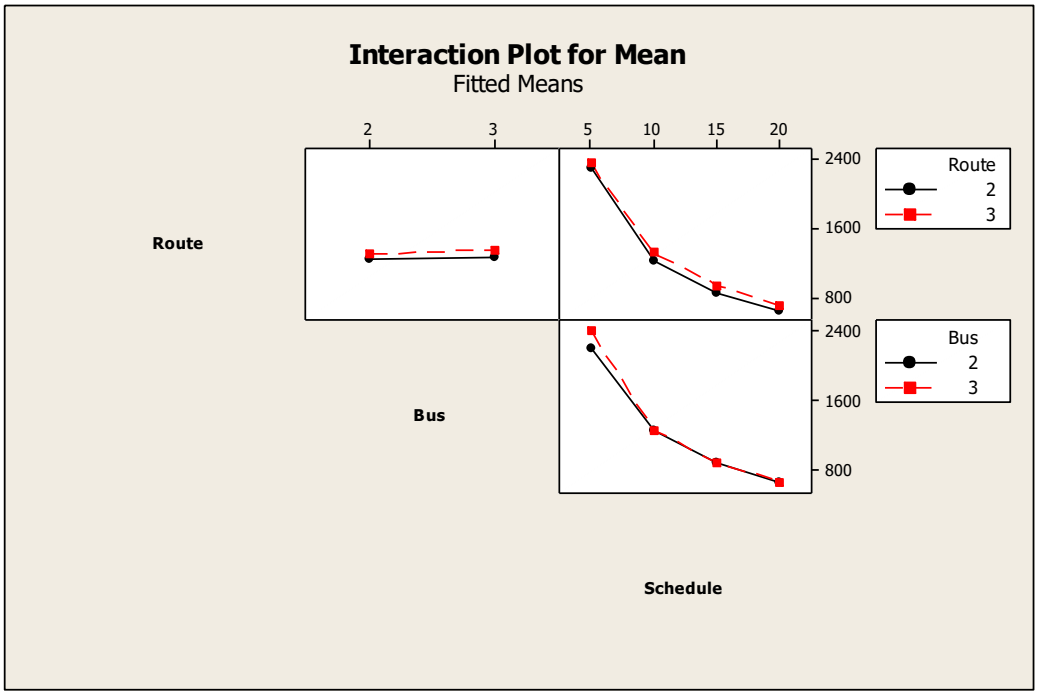
1) จำนวนเส้นทาง-จำนวนรถ ที่จำนวนเส้นทาง 2 และ 3 เส้นทางนั้น พบว่าเมื่อจำนวนรถเพิ่มขึ้นจาก 2 คัน เปลี่ยนเป็น 3 คัน จะทำให้จำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2) จำนวนเส้นทาง-ตารางเดินรถ จำนวนเส้นทางเดินรถที่ 3 เส้นทาง สามารถทำให้จำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นมากกว่าจำนวน 2 เส้นทางเดินรถ ที่ตารางเดินรถซึ่งออกรถทุกๆ 10 15 และ 20 นาที แต่มีผลน้อยมากที่ตารางเดินรถซึ่งออกรถทุกๆ 5 นาที

3) ตารางเดินรถ-จำนวนรถ การปรับเปลี่ยนจำนวนรถ 2 และ 3 คันนั้น ไม่มีผลต่อจำนวนผู้โดยสาร สำหรับตารางเดินรถซึ่งออกรถทุกๆ 10 15 และ 20 นาที แต่จะมีผลที่ตารางเดินรถซึ่งออกทุกๆ 5 นาที โดยจำนวนรถ 3 คันจะทำให้จำนวนผู้โดยสารมากกว่าจำนวนรถ 2 คัน



ภาพประกอบ 3.19 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อจำนวนผู้โดยสาร



ภาพประกอบ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนผู้โดยสาร

3.5.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนของสถานการณ์ทางเลือก

จากสถานการณ์ทางเลือกทั้ง 4 สถานการณ์ในช่วงเวลาต่างๆนั้น สามารถสรุปได้ว่าการให้บริการขนส่งมวลชนที่เหมาะสมจะต้องให้บริการ 3 เส้นทาง ถึงแม้ว่าในช่วงที่ 1 (ช่วงเร่งด่วน) ตัวแบบที่ถูกเลือกจะให้บริการเพียงแค่ 2 เส้นทาง แต่ช่วงเวลาที่เหลือให้บริการ 3 เส้นทาง ดังนั้นจึงควรให้บริการทั้ง 3 เส้นทาง นอกจากนี้จำนวนรถที่ใช้ในระบบนั้น ประกอบด้วยรถเส้นทางละ 3 คัน ทำให้ระบบมีรถรวมทั้งสิ้น 9 คัน และพนักงานขับรถ 9 คน และเลือกใช้รถไฟฟ้าในการให้บริการทั้งหมด ถึงแม้จะมีค่าบำรุงรักษาที่สูงกว่ารถยนต์ดีเซล แต่ใช้พลังงานน้อยกว่า และเป็นการใช้พลังงานสะอาดในการขับเคลื่อน ซึ่งไม่ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

จากนั้นคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ โดยใช้ข้อมูลระยะการเดินทางรวมของการให้บริการซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการจำลองแบบในวันราชการ โดยระยะทางการให้บริการที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาแสดงได้ดังตารางที่ 3.25 สำหรับวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) วันหยุดนักขัตฤกษ์ และวันราชการช่วงภาคฤดูร้อน ผู้วิจัยได้กำหนดระยะทางการให้บริการที่ 1 ใน 3 ของระยะการเดินทางในวันราชการปกติ เนื่องจากวันดังกล่าวมีตารางการออกรถที่ไม่แน่นอน และมีผู้ใช้บริการน้อยมาก โดยระยะทางการให้บริการต่อปี แสดงดังตารางที่ 3.26 สำหรับวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ผู้วิจัยอ้างอิงจากปฏิทินประจำปี พ.ศ.2558 โดย รวมถึงวันหยุดเพิ่มเติมตามมติคณะรัฐมนตรี และวันราชการช่วงภาคฤดูร้อนคำนวณจากวันราชการในช่วงเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 3.25 ระยะทางการให้บริการขนส่งมวลชนในวันราชการ

ช่วงที่	เส้นทางเดินรถ	ระยะทางต่อเที่ยว (เมตร)	จำนวนเที่ยว	เวลาเดินทาง (นาที)	ระยะทางต่อสาย (กิโลเมตร)	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)
1	สายที่ 1	1840	24	187.73	44.16	106.32
	สายที่ 2	2610	-	-	-	
	สายที่ 3	2590	24	246.61	62.16	
2	สายที่ 1	1840	24	196.31	44.16	171.57
	สายที่ 2	2610	25	264.08	65.25	
	สายที่ 3	2590	24	251.44	62.16	
3	สายที่ 1	1840	24	185.6	44.16	171.57
	สายที่ 2	2610	25	256.52	65.25	
	สายที่ 3	2590	24	235.5	62.16	
4	สายที่ 1	1840	48	421.58	88.32	340.53
	สายที่ 2	2610	49	577.9	127.89	
	สายที่ 3	2590	48	554.87	124.32	
					ระยะทางรวมทั้งสิ้น	789.99

ตารางที่ 3.26 ระยะทางการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี

การให้บริการ	จำนวน (วัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/วัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/ปี)
วันราชการ	177	789.99	139,828.23
วันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์)	104	263.33	27,386.32
วันหยุดนักขัตฤกษ์	18	263.33	4,739.94
วันราชการช่วงภาคฤดูร้อน	66	263.33	17,379.78
ระยะทางสุทธิ			**189,334.27**

3.5.4.1 ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วยต้นทุนด้านแรงงาน ต้นทุนการบำรุงรักษา และต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยต้นทุนด้านแรงงาน ประกอบด้วยต้นทุนค่าตอบแทนผู้จัดการโครงการ

จำนวน 1 ตำแหน่ง ค่าจ้างพนักงานขับรถ จำนวนทั้งสิ้น 9 ตำแหน่ง และค่าล่วงเวลาที่มอบให้แก่พนักงานขับรถสำหรับการทำงานในวันหยุดราชการและวันหยุดนักขัตฤกษ์ ในสัดส่วน 1 ใน 3 จากพนักงานขับรถทั้งหมด คือ วันละ 3 อัตรา โดยต้นทุนด้านแรงงานจะไม่นำค่าเบี้ยสมทบประกันสังคมมาประกอบการคำนวณ สำหรับต้นทุนด้านแรงงานแสดงตารางที่ 3.27 ซึ่งคำนวณต้นทุนด้านแรงงานในช่วงเวลา 1 ปีการศึกษา สำหรับต้นทุนการบำรุงรักษาของรถไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 346,231 ต่อปี และต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 43,868.22 ต่อปี ดังนั้นสามารถสรุปต้นทุนคงที่ต่อปีได้ดังตารางที่ 3.28

ตารางที่ 3.27 ต้นทุนด้านแรงงานต่อปี

รายการ	อัตราค่าจ้าง (บาท)	จำนวน (อัตรา)	ต้นทุนแรงงาน (บาท/เดือน)	ต้นทุนแรงงาน (บาท/ปี)
ต้นทุนค่าตอบแทนผู้จัดการ	7,000	1	7,000	84,000
ต้นทุนค่าจ้างพนักงานขับรถ	7,500	9	67,500	810,000
ค่าล่วงเวลาต่อวัน (122 วันต่อปี)	420	3	-	153,720
ต้นทุนด้านแรงงานที่สุทธิ				**1,047,720**

ตารางที่ 3.28 ต้นทุนคงที่ของการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี

รายการ	ต้นทุน (บาท/ปี)
ต้นทุนด้านแรงงาน	1,047,720.00
ต้นทุนการบำรุงรักษา	346,231.00
ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ	43,868.22
ต้นทุนคงที่สุทธิ	**1,437,819**

3.5.4.2 ต้นทุนแปรผัน ได้แก่ ต้นทุนด้านพลังงาน โดยสามารถคำนวณต้นทุนแปรผันสุทธิได้จากผลคูณของต้นทุนด้านพลังงานต่อกิโลเมตรของการใช้งานรถไฟฟ้า กับระยะทางในการให้บริการต่อปี ได้ดังตารางที่ 3.29 ดังนั้นสามารถสรุปต้นทุนสุทธิในการให้บริการได้ดังตารางที่ 3.30 ซึ่งต้นทุนของรูปแบบทางเลือก มีค่าเท่ากับ 1,890,328 บาทต่อปี โดยมีระยะการเดินทางที่เกิดขึ้นทั้งสิ้น 189,334.27 กิโลเมตรต่อปี

ตารางที่ 3.29 ต้นทุนแปรผันของการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี

รายการ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุน (บาท/กิโลเมตร)	ต้นทุนแปรผันสุทธิ (บาท/ปี)
ต้นทุนด้านพลังงาน	189,334.27	2.39	452,509

ตารางที่ 3.30 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปีสุทธิ

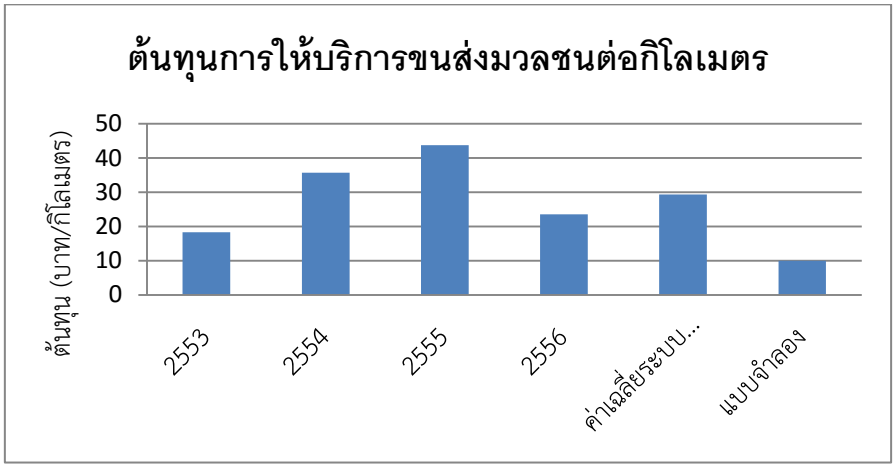
รายการ	ต้นทุน (บาท/ปี)
ต้นทุนคงที่	1,437,819
ต้นทุนแปรผัน	452,509
ต้นทุนการให้บริการสุทธิ	**1,890,328**

3.5.5 การเปรียบเทียบต้นทุนการให้บริการ

เมื่อพิจารณาต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงาน ที่ได้มาจากรูปแบบทางเลือกของแบบจำลอง จากนั้นทำการเปรียบเทียบจากแบบจำลองกับต้นทุนการดำเนินการที่ผ่านมา ตั้งแต่ปีการศึกษา 2553 ถึง 2556 แสดงดังตารางที่ 3.31 จากนั้นคำนวณต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลเมตร โดยในการดำเนินงานที่ผ่านมามีต้นทุนเฉลี่ยรวมต่อกิโลเมตรเท่ากับ 29.32 บาท และต้นทุนเฉลี่ยรวมต่อกิโลเมตรที่ได้จากรูปแบบทางเลือกเท่ากับ 9.98 บาท โดยกราฟแสดงต้นทุนการให้บริการต่อกิโลเมตรแสดงดังภาพประกอบที่ 3.21

ตารางที่ 3.31 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อกิโลเมตร

ปีการศึกษา	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุนการให้บริการ (บาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลเมตร (บาท)
2553	50,463.00	920,724.66	18.25
2554	49,724.00	1,771,979.25	35.64
2555	43,965.00	1,922,600.04	43.73
2556	67,335.00	1,586,102.86	23.56
เฉลี่ย	52,871.75	1,550,351.70	29.32
แบบจำลอง	189,334.27	1,890,328.00	9.98



ภาพประกอบ 3.21 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อกิโลเมตร

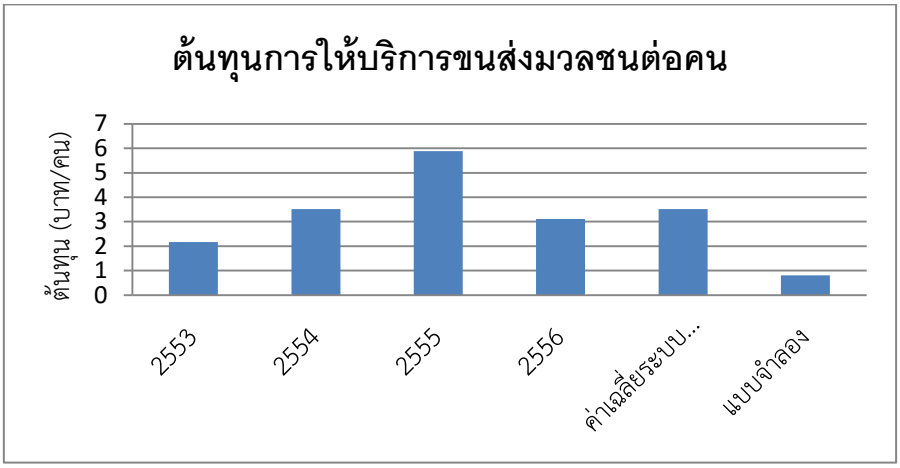
นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อผู้โดยสาร 1 คนได้ โดยพิจารณาจากจำนวนผู้โดยสารต่อวันที่ระบบสามารถรองรับได้ ได้แก่ 9,882 คนต่อวัน ซึ่งเป็นจำนวนผู้โดยสารที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาวันราชการ ที่ให้บริการตั้งแต่เวลา 7:30 – 17:30 น. สำหรับวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) วันหยุดนักขัตฤกษ์ และวันราชการช่วงภาคฤดูร้อน ผู้วิจัยได้กำหนดระยะทางการให้บริการที่ 1 ใน 3 ของระยะการเดินทางในวันราชการปกติ เนื่องจากวันดังกล่าวมีตารางการออกรถที่ไม่แน่นอน และมีผู้ใช้บริการน้อย ซึ่งจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการขนส่งมวลชนเท่ากับ 2,368,386 คนต่อปี แสดงได้ดังตารางที่ 3.32 จากนั้นเปรียบเทียบต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคนจากผลการดำเนินงานที่ผ่านมากับต้นทุนที่ได้จากตัวแบบจำลอง พบว่าต้นทุนการดำเนินงานเฉลี่ยที่ผ่านมาเท่ากับ 3.52 บาทต่อคน และต้นทุนจากแบบจำลองเท่ากับ 0.80 บาทต่อคน จากนั้นเปรียบเทียบโดยใช้กราฟ แสดงต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคน ดังภาพประกอบที่ 3.22

ตารางที่ 3.32 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการขนส่งมวลชนต่อปี

การให้บริการ	**จำนวน (วัน)**	**จำนวนผู้โดยสาร (คน/วัน)**	**จำนวนผู้โดยสาร (คน/ปี)**
วันราชการ	177	9,882	1,749,114
วันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์)	104	3,294	342,576
วันหยุดนักขัตฤกษ์	18	3,294	59,292
วันราชการช่วงภาคฤดูร้อน	66	3,294	217,404
จำนวนผู้โดยสารสุทธิ			**2,368,386**

ตารางที่ 3.33 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคน

ปีการศึกษา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ต้นทุนการให้บริการ (บาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อคน (บาท)
2553	423,370	920,724.66	2.17
2554	503,832	1,771,979.25	3.52
2555	326,608	1,922,600.04	5.89
2556	509,222	1,586,102.86	3.11
ค่าเฉลี่ยระบบจริง	**440,758**	**1,550,351.70**	**3.52**
แบบจำลอง	**2,368,386**	**1,890,328.00**	**0.80**



ภาพประกอบ 3.21 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคน

บทที่ 4

บทสรุป

4.1 สรุปผล

การให้บริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยฯ ได้รับการปรับปรุงโดยใช้การจำลองสถานการณ์บนซอฟท์แวร์ ProModel®2011 โดยเริ่มต้นจากการศึกษาและเก็บข้อมูลการให้บริการในสภาวะปัจจุบัน การสร้างตัวแบบ การเก็บข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลอง การสังเกตผลลัพธ์ การคำนวณการทำซ้ำ และการออกแบบการทดลอง ซึ่งพบว่าซอฟท์แวร์ ProModel®2011 สามารถนำมาใช้ในงานวิจัยเพื่อปรับปรุงการให้บริการระบบขนส่งมวลชนได้เป็นอย่างดี

การปรับปรุงการให้บริการนี้ ผู้วิจัยได้ใช้การปรับเปลี่ยนปัจจัย โดยค่าของปัจจัยที่นำมาทดลองและจำลองในตัวแบบนั้นมาจากการพิจารณาตามความเหมาะสมของผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน โดยพิจารณา 3 ปัจจัย ได้แก่ เส้นทางเดินรถ จำนวนรถที่ใช้ และตารางการเดินรถ ภายใต้ช่วงเวลาของการให้บริการที่กำหนดในแต่ละวัน จากการทดลองพบว่า แนวทางการปรับปรุงที่นำเสนอ ได้แก่ มีการให้บริการ 3 เส้นทางเช่นเดียวกับการให้บริการในปัจจุบัน โดยใช้รถขนส่งเพื่อบริการเป็นจำนวน 3 คันต่อสาย และตารางเดินรถควรกำหนดให้ออกทุกๆ 5 นาที ซึ่งนโยบายดังกล่าวสามารถรองรับจำนวนผู้โดยสารได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งเดิมจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 3,668 คนต่อวัน เพิ่มสูงขึ้นเป็นจำนวน 9,882 คนต่อวัน นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาอรรถประโยชน์เฉลี่ยรวมของรถในทุกช่วงเวลา พบว่ามีอรรถประโยชน์ของรถเพิ่มขึ้นสูงจาก 16.25% เป็น 66.25% หรือ 4.08 เท่า ทำให้เกิดการใช้งานรถขนส่งมวลชนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

สำหรับต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนของรูปแบบทางเลือกนั้น มีต้นทุนเท่ากับ 1,890,328 บาทต่อปี เมื่อคำนวณต้นทุนการให้บริการต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร นั้น พบว่า ต้นทุนจากรูปแบบทางเลือกเท่ากับ 9.98 บาท ซึ่งลดลงจากต้นทุนการดำเนินงานที่ผ่านมา อันเนื่องมาจากการใช้งานรถเพื่อการเดินทางที่มีความถี่ในการใช้งานสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาต้นทุนการให้บริการต่อผู้โดยสาร 1 คน มีต้นทุนเท่ากับ 0.80 บาท จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นได้ว่า การรองรับจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น สามารถทำได้โดยไม่ต้องมีการใช้งบประมาณในการจัดซื้อรถเพิ่มขึ้น แต่สามารถบริหารและจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด

4.2 ข้อเสนอแนะ

ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานที่ผ่านมาที่ผู้วิจัยได้ศึกษาระบบการให้บริการขนส่งมวลชนนั้น พบว่าการให้บริการนั้น เป็นที่ต้องการของนักศึกษาในการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นอย่างมาก แต่พบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จำนวนความถี่ในการออกรถ ที่ทำให้นักศึกษาต้องรอเป็นเวลานาน ส่งผลโดยตรงต่อความพึงพอใจ ซึ่งอาจทำให้นักศึกษาเลือกใช้การเดินทางด้วยวิธีอื่นๆแทนการใช้รถขนส่งมวลชน เช่น การนำรถส่วนตัวมาใช้ ดังแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนจากจำนวนรถจักรยานยนต์ของนักศึกษาที่จอดบริเวณโดยรอบหอพักนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังนั้นหากมีการปรับปรุงการให้บริการ ที่สามารถเพิ่มความพึงพอใจของนักศึกษาได้ และนักศึกษามีความเชื่อมั่นต่อการให้บริการจะส่งผลต่อจำนวนผู้ใช้บริการที่จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นได้ อีกทั้งยังช่วยลดการใช้รถจักรยานยนต์ของนักศึกษาได้อีกด้วย

สิ่งหนึ่งที่สำคัญในการให้บริการขนส่งมวลชนโดยใช้รถไฟฟ้านั้นคือข้อจำกัดหลายประการในการใช้งาน ซึ่งบ่อยครั้งที่หน่วยงานจะต้องเผชิญกับปัญหาความขัดข้องของรถไฟฟ้า และต้องรอช่างซ่อมที่มีความชำนาญเป็นเวลานาน สำหรับในส่วนนี้ หน่วยงานที่รับผิดชอบควรจะต้องมีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) อย่างต่อเนื่อง โดยการตรวจสภาพรถและบำรุงรักษาเบื้องต้นอยู่เสมอตามคู่มือการการบำรุงรักษา และการจัดทำเอกสารสำหรับการตรวจเช็คการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อป้องกันปัญหารถขัดข้องในกรณีฉุกเฉนซึ่งไม่สามารถใช้งานได้

อย่างไรก็ดี งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์และออกแบบการทดลอง เพื่อหาจำนวนผู้โดยสารที่มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ที่ระบบขนส่งมวลชนสามารถรองรับจำนวนผู้โดยสารได้ แต่ในสภาวะจริงนั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเข้ามาของผู้โดยสาร ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนด้านนโยบายต่างๆ เพื่อรณรงค์ให้นักศึกษาหันมาใช้บริการรถขนส่งมวลชนมากขึ้น ควบคู่กับการปรับปรุงคุณภาพในการให้บริการ ถือเป็นสิ่งที่หน่วยงานผู้รับผิดชอบควรให้ความสนใจ

สำหรับงานวิจัยในอนาคตที่ผู้วิจัยได้วางแผนจะทำเพิ่มเติม ได้แก่ การพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์ โดยการพัฒนาคำสั่งในการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ตัวแบบมีความซับซ้อน มีความละเอียด และเสมือนจริงมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

[1] เขมินี ทองมา และภาสกร ชุมแก้ว. 2556. การประเมินผลการดำเนินการโครงการรถขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ปีงบประมาณ 2555. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[2] J. Brown, D. B. Hess, and D. Shoup, “Fare-free public transit at universities an evaluation,” *Journal of Planning Education and Research* 23 (1) (2003) 69–82.

[3] A. Bond and R. Steiner, “Sustainable campus transportation through transit Partnership and transportation demand management: a case study from the University of Florida,” *Berkeley Planning Journal* 19 (1) (2006).

[4] W. Singhirunnusorn, P. Luesopa, J. Pansee, and N.Sahachaisaeree, “Students behavior towards energy conservation and modes of transportation: a case study in Mahasarakham university,” *Social and Behavioral Sciences* 35 (2012) 764–771.

[5] วนัฐณพงษ์ คงแก้ว. “การใช้การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ในการปรับปรุงกระบวนการของแผนกจ่ายยาผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสงขลานครินทร์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2550.

[6] P. H. P. Fung Kon Jin, M. G. W. Dijkgraaf, C. L. Alons, C. van Kuijk, L. F. M. Beenen, G. M. Koole, and J. C. Goslings, “Improving CT scan capabilities with a new trauma workflow concept: simulation of hospital logistics using different CT scanner scenarios,” *European Journal of Radiology* 80 (2) (2011) 504–509.6

[7] P. Samaranayake and S. Kiridena, “Patient journey modeling using integrated data structures in healthcare service operations,” *Proceeding of the 2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering (CHUSER)*, 597–602.

[8] J. A. Paul and L. Lin, “Models for improving patient throughput and waiting at hospital emergency departments,” *The Journal of Emergency Medicine* 43 (6) (2012) 1119-1126.

[9] S. E. Kesen and Ö. F. Baykoç, “Simulation of automated guided vehicle (AGV) systems based on just-in-time (JIT) philosophy in a job-shop environment,” *Simulation Modelling Practice and Theory* 15 (3) (2007) 272–284.

[10] M. Nasereddin, M. A. Mullens, and D. Cope, “Automated simulator development: a strategy for modeling modular housing production,” *Automation in Construction* 16 (2) (2007) 212–223.

[11] เมธาวี มานิต. “การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนการดำเนินงานของสายการติดฉลากและบรรจุกล่องผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2550.

[12] วลักษ์กมล คงยัง. “การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจัดทำระบบรถโรงเรียนในเทศบาลนครหาดใหญ่.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2554.

[13] P. Cortés, J. Muñuzuri, J. Nicolás Ibáñez, and J. Guadix, “Simulation of freight traffic in the Seville inland port,” *Simulation Modelling Practice and Theory* 15 (3) (2007) 256-271.

[14] A. Motraghi and M. V. Marinov, “Analysis of urban freight by rail using event based simulation,” *Simulation Modelling Practice and Theory* 25 (2012) 73–89.

[15] C. Woroniuk, M. Marinov, Simulation modelling to analyse the current level of utilisation of sections along a rail route, *Journal of Transport Literature* 7 (2) (2013) 235-252.

[16] M. Kamrani, S. M. Hashemi Esmaeil Abadi, and S. Rahimpour Golroudbary, “Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software,” *Simulation Modelling Practice and Theory* 49 (2014) 167–179.

[17] G. De Filippo, V. Marano, and R. Sioshansi, “Simulation of an electric transportation system at The Ohio State University,” *Applied Energy* 113 (2014) 1686–1691.

[18] W. Chen, Z. Chen, “Service reliability analysis of high frequency transit using stochastic simulation,” *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 9 (2009) 130–134.

[19] Y.-H. Chou, “Automatic bus routing and passenger geocoding with a geographic information system. In Proceedings of the 6th International Conference on the Vehicle Navigation and Information System (VNIS), “*A Ride into the Future*”, 352–359, Washington, United States, 30 Jul-2 Aug 1995.

[20] ชุติมา เจิมขุนทด, วัฒนวงศ์ รัตนวราห และ ถิรยุทธ ลิมานนท์. 2555. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อศึกษาระดับการเข้าถึงในการเดินทางโดยระบบขนส่งสาธารณะ: กรณีศึกษาเทศบาลนครราชสีมา. การประชุมวิชาการ การขนส่งแห่งชาติครั้งที่ 8. การขับเคลื่อนไม่หยุดยั้งของการพัฒนาขนส่งไทย. 15-16 มีนาคม 2555. ชลบุรี, กระทรวงคมนาคม.

[21] J. Park and B.-I. Kim, “The school bus routing problem: A review,” *European Journal of Operational Research* 202 (2) (2010) 311–319.

[22] P. Schittekat, M. Sevaux, and K. Sorensen, “A mathematical formulation for a school bus routing problem,” in *2006 International Conference on Service Systems and Service Management* 2 (2006) 1552–1557.

[23] B-I. Kim, S. Kim , and J. Park, “A school bus scheduling problem,” *European Journal of Operational Research* 218 (2012) 577–585.

[24] J. Riera-Ledesma and J.-J. Salazar-González, “Solving school bus routing using the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch-and-cut approach,” *Computers & Operations Research* 39 (2) (2012) 391–404.

[25] A. Fügenschuh, “Solving a school bus scheduling problem with integer programming,” *European Journal of Operational Research* 193 (3) (2009) 867–884.

[26] J. S. Arias-Rojas, J. F. Jiménez, and J. R. Montoya-Torres, “Solving of school bus routing problem by ant colony optimization,” *Revista EIA* 17(2012) 193–208.

[27] Zhang, Y., Sheng, L., 2009. Economic analysis of financial subsidy in urban public transit, In the 5th Advanced Forum on Transportation of China (AFTC 2009), pp. 167–171, Beijing, China, 17 October 2009.

[28] ปัทมา อยู่เย็น. 2556. การจัดตารางเวลาในการเดินรถขนส่ง มวลชนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้โปรแกรมเอกเซล โซลเวอร์. วิศวสารลาดกระบัง 30 (2) 79-84.

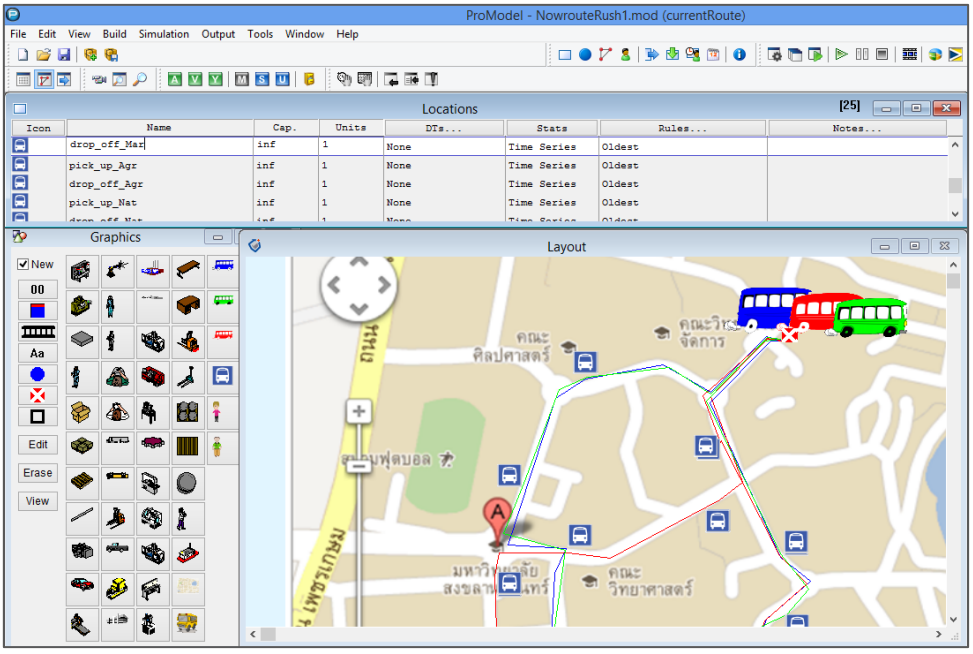
[29] พนิดา ทองสุข. 2556. การวิเคราะห์ต้นทุนประกอบการขนส่งรถโดยสารประจำทางขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพเปรียบเทียบกับรถเอกชนร่วมบริการ. วิทยานิพนธ์บัญชีมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[30] วีรพันธ์ รุจิเกียรติกำจร และ วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์. 2556. การศึกษาค่าใช้จ่ายในการเดินทางและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของการเดินทางแต่ละรูปแบบ: กรณีศึกษาเส้นทางสะพานใหม่-สีลม. วารสารวิจัยพลังงาน 10: 1-17.

ภาคผนวก ก การสร้างตัวแบบจำลอง

ก-1 การสร้าง Location

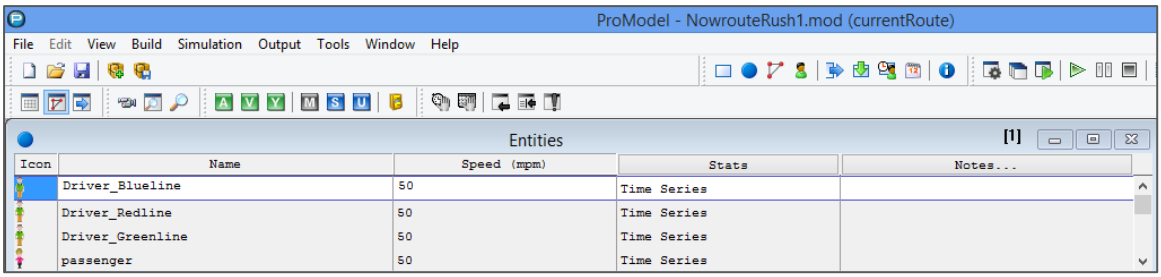
กำหนดตำแหน่งที่ตั้งของสถานีและจุดจอดรถ ของทั้ง 3 เส้นทางลงในแผนที่ ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งแสดงดังภาพประกอบ ก-1 โดยการกำหนดจุดนี้ได้มาจากการลงพื้นที่เพื่อตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละจุดจอด โดยที่ในแต่ละจุดนั้น จะมี 2 ตำแหน่งซ้อนทับกันอยู่ ประกอบด้วย จุดรับผู้โดยสาร (Pick up) และจุดส่งผู้โดยสาร (Drop off)



ภาพประกอบ ก-1 การสร้าง Location

ก-2 การสร้าง Entities

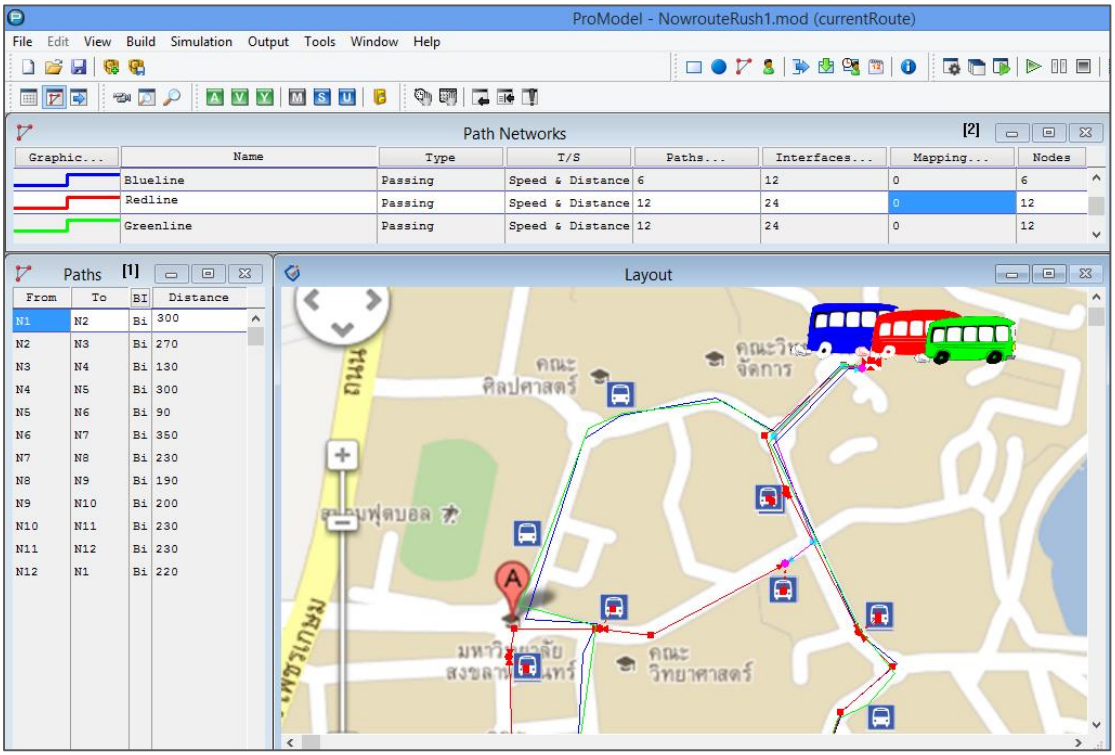
วัตถุหรือองค์ประกอบในระบบที่ต้องการนำเสนออย่างชัดเจนในการจำลองแบบและเป็นสิ่งสำคัญที่ได้รับความสนใจ จะถูกเรียกว่า Entities การกำหนดดังภาพประกอบ ก-2 โดยที่โปรแกรมสามารถวัดผลลัพธ์ได้หลังจากการจำลอง ซึ่งได้แก่ ผู้โดยสารและพนักงานขับรถทั้ง 3 สาย โดยจะใช้คำสั่งในการรับผู้โดยสารขึ้นรถว่า load สำหรับการรับขึ้นรถ และการส่งผู้โดยสารว่า unload สำหรับการส่ง



ภาพประกอบ ก-2 การสร้าง Entities

ก-3 การสร้าง Path networks

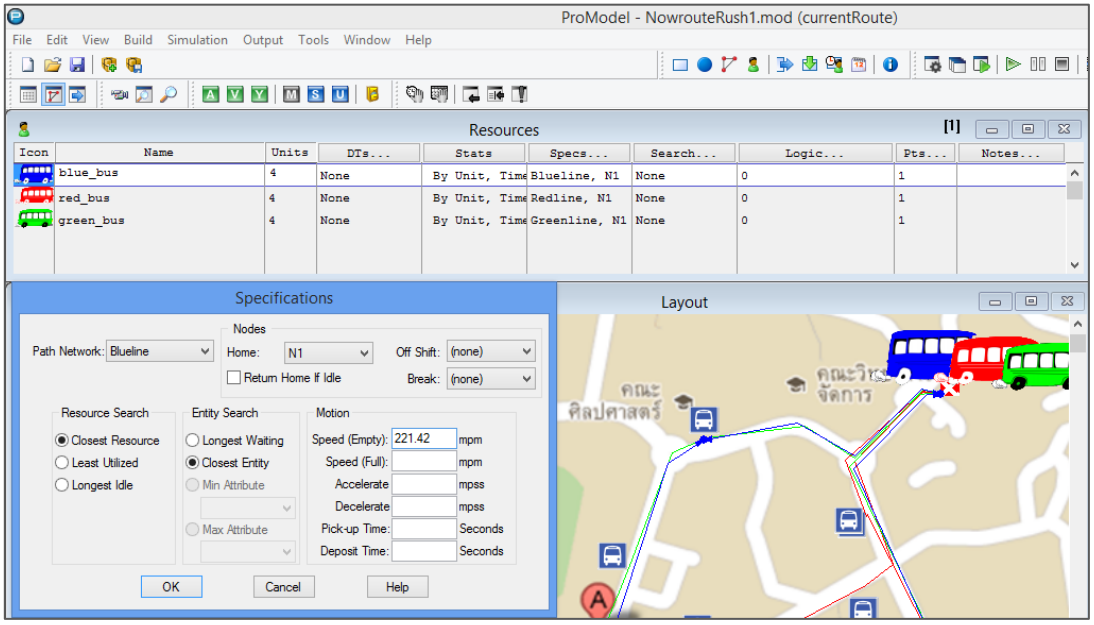
ทำการสร้าง Path networks ของเส้นทางทั้ง 3 เส้นทางในการจำลองแบบปัจจุบัน ตัวอย่างการสร้างเส้นทางแสดงดังภาพประกอบ ก-3 โดยสายที่ 1 จะเป็นสายสีน้ำเงิน สายที่ 2 เป็นสายสีแดง และสายที่ 3 เป็นสายสีเขียว โดยเริ่มจากการสร้าง Nodes เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดจอดรถ ต่อมาสร้าง Interfaces เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Nodes และ Locations จากนั้นสร้าง Paths ซึ่งเป็นเส้นทางการเดินรถและระยะทางระหว่างแต่ละจุด



ภาพประกอบ ก-3 การสร้าง Path network

ก-4 การสร้าง Resources

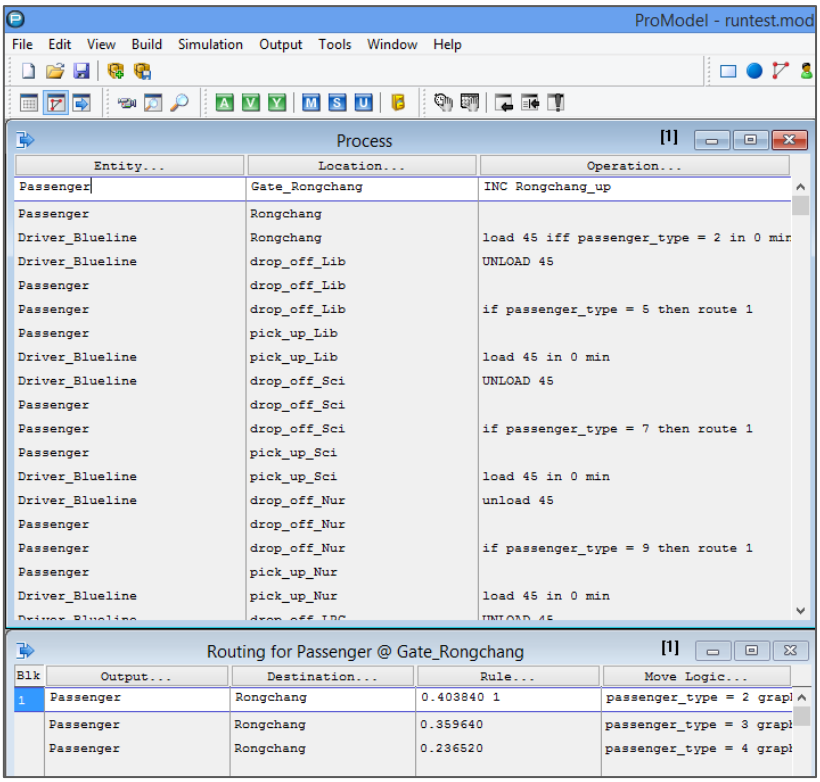
สำหรับในตัวแบบจำลองนี้ ตัวแปร Resources คือ รถที่ให้บริการในแต่ละสายดังภาพประกอบ ก-4 โดยที่ในปัจจุบันใน 1 เส้นทางจะมีรถให้บริการ 4 คัน จากนั้นกำหนดความสัมพันธ์ของรถแต่ละสายกับเส้นทางที่สร้างไว้ใน Path networks และกำหนดความเร็วของรถ



ภาพประกอบ ก-4 การสร้าง Resources

ก-5 การสร้าง Processing

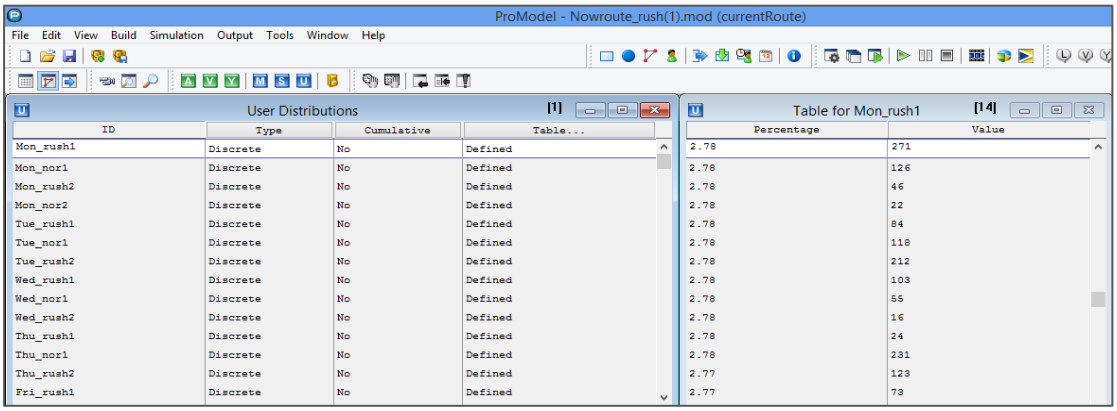
การสร้างกระบวนการและลำดับความคิดของตัวแบบ ตามกรอบแนวคิดสำหรับการไหลของการให้บริการรถขนส่งมวลชน ซึ่งตัวอย่างให้สร้างลำดับกระบวนการในการสร้าง Processing แสดงดังภาพประกอบ ก-5



ภาพประกอบ ก-5 การสร้าง Processing

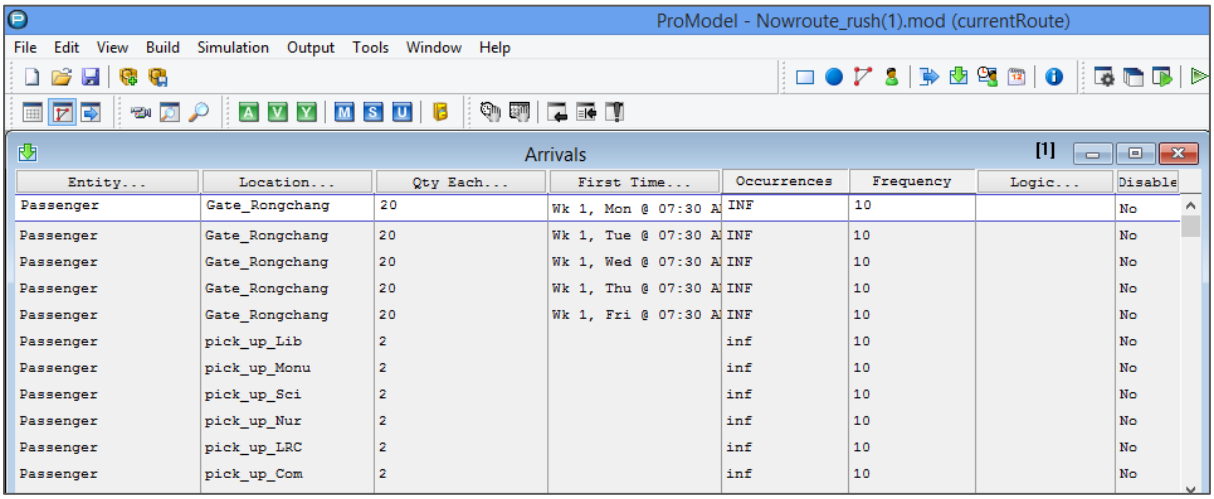
ก-6 การสร้าง Arrivals

1) User distributions เนื่องจากการเข้ามาของผู้โดยสารที่บริเวณสถานีในทุกๆ 10 นาที และช่วงเวลาการออกรถในบางช่วงเวลานั้น ไม่สามารถหาการแจกแจงที่ใกล้เคียงกับข้อมูลได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้การแจกแจงแบบ Empirical ซึ่งเป็นการใส่ข้อมูลลงในตารางของซอฟต์แวร์โปรโมเดลโดยตรง ดังภาพประกอบ ก-6 และจะเรียกใช้แต่ละชุดข้อมูลได้ในคำสั่ง Arrivals



ภาพประกอบ ก-6 การสร้าง User distributions

2) Arrivals คือการกำหนดการเข้ามาของ Entities ซึ่งพนักงานขับรถจะเข้ามายังสถานี และผู้โดยสารจะเข้ามายังสถานีและแต่ละจุดจอด ในปริมาณและความถี่ที่กำหนดไว้ ดังภาพประกอบ ก-7 เป็นการแสดงตัวอย่างการใส่ค่าต่างๆใน Arrivals ที่ได้สมมติตัวเลขขึ้นมา

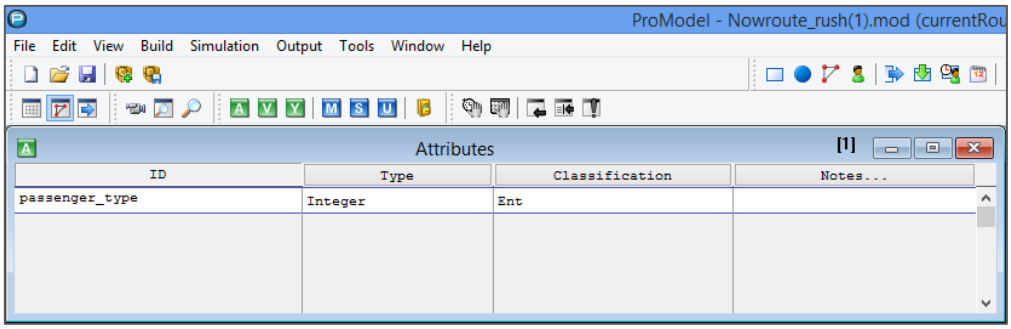


Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...	Disable
Passenger	Gate_Rongchang	20	Wk 1, Mon @ 07:30 A	INF	10		No
Passenger	Gate_Rongchang	20	Wk 1, Tue @ 07:30 A	INF	10		No
Passenger	Gate_Rongchang	20	Wk 1, Wed @ 07:30 A	INF	10		No
Passenger	Gate_Rongchang	20	Wk 1, Thu @ 07:30 A	INF	10		No
Passenger	Gate_Rongchang	20	Wk 1, Fri @ 07:30 A	INF	10		No
Passenger	pick_up_Lib	2		inf	10		No
Passenger	pick_up_Monu	2		inf	10		No
Passenger	pick_up_Sci	2		inf	10		No
Passenger	pick_up_Nur	2		inf	10		No
Passenger	pick_up_LRC	2		inf	10		No
Passenger	pick_up_Com	2		inf	10		No

ภาพประกอบ ก-7 การสร้าง Arrivals

ก-7 การสร้าง Attributes

เป็นการกำหนดคุณลักษณะของตัวแปรของ Entities ซึ่งในที่นี้คือ ผู้โดยสาร ดังภาพประกอบ ก-8

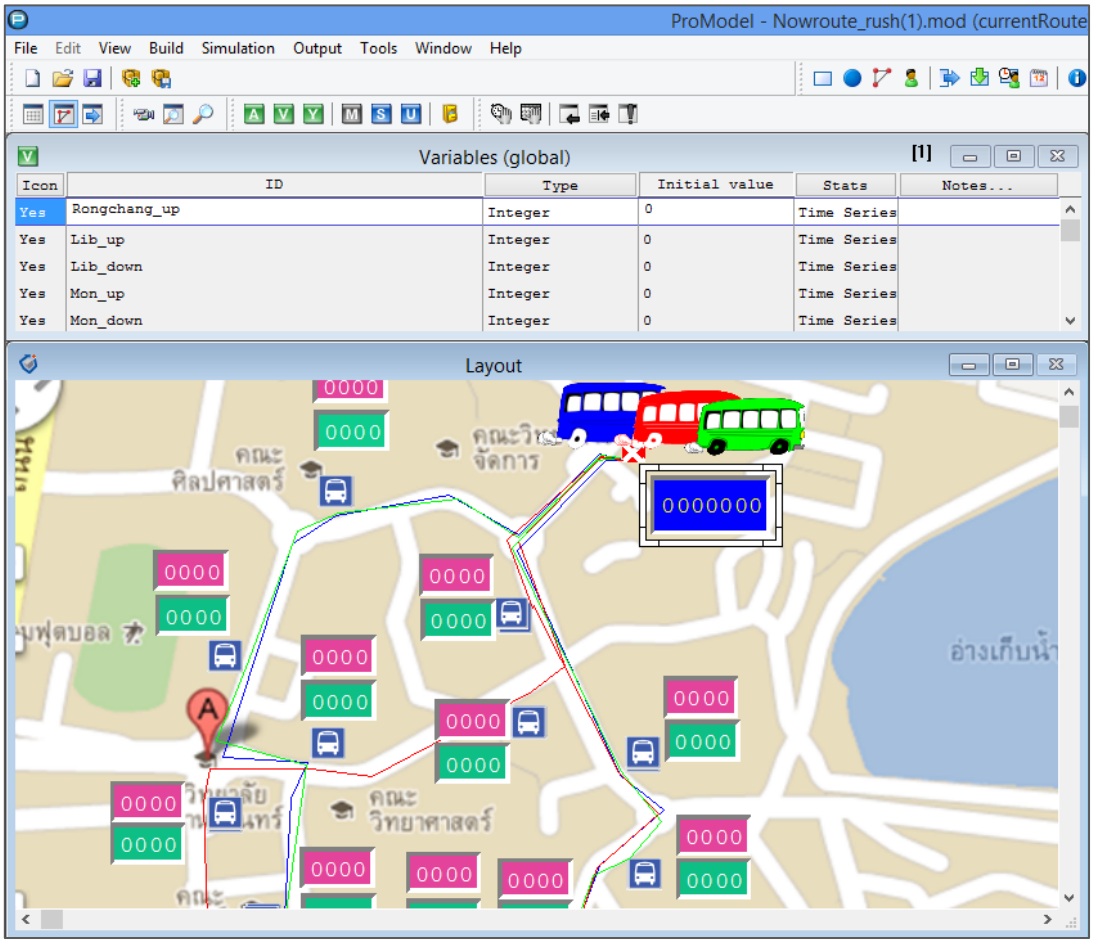


ID	Type	Classification	Notes...
passenger_type	Integer	Ent	

ภาพประกอบ ก-8 การสร้าง Attributes

ก-8 การสร้าง Variables (global)

เป็นการกำหนดการนับจำนวนของ Entities ในระบบซึ่งแสดงในลักษณะ ช่องนับตัวเลขทั้งจำนวนผู้ขึ้นและลงจากรถในแต่ละจุดจอดรถ แสดงดังภาพประกอบ ก-9



ภาพประกอบ ก-9 การสร้าง Variables (global)

ภาคผนวก ข แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล

ตารางที่ ข-1 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเวลาและจำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นลงแต่ละป้าย

ตารางบันทึกจำนวนผู้ใช้บริการรถขนส่งมวลชน ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สายที่ 2

หมายเลขรถ	รายละเอียด	จุดจอดรถ												
		โรงช้าง	ตึกฟักทอง	SciTech	ทันตะ	หอพยาบาล	เภสัช	ตลาด	อก.	ทรัพย์ฯ	BSC	ComSci	หอประชุมวิ	โรงช้าง
	เวลา													
	ผู้โดยสารขึ้นรถ (คน)													
	ผู้โดยสารลงรถ (คน)													
	เวลา													
	ผู้โดยสารขึ้นรถ (คน)													
	ผู้โดยสารลงรถ (คน)													
	เวลา													
	ผู้โดยสารขึ้นรถ (คน)													
	ผู้โดยสารลงรถ (คน)													
	เวลา													
	ผู้โดยสารขึ้นรถ (คน)													
	ผู้โดยสารลงรถ (คน)													
	เวลา													
	ผู้โดยสารขึ้นรถ (คน)													
	ผู้โดยสารลงรถ (คน)													
	เวลา													
	ผู้โดยสารขึ้นรถ (คน)													
	ผู้โดยสารลงรถ (คน)													

ผู้บันทึก.....

ตารางที่ ข-2 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเวลาและจำนวนผู้โดยสาร ณ สถานี

วันที่.....

ผู้บันทึก.....

ตารางบันทึกข้อมูลการให้บริการรถขนส่งมวลชน ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ณ สถานี

หมายเลขรถ	**สายที่**	**เวลาที่รถออกจากสถานี**	**จำนวนผู้โดยสารขึ้นรถ (คน)**	**เวลาที่รถถึงสถานี**	**จำนวนผู้โดยสารลงรถ (คน)**

ภาคผนวก ค การเข้ามาของผู้โดยสาร

ตารางที่ ค-1 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 7:30 น – 9:30 น

จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)					จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)				
จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์
25	84	87	112	48	26	23	87	21	5
241	204	213	182	91	69	67	33	54	77
290	186	326	269	267	165	70	135	157	97
158	183	209	106	36	185	88	107	247	178
90	47	58	4	49	115	91	93	107	71
36	49	35	67	50	56	25	23	46	67
90	55	58	64	131	26	21	38	28	34
186	102	145	217	142					
151	170	174	224	155					
122	81	197	117	104					
47	40	25	19	39					
30	22	54	11	32					
28	17	22	11	12					
92	123	136	104	75					
271	213	205	158	164					
126	194	176	77	142					
46	90	78	32	78					
22	45	39	48	37					
84	55	44	83	66					
118	79	100	112	120					
212	104	139	144	153					
103	112	53	55	107					
55	15	44	39	20					
16	31	18	22	31					
24	27	19	51	15					
56	113	97	116	47					
231	239	232	63	170					

ตารางที่ ค-2 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 9:30 น – 11:30 น

จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)					จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)				
จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์
34	54	32	38	19	23	6	22	11	10
44	36	125	34	89	10	15	14	20	12
69	125	50	85	59	13	50	20	26	53
35	26	71	19	24	47	32	76	69	65
3	32	20	33	6	57	60	68	56	69
7	21	21	10	10	65	100	51	61	26
10	13	12	17	19	15	40	11	21	23
19	11	21	20	30	10	13	7	10	9
47	30	26	50	12	7	16	20	5	14
19	29	22	25	22					
7	9	10	4	29					
12	2	3	7	3					
20	52	70	12	35					
41	60	57	20	86					
61	92	74	62	98					
34	68	48	52	16					
13	59	9	12	11					
3	6	20	4	3					
20	31	11	22	11					
10	10	19	4	16					
29	23	19	20	11					
2	30	15	31	29					
27	38	15	39	28					
4	11	14	24	16					
12	3	31	37	19					
2	21	5	9	18					
19	11	15	4	24					

ตารางที่ ค-3 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 11:30 น – 13:30 น

จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)					จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)				
จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์
21	7	7	18	17	26	58	28	14	25
23	15	7	7	26	58	58	48	25	9
107	45	25	9	11	74	64	36	49	71
6	6	29	6	3	91	66	36	79	81
15	32	34	5	15	62	62	64	59	32
25	43	112	33	14	48	30	32	59	44
145	85	66	28	57	16	37	16	26	35
69	60	116	39	118	3	22	29	19	32
68	61	137	65	79					
30	10	41	61	27					
25	25	10	32	24					
27	23	15	18	46					
22	18	2	17	22					
21	22	30	11	16					
33	15	3	14	16					
43	31	19	16	4					
22	60	37	41	31					
31	65	30	37	39					
28	96	51	32	51					
31	27	31	103	88					
95	97	87	77	54					
51	28	40	23	42					
5	38	4	39	13					
7	25	28	6	16					
13	1	4	5	4					
26	25	27	23	13					
53	19	23	15	17					
42	30	18	18	20					

ตารางที่ ค-4 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 13:30 น – 17:30 น

จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)					จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)				
จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์
29	11	24	20	24	17	5	19	28	40
71	24	114	25	15	22	24	20	4	20
31	12	73	13	62	21	5	24	18	19
54	4	41	4	32	13	12	12	2	15
8	14	37	25	26	10	27	34	6	14
9	21	29	36	28	11	26	34	9	22
22	10	10	40	13	56	28	46	23	73
11	34	7	47	44	30	62	23	12	29
65	8	61	13	35	17	20	29	6	11
9	17	13	35	43	6	32	12	6	38
7	5	22	9	15	66	6	29	23	26
14	5	6	7	23	6	34	24	8	35
8	23	14	16	21	17	27	11	20	20
24	12	33	44	67	11	24	30	7	23
1	31	41	27	68	10	10	8	32	22
7	24	12	20	23	8	6	6	9	27
14	24	28	16	20	7	20	11	12	32
44	13	9	13	3	20	8	14	13	36
20	6	13	35	18	10	25	68	18	38
49	11	10	15	10	59	3	66	14	60
60	49	36	99	24	44	18	67	30	29
7	40	8	42	9	10	11	18	40	26
25	8	17	10	9	10	16	10	13	20
12	37	19	6	12	15	6	11	10	34
12	1	9	14	10	6	14	20	48	43
27	28	16	16	27	39	7	22	18	46
17	10	57	5	58	34	25	15	14	34
63	7	98	18	31	25	6	5	15	20

ตารางที่ ค-4 การเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที ช่วงเวลา 13:30 น – 17:30 น (ต่อ)

จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ณ สถานี ทุกๆ 10 นาที (คน)				
จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์
13	1	3	12	8
22	4	45	20	36
18	37	57	22	46
3	12	41	21	24
12	20	21	9	32
6	15	21	9	11
17	26	18	10	11
25	22	32	24	48
11	8	14	24	15
19	18	19	19	45
10	16	27	13	14
11	12	11	6	26
8	25	21	4	30
30	8	34	3	51
30	9	30	13	23
7	21	8	19	14
16	18	15	10	5
10	4	22	11	12
13	43	34	23	36