การวิเคราะห์โครงการบริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

An Analysis of on Campus Public Transportation Service Project: A Case Study of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus

สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์

Sirirat Suwatcharachaitiwong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การวิเคราะห์โครงการบริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

An Analysis of on Campus Public Transportation Service Project: A Case Study of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus

สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์

Sirirat Suwatcharachaitiwong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering

Prince of Songkla University

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์โครงการบริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ผู้เขียน นางสาวสิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	**คณะกรรมการสอบ**
.....	.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์)	(รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล)
	.....กรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
.....	.....กรรมการ
(ดร.วนัฐณพงษ์ คงแก้ว)	(ดร.อุษณีษ์ คำพูล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(ดร.วนัฐณพงษ์ คงแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ลงชื่อ.....

(นางสาวสิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวสิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์โครงการบริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ผู้เขียน นางสาวสิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จากการสำรวจความพึงพอใจในการใช้บริการรถรับ-ส่งภายในมหาวิทยาลัย ในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่านักศึกษาซึ่งเป็นกลุ่มผู้โดยสารหลัก มีความพึงพอใจน้อยในด้านความเหมาะสมของการจัดตารางการเดินรถ การกำหนดจุดจอดรถ และเส้นทางเดินรถที่เหมาะสม และจะเกิดความไม่พึงพอใจเมื่อต้องรอคอยเป็นระยะเวลานาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์ในการให้บริการระบบขนส่งมวลชนของมหาวิทยาลัยโดยใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel®) เวอร์ชั่น11 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระบบ แล้วใช้แบบจำลองเป็นเครื่องมือเพื่อแสดงผลลัพธ์จากการปรับปรุงการให้บริการ ในรูปแบบทางเลือกที่แตกต่างกัน โดยใช้การออกแบบการจำลองที่ 3 ปัจจัย คือ เส้นทางเดินรถ ตารางการเดินรถ และจำนวนรถที่ใช้ ในระดับที่ต่างกัน ภายใต้ช่วงเวลาของการให้บริการที่กำหนดในแต่ละวัน แล้วนำเสนอทางเลือกที่เหมาะสมในการให้บริการ โดยพิจารณาจากระยะเวลาการรอคอยและต้นทุนการบริการที่ลดลง ซึ่งเป็นการปรับปรุงการให้บริการทั้งในมุมมองของผู้โดยสารและผู้ให้บริการ

ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดนั้นสามารถลดเวลาการรอคอยของผู้โดยสารได้ 53.51% จาก 3.98 นาทีเหลือเพียง 1.85 นาที ในช่วงเวลาเร่งด่วน และลดลง 77.31% จาก 18.51 นาทีเหลือเพียง 4.20 นาทีในช่วงเวลาปกติ เมื่อพิจารณาต้นทุนการให้บริการของรูปแบบทางเลือกที่เหมาะสมมีต้นทุนการรวม 1,412,288.94 บาทต่อปี ลดลง 8.90% จากการให้บริการที่ผ่านมา (ปีการศึกษา 2553-2556) ซึ่งมีต้นทุนเท่ากับ 1,550,351.70 ต่อปี นอกจากนี้รูปแบบทางเลือกที่เหมาะสมมีต้นทุนต่อระยะทางเท่ากับ 11.41 บาทต่อกิโลเมตร และต้นทุนของผู้โดยสาร 1 คนเท่ากับ 1.50 บาทต่อเที่ยว ซึ่งการใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดลสามารถใช้แก้ปัญหาในการจำลองระบบขนส่งมวลชนของมหาวิทยาลัยได้เป็นอย่างดี

Thesis Title	An Analysis of on Campus Public Transportation Service Project: A Case Study of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus
Author	Miss Sirirat Suwatcharachaitiwong
Major Program	Industrial and Systems Engineering
Academic Year	2016

ABSTRACT

This study aims to improve the service level of the public transportation within Prince of Songkla University (PSU), Hat-Yai campus. In the previous satisfaction survey of the PSU transportation service, it is found that students who are the main passengers have less satisfaction with appropriate scheduling, bus stop locations, and suitable routes. Furthermore, they were absolutely concerned that the waiting time affected to less satisfaction of service.

Thus, in this research, the PSU transportation service operation is imitated through simulation process, by using ProModel® version11 simulation software. This model is also utilized to investigate transport service system and used as a tool to show the results from serveral scenarios of service improvement. 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 and designed in different alternative schemes by the simulation experiment. Then, the most suitable scheme is proposed under conditions of the waiting time of passenger and total operating cost which are both the passenger perspective and the organization perspective.

The result shows that the suitable scheme can decrease the waiting time of passengers by 53.51% from 3.98 minutes to 1.85 minutes during rush hour and by 77.31% from 18.51 minutes to 4.20 minutes during normal hour. Comparing the operating cost, it is found that total cost per year was decreased by 8.90% from 1,550,351.70 baht to 1,412,288.94 baht. The operation cost is 11.41 baht/kilometer, or 1.50 baht/person/trip. In conclusion, ProModel simulation software can be adopted to simulate transportation system as well.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยการให้ความช่วยเหลือจากผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ทั้งที่ได้ออกนามและมิได้ออกนาม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาและ ดร.วนัฐณพงษ์ คงแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงการดำเนินการวิจัย ตลอดจนสละเวลาในการตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์ และดร.อุษณีษ์ คำพูล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และให้ความกรุณาในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และมีความถูกต้องมากขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์ สำหรับทุนสำหรับนักศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นอาจารย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ทุนวิศวะ ม.อ.2) ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้ ประเภทวิจัยสถาบัน และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณหน่วยงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คุณประจักษ์ ปานเจิม หัวหน้างานยานยนต์ และบุคลากรทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกๆ ท่านที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆทุกคน ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การจำลองสถานการณ์ (simulation)	5
2.1.1 ความหมายของการจำลองสถานการณ์	5
2.1.2 การจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)	6
2.1.3 ระบบ (system)	7
2.1.4 โครงสร้างของแบบจำลอง (Structure of Simulation Models)	8
2.1.5 เหตุผลของการใช้แบบจำลองแทนระบบงานจริง	9
2.1.6 เงื่อนไขการเลือกใช้แบบจำลอง	10
2.1.7 หลักการสร้างแบบจำลองสถานการณ์	11
2.1.8 ประโยชน์ของการจำลองสถานการณ์	15
2.1.9 ข้อได้เปรียบของการจำลองสถานการณ์	15
2.1.10 ข้อจำกัดของการจำลองสถานการณ์	16
2.2 ระบบขนส่งมวลชน	17
2.2.1 รูปแบบการขนส่งมวลชน	17
2.2.2 การพัฒนาระบบขนส่งมวลชนให้มีประสิทธิภาพ	17
2.3 ปัญหาการขนส่งและการจัดเส้นทาง	18

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา **หน้า**

2.3.1 ปัญหาการตัดสินใจทางธุรกิจการขนส่ง 18
2.3.2 ระดับการวางแผนการจัดการ 18
2.3.3 วิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ 19
2.4 การจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด 21
2.5 ทฤษฎีแถวคอย 23
2.5.1 ลักษณะของปัญหาในระบบแถวคอย 23
2.6 การวิเคราะห์ต้นทุน 27
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28
2.8.1 ระบบขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย 28
2.8.2 การจำลองสถานการณ์ 29
2.8.3 การหารูปแบบการเดินทางที่เหมาะสม 32
2.8.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการ 34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย 36
3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและสภาพปัญหาของโครงการบริการขนส่งมวลชน 38
3.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการ 38
3.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานะปัจจุบัน 39
3.3.1 กรอบแนวคิดสำหรับการสร้างตัวแบบ 39
3.3.2 การพัฒนาตัวแบบจำลอง 39
3.3.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า 39
3.3.4 การหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period) และช่วงเวลาในการเก็บค่าผลลัพธ์ (Run length) 40
3.3.5 การทำซ้ำ 40
3.3.6 การตรวจสอบความถูกต้องและทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง 40
3.4 วิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน 41
3.5 นำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ 41
3.6 การสรุปผลการวิจัย 41

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัย	42
4.1 ข้อมูลการให้บริการโครงการบริการรถขนส่งมวลชน	42
4.1.1 รูปแบบการให้บริการ	42
4.1.2 สถิติผู้ใช้บริการ	48
4.1.3 ตารางการเดินรถ	50
4.2 ลักษณะของปัญหา	51
4.3 ต้นทุนการให้บริการในปัจจุบัน	55
4.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน	59
4.4.1 การตั้งปัญหาและให้คำจำกัดความของระบบงาน	59
4.4.2 กรอบแนวคิดสำหรับการสร้างตัวแบบ	60
4.4.3 ข้อมูลนำเข้าและการวิเคราะห์	60
4.4.4 การพัฒนาตัวแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	68
4.5 การตรวจสอบความถูกต้องและทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง	69
4.5.1 การตรวจสอบความถูกต้อง	69
4.5.2 การทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบ	71
4.6 การวิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน	76
4.7 การทำซ้ำ	77
4.8 การหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period) และช่วงเวลาในการเก็บค่าผลลัพธ์ (Run length)	78
4.9 การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ	79
4.9.1 การสร้างเส้นทางเดินรถ	79
4.9.2 ตารางเดินรถ	93
4.9.3 จำนวนรถแต่ละสาย	93
4.10 การทดลองการจำลองแบบ	94
4.10.1 การสร้างรูปแบบสถานการณ์ทางเลือก	94
4.10.2 ข้อมูลนำเข้าสำหรับสถานการณ์ทางเลือก	95

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา **หน้า**

บทที่ 5 การวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัย 98
5.1 ผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์ 98
5.2 การประเมินทางเลือกของรูปแบบการให้บริการที่เหมาะสม 100
5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนสำหรับรูปแบบสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด 103
5.3.1 ต้นทุนคงที่ 103
5.3.2 ต้นทุนแปรผัน 104
5.4 การเปรียบเทียบการให้บริการ 106
5.4.1 เวลารอคอยของผู้โดยสาร 106
5.4.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการดำเนินงาน 106
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 110
6.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 110
6.1.1 การวิเคราะห์การให้บริการในปัจจุบัน 110
6.1.2 การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ 111
6.1.3 การวิเคราะห์สถานการณ์รูปแบบทางเลือก 111
6.1.4 ต้นทุนการให้บริการ 112
6.2 ข้อเสนอแนะ 112
6.2.1 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย 112
6.2.2 ข้อเสนอแนะในการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย 113
บรรณานุกรม 115
ภาคผนวก 120
ภาคผนวก ก 121
ภาคผนวก ข 124
ภาคผนวก ค 128
ภาคผนวก ง 134
ภาคผนวก จ 142
ประวัติผู้เขียน 149

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ปัญหา VRP รูปแบบต่างๆ 19
4.1 ตำแหน่งจุดจอดรถ 47
4.2 สถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ระหว่างปีการศึกษา 2553-2556 49
4.3 ตัวอย่างตารางเดินรถสายที่ 1 51
4.4 ระยะเวลาการออกรถจากระบบจริง 51
4.5 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถขนส่งมวลชนต่อวัน 54
4.6 ต้นทุนการให้บริการระบบขนส่งมวลชน ปีการศึกษา 2553-2556 55
4.7 อัตราค่าตอบแทนด้านแรงงาน โครงการขนส่งมวลชน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 57
4.8 ต้นทุนคงที่ในการให้บริการโครงการรถขนส่งมวลชน 58
4.9 ต้นทุนแปรผันของการให้บริการโครงการขนส่งมวลชน 59
4.10 สัดส่วนผู้โดยสารที่เข้ามาบริเวณสถานีต้นทาง 61
4.11 สัดส่วนความต้องการในการขึ้น-ลงรถขนส่งมวลชนในแต่ละจุดจอดรถ 62
4.12 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อ ในแต่ละจุดจอดรถ 63
4.13 ระยะห่างของจุดจอดรถและระยะทางรวมแต่ละเส้นทาง 65
4.14 เวลาที่ใช้ในการเดินรถ พิจารณาแยกสายและช่วงเวลา 67
4.15 ความเร็วรถ (พิจารณาแยกสายและช่วงเวลา) 67
4.16 อรรถประโยชน์การใช้งานรถที่ได้จากการสังเกตการณ์และที่ได้จากการจำลองตัวแบบ 72
4.17 เวลารอคอยของผู้โดยสารที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในปัจจุบัน 77
4.18 ผลการคำนวณจำนวนรอบทำซ้ำ 78
4.19 จุดจอดรถและตำแหน่งจุดจอดรถ 82
4.20 การจัดลำดับค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$) 83
4.21 ระยะทางของกลุ่มเส้นทางที่ 1 88
4.22 ระยะทางของกลุ่มเส้นทางที่ 2 91
4.23 รายละเอียดเส้นทางการเดินรถทั้ง 3 กลุ่มเส้นทาง 92
4.24 ปัจจัยที่ใช้ออกแบบแนวทางการปรับปรุง 94
4.25 ความเร็วรถสำหรับสถานการณ์ทางเลือก 95

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.26 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อในแต่ละจุดจอดรถ เส้นทางประเภทที่ 1 95
4.27 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อในแต่ละจุดจอดรถ เส้นทางประเภทที่ 2 96
5.1 ผลลัพธ์เวลารอคอยของผู้โดยสารจากสถานการณ์ทางเลือกทั้งหมด 98
5.2 ต้นทุนค่าจ้างพนักงานขับรถต่อปีของสถานการณ์รูปแบบทางเลือก 101
5.3 ต้นทุนค่าล่วงเวลาของพนักงานขับรถต่อปีของสถานการณ์รูปแบบทางเลือก 102
5.4 ต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถต่อปีของสถานการณ์รูปแบบทางเลือก 102
5.5 เวลารอคอยของผู้โดยสารและระยะการเดินทางต่อวันของกลุ่มเส้นทางเดินรถที่ 2 โดยการใช้งานรถ 3 คันต่อเส้นทาง 103
5.6 ต้นทุนคงที่ของการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี 104
5.7 ระยะทางการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี 105
5.8 ต้นทุนแปรผันของการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี 105
5.9 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปีสุทธิ 105
5.10 การเปรียบเทียบเวลาการรอคอยของผู้โดยสารระหว่างตัวแบบปัจจุบันกับตัวแบบทางเลือกที่เหมาะสม 107
5.11 ต้นทุนการดำเนินงานระบบขนส่งมวลชนต่อกิโลเมตร 131
5.12 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการขนส่งมวลชนต่อปี 108
5.13 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคน 109
ก.1 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเวลาและจำนวนผู้โดยสาร ณ สถานี 122
ก.2 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลจำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร บริเวณจุดจอดรถ 123
ข.1 ต้นทุนค่าจ้างบุคลากร ประจำปีการศึกษา 2553-2556 125
ข.2 ต้นทุนการบำรุงรักษา ประจำปีการศึกษา 2553-2556 126
ข.3 ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ ประจำปีการศึกษา 2553-2556 126
ข.4 ต้นทุนด้านพลังงานของรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ประจำปีการศึกษา 2553-2556 127
ข.5 ระยะทางรวมที่ให้บริการโดยรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ประจำปีการศึกษา 2553-2556 127
ค.1 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารทุก 10 นาที ณ สถานีต้นทาง ในช่วงเวลาเร่งด่วน 129
ค.2 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ทุก 10 นาที ณ สถานีต้นทาง ช่วงเวลาปกติ 132
ง.1 การกำหนด “Locations” 135

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ง.2 การสร้างลำดับกระบวนการด้วยคำสั่ง “Processing” 138
จ.1 ระยะทางระหว่างจุดจอดรถ 143
จ.2 การคำนวนค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$) 144
จ.3 ค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$) 148

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

2.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ 14
2.2 วิธีเซฟวิ่งอัลกอรึทึมขั้นตน (Initial) 22
2.3 วิธีเซฟวิ่งอัลกอรึทึมขั้นกลาง (Intermediate) 22
2.4 วิธีเซฟวิ่งอัลกอรึทึมขั้นตอนสุดทาย (Final) 22
2.5 แถวคอย 1 แถว หน่วยให้บริการ 1 หน่วย 24
2.6 แถวคอย 1 แถว การให้บริการหลายขั้นตอน 25
2.7 แถวคอย 1 แถว หน่วยให้บริการหลายหน่วย 25
2.8 แถวคอย 1 แถว การให้บริการหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีหลายหน่วยให้บริการ 25
2.9 แถวคอยหลายแถว และมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย 26
2.10 แถวคอยหลายแถว การให้บริการมีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีหลายหน่วย 26
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 37
4.1 แผนภาพการไหล (Flow Chart) ของการให้บริการรถขนส่งมวลชน 44
4.2 รถไฟฟ้าที่ให้บริการภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 45
4.3 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 1 45
4.4 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 2 46
4.5 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 3 46
4.6 กราฟสถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชน ปีการศึกษา 2553-2556 49
4.7 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารบริเวณสถานีต้นทาง 53
4.8 กราฟจำนวนผู้โดยสารต่อวัน 54
4.9 สัดส่วนต้นทุนการดำเนินงานรถขนส่งมวลชน 56
4.10 แบบจำลองระบบการให้บริการขนส่งมวลชน 69
4.11 การตรวจสอบตัวแบบโดยใช้คำสั่ง “Trace” ของซอฟต์แวร์โปรโมเดล 70
4.12 การตรวจสอบตัวแบบโดยใช้คำสั่ง “Debug” ของซอฟต์แวร์โปรโมเดล 71
4.13 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบในช่วงเวลาเร่งด่วน จากโปรแกรม Minitab® 73
4.14 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบในช่วงเวลาปกติ จากโปรแกรม Minitab® 73

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลช่วงเวลาเร่งด่วนจากโปรแกรม Minitab® 74
4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลช่วงเวลาปกติจากโปรแกรม Minitab® 74
4.17 การทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบในช่วงเวลาเร่งด่วนจากโปรแกรม Minitab® 75
4.18 การทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบในช่วงเวลาปกติจากโปรแกรม Minitab® 76
4.19 กราฟ “Dynamic Plot” ของการจำลองแบบในการเข้าสู่สภาวะเสถียร 79
4.20 ลักษณะการให้บริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย 80
4.21 กระบวนการพัฒนาวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัด 81
4.22 กลุ่มเส้นทางที่ 1 ที่ได้จากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด 87
4.23 กลุ่มเส้นทางที่ 2 ที่ได้จากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด 90
4.24 กลุ่มเส้นทางที่ 3 ซึ่งให้บริการในปัจจุบัน 92
5.1 เวลารอคอยของผู้โดยสารในช่วงเวลาเร่งด่วน 100
5.2 เวลารอคอยของผู้โดยสารในช่วงเวลาปกติ 100
5.3 ต้นทุนการดำเนินงานขนส่งมวลชนต่อปี 107
5.4 ต้นทุนการดำเนินงานขนส่งมวลชนต่อกิโลเมตร 108
5.5 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคน 109
ง.1 การสร้าง “Location” 135
ง.2 การสร้าง “Entities” 136
ง.3 การสร้าง “Path network” 136
ง.4 การสร้าง “Resources” 137
ง.5 การสร้าง “Processing” 139
ง.6 การสร้าง “User distributions” 139
ง.7 การสร้าง “Arrivals” 140
ง.8 การสร้าง “Attributes” 140
ง.9 การสร้าง “Variables (Global)” 141

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ระบบขนส่งมวลชนได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการดำเนินชีวิตของประชาชนทำให้เกิดความสะดวกสบายในการเดินทาง ประชาชนสามารถเลือกรูปแบบการเดินทางที่เหมาะสมได้ตามความต้องการ สำหรับการบริหารงานด้านการดูแลทรัพยากรบุคคลขององค์กรนั้น พบว่ามีหน่วยงานจำนวนมากที่ให้ความสำคัญกับการลงทุนด้านขนส่งมวลชนให้กับบุคลากร โดยการมอบสวัสดิการด้านการเดินทางให้แก่พนักงานภายในองค์กร ทำให้เกิดความสะดวกสบายโดยไม่คิดค่าโดยสาร ซึ่งถือเป็นสิ่งหนึ่งที่เป็นแรงจูงใจในการจ้างงานขององค์กรได้ เช่นเดียวกับการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยซึ่งมักจะมีพื้นที่กว้าง ภายในมหาวิทยาลัยจึงจำเป็นต้องใช้ยานพาหนะในการเดินทาง ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยจึงมีการมอบสวัสดิการนี้ให้แก่นักศึกษา บุคลากร หรือบุคคลภายนอกให้สามารถเดินทางภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยหรือพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเป็นการลดปัญหาการจราจรได้อีกด้วย ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะไม่คิดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ตัวอย่างมหาวิทยาลัยในประเทศไทยที่ให้บริการรถขนส่งมวลชนภายใน ได้แก่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยนเรศวร และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นต้น

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ได้เริ่มให้มีระบบขนส่งมวลชนภายในเพื่อบริการแก่นักศึกษาและบุคลากรในปี พ.ศ. 2547 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดระเบียบการสัญจรให้เหมาะสมกับการเป็นสถานศึกษาและเป็นตัวอย่างที่ดีแก่ชุมชน ก่อนที่จะเริ่มโครงการผู้รับผิดชอบได้มีการศึกษาดูงานบริการขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยต่างๆในประเทศไทย ซึ่งมีการใช้ยานพาหนะที่แตกต่างกันไป แต่โดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะปรับเปลี่ยนรถโดยสารที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง มาเป็นรถโดยสารที่ใช้พลังงานสะอาดแทน โดยมีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นมหาวิทยาลัยแรกที่นำรถไฟฟ้ามาใช้ในการให้บริการแก่นักศึกษา เพื่อเป็นการแก้ปัญหาจราจรและมลพิษภายในมหาวิทยาลัยฯ หลังจากศึกษาดูงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์จึงได้ดำเนินโครงการขนส่งมวลชนซึ่งเป็นการลดปัญหาการจราจรและพื้นที่จอดรถ และยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยการใช้แหล่งพลังงานสะอาดในการขับเคลื่อน ซึ่งเริ่มเปิดให้บริการในภาคการศึกษาแรกของปีการศึกษา 2553

การดำเนินงานของโครงการบริการขนส่งมวลชน ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยฯ มีกลุ่มนักศึกษาหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯ เป็นกลุ่มผู้ใช้บริการหลัก ส่วนบุคลากรและนักศึกษาที่อาศัยภายนอกมหาวิทยาลัยฯ ใช้บริการเป็นจำนวนน้อย โดยจากข้อมูลสำนักงานหอพักในปีการศึกษา 2556 ในภาคการศึกษาที่ 1 มีนักศึกษาที่อาศัยอยู่ในหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯ จำนวนรวมทั้งสิ้นสูงถึง 7,998 คน

จากข้อมูลงานวิจัยของ เขมินี ทองมา และภาสกร ชุมแก้ว[1] ได้ประเมินผลการดำเนินโครงการรถขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยการใช้แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างโดยมีประเด็นที่น่าสนใจคือ การประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการรถขนส่งสาธารณะของผู้ใช้บริการที่เป็นนักศึกษา โดยเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจ ใช้การแปลผลจากค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจในระดับที่ต่างกันตั้งแต่ความพึงพอใจน้อยที่สุดถึงความพึงพอใจมากที่สุด ซึ่งมีน้ำหนักการให้คะแนนที่ต่างกันตั้งแต่ 1 ถึง 5 คะแนน พบว่าความพึงพอใจที่ผ่านการเกณฑ์การประเมินได้แก่ ด้านการติดต่อสื่อสาร ด้านความปลอดภัย ด้านพนักงานขับรถ และด้านลักษณะภายนอกของสมรรถนะของรถไฟฟ้า แต่ประเด็นหนึ่งที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินได้แก่ ความสะดวกของการใช้บริการรถขนส่งมวลชน ในด้านความตรงต่อเวลาในการให้บริการ ความเหมาะสมของตารางการเดินรถ ความเหมาะสมของจุดจอดรถ และความเหมาะสมของเส้นทางการให้บริการ นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์ผู้โดยสารเบื้องต้น พบว่าผู้โดยสารจะไม่พึงพอใจในการให้บริการเมื่อเกิดเวลาการรอคอยเป็นเวลานาน ดังนั้นจากประเด็นต่างๆเหล่านี้เป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญในการปรับปรุงการให้บริการเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์กลุ่มงานยานยนต์ผู้รับผิดชอบโครงการ พบว่าในการปรับปรุงการให้บริการของผู้โดยสารนั้นควรอยู่บนพื้นฐานการปรับปรุงในมุมมองของผู้ให้บริการร่วมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านต้นทุนการให้บริการที่คาดหวังว่าจะมีต้นทุนที่ลดลง ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ทั้งในมุมมองของผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ

สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยฯ หนาแน่นเป็นอย่างมากโดยเฉพาะในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน และยังพบปัญหาที่จอดรถไม่เพียงพอกับปริมาณรถยนต์และรถจักรยานยนต์ภายในมหาวิทยาลัยฯ จากข้อมูลจำนวนรถที่ขึ้นทะเบียนในมหาวิทยาลัยฯในปี พ.ศ. 2556 ของบุคลากรและนักศึกษา (ยกเว้นนักศึกษาหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯ) มีจำนวนรถยนต์และรถจักรยานยนต์ทั้งสิ้น 1,276 คันและ 10,332 คันตามลำดับ อีกทั้งยังมีรถที่เข้าออกมหาวิทยาลัยฯของนักศึกษาที่ไม่ได้ขึ้นทะเบียนและรถของบุคคลภายนอกเป็นจำนวนมาก และสิ่งที่น่าสนใจคือมีรถของนักศึกษาที่อาศัยอยู่ในหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯซึ่งมีการฝ่าฝืนกฎการห้ามใช้รถของมหาวิทยาลัยฯเป็นจำนวนมาก ดังนั้นโครงการบริการขนส่งมวลชนควรมีการปรับปรุงสมรรถนะในการให้บริการ โดยมุ่งเน้นที่การเพิ่มสมรรถนะที่มีผลกระทบต่อการเลือกใช้บริการทั้งในประเด็นด้านความสะดวก อันได้แก่ การจัดตารางเวลาการเดินรถ การกำหนดจุดจอดรถ เส้นทางการให้บริการ รวมไปถึงจำนวนรถที่เหมาะสมใน

การให้บริการ โดยการกำหนดรูปแบบการเดินรถที่เหมาะสม ซึ่งจะทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าต่างๆ เพื่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นโดยมุ่งเน้นที่เวลารอคอยของผู้โดยสารเป็นปัจจัยหลัก

สำหรับการปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้านั้น เป็นสิ่งที่ยากในการปฏิบัติจริงเนื่องจากข้อจำกัดในหลายๆด้าน เช่น ข้อจำกัดด้านระยะเวลา ข้อจำกัดด้านทรัพยากร และข้อจำกัดด้านงบประมาณ เป็นต้น สิ่งต่างๆเหล่านี้สามารถใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อจำลองสถานการณ์ที่ต้องการศึกษาได้ ซึ่งการใช้แบบจำลองสถานการณ์นั้น เป็นการสร้างสถานการณ์สมมติที่อาศัยข้อเท็จจริงเสมือนสถานการณ์จริง เพื่อทดลอง ตัดสินใจ แก้ไขปัญหา และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการทดลองก่อนนำไปใช้แก้ไขปัญหาในสถานการณ์จริงต่อไป โดยแบบจำลองสถานการณ์นั้นนิยมนำมาใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เหมาะกับปัญหาที่มีความซับซ้อน ต้องอาศัยการสุ่มค่าการตัดสินใจ อีกทั้งยังอยู่ภายใต้สภาวการณ์ที่ไม่มีความแน่นอนและมีความเสี่ยง นอกจากนี้การใช้แบบจำลองสถานการณ์ยังช่วยให้เกิดการประเมินผลลัพธ์ในการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ได้ จากการจำลองสถานการณ์และผลลัพธ์ที่ได้นั้น จะถูกนำเสนอในรูปแบบของข้อเสนอทางเลือกที่จะช่วยให้สมรรถนะของระบบขนส่งมวลชนดียิ่งขึ้น และสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทางเลือกต่างๆได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รูปแบบที่เหมาะสมนั้นจะต้องสามารถลดเวลารอคอยของผู้โดยสารได้ โดยรูปแบบข้อเสนอทางเลือกนั้นจะถูกพิจารณาไปควบคู่กับการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพื่อหาต้นทุนของการให้บริการรถขนส่งมวลชน การวิเคราะห์ต้นทุนจะวิเคราะห์ทั้งต้นทุนในสภาพปัจจุบันและต้นทุนของข้อเสนอทางเลือก เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจด้านงบประมาณในการบริหารจัดการบริการขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะ ด้านเวลารอคอยของผู้โดยสารและต้นทุนการดำเนินงาน ในการให้บริการรถขนส่งสาธารณะภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) เป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจ เพื่อกำหนดนโยบายของมหาวิทยาลัย ในการให้บริการโครงการรถขนส่งสาธารณะ ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

2) สามารถช่วยบริหารการใช้งานรถโดยสารอย่างคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

3) มีต้นทุนการดำเนินงานที่ลดลง
4) เป็นตัวอย่างให้กับหน่วยงานอื่นนำไปประยุกต์ใช้

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาโครงการบริการรถขนส่งมวลชน ในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยการใช้รถไฟฟ้าเป็นยานพาหนะ วิเคราะห์หารูปแบบการให้บริการที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วยจำนวนรถ การจัดตารางเวลาการเดินรถ จุดจอดรถ และเส้นทางการเดินรถ เพื่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น แล้วคำนวณหาต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานทั้งในสภาวะปัจจุบันและรูปแบบข้อเสนอทางเลือก ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการวางแผนงบประมาณและการสนับสนุนด้านการเงินจากหน่วยงานต่างๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยการจำลองสถานการณ์ ระบบขนส่งมวลชน ปัญหาการจัดการขนส่งและเส้นทาง การจัดเส้นทางด้วยวิธีอัลกอริ-ทึมแบบประหยัด ทฤษฎีแถวคอย การวิเคราะห์ต้นทุน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแต่ละประเด็นข้างต้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)

2.1.1 ความหมายของการจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาด้านต่างๆ มาเป็นเวลานาน โดยเริ่มใช้ในส่วนของการทหาร โลจิสติกส์ และการผลิต นอกจากนั้นยังได้รับความสนใจและถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างแพร่หลายมากขึ้น ในสาขาต่างๆ เช่น การดูแลสุขภาพ สังคมศาสตร์และองค์กร วิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม การก่อสร้างและการบริหารโครงการ การเงิน การเกษตรและการยศาสตร์ เป็นต้น

การให้ความหมายของการจำลองสถานการณ์นั้น Shannon ได้ให้คำจำกัดความว่า “การจำลองสถานการณ์เป็นกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบ ภายใต้ข้อกำหนดที่กำหนดไว้” [2] สำหรับในมุมมองทางด้านสถิตินั้น จุฑา พิชิตลำเค็ญ [3] ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า “การจำลองสถานการณ์เป็นวิธีวิเคราะห์การปฏิบัติการ (Performance) ของระบบซึ่งมีพฤติกรรมที่ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของกระบวนการสุ่ม (Random Process) หลายๆตัว กระบวนการสุ่มนี้สามารถระบุได้ด้วยแบบจำลองความน่าจะเป็น ซึ่งระบบที่สนใจอาจเป็นระบบที่มีอยู่แล้ว และต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยต้องมีการกำหนดเกณฑ์สำหรับชี้วัดสิ่งที่ดีขึ้น หรือเป็นการสร้างสถานการณ์ที่ยังไม่มีอยู่จริงแต่กำลังมีการพิจารณาอยู่”

การจำลองเป็นการดำเนินการบนตัวแบบที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนระบบจริงในช่วงหนึ่งๆ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบ และนำผลที่ได้จากตัวแบบไปใช้ในการพยากรณ์พฤติกรรมของระบบงานที่แท้จริง ในการจำลองเหตุการณ์สามารถใช้ข้อมูลเก่าหรือข้อมูลที่วางแผนไว้

โดยตัวแบบที่ใช้สามารถแสดงผลลัพธ์การคำนวณต่างๆได้ ซึ่งคุณลักษณะหลักของการจำลองเหตุการณ์ มีหลายประการ ได้แก่ การจำลองระบบในความเป็นจริง ซึ่งมีการทำงานกับความเป็นจริงที่ง่ายกว่าแบบจำลองอื่นๆ การจำลองเพื่อนำไปสู่การทดลอง เป็นการจำลองเหตุการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทดสอบค่าที่กำหนดไว้ ในการตัดสินใจหรือตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในแบบจำลอง การจำลองซึ่งเป็นเครื่องมือแบบเชิงบรรยาย สามารถอธิบายหรือคาดเดาคุณลักษณะของระบบที่กำหนดภายใต้สถานการณ์ต่างๆได้ สำหรับการจำลองเหตุการณ์มักจะประกอบด้วยการทำการทดลองหลายๆครั้งเพื่อประมาณผลกระทบที่จะเกิดจากการกระทำนั้น และนิยมใช้กับปัญหาที่มีความยุ่งยากเกินกว่าที่จะใช้วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เช่น การใช้โปรแกรมเชิงเส้น

กระบวนการของการจำลองแบบปัญหานั้นแบ่งเป็นสองส่วน คือ การสร้างแบบจำลอง และการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์ แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหานี้อาจเป็นหุ่น เป็นระบบ หรือเป็นแนวความคิด โดยไม่จำเป็นต้องเหมือนกับระบบงานจริง แต่ต้องสามารถช่วยให้เข้าใจในระบบงานจริง เพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริง การที่จะสามารถสร้างแบบจำลองที่นำไปใช้ในการจำลองแบบปัญหาได้ ผู้สร้างต้องมีความเข้าใจในระบบงานจริงเป็นอย่างดี มีความรู้ความเข้าใจในระบบงานจริง [2]

2.1.2 การจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) [2-4]

การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาควบคู่ไปกับการเติบโตอย่างรวดเร็วของคอมพิวเตอร์ทั้งในด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เนื่องจากการประยุกต์ใช้เป็นครั้งแรกสำหรับโครงการแมนฮัตตัน (Manhattan Project) ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง เพื่อจำลองการระเบิดนิวเคลียร์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล ในช่วงปี พ.ศ. 2503-2508 ต่อมาซอฟต์แวร์ได้ถูกพัฒนาเพื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยเฉพาะ เช่น บริษัทไอบีเอ็มพัฒนาภาษา GPSS (ย่อมาจาก “General Purpose System Simulator”) นอกจากนี้ยังมี SIMSCRIPT ที่พัฒนาโดย Harry Markowitz จากสถาบัน RAND

ในอดีตนั้นแบบจำลองสถานการณ์ต้องประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรม (Mainframe Computer) ซึ่งจำกัดการใช้งานอยู่เฉพาะในองค์กรขนาดใหญ่ที่สามารถมีเครื่องเหล่านี้ได้ ทำให้บุคคลทั่วไปไม่สามารถเข้าถึงได้ การจำลองสถานการณ์เริ่มมีการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2509-2513 เนื่องจากมีซอฟต์แวร์เพื่อจำลองสถานการณ์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ยังมีราคาถูกลง มีกำลังการประมวลผล และความจุของการเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้มีการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์เพิ่มมากขึ้น

การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการสร้างแนวทางในการตัดสินใจระบบเพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการช่วยพิจารณาและวิเคราะห์งานก่อนที่จะนำไปใช้กับระบบงานจริงและเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาการดำเนินงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์เป็นการศึกษาปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลอง ตัวแบบที่สร้างขึ้นมาสามารถเป็นตัวแทนของระบบที่เกิดขึ้นตามสถานการณ์จริงได้ หรือสอดคล้องกับสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นในการจัดการด้านการตลาดที่มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Dynamic) และอาจมีความไม่แน่นอน (Uncertainly) เกิดขึ้นได้ในตัวแปรที่มีผลต่อการตัดสินใจ ทำให้การสร้างแบบจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของสิ่งที่สนใจได้ และ สามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานได้หลายประเภท ในปัจจุบันเป็นเทคนิคที่ได้รับการนำเอาไปใช้อย่างแพร่กว้างขวาง

2.1.3 ระบบ (system) [2]

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อเรียนรู้หรือประเมินการทำงานของระบบจริง ผู้สร้างต้องมีความเข้าใจในระบบจริงเป็นอย่างดี จึงจะสามารถสร้างแบบจำลองซึ่งใช้แทนระบบงานนั้นๆ ได้ โดยระบบสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1.3.1 นิยามระบบ

ระบบ (System) หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบ (Elements) ที่มีความ สัมพันธ์กันในการศึกษาระบบงานใดๆ เพื่อกำหนดเป็นลักษณะของระบบงานนั้นจะใช้วิธีการกำหนดขอบเขตของระบบงาน (System Boundaries) ประกอบด้วย

1) การกำหนดองค์ประกอบของระบบ จะต้องพิจารณา ลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) กิจกรรม (Activities) และสถานภาพของระบบ (System Status) ภายหลังจากการทำกิจกรรม

2) การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ

3) การกำหนดองค์ประกอบอื่นๆ ภายนอกระบบที่มีผล กระทบต่อการทำงานของระบบ ซึ่งเรียกโดยรวมว่าสิ่งแวดล้อมระบบ (System Environment)

2.1.3.2 ประเภทของระบบ

การจำแนกประเภทของระบบ สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน สำหรับการจำลองจะจำแนกประเภทตามลักษณะการเปลี่ยนสถานภาพ โดยสามารถจำแนกประเภทได้ 2 ลักษณะ ประกอบด้วย

1) จำแนกตามพฤติกรรมในการเปลี่ยนสถานภาพเทียบกับเวลา

ก. ระบบต่อเนื่อง (Continuous Systems) เป็นระบบที่มีการเปลี่ยนสถานภาพไปตามเวลาอย่างต่อเนื่อง

ข. ระบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Systems) เป็นระบบที่มีการเปลี่ยนสถานภาพในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง

2) จำแนกตามสถานภาพที่เปลี่ยนแปลงไป

ก. ระบบชี้เฉพาะ (Deterministic Systems) เป็นระบบซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานภาพที่ระดับใหม่สามารถบอกได้จากสถานภาพและกิจกรรมของระบบที่ระดับก่อน

ข. ระบบไม่แน่นอน (Stochastic Systems) เป็นระบบซึ่งการเปลี่ยนสถานภาพเป็นแบบสุ่ม โดยใช้หลักการของความน่าจะเป็นในการทำนายสถานภาพที่ระดับใหม่

2.1.4 โครงสร้างของแบบจำลอง (Structure of Simulation Models) [2]

โครงสร้างของแบบจำลองสามารถเขียนในรูปแบบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ (2.1)

$$E = f(x_i, y_i) \tag{2.1}$$

โดยที่

E = ผลของการปฏิบัติการของระบบ

x_i = ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่สามารถควบคุมได้

y_i = ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถควบคุมได้

f = ความสัมพันธ์ระหว่าง x_iและ y_i ที่ทำให้เกิด E

จากรูปแบบของฟังก์ชันข้างต้น โครงสร้างของแบบจำลองจะประกอบด้วย

2.1.4.1 องค์ประกอบ (Components)

ทุกระบบจะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ในแบบจำลองที่ใช้แทนระบบจริง ซึ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของระบบ

2.1.4.2 ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables and Parameters)

1) ตัวแปร หมายถึงค่าที่ผันแปร มีได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน แยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรภายนอก (Exogeneous Variables) มีลักษณะเป็นตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ซึ่งหมายถึง ตัวแปรจากภายนอกระบบที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ หรือเป็นตัวแปรซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยภายนอกระบบ ตัวแปรภายใน (Endogeneous Variables) เป็นตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ อาจมีลักษณะเป็นตัวแปรสถานภาพ (Status Variables) ซึ่งใช้บอกสภาพหรือเงื่อนไขของระบบหรืออยู่ในลักษณะตัวแปรนำออก

(Output Variables) ผลที่ได้จากการใช้งานระบบในเชิงสถิติตัวแปรจากภายนอกจะเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรภายในจะเป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables)

2) พารามิเตอร์ เป็นค่าคงที่ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนด อาจเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเอง เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าของพารามิเตอร์นั้น หรือเป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล

2.1.4.3 ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships) เป็นฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับพารามิเตอร์ซึ่งมีได้ 2 ลักษณะ คือ

1) แน่นอนตายตัว (Deterministic) เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าจะสามารถหาผลลัพธ์ที่แน่นอนได้

2) ไม่แน่นอน (Stochastic) เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าให้กับฟังก์ชัน จะไม่สามารถระบุผลลัพธ์ที่แน่นอนได้ รูปแบบของฟังก์ชันจะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งฟังก์ชันความสัมพันธ์เหล่านี้อาจหามาได้จากสมมติฐานหรือประเมินจากข้อมูลร่วมกับวิธีการทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์

2.1.4.4 ข้อจำกัด (Constraints) ข้อจำกัดของค่าของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ใช้กำหนดขึ้น เช่น ปริมาณทรัพยากรในระบบ ปริมาณที่ผลิตได้ต่อวัน หรือเป็นข้อจำกัดของระบบจริงโดยธรรมชาติ เช่น การขายสินค้าจะไม่สามารถขายได้มากกว่าปริมาณที่ผลิต

2.1.4.5 ฟังก์ชันเป้าหมาย (Criterion Functions) หมายถึงข้อความที่บอกเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของระบบงาน และวิธีประเมินผลตามเป้าหมาย โดยที่วัตถุประสงค์ของระบบงานอาจแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ การคงสภาพของระบบงาน (Retentive) ซึ่งทำให้ระบบสามารถคงสภาพการใช้ทรัพยากร เช่น เวลา พลังงาน ความชำนาญ เป็นต้น หรือคงสถานะภาพของระบบ เช่น ความสะดวกสบาย ความปลอดภัย เป็นต้น และวัตถุประสงค์ของการแสวงหา (Acquisitive) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ระบบสามารถเพิ่มทรัพยากรต่างๆ เช่น กำไร ลูกค้า หรือเปลี่ยนสถานะภาพของระบบ เช่น ได้ส่วนแบ่งของตลาดเพิ่มขึ้น

2.1.5 เหตุผลของการใช้แบบจำลองแทนระบบงานจริง [2-4]

เนื่องจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ นั้นเป็นเครื่องมือซึ่งใช้บอกผลที่เกิดจากระบบงานภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ผลที่จะได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นอาจนำไปใช้งานได้โดยตรงหรืออาจจะต้องนำไปวิเคราะห์ต่อ แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นเป็นวิธีการหนึ่งในหลายๆ วิธีที่อาจใช้ช่วยแก้ปัญหาในการดำเนินงานของระบบงานได้ ดังนั้นเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นจึงต้องวิเคราะห์ปัญหานั้นๆก่อน ว่าควรจะใช้เครื่องมือใดเข้าไปช่วยแก้ปัญหา เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่า แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นเหมาะสมเพียงใด ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1) การทดลองกับระบบงานจริงนั้นอาจก่อให้เกิดความขัดข้องในการดำเนินงานตามปกติ

2) ในการทดลองกับระบบงานจริง โดยส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลของสมรรถนะของคน อาจได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากความสามารถในการปรับสมรรถนะของตนเอง จึงทำให้ได้ข้อมูลที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง

3) การทดลองกับระบบงานจริงนั้นเป็นการยากที่จะควบคุมเงื่อนไขต่างๆของการทดลองให้คงที่ ซึ่งทำให้ผลการทดลองในแต่ละครั้งของการทดลอง อาจไม่ใช่ผลที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขกลุ่มเดียวกัน

4) การทดลองกับระบบงานจริงนั้น อาจต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก จึงจะได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

5) การทดลองกับระบบงานจริง อาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะทดลองกับเงื่อนไขทุกรูปแบบที่ต้องการ

2.1.6 เงื่อนไขการเลือกใช้แบบจำลอง [2-4]

การใช้การจำลองแบบในการช่วยแก้ไขปัญหา จะมีการพิจารณาการใช้การจำลองแบบปัญหาเมื่อเงื่อนไขข้อหนึ่งข้อใดต่อไปนี้เกิดขึ้น ดังนี้

1) กรณีที่ไม่มีวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์

2) กรณีที่มีวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ แต่การคำนวณและขั้นตอนการวิเคราะห์ยุ่งยาก ทำให้เสียเวลาและแรงงานมาก และการจำลองแบบปัญหาเป็นวิธีแก้ปัญหาที่ง่ายกว่า

3) กรณีที่การจำลองแบบปัญหาเป็นวิธีเดียวที่จะสามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากไม่อาจทำการทดลองและวัดผลในสภาพจริง

4) กรณีที่มีวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ไม่ยุ่งยากมากนัก แต่เกินขีดความสามารถของบุคลากรที่มีอยู่ และค่าใช้จ่ายในการใช้การจำลองแบบปัญหาถูกกว่าการจ้างผู้เชี่ยวชาญในวิธีการทางคณิตศาสตร์นั้นมาแก้ปัญหา

5) กรณีที่มีความจำเป็นในการสร้างสถานการณ์ในอดีต หรือในอนาคตเพื่อศึกษาหรือประเมินค่าพารามิเตอร์ เนื่องจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์นั้นสามารถใช้ในการกำหนดทางเลือกในการทำงานของระบบเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้วิธีการการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์และลักษณะของระบบ และการรันโปรแกรมหลายๆ ครั้ง เมื่อกำหนดลักษณะระบบที่แตกต่างกัน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบจะเป็นทางเลือกให้ผู้สร้างเลือกทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

6) กรณีที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของระบบงานในช่วงระยะเวลาการใช้งานระบบนานๆ เช่น การศึกษาปัญหาเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ

7) กรณีที่ระบบงานจริงนั้นมีความซับซ้อนมาก และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินระบบงานสูง

8) กรณีที่ระบบงานมีเวลานานการดำเนินงานนาน ซึ่งเกินกว่าที่จะรอคอยคำตอบได้

2.1.7 หลักการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ [2-5]

ในการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ มีขั้นตอนดังนี้

1) การกำหนดปัญหา เป็นการให้คำจำกัดความของระบบงาน การกำหนดขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดต่างๆ และวิธีวัดผลจากระบบงาน โดยจะต้องตรวจสอบและบ่งชี้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการศึกษาระบบในสถานการณ์จริง สิ่งที่สำคัญคือ ผู้พัฒนาตัวแบบจะต้องมีความรู้ความเข้าใจระบบจริง และปัญหาที่ถูกนิยามจะต้องเป็นปัญหาที่ได้มาจากการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างผู้พัฒนาตัวแบบและผู้ใช้ตัวแบบเพื่อการตัดสินใจ (Decision Maker) เพื่อให้ผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากการจำลองนั้นตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานจริงและเกิดประโยชน์สูงสุด

2) การตั้งวัตถุประสงค์และแผนการโดยรวม โดยที่วัตถุประสงค์นั้นสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า คำถามที่เกิดขึ้นนั้นสามารถสร้างคำตอบได้โดยใช้การจำลองสถานการณ์ โดยต้องมั่นใจได้ว่าการจำลองสถานการณ์สามารถหาคำตอบของปัญหานั้นได้ และเป็นวิธีที่เหมาะสม สำหรับการวางแผนการโดยรวมนั้นควรคำนึงถึงสถานะของทางเลือกต่างๆ และวิธีการประเมินประสิทธิผลที่จะเกิดขึ้น ตัวอย่างการวางแผนการนั้น เช่น ค่าใช้จ่ายที่จะใช้ในการศึกษา จำนวนคน จำนวนวันที่จะใช้ในการทำงาน ตลอดจนผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละสถานะ

3) การสร้างกรอบแนวคิดของตัวแบบ ในการพัฒนาตัวแบบจำลองนั้นจะต้องเริ่มต้นจากการสร้างแนวคิดของแบบจำลอง ซึ่งเป็นการออกแบบตรรกะการดำเนินงาน (Logical Flow) ของระบบที่จะทำการศึกษา โดยการสร้างแผนภาพสายงาน (Flow Chart) พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของลำดับวิธีการดำเนินงานให้สอดคล้องกับระบบจริง จากนั้นสร้างแบบจำลองโดยใช้ซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ (Simulation Software) เพื่อเลียนแบบระบบที่ศึกษา อาทิ ProModel, Arena, Extend และ AutoMod เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ซอฟต์แวร์เหล่านี้จะมีรูปแบบการเรียกใช้คำสั่งการทำงานต่างๆ โดยที่ผู้สร้างไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมคำสั่งขึ้นเอง และมีองค์ประกอบของการสร้างตัวแบบที่ครบถ้วน ซึ่งทำให้การใช้งานง่าย สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น การสร้างแบบจำลองนั้นจะมีโครงสร้างซับซ้อนแตกต่างกันตามลักษณะของระบบที่ทำการศึกษา เช่น การจำลองแบบระบบขนส่งมวลชน การจำลองแบบกระบวนการผลิตเชิง

อุตสาหกรรม การจำลองแบบการจัดการสินค้าคงคลัง การจำลองแบบด้านการบริการสุขภาพ เป็นต้น ดังนั้นผู้พัฒนาควรออกแบบตัวแบบจำลองให้เหมาะสมกับแต่ละระบบ และตรวจสอบความถูกต้องตลอดกระบวนการพัฒนาตัวแบบ เพื่อให้ตัวแบบสามารถสะท้อนรูปแบบการดำเนินการได้เสมือนจริงมากที่สุด

4) การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อผู้พัฒนาได้สร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์แล้วนั้น ต่อมาจะต้องทำการพิจารณาว่า ข้อมูลใดบ้างที่จำเป็นในการวิเคราะห์ระบบของปัญหา จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นตัวแทนของระบบจริงที่แม่นยำและถูกต้อง วิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลและรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสม ทดสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยใช้หลักการทางสถิติ เพื่อให้ข้อมูลที่จะนำไปใช้สำหรับการจำลองสถานกาณ์นั้น สามารถเป็นตัวแทนข้อมูลให้กับระบบได้ จากนั้นจัดเตรียมข้อมูลป้อนเข้าให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

5) การแปลตัวแบบ สำหรับการป้อนข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการเก็บข้อมูลนั้นจะต้องแปลผลให้ข้อมูลให้สามารถใช้งานกับคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ต่างๆได้ จากนั้นป้อนข้อมูล รันตัวแบบ สังเกตผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น และแปลผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์

6) การยืนยันความถูกต้องของตัวแบบ ในขั้นตอนนี้จะต้องทดสอบและค้นหาสิ่งผิดพลาดทั้งหมดตลอดกระบวนการ เนื่องจากแบบจำลองสถานการณ์ จะต้องถูกนำไปศึกษาแทนเหตุการณ์จริง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถนำไปใช้แทนเหตุการณ์จริงได้อย่างสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

7) การทดสอบความสมเหตุสมผล โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของตัวแบบกับระบบจริง เพื่อสะท้อนให้เห็นว่าตัวแบบนั้นมีพฤติกรรมเสมือนระบบจริง

8) การออกแบบการทดลอง เมื่อผู้พัฒนาได้สร้างแบบจำลองแทนระบบจริงแล้ว ทำการสังเกตและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง จากนั้นออกแบบการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าต่างๆ เพื่อสังเกตผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น โดยขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการหารูปแบบสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบตัวแบบหรือการประเมินทางเลือกจากการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีลักษณะต่างกันตามดัชนีชี้วัดที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้

9) การรันและวิเคราะห์ผล ทำการรันตัวแบบ ในทุกๆ สถานการณ์ที่กำหนดโดยการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น จากนั้นประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในมุมมองต่างๆของกระบวนการในระบบเดิมและแบบจำลองที่ได้ออกแบบการทดลอง เพื่อหาข้อสรุปที่เกิดขึ้นซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เช่น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในระบบได้ การเปลี่ยนแปลงระบบสามารถก่อให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านการใช้ทรัพยากร หรือด้าน

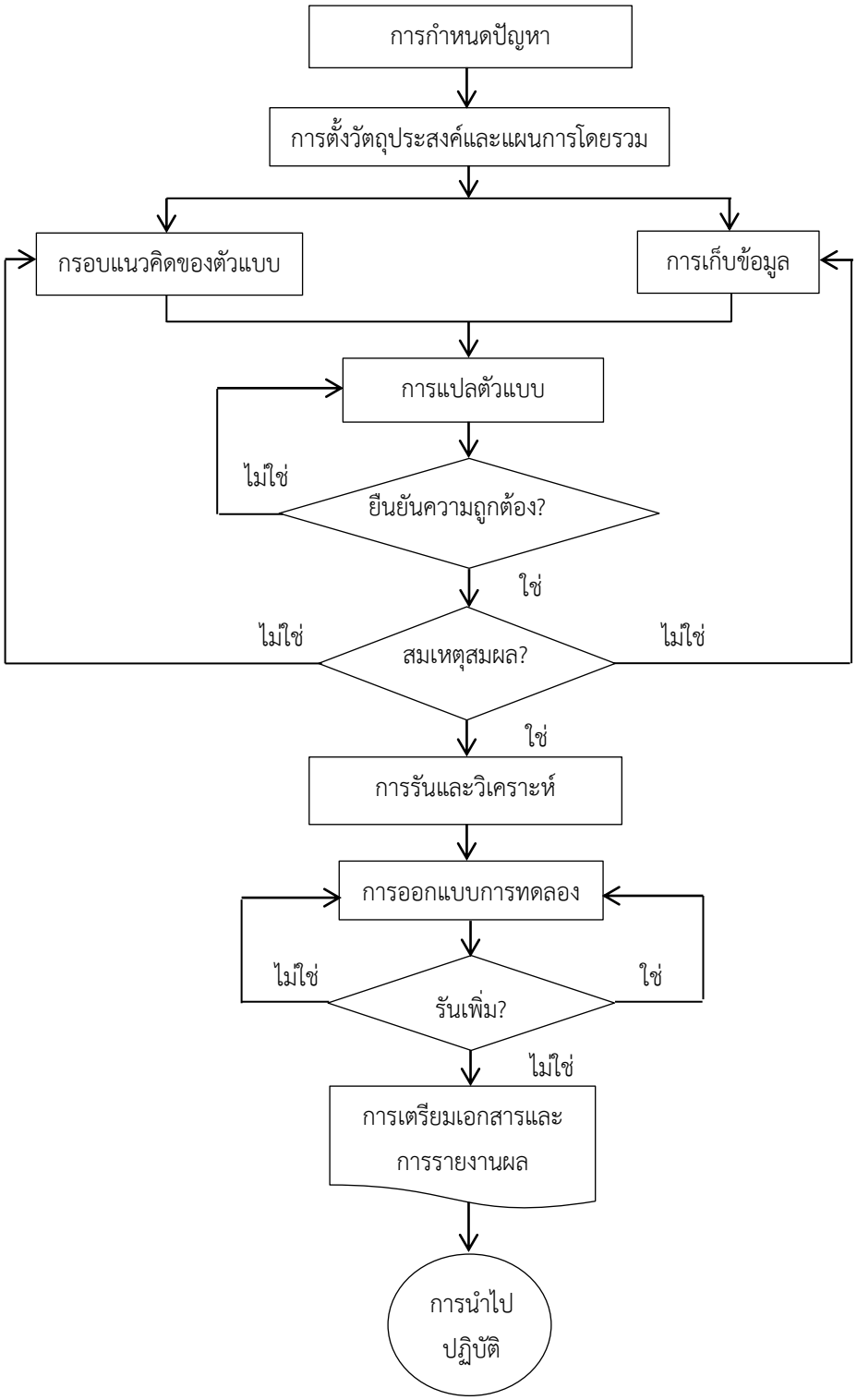
การลงทุน เป็นต้น จากนั้นเมื่อได้ข้อสรุปในการปรับปรุงระบบแล้ว ทำการนำเสนอแก่ผู้บริหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป

10) การรันเพิ่มเติม เมื่อมีการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแล้วนั้น ให้ทำการพิจารณาว่าผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ หากยังไม่เป็นไปตามความต้องการให้ออกแบบการทดลองใหม่

11) การเตรียมเอกสารและการรายงานผล การจัดทำเอกสารเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้ที่สนใจสามารถทำความเข้าใจตัวแบบได้ดียิ่งขึ้น สำหรับในส่วนของเอกสารของโปรแกรมนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการให้เหตุผล หรือแสดงลักษณะการทำงานต่างๆเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจลักษณะการทำงานของโปรแกรมได้ โดยในท้ายสุดนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งหมดจะถูกเขียนในรายงาน ซึ่งจะต้องแสดงเนื้อหาได้อย่างชัดเจน

12) การนำไปใช้แก้ปัญหาจริง หลังจากได้รูปแบบสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด และผ่านความเห็นชอบจากผู้ที่เกี่ยวข้องแล้ว ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำแนวคิดนั้นไปประยุกต์ใช้กับระบบจริง โดยอาจเริ่มเปลี่ยนแปลงระบบบางส่วนก่อน แล้วสังเกตผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น หากการดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีแล้วจึงขยายผลการดำเนินงานในส่วนอื่นๆที่เหลือ

สำหรับขั้นตอนการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ในการจำลองระบบแสดงได้ในภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ [5]

2.1.8 ประโยชน์ของการจำลองสถานการณ์ [2-4]

การที่ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีการใช้แบบจำลองสถานการณ์ เพื่อเลียนแบบสถานการณ์ปัญหาต่างๆ เนื่องจากการจำลองสถานการณ์ก่อให้เกิดประโยชน์ต่างๆ ดังนี้

1) เป็นเครื่องช่วยคิด ช่วยทำให้ผู้สร้างแบบจำลองได้มองเห็นว่าจะมีกิจกรรมอะไรบ้างที่ต้องทำ และทำสิ่งใดก่อนหรือหลัง

2) เป็นเครื่องสื่อความหมาย ซึ่งช่วยทำให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบ งาน และช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรม ปัญหา และนำไปสู่การแก้ปัญหาของระบบงาน

3) เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม ซึ่งทำให้ผู้ถูกอบรมสามารถทำความเข้าใจและคุ้นเคยกับระบบก่อนการใช้งานในสภาวะของระบบจริง

4) เป็นเครื่องมือสำหรับการทำนาย จากการที่แบบจำลองช่วยทำให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบงาน ส่งผลให้ผู้สร้างแบบจำลองสามารถคาดคะเนหรือทำนายผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้น เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบของระบบ

5) เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง โดยแบบจำลองเป็นสิ่งที่สร้างขึ้นแทนระบบงานจริง ในกรณีที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่างๆกับระบบจริงนั้นทำได้ยาก แบบจำลองจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อสังเกตผลที่จะเกิดขึ้น ทำให้เกิดประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรนำเงื่อนไขนั้นๆ ไปใช้กับระบบงานจริงหรือไม่

6) แบบจำลองสถานการณ์ สามารถจัดการกับปัญหาได้หลากหลาย เช่น การจัดการกับคลังสินค้า (Inventory Management) การจัดการทรัพยากรบุคคล (Human Resource Management) อีกทั้งยังสามารถทำหน้าที่ในเชิงบริหารระดับสูงได้อีกด้วย เช่น การวางแผนการต่างๆ ในระยะยาว ผู้สร้างระบบการตัดสินใจสามารถติดต่อกับผู้ใช้หรือผู้บริหารได้เพื่อจะได้รับรู้เรื่องราวเกี่ยวกับปัญหาได้อย่างลึกซึ้ง

7) สามารถใช้แบบจำลองสถานการณ์ เพื่อเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของตัวแปรได้ง่ายและยังสามารถสะท้อนกลับมาถึงผู้ตัดสินใจได้โดยตรง

2.1.9 ข้อได้เปรียบของการจำลองสถานการณ์ [2-4]

การจำลองสถานการณ์ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาต่างๆได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถสรุปข้อได้เปรียบในการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ไว้ดังต่อไปนี้

1) สามารถจำลองระบบที่มีความซับซ้อน ช่วยให้สามารถศึกษาและทดลองดูความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยที่อยู่ภายใต้ระบบใหญ่ที่ซับซ้อนได้

2) สามารถจำลองผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเชิงข้อมูล เชิงองค์กร และเชิงสิ่งแวดล้อม

3) เป็นประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์แบบตั้งคำถาม โดยใช้คำว่า“ถ้า...” (What-if Analysis) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์นำเข้า และสังเกตผลกระทบที่ตามมาต่อค่าตัวแปรนำออก (Output) จากแบบจำลองหรือการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)

4) สามารถใช้ทดสอบการออกแบบใหม่ๆก่อนนำไปใช้จริงเพื่อเตรียมรับมือกับสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้น

5) สามารถนำไปสู่การกำหนดข้อบังคับ (Requirement) ของระบบ หากมีการจำลองระบบนั้นๆที่ขีดความสามารถ (Capability) ต่างๆ

6) สามารถใช้ตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบในเชิงวิเคราะห์ ในกรณีที่คำตอบมีหลายรูปแบบ หรือสมการที่ซับซ้อน

2.1.10 ข้อจำกัดของการจำลองสถานการณ์ [2-4]

แม้ว่าแบบจำลองสถานการณ์จะมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปัญหา และสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงได้ แต่แบบจำลองสถานการณ์ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ใช้เวลาในการสร้างค่อนข้างนาน เนื่องจากผู้พัฒนาต้องมีทักษะและมีความรู้โดยเฉพาะ มีความเข้าใจในลักษณะการใช้งานซอฟต์แวร์ซึ่งใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองจึงจะสามารถสร้างแบบจำลองสถานการณ์ได้ อีกทั้งผู้พัฒนาจะต้องมีความรู้ความเข้าใจระบบที่ศึกษาเป็นอย่างดี

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ อาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของระบบเสมอไป โดยผลลัพธ์นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ทดลอง การจำลองสถานการณ์เป็นเพียงการนำเสนอผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์ผลง่ายมากขึ้น นอกจากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองอาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในเชิงคณิตศาสตร์ และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละครั้งเมื่อมีการจำลองหลายๆครั้ง อาจไม่เท่ากัน ซึ่งต่างกับการแก้ปัญหาที่ใช้สมการทางคณิตศาสาตร์ เช่น ปัญหาเชิงเส้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากันทุกครั้งและเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

3) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบแทนระบบที่ได้ เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากในบางครั้งอาจไม่สามารถสรุปได้ว่า รูปแบบแทนระบบที่ได้เป็นตัวแทนของระบบที่ต้องการศึกษาอย่างแท้จริง

4) เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ใช้ระบบตัวเลขเป็นหลัก อาจทำให้ผู้พัฒนาให้ความสำคัญกับตัวเลขมากเกินไป และพยายามที่จะทดสอบความถูกต้องของตัวเลขแทนที่จะทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งอาจทำให้ความถูกต้องของระบบคลาดเคลื่อนจากสถานการณ์จริง

2.2 ระบบขนส่งมวลชน

การขนส่งมวลชน (Mass Transportation) หมายถึงการเคลื่อนย้ายขนถ่ายบุคคลจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง โดยใช้ยานพาหนะในการเคลื่อนย้ายหรือขนถ่าย [6]

2.2.1 รูปแบบการขนส่งมวลชน [7]

1) การขนส่งมวลชนทางบก สามารถแบ่งย่อยออกเป็น การขนส่งมวลชนทางถนนและการขนส่งมวลชนทางราง สำหรับการขนส่งมวลชนทางถนนเป็นรูปแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เพราะเหตุผลเรื่องของความรวดเร็วและคุ้มค่ากับค่าใช้จ่าย รวมถึงการมีเส้นทางในการเดินทางที่ครอบคลุมและหลากหลาย สามารถตอบสนองความต้องการในการเดินทางของประชาชนได้เป็นอย่างดี การขนส่งมวลชนทางราง นิยมใช้ในการเดินทางระหว่างจังหวัด มีให้เลือกหลายระดับราคา แต่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาที่มักจะล่าช้า

2) การขนส่งมวลชนทางน้ำ โดยส่วนใหญ่การขนส่งมวลชนทางน้ำภายในประเทศมักจะมีระยะทางสั้นๆ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านความลึกของแม่น้ำ ดังนั้นยานพาหนะที่ใช้ได้จึงเป็นเรือขนาดเล็ก ซึ่งขนส่งได้ครั้งละไม่มาก และเป็นระยะทางสั้นๆ แต่หากเป็นการขนส่งมวลชนระหว่างประเทศมักเป็นการขนส่งเพื่อท่องเที่ยวเป็นหลัก

3) การขนส่งมวลชนทางอากาศ เป็นการขนส่งที่ได้รับความนิยมทั้งในประเทศและระหว่างประเทศเป็นอย่างมากเพราะรวดเร็วและปลอดภัยกว่าการเดินทางรูปแบบอื่น

2.2.2 การพัฒนาระบบขนส่งมวลชนให้มีประสิทธิภาพ [7]

หัวข้อนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ประชาชนได้ใช้บริการที่ดี สะดวก รวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมดังนั้นหน่วยงานควรให้ความสำคัญในประเด็นต่อไปนี้

1) ความรวดเร็วในการให้บริการขนส่งมวลชน โดยในการให้บริการขนส่งมวลชนที่รวดเร็วนั้น จะต้องมีการสำรวจเส้นทางที่เหมาะสมเช่น การสำรวจปริมาณผู้ใช้บริการ ระยะเวลาเดินรถในแต่ละเส้นทางเป็นต้น เพื่อการวางแผนกำหนดเส้นทางเดินรถให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้บริการ

2) การประหยัดค่าใช้จ่ายในการให้บริการขนส่งมวลชน ซึ่งจะต้องประหยัดค่าใช้จ่ายจากต้นทุนการขนส่งซึ่งผู้ประกอบการต้องมีการบริหารจัดการที่ดี เพื่อให้ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุดและยังคงสามารถรักษาคุณภาพการให้บริการได้อย่างดี

3) ความปลอดภัยของผู้ใช้บริการขนส่งมวลชน ทั้งในส่วนของการควบคุมมาตรฐานพาหนะ คนขับ และการให้บริการ โดยควบคุมความเร็วในการเดินรถเพื่อลดปัญหาอุบัติเหตุและควบคุมเรื่องความปลอดภัยด้านทรัพย์สินของผู้ใช้บริการ

4) ปริมาณของพาหนะในการให้บริการขนส่งมวลชนจะต้องเพียงพอ ต่อความต้องการของประชาชน หรือผู้ใช้บริการ

5) ความตรงต่อเวลาในการบริการขนส่งมวลชน เนื่องจากความไม่แน่นอนของตารางเวลาเดินรถ ทำให้ผู้ใช้บริการขนส่งมวลชนไม่สามารถกำหนดเวลาในการเดินทางที่แน่นอนได้ จึงหันไปใช้รถยนต์ส่วนตัวมากขึ้น ส่งผลต่อการจราจรที่หนาแน่น การมีตารางเดินรถที่ชัดเจนทำให้ประชาชนสามารถคาดคะเนระยะเวลาในการเดินทางได้ รวมถึงสามารถใช้ระยะเวลาในการเดินทางน้อยลงและถึงจุดหมายปลายทางได้ทันตามกำหนดเวลามากขึ้น

2.3 ปัญหาการขนส่งและการจัดเส้นทาง

2.3.1 ปัญหาการตัดสินใจทางธุรกิจการขนส่ง [8] สามารถจำแนกเป็น 2 ลักษณะ

1) ปัญหาการตัดสินใจเชิงปฏิบัติการ (Operation Decision Problem) เป็นปัญหาที่ต้องการคำตอบเพื่อใช้ในการทำงาน ซึ่งอาจเป็นการตัดสินใจที่ต้องการคำตอบที่มีความแม่นยำและถูกต้องมาก

2) ปัญหาการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ (Strategic Decision Problem) เป็นปัญหาที่เกิดในขั้นตอนการวางแผนหรือการทดสอบนโยบายการดำเนินงาน การลงทุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการขนส่ง ซึ่งเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงเส้นทางและตารางเวลาการขนส่งเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ทันเวลาและประหยัดต้นทุน

2.3.2 ระดับการวางแผนการจัดการ

ปัญหาในการขนส่งส่วนใหญ่ จะเป็นปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีความยากและความซับซ้อนมากทั้งในส่วนการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจและการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) โดยทั่วไปสามารถแบ่งระดับการวางแผนการจัดการได้เป็น 3 ระดับ คือ

1) การวางแผนเชิงกลยุทธ์ (Strategic Planning) เป็นส่วนของการวางแผนเกี่ยว กับนโยบาย หรือทิศทางการบริหาร และการดำเนินงาน เช่น การออกแบบและกำหนดที่ตั้งของโรงรถ ขอบเขตของพื้นที่การให้บริการ ส่วนแบ่งทางการตลาด เป็นต้น

2) การวางแผนเชิงควบคุม (Tactical Planning) เป็นการตัดสินใจของหน่วยงานที่จะซื้อยานพาหนะจำนวนกี่คัน เป็นรถประเภทใด ซึ่งจำนวนยานพาหนะที่เพียงพอต่อความต้องการของระยะขนส่งมักจะต้องมีการจัดการให้มีประสิทธิภาพ ประหยัด และสามารถประเมินได้ โดยทั่วไปจำนวนรถในการขนส่งมากขึ้นก็ยิ่งเพิ่มความซับซ้อนในการจัดการ

3) การวางแผนเชิงปฏิบัติการ (Operational Planning) คือ การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะเป็นที่รู้จักในปัญหาการโปรแกรมเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming: IP) ซึ่งอยู่ในส่วนของปัญหาที่ยากของ NP-hard โดยทั่วไปแล้วปัญหาประเภทนี้จะสามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้ฮิวริสติก โดยการแก้ปัญหาการหาเส้นทางมีขั้นตอนพื้นฐาน คือ กำหนดตำแหน่ง (Nodes) และเส้นทางการวิ่งของรถ (Route) โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด เส้นทางเดินรถที่สั้นที่สุด รวมถึงความเป็นไปได้ในการวิ่งของรถแต่ละคัน เส้นทางการเดินรถถูกกำหนดเป็นลำดับของสถานที่ตั้ง ซึ่งรถจะต้องแวะเพื่อให้ได้งานตามที่ถูกกำหนด ซึ่งสามารถแบ่งปัญหาเส้นทางการเดินรถได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 ปัญหา VRP รูปแบบต่างๆ [9]

รูปแบบปัญหา	ชื่อย่อ	ความหมาย
VRP with Capacity Restriction	CVRP	VRP แบบมีข้อจำกัดของการบรรจุ
VRP with Time Window	VRPTW	VRP แบบมีกรอบเวลา
VRP with Backhaul	VRPB	VRP แบบมีการขนส่งกลับมายังคลังเดิม
Pickup and Delivery	VRPPD	VRP แบบมีการรับและส่งสินค้า
VRPPD with Time Window	VRPPDTW	VRPPD แบบมีกรอบเวลา
VRP with Multiple Depots	MDVRP	VRP แบบมีหลายคลังสินค้า
Periodic VRP	PVRP	VRP แบบมีช่วงเวลา
Periodic VRPTW	PVRPTW	VRP แบบมีช่วงเวลาและกรอบเวลา
Stochastic VRP	SVRP	VRP แบบมีความไม่แน่นอน

2.3.3 วิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

1) เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด หรือที่เรียกว่า Optimization Method เป็นวิธีในการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดทั้งนี้ปัญหาของการจัดเส้นทางเป็นปัญหา IP เนื่องจากคำตอบที่เป็นไปได้จะประกอบด้วยค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะนี้มีหลายวิธี เช่น การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound Method) ใช้สำหรับ 100 จุดขึ้นไป ตัวอย่างที่นำไปใช้คือ ปัญหาการเลือกเส้นทางของบุรุษไปรณีย์หรือพนักงานขาย (Traveling Postman/Salesman Problem: TSP) ด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและตัด (Branch and Cut Technique) เป็นต้น แต่เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดมีข้อจำกัด คือ ใช้ได้เฉพาะกับปัญหาที่เป็นแบบมีโครงสร้าง คือต้องทราบข้อมูลเข้า ผลลัพธ์ที่ต้องการ และทราบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ระหว่างตัวแปรเข้าและตัวแปรผลลัพธ์ที่แน่นอน และวิธีในการหา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดมักประสบปัญหา เนื่องจากต้องใช้ศักยภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลสูง และใช้เวลาในการวิเคราะห์นานมากจึงไม่สามารถแก้ปัญหา ซึ่งมีความสลับซับซ้อนในเวลาที่จำกัด

2) เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristic Method) เป็นวิธีที่ทำการทดลองค้นคว้าหากฎด้วยตัวเอง ในการเลือกตัดสินใจโดยไม่มีทฤษฎีใดๆ มาช่วย โดยกฎที่ได้นี้อาจได้จากการใช้ผู้เชี่ยวชาญ หรือได้จากการใช้วิธีลองผิดลองถูก เป็นวิธีที่อาศัยการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมาเพื่อหาคำตอบที่ดี และเหมาะสมในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และสลับซับซ้อนมากหรือตัวแบบไม่สามารถกำหนดได้อย่างชัดเจน ถึงแม้จะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่จะเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ที่สามารถหาได้ในช่วงเวลาจำกัด สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนและยุ่งยากเป็นเพียงทางแก้ปัญหาที่เป็นไปได้และ "ดีเพียงพอ" ซึ่งมักอยู่ในช่วง 90-99.9% ของทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมจริงๆ และช่วยแก้ปัญหาที่ไม่สามารถกำหนดรูปแบบได้ชัดเจน สามารถแบ่งวิธีฮิวริสติกออกเป็น 2 ประเภท คือ วิธีคอนสตรักทีฟ (Constructive Methods) เป็นวิธีที่ไม่สามารถประกันการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ วิธีที่ให้ความสำคัญเรื่องค่าใช้จ่ายเป็นหลัก (Saving Cost) เช่น วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม (Saving Algorithm) เป็นต้น วิธีการหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood Search หรือ Local Improvement) วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาคำตอบของการตัดสินใจที่มีลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ คือข้อมูลของปัญหาไม่สามารถเขียนออกมาในรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้ เป็นแบบจำลองที่เขียนออกมาไม่ครอบคลุมคำตอบที่สอดคล้องเงื่อนไขทั้งหมด ไม่มีอัลกอริทึมใดๆ ที่จะสามารถหาตำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาได้ มีข้อมูลเข้าไม่แน่นอน ใช้เวลาในการคำนวณหาทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดมากเกินไป และมีการเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสัญลักษณ์ (Symbolic) มากกว่าทางตัวเลข (Numerical)

3) วิธีการค้นหาคำตอบแบบเมตาฮิวริสติก (Meta-heuristic Method) คำว่า เมตา (Meta) เป็นภาษากรีก แปลว่า สูงกว่า เหนือกว่า ในวิธีเมตาฮิวริสติก พัฒนามาจากวิธีฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกมาตรฐานที่สามารถแก้ปัญหาโดยเน้นคำตอบเชิงลึกและเชิงกว้างพร้อมกัน เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาที่ไม่เป็นโพลีโนเมียล (NP-problem) เช่น ปัญหาสำหรับการกำหนดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุก (VRP) หรือปัญหาการจัดตารางการผลิต (Production Scheduling) ซึ่งเป็นการยากที่จะหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปัญหานั้นมีขนาดใหญ่ การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดอาจจะใช้เวลาในการคำนวณนานมากหรือเป็นไปไม่ได้ที่จะคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด การใช้วิธีเมตาฮิวริสติกจึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเพราะใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่ามาก อีกทั้งคำตอบที่ได้สามารถยอมรับได้ในการใช้งานจริง โดยเฉพาะการจัดการปัญหาขนาดใหญ่

2.4 การจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด หรือที่เรียกว่าวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม (Saving Algorithm) เป็นเทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก ประเภทวิธีคอนสตรักทีฟ โดยกวี ศรีเมือง [10] ได้สรุปวิธีนี้ ซึ่งนำเสนอโดย Clarke and Wright [11] ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการขนส่งของรถขนส่งสินค้าที่มีความสามารถในการบรรทุกต่างกัน ในการขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปที่ต่างๆ ซึ่งได้พัฒนาขั้นตอนให้สามารถเลือกเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่เหมาะสมที่สุดและผลที่ได้จากการแก้ปัญหานี้คือ สามารถหาจำนวนยานพาหนะในการขนส่งและปริมาตรสินค้าที่ขนโดยยานพาหนะแต่ละคัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) โดยการกำหนดให้เส้นทางหนึ่งเส้นทางมีลูกค้าเพียง 1 คนเท่านั้น ดังนั้นจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมด

2) คำนวณค่าความประหยัดของระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (Saving Cost) ระหว่างลูกค้า 2 คน คือลูกค้า i และลูกค้า j ดังสมการที่ 2.2 ดังต่อไปนี้

$$S_{i,j} = c_{i,DC} + c_{DC,j} - c_{i,j} \quad (2.2)$$

โดยที่

$S_{i,j}$ = ค่าความประหยัดของระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า ระหว่างลูกค้า 2 คน นั่นคือลูกค้า i และลูกค้า j

$c_{i,DC}$ = ระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า i และศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center: DC)

$c_{DC,j}$ = ระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างศูนย์กระจายสินค้า (DC) และลูกค้า j

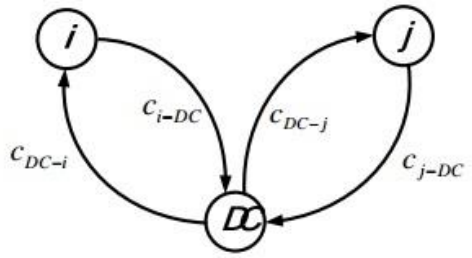
$c_{i,j}$ = ระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j

3) เรียงลำดับความประหยัด ($S_{i,j}$) จากมากไปน้อย

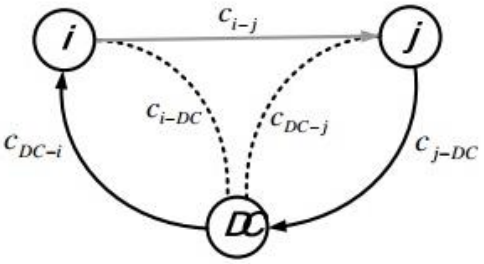
4) รวมเส้นทางของลูกค้า i และลูกค้า j ให้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน

5) ทำซ้ำจนสามารถจัดเส้นทางยานพาหนะได้ครอบคลุมลูกค้าทั้งหมด โดยมีเงื่อนไขข้อจำกัดการเดินทางแต่ละยานพาหนะต้องมีสินค้าไม่เกินความจุของยานพาหนะ หรือต้องใช้เวลาในการเดินทางไม่เกินระยะเวลาที่กำหนด

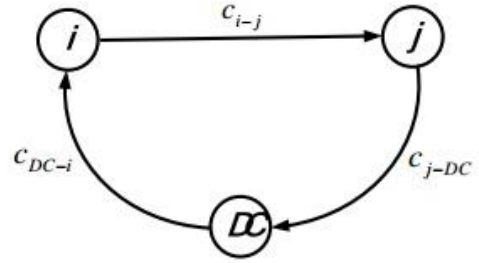
วิธีการใช้เซฟวิ่งอัลกอรึทึมเพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด แสดงได้ดังภาพประกอบ 2.2-2.4 โดยประกอบด้วยวิธีเซฟวิ่งอัลกอรึทึมขั้นต้น (Initial) ขั้นกลาง (Intermediate) และขั้นตอนสุดท้าย (Final) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2.2 วิธีเซฟวิ่งอัลกอรึทึมขั้นต้น (Initial) [27]



ภาพประกอบ 2.3 วิธีเซฟวิ่งอัลกอรึทึมขั้นกลาง (Intermediate) [27]



ภาพประกอบ 2.4 วิธีเซฟวิ่งอัลกอรึทึมขั้นตอนสุดท้าย (Final) [27]

จากสมการเซฟวิ่งอัลกอริทึมของ Clarke and Wright ตั้งอยู่ในสมมติฐานคือ $c_{DC,i} = c_{i,DC}$ นั่นคือ ระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างศูนย์กระจายสินค้า (DC) และลูกค้า i เท่ากับ ระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า i และศูนย์กระจายสินค้า และ $c_{DC,j} = c_{j,DC}$ คือ ระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างศูนย์กระจายสินค้าและลูกค้า j เท่ากับ ระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า j และศูนย์กระจายสินค้า แต่สภาวการณ์ขนส่งสินค้าจริงนั้นค่า $c_{DC,j} \neq c_{j,DC}$

และค่า $c_{DC,j} \neq c_{j,DC}$ เนื่องจากเส้นทางการขนส่งสินค้าขาไปและขากลับอาจไม่เหมือนกัน การบรรทุกสินค้าที่แตกต่างกันของการขนส่งสินค้าขาไปและขากลับ ทำให้ระยะทางแตกต่างกัน ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางไม่เท่ากัน ส่งผลโดยตรงกับค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าขาไปและขากลับที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นค่าความประหยัดของระยะเวลา ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (Saving Cost) ระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j ($S_{i,j}$) คือการนำค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้าในภาพประกอบ 2.2 ลบด้วยค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าในภาพประกอบ 2.4

ค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้า $c_{DC,i}$ ในภาพประกอบ 2.2 อาจไม่เท่ากับค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้า $c_{DC,i}$ ในภาพประกอบ 2.4 เนื่องจากเที่ยวการขนส่งสินค้าในเส้นทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้าและลูกค้า i ในภาพประกอบ 2.2 เป็นค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้าของลูกค้า i อย่างเดียว แต่ในเที่ยวการขนส่งสินค้าในเส้นทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้าและลูกค้า i ในภาพประกอบ 2.4 นั้น ค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้า $c_{DC,i}$ ต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้าที่เกิดจากการบรรทุกสินค้าจากลูกค้า j ด้วย ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า $c_{DC,i}$ ในภาพประกอบ 2.4 อาจสูงกว่า $\mathbf{c_{DC,i}}$ ในภาพประกอบ 2.2

2.5 ทฤษฎีแถวคอย [4,12]

ปัญหาแถวคอยเป็นปัญหาที่พบเห็นได้บ่อยในชีวิตประจำวัน โดยที่ในระบบแถวคอยจะประกอบไปด้วยลูกค้าหรือผู้ที่รอรับบริการ (Customer) และหน่วยให้บริการ (Server) ปัญหาแถวคอยจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการเข้ารับบริการสูงกว่าอัตราการให้บริการ หรืออาจกล่าวได้ว่าแถวคอยเกิดจากความไม่แน่นอนของอัตราการเข้ารับบริการของลูกค้าหรือผู้ที่รอรับบริการ นอกจากนั้นแถวคอยยังขึ้นอยู่กับอัตราการให้บริการหรือความชำนาญของผู้ให้บริการ

2.5.1 ลักษณะของปัญหาในระบบแถวคอย

2.5.1.1 รูปแบบการเข้ารับบริการ

1) ลักษณะการเข้ารับบริการเป็นไปอย่างไม่แน่นอน ในบางช่วงเวลาอาจมีลูกค้ามารับบริการเป็นจำนวนมาก แต่บางเวลาอาจไม่มีลูกค้า ดังนั้นจะใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนลูกค้าที่เข้ารับบริการ โดยส่วนมากจำนวนลูกค้าที่เข้ามาในระบบจะมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซอง และช่วงห่างระหว่างการรับบริการจะมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังนั้นการเข้ามารับบริการจึงมักแสดงในรูปอัตราการเข้ารับบริการ ซึ่งเป็นจำนวนลูกค้าเฉลี่ยที่เข้ามาในระบบแถวคอยในช่วงเวลาหนึ่งๆ

2) จำนวนลูกค้าที่เข้ามาในระบบแถวคอย ซึ่งในบางครั้งจะเข้ามาในระบบครั้งละหน่วยหรือครั้งละคน เช่น คนไข้เข้ามารอรับการรักษาครั้งละคน หรือเข้ามาเป็นกลุ่มเมื่อเกิดอุบัติเหตุ หรือการเข้ามารับประมานอาหารที่ร้านอาหารครั้งละหลายๆคน

3) ขนาดของประชากรของผู้รับบริการ โดยที่ประชากรหมายถึงลูกค้าหรือสิ่งของที่จะเข้ามารับบริการโดยแบ่งขนาดของประชากรเป็น

ก. ประชากรมีขนาดจำกัด หมายถึงจำนวนลูกค้าหรือสิ่งของที่จะเข้ามารับบริการมีจำนวนจำกัด เช่น แผนกซ่อมเครื่องจักรของโรงงานซึ่งมีเครื่องจักรอยู่ 20 เครื่อง ดังนั้นสิ่งที่จะเข้ารับการซ่อมที่แผนกซ่อมจะต้องแป็นเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งจาก 20 เครื่องนั้น หรือจำนวนนักเรียนที่มารอสอบสัมภาษณ์

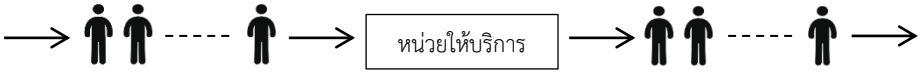
ข. ประชากรมีขนาดไม่จำกัด หมายถึงจำนวนลูกค้าหรือสิ่งของที่จะเข้ามารับบริการมีขนาดไม่จำกัด เช่น ลูกค้าที่เข้ามารับประทานอาหาร หรือเข้ามาซื้อของที่ห้างสรรพสินค้า ซึ่งในความเป็นจริงสามารถนับจำนวนได้ แต่มีจำนวนมาก

2.5.1.2 รูปแบบการให้บริการ (Service Pattern)

เวลาที่ใช้ในการให้บริการตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้น (Service Time) จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณงานที่ต้องทำและความชำนาญของหน่วยให้บริการ เวลาที่ใช้อาจเหมือนหรือแตกต่างกันในแต่ละหน่วยบริการ จำนวนหน่วยที่อยู่ในแถวคอยอาจมีอิทธิพลต่ออัตราการให้บริการได้ในการทำงานบางประเภท เช่น ถ้ามีลูกค้ารอรับบริการทำผมอยู่เป็นจำนวนมาก ช่างทำผมจะพยายามทำงานให้เร็วขึ้น ซึ่งอาจมีผลทำให้การบริการเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ คุณภาพอาจไม่ดีพอ แต่มีการบริการบางอย่างที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนลูกค้า เช่น กรณีที่หน่วยให้บริการเป็นเครื่องจักร ซึ่งจะให้บริการในอัตราที่แน่นอน นอกจากนี้ขนาดของแถวคอยจะขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดหน่วยให้บริการ และกฎเกณฑ์ในการให้บริการ

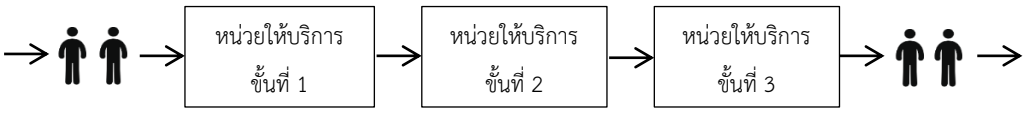
1) ลักษณะการจัดหน่วยให้บริการ

ก. กรณีที่มีแถวคอยอยู่เพียง 1 แถว และมีหน่วยให้บริการ 1 หน่วย (Single-channel and Single-phase System) ดังภาพประกอบ 2.5



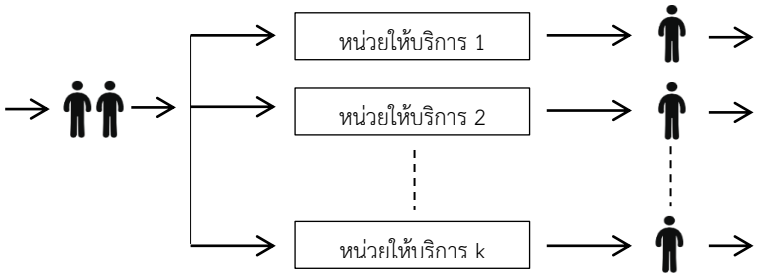
ภาพประกอบ 2.5 แถวคอย 1 แถว หน่วยให้บริการ 1 หน่วย

ข. กรณีที่มีแถวคอย 1 แถว แต่การให้บริการมีหลายขั้นตอน (Single-channel and Multiphase System) เช่น การลงทะเบียนของนิสิต ขั้นที่ 1 ยื่นแบบฟอร์ม ขั้นที่ 2 การจ่ายเงิน ขั้นที่ 3 รอรับผลการลงทะเบียนและใบเสร็จ ดังภาพประกอบ 2.6



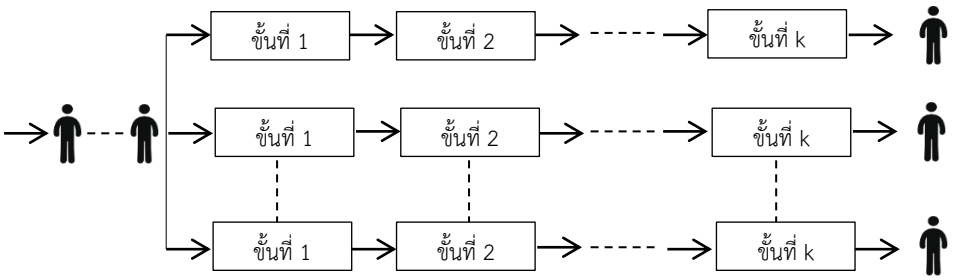
ภาพประกอบ 2.6 แถวคอย 1 แถว การให้บริการหลายขั้นตอน

ค. กรณีที่มีแถวคอย 1 แถว แต่มีหน่วยให้บริการหลายหน่วย โดยแต่ละหน่วยทำหน้าที่อย่างเดียวกัน (Multichannel and Single-phase System) ดังภาพประกอบ 2.7



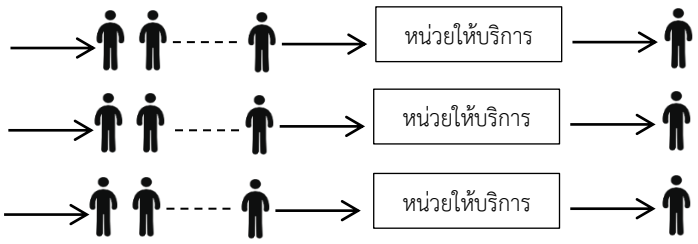
ภาพประกอบ 2.7 แถวคอย 1 แถว หน่วยให้บริการหลายหน่วย

ง. กรณีที่แถวคอย 1 แถว การให้บริการมีหลายขั้นตอน (k ขั้นตอน) โดยที่แต่ละขั้นตอนมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย (Multichannel and Multiphase System) ดังภาพประกอบ 2.8



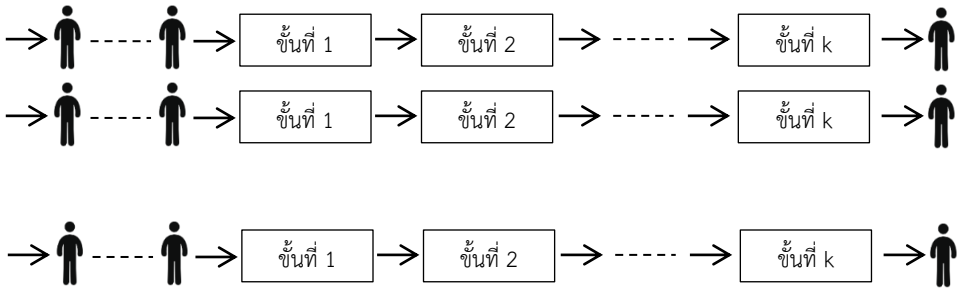
ภาพประกอบ 2.8 แถวคอย 1 แถว การให้บริการหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีหลายหน่วยให้บริการ

จ. กรณีที่มีแถวคอยหลายแถว และมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย ดังภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 แถวคอยหลายแถว และมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย

ฉ. กรณีที่มีแถวคอยหลายแถว การให้บริการมีหลายขั้นตอนโดยที่แต่ละขั้นตอนมีหน่วยให้บริการหลายหน่วย ดังภาพประกอบ 2.10



ภาพประกอบ 2.10 แถวคอยหลายแถว การให้บริการมีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีหลายหน่วยให้บริการ

2) กฎเกณฑ์ในการให้บริการ เป็นวิธีการจัดลูกค้าในแถว คอยเพื่อรอรับบริการซึ่งจัดได้หลายวิธี

ก. การให้บริการตามลำดับก่อนหลัง (First In First Out: FIFO) เป็นการให้บริการแก่งานหรือลูกค้าที่มาก่อน นั่นคือให้บริการเรียงลำดับตามเวลาที่เข้ารับบริการ

ข. การให้บริการลูกค้าคนสุดท้ายก่อน (First In Last Out: FILO)

ค. การให้บริการที่ไม่เป็นไปตามลำดับก่อนหลัง (A Priority-discipline Queueing) เป็นการจัดลูกค้าตามความสำคัญหรือจัดงานตามความเร่งด่วน

ง. การให้บริการอย่างสุ่ม (Service in Random Order) เช่น การขึ้นรถเมล์

3) ขีดความสามารถของระบบแถวคอย แบ่งเป็น 2 กรณี

ก. แถวคอยที่สามารถรับลูกค้าได้จำกัด

ข. แถวคอยที่รับลูกค้าได้อย่างไม่จำกัด

นอกจากนั้นจะพบว่าในทางปฏิบัติลูกค้าจะไม่เข้าสู่ระบบแถวคอย ถ้าแถวคอยนั้นยาวมากหรือมีที่ไม่เพียงพอ หรือลูกค้าอาจจะอยู่ในแถวคอยระยะหนึ่ง เมื่อรอคอยเป็นเวลานานก็จะเปลี่ยนใจออกจากระบบก่อนได้รับการบริการ หรืออาจมีการเปลี่ยนแถวเมื่อพบเห็นว่าแถวอื่นทำงานได้เร็วกว่าและเป็นแถวที่สั้นกว่า

2.6 การวิเคราะห์ต้นทุน

อนุรักษ์ [13] ได้กล่าวถึงต้นทุนไว้ว่า “ต้นทุน (Cost) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่สูญเสียไปเพื่อให้ได้สินค้าหรือบริการ โดยมูลค่านั้นจะต้องสามารถวัดได้เป็นหน่วยเงินตรา ซึ่งเป็นลักษณะของการลดลงในสินทรัพย์หรือเพิ่มขึ้นในหนี้สิน ต้นทุนที่เกิดขึ้นอาจจะให้ประโยชน์ในปัจจุบันหรือในอนาคตก็ได้ เมื่อต้นทุนได้เกิดขึ้นและกิจการได้ใช้ประโยชน์ไปแล้ว ต้นทุนนั้นก็จะถือเป็นค่าใช้จ่าย (Expenses) ดังนั้นค่าใช้จ่ายจึงหมายถึง ต้นทุนที่ได้ให้ประโยชน์และกิจการได้ใช้ประโยชน์ทั้งหมดไปแล้วในขณะนั้นและสำหรับต้นทุนที่กิจการสูญเสียไป แต่จะให้ประโยชน์แก่กิจการในอนาคตเรียกว่าสินทรัพย์ (Assets)”

ต้นทุนสามารถจำแนกได้ตามความสัมพันธ์กับระดับของกิจกรรม ซึ่งอาจเรียกว่าการจำแนกต้นทุนตามพฤติกรรมของต้นทุน (Cost Behavior) ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญคือ เป็นการวิเคราะห์จำนวนของต้นทุนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต หรือระดับของกิจกรรมที่เป็นตัวผลักดันให้เกิดต้นทุน (Cost Driver) ในการผลิตที่เกี่ยวกับการวางแผน การควบคุม การประเมิน และวัดผลการดำเนินงาน ซึ่งเป็นการจำแนกต้นทุนตามความสัมพันธ์กับระดับของกิจกรรมสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1) ต้นทุนผันแปร (Variable Costs) หมายถึง ต้นทุนที่มีต้นทุนรวมเปลี่ยนแปลงไปตามสัด ส่วนของการเปลี่ยนแปลงในระดับกิจกรรมหรือปริมาณการผลิต ในขณะที่ต้นทุนต่อหน่วยจะคงที่เท่ากันทุก ๆ หน่วย โดยทั่วไปแล้วต้นทุนผันแปรจะสามารถควบคุมได้โดยแผนกหรือหน่วยงานที่ทำให้เกิดต้นทุนผันแปรนั้น ในเชิงการบริหารต้นทุนผันแปรจะเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก ต่อการตัดสินใจของฝ่ายบริหาร เช่น การกำหนดราคาสินค้าของกิจการต้องกำหนดให้ครอบคลุมทั้งส่วนที่เป็นต้นทุนผันแปร และต้นทุนคงที่ทั้งหมด

2) ต้นทุนคงที่ (Fixed Costs) คือ ต้นทุนที่มีพฤติกรรมคงที่ซึ่งต้นทุนรวมไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามระดับของการผลิตในช่วงของการผลิตระดับหนึ่ง แต่ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะเปลี่ยนแปลงในทางลดลงถ้าปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ต้นทุนคงที่ยังแบ่งออกเป็นต้นทุนคงที่ใน 2 ลักษณะ คือ ต้นทุนคงที่ระยะยาว (Committed Fixed Cost) เป็นต้นทุนคงที่ที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในระยะสั้น เช่น สัญญาเช่าระยะยาว ค่าเสื่อมราคา เป็นต้น และต้นทุนคงที่ระยะสั้น (Discretionary Fixed Cost) จัดเป็นต้นทุนคงที่ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว เช่น ค่าโฆษณา ค่าใช้จ่ายในการค้นคว้าและวิจัย เป็นต้น

3) ต้นทุนผสม (Mixed Costs) หมายถึงต้นทุนที่มีลักษณะของต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันรวมอยู่ด้วยกัน ในช่วงของการดำเนินกิจกรรมที่มีความหมายต่อการตัดสินใจ โดยต้นทุนผสมนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ต้นทุนกึ่งผันแปร และต้นทุนกึ่งคงที่หรือต้นทุนเชิงขั้น

ก. ต้นทุนกึ่งผันแปร (Semi Variable Cost) หมายถึง ต้นทุนที่จะมีต้นทุนส่วนหนึ่งคงที่ทุกระดับของกิจกรรม และมีต้นทุนอีกส่วนหนึ่งจะผันแปรไปตามระดับของกิจกรรม เช่น ค่าโทรศัพท์ ค่าโทรสาร เป็นต้น

ข. ต้นทุนเชิงขั้น (Step Cost) หรือต้นทุนกึ่งคงที่ (Semi Fixed Cost) หมายถึงต้นทุนที่มีจำนวนคงที่ ซึ่งระดับกิจกรรมหนึ่งและจะเปลี่ยนไปคงที่ในอีกระดับกิจกรรมหนึ่ง เช่น เงินเดือน ผู้ควบคุมคนงาน ค่าเช่าบางลักษณะ เป็นต้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 ระบบขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย

ระบบขนส่งมวลชนสาธารณะได้ถูกนำมาพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับในพื้นที่มหาวิทยาลัยส่วนใหญ่มีขอบเขตบริเวณกว้างขวาง ระบบขนส่งมวลชนจึงเข้ามามีบทบาทต่อการเดินทางเป็นอย่างมาก ทำให้มีผู้สนใจทำการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงการให้บริการ อาทิ Brown และคณะ [14] ได้ใช้การเพิ่มการเข้าถึงในการให้บริการขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถทำให้จำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้น 56% จากปีแรกของการให้บริการ ซึ่งผลดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณการใช้รถส่วนตัวและพื้นที่จอดรถได้เป็นอย่างมาก ต่อมา Bond และ Steiner [15] ได้กำหนดนโยบายด้านการขนส่งอย่างยั่งยืน โดยทำการวิจัยด้านการจัดการความต้องการของบริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยโดยร่วมมือกับบริษัทผู้ประกอบการ ในมหาวิทยาลัยฟลอริด้า สหรัฐอเมริกา โดยการกำหนด 4 นโยบาย หลัก ได้แก่ การลดปริมาณที่จอดรถส่วนตัว การเปลี่ยนแปลงราคาที่จอดรถ การปรับปรุง

ระบบขนส่งที่มีการเข้าถึงได้อย่างไม่จำกัด และการปรับปรุงบริการการขนส่ง ทำให้สามารถลดเวลารอคอยและลดเวลาเดินทางต่อเที่ยว ซึ่งส่งผลให้จำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาด้านการอนุรักษ์พลังงานและรูปแบบการเดินทาง โดย Singhirunnusorn และคณะ [16] ในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยได้ใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา ผลการศึกษาพบว่านักศึกษาส่วนใหญ่ (72% ของกลุ่มตัวอย่าง) สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างถูกต้อง และนักศึกษาเลือกวิธีการใช้รถร่วมกับผู้อื่นมากที่สุดในการร่วมอนุรักษ์พลังงาน

2.7.2 การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ถูกใช้เป็นเครื่องมือเพื่อการสนับสนุนการตัดสินใจในหลายสาขา เช่น ด้านการบริการสุขภาพ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกิดการไหลของกระบวนการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น วนัฐณพงษ์ คงแก้ว [12] ได้ประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel) เพื่อปรับปรุงการทำงานภายในแผนกจ่ายยาผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ โดยการศึกษาวิธีการทำงานและการศึกษาเวลา เพื่อลดระยะเวลาในระบบกระบวนการจัดยาของใบสั่งยา โดยแนวทางการปรับปรุง ได้แก่ การออกแบบการทดลองในการจัดสรรเจ้าหน้าที่ประจำสถานี และการเพิ่มสายพานลำเลียงเพื่อช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการ ซึ่งทำให้ระยะเวลาลดลง 20.44% จากเวลาที่ใช้ในกระบวนการเดิม ต่อมา Fung Kon Jin และคณะ [17] ได้ปรับปรุงขีดความสามารถในการใช้งานเครื่อง CT scan ในการให้บริการแก่ผู้ป่วยในโรงพยาบาลให้เกิดกระบวนการไหลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ในโรงพยาบาล ซึ่งผู้ป่วยจะถูกจัดลำดับการเข้ารับการรักษาเป็น 3 ประเภท คือ ผู้ได้รับแผลบาดเจ็บ (Trauma) ผู้ป่วยเร่งด่วน (Urgent) และผู้ป่วยทั่วไป (Regular) ตามลำดับ ผู้วิจัยได้พัฒนาด้วยการใช้ภาษาจาวา (JAVA Language) และออกแบบสถานการณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยตัวแบบนั้นสามารถลดเวลาในการรอคอย (Waiting Times) และเวลาการใช้งานเครื่องที่เกินเวลาที่กำหนด (Over Time) ได้ ซึ่งทำให้เครื่อง CT scan มีช่วงเวลาว่างเพิ่มขึ้น

ต่อมา Samaranayake และ Kiridena [18] ได้สร้างแบบจำลองการเดินทางเข้ามาของผู้ป่วย ร่วมกับโครงสร้างข้อมูลในการบริการสุขภาพในโรงพยาบาล และบ่งชี้ความสัมพันธ์ของกระบวนการโดยพิจารณาตั้งแต่การเข้ามาของผู้ป่วยจนกระทั่งเสร็จภาระกิจและออกจากโรงพยาบาล ปรับปรุงกระบวนการในทุกๆส่วนที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้ป่วย การบำบัด การวางแผนการทำงานและการจัดซื้อจัดหา โดยในงานวิจัยจะใช้แบบจำลองกระบวนการบริการ Event-driven Process Chain และเทคนิคโครงสร้างหนึ่งเดียว งานวิจัยนี้จะช่วยในการพัฒนาการบริการ

ดูแลสุขภาพเพื่อให้เกิดการไหลที่มีประสิทธิภาพ จัดการข้อมูลได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น ส่งผลต่อความรวดเร็วที่จะได้รับการรักษาที่ทันเวลาและเกิดความพึงพอใจในการใช้บริการ

นอกจากนี้ Paul และ Lin [19] ได้จำลองสถานการณ์สำหรับเหตุการณ์ที่ไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดล เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและเพิ่มศักยภาพในการทำงานของแผนกฉุกเฉินในโรงพยาบาล โดยมุ่งเน้นที่ปริมาณการทำงานและระยะเวลาการรอคอย จากการจำลองแบบพบว่าสาเหตุที่ทำให้ปริมาณการทำงานลดลงนั้น มาจากความขาดแคลนแพทย์ในช่วงเวลาเร่งด่วน ความล่าช้าในขั้นตอนการรับผู้ป่วยใน และความล่าช้าในการทดสอบในห้องปฏิบัติการและรังสีวิทยา เมื่อทำการปรับปรุงการดำเนินงานแล้วสามารถเพิ่มศักยภาพการทำงานได้ โดยที่ตัวแบบจำลองมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถจำลองระบบที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี

ในด้านการจัดการอุตสาหกรรม Kesen และ Baykoç [20] ได้จำลองระบบรถนำทางอัตโนมัติ (Autometed Guided Vehicle: AGV) บนพื้นฐานการทำงานด้วยระบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time: JIT) ด้วยซอฟต์แวร์อารีน่า (Arena Software) ซึ่งโดยทั่วไปนั้นมีการใช้การจำลองสถานการณ์กับระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Shop) อย่างแพร่หลาย แต่ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การจำลองสำหรับกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job Shop) พัฒนาอัลกริทึ่มสำหรับการเคลื่อนย้ายพาหนะผ่านสถานีงานต่างๆ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการขนส่ง และใช้การออกแบบการทดลอง (Experimental Design) ที่ 4 ปัจจัย 2 ระดับ เพื่อสังเกตและวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการทดลองที่เกิดขึ้น นอกจากนั้น Nasereddin และคณะ [21] ได้สร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์ในอุตสาหกรรมผลิตบ้าน ซึ่งจำลองทั้งกระบวนการผลิตชิ้นส่วนการประกอบบ้านและการขนส่งเพื่อการก่อสร้างบ้าน โดยใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดล ในการจำลองระบบซึ่งมีลักษณะที่ซับซ้อน ร่วมกับการพัฒนาลำดับวิธีการคิดด้วย Visual Basic for Applications (VBA) เช่นเดียวกับ เมธาวี [22] ที่ได้ศึกษาเวลา เพื่อหาเวลามาตรฐานในการทำงานของพนักงานในกระบวนการติดฉลากและบรรจุกล่องผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง และประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ เพื่อการวางแผนการจัดจำนวนพนักงานในสายการผลิตให้สอดคล้องกับจำนวนการผลิต นอกจากนี้ยังได้พัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการตัดสินใจ โดยพัฒนาโปรแกรมบน Microsoft Excel ซึ่งเชื่อมโยงข้อมูลจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์ ด้วยคำสั่ง VBA ในการป้อนข้อมูลปัจจัยนำเข้า และแสดงผลลัพท์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ เพื่อให้ใช้งานง่ายขึ้น

นอกจากนี้แบบจำลองสถานการณ์สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของบริการขนส่งมวลชนบนความไม่แน่นอน โดย Chen และ Chen [23] ได้ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์การให้บริการโดยวิธีมอลติคาร์โล (Monte Carlo) ในการลดเวลารอคอยของผู้โดยสาร ทำการจำลองการเดินรถของเส้นทางกรณีศึกษาในประเทศจีน พบว่าความแปรผันของเวลาเดินรถและการเข้ามาของผู้โดยสารที่ไม่แน่นอนนั้น นำไปสู่เวลาการเดินทางที่เปลี่ยนแปลงไป

รวมถึงเวลารอคอยเฉลี่ย ซึ่งเป็นสาเหตุของความไม่น่าเชื่อถือของการบริการ และยังมีการใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อพิจารณานโยบายการเข้าแถวคอยในการนำรถไฟฟ้ามาชาร์จยังสถานีภายในมหาวิทยาลัยโอไฮโอ สหรัฐอเมริกา โดย De Filippo และคณะ [24] โดยใช้ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อหารูปแบบสถานการณ์การเข้าแถวคอยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการรอคอยได้และใช้เวลาในการชาร์จน้อยที่สุด

การจำลองสถานการณ์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการขนส่งอย่างแพร่หลาย Cortés และคณะ [25] ได้สร้างตัวแบบด้วยซอฟต์แวร์อารีน่า เพื่อจำลองการขนส่งสินค้าไปยังจุดเทียบท่าของท่าเรือในตอนใต้ของประเทศสเปน ตั้งแต่เริ่มต้นเคลื่อนย้ายจากปากแม่น้ำจนกระทั่งเรือเข้าสู่ท่าเรือ งานวิจัยนี้สามารถอธิบายลักษณะระบบการทำงานภายในท่าเรือได้ และนำเสนอตัวแบบจำลองในแต่ละประเภทของการขนส่งที่เกิดขึ้นบริเวณท่าเรือ นอกจากนี้ยังสามารถประเมินขีดความสามารถในการรองรับการขนส่งของท่าเรือได้ ต่อมา Motraghi และ Marinov [26] ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการขนส่งสินค้าในเขตเมืองด้วยระบบราง โดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยซอฟต์แวร์อารีน่า เพื่อศึกษาสมรรถนะของโครงการขนส่ง Newcastle Metro และทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้การขนส่งสินค้าด้วยระบบราง โดยมุ่งเน้นที่การวัดอรรถประโยชน์ของการใช้งานในระบบ ซึ่งสินค้าที่ทำการขนส่งนั้นมีขนาดเล็ก แต่มีความสำคัญทางธุรกิจและมีมูลค่าต่อผู้ใช้งานสูง เช่นเดียวกับ Woroniuk และ Marinov [27] ที่ใช้ซอฟต์แวร์อารีน่า ในการศึกษาพฤติกรรมของระบบการขนส่งสินค้าทางราง พิจารณาอรรถประโยชน์ที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้เกิดอรรถประโยชน์ในการใช้งานระบบขนส่งทางรางสูงสุด

สำหรับการใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดลหรืออารีน่าเพื่อจำลองสถานการณ์นั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อแก้ปัญหาทั้งทางด้านอุตสาหกรรม โรงพยาบาล หรือด้านการขนส่ง แต่สำหรับด้านการขนส่งนั้น งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการพิจารณาระบบขนาดใหญ่ที่มีขอบเขตกว้าง [25-27] โดยสนใจการจำลองในรายละเอียดพฤติกรรมของ “Entity” หรือสิ่งที่สนใจในระบบไม่มากนัก จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการสร้างตัวแบบที่สามารถจำลองพฤติกรรมของสิ่งที่สนใจได้อย่างละเอียดและมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับระบบจริงปรากฏในงานวิจัยของ Kamrani และคณะ [28] ซึ่งได้จำลองสถานการณ์ทางจราจรของแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน ด้วยซอฟต์แวร์อารีน่า โดยกำหนดรูปแบบการตัดสินใจและลำดับความคิดในกระบวนการเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากที่สุด วิเคราะห์จุดคอขวดซึ่งทำให้เกิดปัญหาการจราจร เมื่อทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มสัญญาณไฟจราจรแล้ว พบว่าตัวแบบที่ถูกนำเสนอสามารถลดเวลาการรอคอยลงได้ นอกจากนี้ วลักษ์กมลคงยัง [29] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดทำระบบรถโรงเรียนในเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยทางด้านเทคนิค ได้ทำการจัดเส้นทางการเดินรถโดยใช้เทคนิค Routing ของโปรแกรม ArcGIS

Network Analyst และจำลองสถานการณ์ด้วยตัวแบบจำลองคอมพิวเตอร์ โดยใช้ซอฟต์แวร์โปรโมเดล เพื่อจัดเส้นทางการเดินรถรับ-ส่งนักเรียนจำนวน 9 โรงเรียน ซึ่งใช้วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Window: VRPTW) มาช่วยในการหาคำตอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะจำลองระบบขนส่งมวลชนโดยพิจารณาพฤติกรรมและกระบวนการทำงานของ “Entity” ซึ่งได้แก่พนักงานขับรถและผู้โดยสารให้มีการดำเนินงานที่ใกล้เคียงกับระบบจริง

2.7.3 การหารูปแบบการเดินทางที่เหมาะสม

ในการออกแบบเส้นทางและรูปแบบการเดินทางที่เหมาะสมนั้น ได้มีการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อปรับปรุงการให้บริการด้านการคมนาคมที่ดียิ่งขึ้น อาทิ การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้าช่วยในการวางแผนรูปแบบการเดินทาง ซึ่งคำนึงถึงระยะทางรวมน้อยที่สุด Chou [30] โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) มาประยุกต์ใช้กับระบบช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบเส้นทางเดินรถของผู้โดยสารในเขตเทศบาลและโรงเรียน โดยใช้โปรแกรมภาษามาโคร (Macro Language) และออกแบบจุดหยุดรถที่เหมาะสม ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณรูปแบบทั้ง 6 รูปแบบ ได้แก่ เส้นทางเดี่ยว ระยะทางการเดิน หยุดจอดรถที่เหมาะสม จุดของผู้โดยสาร เส้นทางหลายเส้นทาง และเส้นทางหลายเส้นทางที่ซับซ้อน นอกจากนั้นชุติมา และคณะ [31] ได้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสาตร์เพื่อวิเคราะห์ระดับการเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะ โดยรถสองแถวในพื้นที่เขตเทศบาล จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ระดับการเข้าถึงระบบขนส่งมวลชนสาธารณะ (Public Transport Accessibility Level: PTAL) จากหน่วยงานด้านการขนส่งของกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) นั้นถูกนำมาวิจัยอย่างแพร่หลายอย่างต่อเนื่อง เพื่อการปรับปรุงการให้บริการการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเป็น 3 กลุ่มคือ วิธีการแม่นตรง (Exact Algorithm) วิธีฮิวริสติก (Heuristic) และวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) สำหรับปัญหาการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยนั้นมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโรงเรียน (School Bus Routing Problem: SBRP) นั่นคือ ลักษณะการแก้ปัญหามุ่งเน้นที่จะสร้างหรือปรับเปลี่ยนจุดจอดรถ เส้นทางเดินรถ และตารางเวลาเดินรถ จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา Park และ Kim [32] ได้จำแนกการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโรงเรียนตามลักษณะปัญหา ลักษณะพฤติกรรมการให้บริการ และวิธีการแก้ปัญหา โดยพบว่า SBRP ได้ถูกนำมาแก้ปัญหาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1969 โดย Newton และ Thomas และได้มีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง เพื่อการวางแผนการให้บริการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยปัญหาที่นำมาวิจัยที่ผ่านมาถูกแบ่งเป็น 5

กลุ่มปัญหาได้แก่ การจัดเตรียมข้อมูล การเลือกจุดจอดรถ การสร้างเส้นทางการเดินรถ การปรับเปลี่ยนเวลาการเข้าชั้นเรียน และการกำหนดตารางเวลาเดินรถ โดยที่ปัญหาต่างๆมีพฤติกรรมที่แตกต่างกัน และใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยแบ่งเป็น 2 วิธีการคือ การกำหนดสมการทางคณิตศาสตร์และการใช้วิธีการแก้ปัญหากับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยการใช้ฮิวริสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นชุดของลำดับขั้นการแก้ปัญหา (Algorithm) ที่นำเอาหลักการเดียวกันไปใช้แก้ปัญหาได้หลากหลาย สามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ให้ผลที่ดีและใช้งานง่าย

การแก้ปัญหา VRP และ SBRP มีวิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันไป เช่น Schittekat และคณะ [33] ได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางเดิน และแก้ปัญหาด้วยวิธีการตัดระนาบ (Cutting Plane Method) การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound Method) โดย Kim และคณะ [34] หรือการใช้วิธีแตกกิ่งและตัดระนาบ (Branch and Cut Approach) ในการแก้ปัญหาการเลือกจุดจอดรถและการสร้างเส้นทางเดินรถโดย Riera-Ledesma และ Salazar-González [35] พิจารณาการใช้โปรแกรมเชิงเส้นแบบผสมเลขจำนวนเต็ม (Mixed- Integer Linear Programming: MILP) ในการวิเคราะห์พัฒนาวิธีการแม่นตรง ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะเป็นไปในลักษณะเดียวกับปัญหาการเดินทางของผู้ซื้อโดยใช้จำนวนรถที่หลากหลาย (Multiple Vehicle Traveling Purchaser Problem: MV-TPP) การใช้วิธีแตกกิ่งและตัดระนาบ เพื่อสร้างตารางเวลาในการเดินรถที่เหมาะสม โดย Fügenschuh [36] นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีเมตาฮิวริสติก ได้แก่ การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบอาณาจักรมด (Ant Colony Optimization) ดังอธิบายในงานวิจัยของ Arias-Rojas และคณะ [37]

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมและเข้าใจง่ายคือ วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม (Saving Algorithm) หรือที่เรียกว่าวิธีอัลกอรึทึมแบบประหยัด ซึ่งเสนอโดย Clarke and Wright นักวิจัยในประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1964 [11] เป็นวิธีการทางฮิวริสติกซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่าการใช้วิธีแม่นตรงและได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีนี้จะพิจารณาการจัดเส้นทางการเดินรถในกรณีที่พาหนะขนส่งมากกว่า 1 คัน โดยพิจารณาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีความต้องการของลูกค้าหลายรายและยานพาหนะมีความจุหลายขนาด ส่งสินค้าออกจากคลังพัสดุแห่งเดียว ทำการพัฒนาขั้นตอนให้สามารถเลือกเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสมที่สุด ผลที่ได้คือ ทำให้ทราบจำนวนยานพาหนะที่จะใช้ในการขนส่ง และปริมาณสินค้าที่ขนส่งโดยยานพาหนะแต่ละคัน โดยมีหลักการคือ การเดินทางในหนึ่งรอบสามารถไปหาลูกค้าได้มากกว่าหนึ่งแห่ง พิจารณาจากเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมจากระยะทางที่ประหยัดสูงสุดของแต่ละคู่ของลูกค้าจากคู่ของลูกค้าที่มีความประหยัดมากไปยังน้อยตามลำดับ

อภิชิต และคณะ [38] ได้วิจัยเพื่อหาเส้นทางการเดินรถที่มีระยะทางต่ำที่สุดของการขนส่งอิฐบล็อคจากโรงงานไปยังลูกค้า ซึ่งมีข้อจำกัดของการเดินรถบรรทุกขนาดใหญ่ในเขต

เมือง โดยพัฒนาวิธีหาคำตอบเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกได้จัดกลุ่มลูกค้าตามเงื่อนไขการจำกัดช่วงเวลาในการเดินรถบรรทุก ขั้นที่สองสร้างคำตอบโดยใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และขั้นตอนสุดท้ายนำคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่สองมาปรับปรุงเส้นทางโดยวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งใช้การแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer-Exchange) ผสมกับวิธีการย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One-Move Operator) พบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดระยะทางรวมได้ และเมื่อมีจำนวนลูกค้ามากขึ้น วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีกว่าการใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดเพียงวิธีเดียว

นพรุจ และสุรพงษ์ [39] ใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบอัลกอรึทึมแบบประหยัดเพื่อสร้างคำตอบตั้งต้น ในการแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งของโรงกำจัดซากไก่ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งต่ำที่สุด โดยใช้การขนส่งแบบจ้างเหมารถบรรทุกตามระยะทาง และลักษณะปัญหานี้เป็นรูปแบบพิเศษของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีเงื่อนไขเวลาและความจุของรถ จากนั้นพัฒนาเพื่อหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ผลการวิจัยพบว่าการใช้วิธีอัลกอรึทึมแบบประหยัดร่วมกับวิธีการเชิงพันธุกรรม สามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี คำตอบเป็นที่น่าพอใจ และสามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

เช่นเดียวกับ กนกวรรณ และคณะ [40] ที่จัดเส้นทางด้วยอัลกอรึทึมแบบประหยัดเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางเพื่อซ่อมบำรุงอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำนวน 316 แห่ง ในจังหวัดอุบลราชธานี จากนั้นนำค่าอัลกอริทึมแบบประหยัดที่คำนวณได้มาจัดเรียงเส้นทางด้วยวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัด และทำการทดลองเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางวิธีปัจจุบัน วิธีการจัดกลุ่มตามอำเภอ และวิธีการจัดเส้นทางแบบอัลกอริทึมแบบประหยัด ผลการวิจัยพบว่าวิธีโมดิไฟล์อัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าวิธีอื่นๆ ทุกวิธี

นอกจากนั้น นคร และคณะ [41] ได้ศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มโดยใช้วิธีแบบอัลกอรึทึมแบบประหยัด และนำเส้นทางที่ได้มาจัดการขนส่งใหม่โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงในลักษณะปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งวิธีการนี้สามารถช่วยให้ปัญหามีขนาดเล็กลง และแก้ไขได้ด้วยการใช้โปรแกรมเอกเซลโซลเวอร์ (Excel Solver) จากการวิจัยพบว่า การใช้วิธีแบบอัลกอรึทึมแบบประหยัด ร่วมกับการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรง ให้ผลที่ดีกว่าการใช้วิธีแบบอัลกอรึทึมแบบประหยัดเพียงวิธีการเดียว

2.7.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการ

ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากที่ควรนำมาพิจารณาประกอบกับการลงทุน โดย Zhang และ Sheng [42] ได้วิเคราะห์ด้านการสนับสนุนทาง

การเงินของระบบขนส่งสาธารณะ ในเขตเมืองของประเทศจีน ด้วยการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ระดับจุลภาค และเปรียบเทียบแหล่งที่มาทางการเงิน พบว่าการลงทุนที่สูญเปล่าและไม่สำเร็จมาจากการประเมินทางการเงินที่ไม่ถูกต้อง ขาดนโยบายโดยรัฐบาล ขาดแนวทางการปฏิบัติโดยผู้ประกอบการปราศจากความพยายามที่จะลดค่าใช้จ่ายและการสร้างกำไร

อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญสำหรับการให้บริการขนส่งมวลชนคือ การลดต้นทุนการให้บริการ ด้วยการบริหารจัดการที่เหมาะสม ปัทมา [43] ได้ศึกษาการลดต้นทุนการให้บริการ ด้านการจัดตารางเวลาในการเดินรถขนส่งมวลชน ภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับการเดินทางช่วงชั่วโมงเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน โดยใช้โปรแกรมเอกเซลโซลเวอร์ เพื่อนำมาปรับตารางเวลาในการเดินรถขนส่งมวลชนให้เหมาะสมกับความต้องการการเดินทางและเป็นการช่วยลดต้นทุนในการให้บริการในการเดินรถขนส่งมวลชนของมหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าเมื่อจัดตารางเวลาเดินรถใหม่ ทำให้ลดต้นทุนการดำเนินการคิดเป็น 30.92% ของต้นทุนในด้านการจัดตารางเวลาเดินรถแบบเดิม

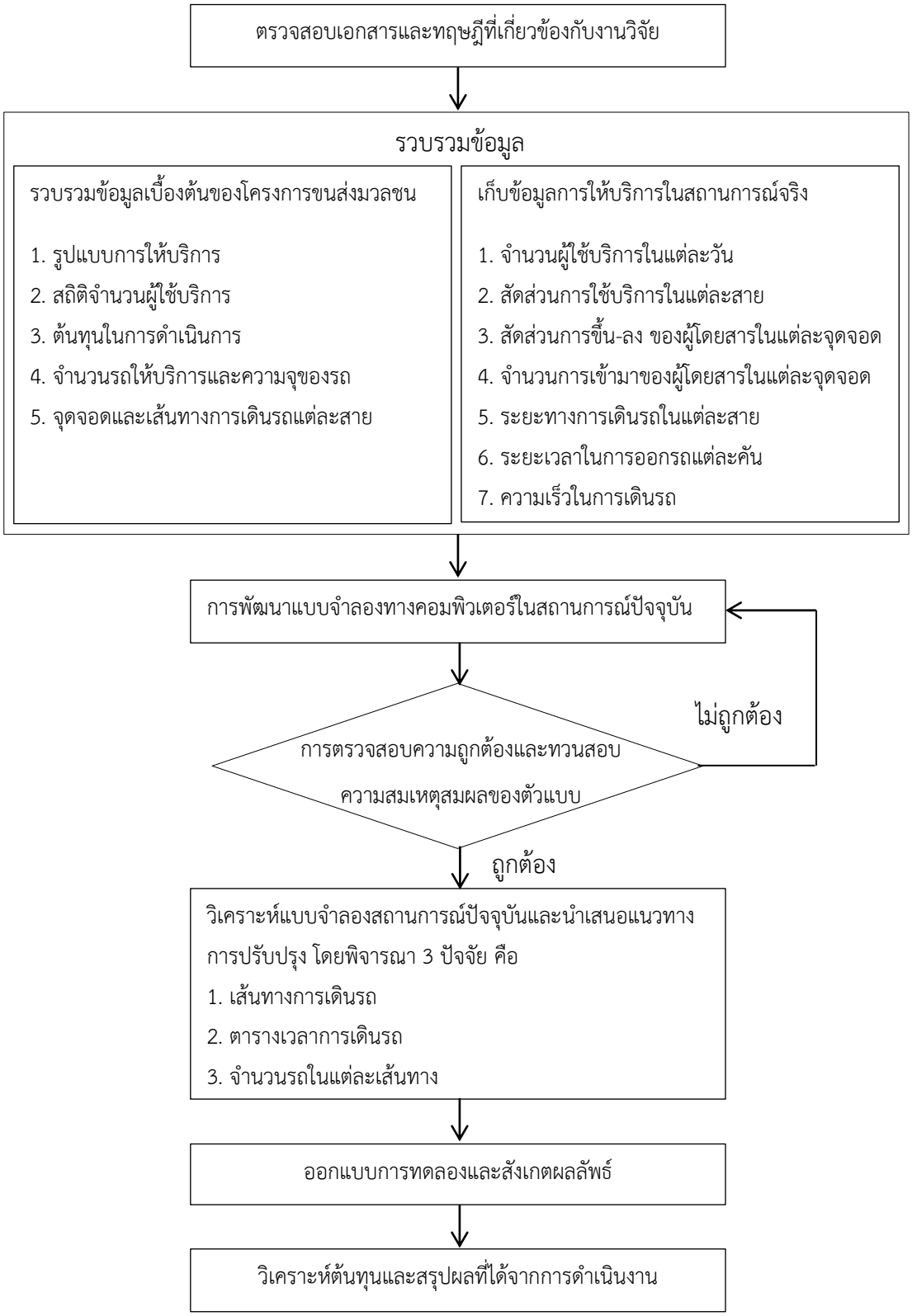
ต่อมา พนิดา [44] วิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนการประกอบการขนส่งรถโดยสารประจำทาง เปรียบเทียบต้นทุนการประกอบการระหว่างรถโดยสารขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพกับรถเอกชนร่วมบริการในเขตการเดินรถที่ 5 โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนาย้อนหลัง (Retrospective Descriptive Study) วิเคราะห์ต้นทุนโดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-based Costing) พบว่าต้นทุนรวมของรถโดยสารขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพสูงกว่ารถเอกชนร่วมบริการ และแนวทางการแก้ไขคือการลดต้นทุนการประกอบการขนส่งรถโดยสารขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ ได้แก่ การใช้ก๊าซธรรมชาติทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเดินรถ การลดค่าใช้จ่ายด้านดอกเบี้ยที่เกิดจากการกู้เงินจากสถาบันการเงิน การปรับปรุงเส้นทางการเดินรถที่ซ้อนทับกัน และการลดจำนวนบุคลากรตามความสมัครใจโดยเข้าโครงการเกษียณอายุก่อนกำหนด (Early Retirement) เช่นเดียวกับ วีรพันธ์ และ วีรินทร์ [45] ที่ได้ศึกษาผลกระทบของราคาพลังงานที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในการเดินทางในเส้นทางสะพานใหม่-สีลม ใน 3 รูปแบบการเดินทาง และเสนอแนวคิดในการลดค่าใช้จ่าย ได้แก่ การปรับปรุงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการเดินทางโดยเพิ่มค่าใช้จ่ายรถยนต์ส่วนบุคคล การลดค่าใช้จ่ายของการใช้ระบบขนส่งมวลชนลง การปรับต้นทุนในการเดินรถโดยสารโดยเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติ และการเพิ่มจำนวนผู้โดยสารให้มากขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินวิจัย

การศึกษาโครงการบริการรถขนส่งมวลชนที่ให้บริการภายในมหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เริ่มต้นดำเนินการวิจัยจากการสำรวจข้อมูลการให้บริการเบื้องต้น ได้แก่ รูปแบบการให้บริการ สถิติจำนวนผู้ใช้บริการ ต้นทุนในการดำเนินงาน จำนวนรถให้บริการและความจุของรถ จุดจอดและเส้นทางการเดินรถแต่ละสาย จากนั้นวางแผนการเก็บข้อมูลที่สำคัญอื่นๆ เช่น จำนวนผู้โดยสาร ความต้องการในการเดินทางแต่ละสาย และความเร็วในการเดินรถ เป็นต้น เพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลป้อนเข้าในการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งการเก็บข้อมูลนั้นจะดำเนินไปพร้อมกับการสร้างตัวแบบจำลองที่สามารถเลียนแบบพฤติกรรมของระบบขนส่งมวลชนได้อย่างใกล้เคียงกับระบบจริง และจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นสังเกตพฤติกรรมของระบบเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงการให้บริการ โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อจำลองรูปแบบสถานการณ์ทางเลือกต่างๆหลังการปรับปรุง แล้วเปรียบเทียบเพื่อเลือกสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นคำนวณต้นทุนการดำเนินงานสำหรับสถานการณ์ทางเลือกนั้น

ขั้นตอนและการดำเนินงานวิจัย สามารถเขียนแผนภาพการไหลที่แสดงลำดับขั้นตอนการวิจัยได้ดังภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและสภาพปัญหาของโครงการบริการขนส่งมวลชน

ในขั้นตอนนี้ ทำการศึกษาข้อมูลของโครงการขนส่งมวลชนเพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหาโดยมีขอบเขตการศึกษาคือ ศึกษาการให้บริการขนส่งมวลชน ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะรูปแบบการให้บริการ และผลการประกอบการที่ผ่านมา โดยข้อมูลที่ได้นั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกต และการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ หน่วยงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

การศึกษาและเก็บข้อมูลจะนำมาสู่การวิเคราะห์สภาพปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในโครงการให้บริการขนส่งมวลชน เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 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 ค่าใช้จ่าย

ก่อนการดำเนินงาน และเงินทุนหมุนเวียน แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกพิจารณาเฉพาะต้นทุนจากการดำเนินการที่เกิดขึ้นที่ผ่านมา

2) ต้นทุนแปรผัน เป็นต้นทุนที่ผันแปรไปกับการเปลี่ยนแปลงการเดินรถและระยะทางการเดินรถ เมื่อสามารถจำแนกต้นทุนตามประเภทได้แล้วนั้น ทำการหาต้นทุนเฉลี่ยที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณต้นทุนจากแบบจำลองสถานการณ์ทางเลือกได้ ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการให้บริการ อาจส่งผลให้ต้นทุนเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป

3.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานะปัจจุบัน

ขั้นตอนนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ในปัจจุบันของการให้บริการขนส่งมวลชน โดยข้อมูลที่ได้มาก่อนหน้านั้น จะถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลอง (Simulation Model) ด้วยซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel®) เวอร์ชั่น 11 ทำการป้อนข้อมูลป้อนเข้า (Input) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเกตผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลนำออก (Output)

3.3.1 กรอบแนวคิดสำหรับการสร้างตัวแบบ

โดยการออกแบบตรรกะการดำเนินงาน (Logical Flow) ของระบบขนส่งมวลชน โดยการสร้างแผนภาพการไหล (Flow Chart) พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของลำดับวิธีการดำเนินงานให้สอดคล้องกับระบบจริง จากนั้นสร้างตัวแบบจำลองเพื่อเลียนแบบระบบ ให้มีองค์ประกอบของการสร้างตัวแบบที่ครบถ้วน

3.3.2 การพัฒนาตัวแบบจำลอง

เพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของระบบการให้บริการขนส่งมวลชน โดยการใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์โปรโมเดลในสถานะปัจจุบัน เพื่อใช้อธิบายเหตุการณ์หรือปัญหาหรือปัจจัยต่างๆ อย่างเป็นระบบ และสามารถเข้าใจได้ง่าย

3.3.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า

โดยการกำหนดตัวแปรหรือข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ในงานวิจัย ทั้งข้อมูลทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์คำนวณ และข้อมูลที่ใช้สำหรับเป็นตัวแปรนำเข้าในซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ โดยที่การกำหนดตัวแปรสามารถช่วยให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง ไม่เสียเวลาในการกลับไปเก็บข้อมูลซ้ำหากข้อมูลที่ได้ก่อนหน้าไม่สมบูรณ์ เมื่อได้กำหนดตัวแปรที่สำคัญที่จำเป็นในการสร้างตัวแบบแล้วนั้น จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นตัวแทนของระบบจริงอย่างแม่นยำและถูกต้อง ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลและรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสม ทำการเก็บข้อมูลในช่วงระหว่างวันจันทร์ ถึงวันศุกร์ โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มให้บริการจนสิ้นสุดการให้บริการตั้งแต่เวลา 7:30–17:30 น. ระยะเวลาการเก็บข้อมูล 3 สัปดาห์ โดยการเก็บข้อมูลนั้นจะประกอบด้วย

2 ส่วนได้แก่ การบันทึกจำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นลงแต่ละจุดจอดรถและเวลาที่รถแต่ละคันมาถึงแต่จุดจอด และการบันทึกเวลารถออกจากสถานี เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบและจัดเรียงลำดับเวลาให้เป็นไปตามลำดับ เนื่องจากมีการให้บริการรถขนส่งมวลชนทั้งสิ้น 3 สาย

3.3.4 การหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period) และช่วงเวลาในการเก็บค่าผลลัพธ์ (Run length)

เมื่อสร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์ และป้อนข้อมูลนำเข้าต่างๆที่จำเป็นสำหรับการเลียนแบบพฤติกรรมของระบบอย่างครบถ้วนแล้ว จากนั้นหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการจำลองระบบเข้าสู่สภาวะเสถียรแล้ว และหาช่วงเวลาในการเก็บค่าผลลัพธ์ (Run length) ซึ่งเป็นไปตามเวลาในการให้บริการขนส่งมวลชน จากนั้นรันตัวแบบจำลองเบื้องต้น

3.3.5 การทำซ้ำ

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบ ซึ่งสนใจจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในระบบเพื่อหาจำนวนรอบการทำซ้ำที่เหมาะสม (N_m) เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดรอบการทำซ้ำของตัวแบบสถานการณ์ทางเลือกที่ได้จากการปรับปรุงการให้บริการต่อไป

3.3.6 การตรวจสอบความถูกต้องและทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง

ก่อนที่จะนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปทำการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการต่างๆ จะต้องทำการตวรจสอบให้มั่นใจว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความถูกต้อง โดยการตรวจสอบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การตรวจสอบความถูกต้อง เป็นกิจกรรมที่ถูกใช้ตลอดการสร้างตัวแบบเพื่อให้การสร้างนั้นเป็นไปตามรูปแบบหรือแนวคิดที่กำหนดไว้ เช่น การตรวจลำดับขั้นตอนในกระบวนการสร้างตัวแบบเปรียบเทียบกับระบบจริง การเปรียบเทียบกับแผนภาพการไหลที่รวมเอาลำดับความคิดที่เป็นไปได้ของระบบจริง การตรวจสอบโดยใช้ภาพเคลื่อนไหวเปรียบเทียบกับแผนภาพการไหล เป็นต้น และการทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง เพื่อทำให้แน่ใจว่าตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับระบบจริงที่ศึกษา โดยใช้วิธีทางสถิติเพื่อยืนยันผลของความสมเหตุสมผลของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น โดยจำลองตัวแบบแล้วบันทึกอรรถประโยชน์ในการใช้รถ จากนั้นเปรียบเทียบผลการจำลองกับอรรถประโยชน์ในการใช้รถจากระบบจริง โดยการตั้งสมมติฐานหลักในการทดลอง (Null Hypothesis) เพื่อพิสูจน์ว่าผลการจำลองกับระบบจริงไม่มีความแตกต่างกัน จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากร (Two-sample t Test)

3.4 วิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการรันตัวแบบมาวิเคราะห์สำหรับสถานการณ์ปัจจุบัน เพื่อนำไปสู่การนำเสนอแนวทางปรับปรุงแก้ไข

3.5 นำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ

ในการปรับปรุงจะนำตัวแบบการให้บริการในปัจจุบันมาใช้วิเคราะห์ผล แล้วออกแบบแนวทางการปรับปรุง โดยพิจารณาการปรับเปลี่ยนปัจจัย (Factor) ต่างๆที่อาจมีผลต่อตัวแปรที่สนใจ เช่น เวลารอคอยของผู้โดยสาร แล้วสร้างสถานการณ์ทางเลือก จากนั้นสังเกตข้อมูลนำออก (Output) ของแต่ละรูปแบบทางเลือกแล้วทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง จากนั้นเลือกสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาดัชนีชี้วัด 2 ประเภท คือ เวลาการรอคอยและต้นทุนการให้บริการ

3.6 การสรุปผลการวิจัย

ทำการสรุปผลการวิจัยโดยการนำข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมด มาวิเคราะห์ผลให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัย คือ สามารถปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ได้ แล้วนำเสนอแนวทางในการดำเนินงานเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่องค์กร

บทที่ 4

การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์โครงการบริการรถขนส่งมวลชนที่ให้บริการภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงการให้บริการ ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบนั้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือหลักที่สำคัญที่จะช่วยในการสังเกตผลลัพธ์และสามารถสะท้อนให้เห็นถึงพฤติกรรมของระบบในปัจจุบัน จากนั้นหาแนวทางในการดำเนินงานเพื่อปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แล้วออกแบบการทดลองเพื่อปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าต่างๆ และนำเสนอสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสม ซึ่งรายละเอียดการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย ข้อมูลการให้บริการโครงการรถขนส่งมวลชน ลักษณะของปัญหา ต้นทุนการให้บริการในปัจจุบัน การพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน การตรวจสอบความถูกต้องและทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง การวิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน การทำซ้ำ การหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period) และการช่วงเวลาในการเก็บค่าผลลัพธ์ การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ และการทดลองการจำลองแบบ โดยมีรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลการให้บริการโครงการบริการรถขนส่งมวลชน

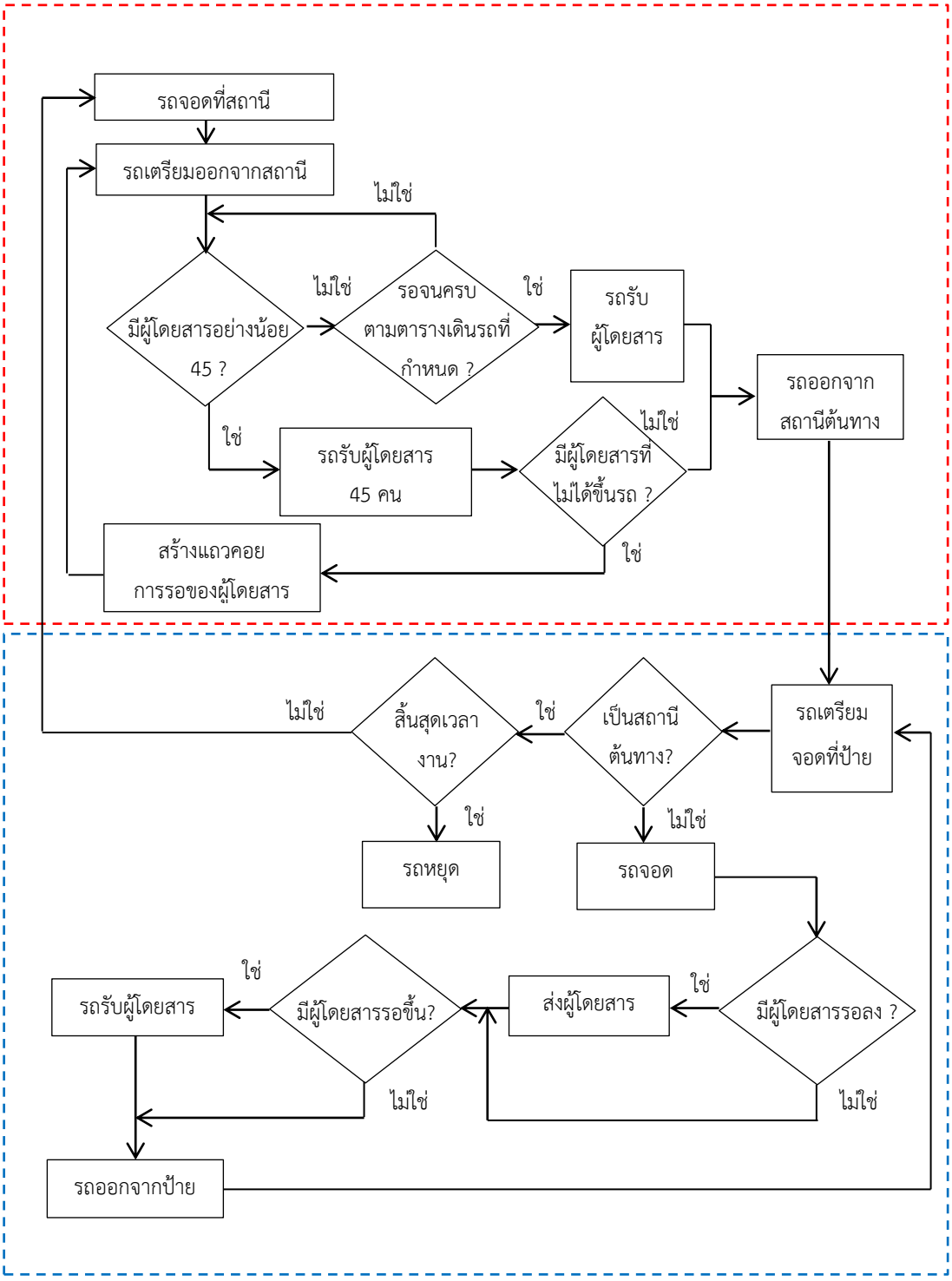
4.1.1 รูปแบบการให้บริการ

โครงการบริการรถขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในปัจจุบัน ใช้รถพลังงานไฟฟ้าเป็นยานพาหนะหลัก มีรถพลังไฟฟ้าทั้งหมด 10 คัน และรถเครื่องยนต์ดีเซล 2 คัน รวมทั้งสิ้น 12 คัน โดยมีกลุ่มงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการบริการขนส่งมวลชน ซึ่งรถพลังงานไฟฟ้าและรถเครื่องยนต์ดีเซลมีหลายลักษณะการจัดวางที่นั่งที่แตกต่างกัน โดยเฉลี่ยสามารถรองรับผู้โดยสารได้ 25 ที่นั่ง และพื้นที่ยืน 20 ที่นั่ง สามารถบรรทุกผู้โดยสารได้สูงสุด 45 ที่นั่งต่อเที่ยว

สำหรับการใช้งานรถไฟฟ้านั้นหน่วยงานยานยนต์ผู้รับผิดชอบโครงการขนส่งมวลชนได้ใช้ระบบประจุไฟฟ้าแบบธรรมดาในการชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้เวลาประมาณ 5-8 ชั่วโมง เนื่องจากการประจุไฟฟ้าแบบธรรมดาช่วยรักษาสภาพและคงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ดีกว่า

ระบบประจุเร็ว แม้ว่าระบบประจุเร็วใช้เวลาชาร์จเพียง 15-20 นาที แต่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้า ซึ่งต้องมีไฟฟ้าเพียงพอที่จะรองรับการประจุแบตเตอรี่ให้กับยานยนต์จำนวนมากได้ รถพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบันใช้แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (Li-ion Battery) ซึ่งมีอายุการใช้งานโดยทั่วไปอยู่ที่ 2 ปี ขึ้นอยู่กับลักษณะการชาร์จและการบำรุงรักษา โดยที่รถไฟฟ้ามีแบตเตอรี่จำนวน 24 ลูกต่อคัน สำหรับความเร็วในการวิ่งของรถไฟฟ้า มีความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งถูกจำกัดความเร็วในการวิ่งภายในมหาวิทยาลัยไว้ไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

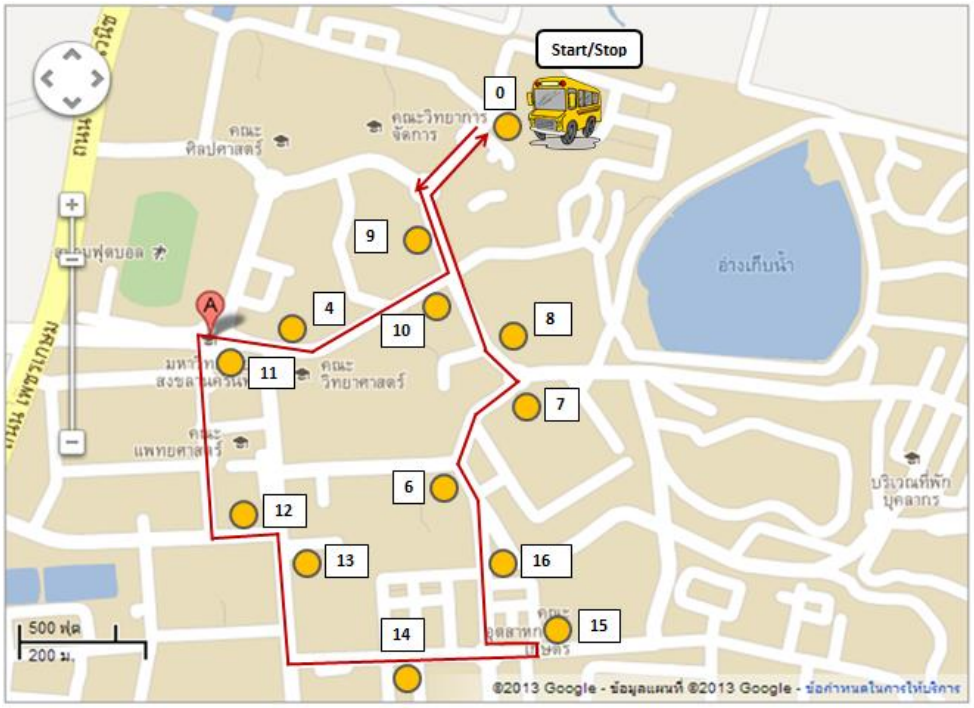
ลักษณะการให้บริการขนส่งมวลชน เริ่มตั้งแต่พนักงานขับรถและรถโดยสารพร้อมที่จะปฏิบัติงาน โดยรถโดยสารทั้งหมดจอดอยู่ที่สถานี บริเวณทางเข้าหอพักนักศึกษา ในช่วงเวลาที่มีผู้โดยสารเข้ามาเป็นจำนวนมากนั้น รถจะออกอย่างสม่ำเสมอเมื่อมีผู้โดยสารเต็มคันรถ แต่ในช่วงเวลาที่มีผู้ใช้บริการน้อย รถจะออกตามตารางเวลาการเดินรถคือทุกๆ 10 นาทีในช่วงก่อนและหลังเข้าคาบเรียน 10 นาที และรถจะออกเดินทางทุกๆ 20 นาทีในช่วงเวลาอื่นๆ ในทุกเส้นทางการเดินรถ จากนั้นรถจะเคลื่อนที่ไปยังจุดจอดรถต่างๆ ตามเส้นทางการเดินรถ เพื่อจอดส่งผู้โดยสารและรับผู้โดยสารขึ้น โดยการให้บริการมีลำดับขั้นตอนดังภาพประกอบ 4.1 และใช้รถไฟฟ้าเป็นยานพาหนะหลักในการให้บริการดังภาพประกอบ 4.2 โดยการให้บริการขนส่งมวลชนนั้นมีการให้บริการ 3 เส้นทาง ครอบคลุมพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยเส้นทางที่ 1 2 และ 3 มีจุดจอดรถ 9 12 และ 13 จุดจอดตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ 4.3-4.5 ซึ่งมีลำดับจุดจอดรถและตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 4.1



ภาพประกอบ 4.1 แผนภาพการไหล (Flow Chart) ของการให้บริการรถขนส่งมวลชน

ภาพประกอบ 4.2 รถไฟฟ้าที่ให้บริการภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ภาพประกอบ 4.3 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 1



ภาพประกอบ 4.4 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 2

ภาพประกอบ 4.5 เส้นทางการเดินรถและจุดจอดรถ เส้นทางที่ 3

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งจุดจอดรถ

เส้นทางที่	จุดจอดที่	ตำแหน่งจุดจอดรถ
1	0	สถานี (จุดเริ่มต้น)
	1	คณะศิลปศาสตร์
	2	พระบรมรูปอนุสรณ์สมเด็จพระมหิตลาธิเบศอดุลยเดชวิกรม พระบรมราชชนก (ลานพระบิดา)
	3	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
	4	คณะพยาบาลศาสตร์
	5	อาคารศูนย์ทรัพยากรการเรียนรู้ (LRC)
	6	อาคารเรียนและปฏิบัติการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (BSc)
	7	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	8	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
	9	หอประวัติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
	0	สถานี (จุดสิ้นสุด)
2	0	สถานี (จุดเริ่มต้น)
	10	ศูนย์ปาฐกถาประดิษฐ์ เชยจิตร คณะวิทยาศาสตร์ (ตึกฟักทอง)
	4	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
	11	คณะทันตแพทยศาสตร์
	12	หอพักนักศึกษาพยาบาล
	13	คณะเภสัชศาสตร์
	14	ตลาดเกษตร
	15	คณะอุตสาหกรรมเกษตร
	16	คณะทรัพยากรธรรมชาติ
	6	อาคารเรียนและปฏิบัติการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (BSc)
	7	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	8	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งจุดจอดรถ (ต่อ)

เส้นทางที่	จุดจอดที่	ตำแหน่งจุดจอดรถ
2	9	หอประวัติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
	0	สถานี (จุดสิ้นสุด)
3	0	สถานี (จุดเริ่มต้น)
	8	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
	7	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	6	อาคารเรียนและปฏิบัติการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (BSc)
	16	คณะทรัพยากรธรรมชาติ
	15	คณะอุตสาหกรรมเกษตร
	14	ตลาดเกษตร
	13	คณะเภสัชศาสตร์
	3	คณะพยาบาล
	4	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
	2	พระบรมรูปอนุสรณ์สมเด็จพระมหิตลาธิเบศอดุลยเดชวิกรม พระบรมราชชนก (ลานพระบิดา)
	1	คณะศิลปศาสตร์
	0	สถานี (จุดสิ้นสุด)

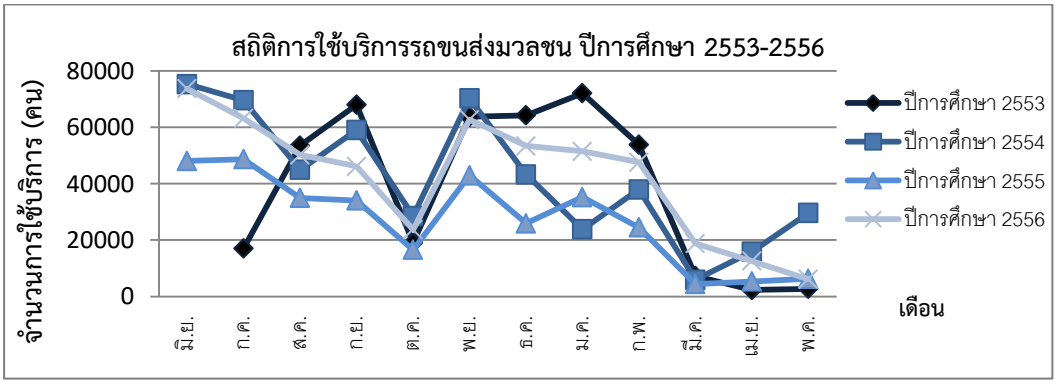
4.1.2 สถิติจำนวนผู้ใช้บริการ

จากการดำเนินงานของโครงการบริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยฯ มีกลุ่มนักศึกษาหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯเป็นกลุ่มผู้ใช้บริการกลุ่มหลัก สถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในปีการศึกษา 2553 ซึ่งเป็นปีการศึกษาแรกของการดำเนินงานจนถึงปีการศึกษา 2556 ที่เก็บรวบรวมโดยหน่วยงานยานยนต์ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งสามารถนำมาแสดงกราฟสถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชนได้ดังภาพประกอบ 4.6

ตารางที่ 4.2 สถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ระหว่างปีการศึกษา 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

ที่มา: หน่วยงานยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2557)



ภาพประกอบ 4.6 กราฟสถิติการใช้บริการรถขนส่งมวลชน ปีการศึกษา 2553-2556

ที่มา: หน่วยงานยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2557)

จากภาพประกอบ 4.6 แสดงให้เห็นถึงจำนวนการใช้บริการขนส่งมวลชนซึ่งมีแนวโน้มแปรผันตามช่วงเวลาในแต่ละเดือน ในช่วงเดือนมิถุนายนของทุกปีจะมีจำนวนการใช้บริการสูงสุดเนื่องจากอยู่ในช่วงเปิดภาคเรียนที่ 1 และมีแนวโน้มลดลงในเดือนถัดไปจนถึงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงปิดภาคเรียนที่ 1 โดยสมมติฐานของจำนวนผู้โดยสารที่ลดลงอาจมาจากการที่นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ซึ่งเป็นนักศึกษาส่วนใหญ่ในหอพักมีทางเลือกในการเดินทางมากขึ้น เช่น การนำรถจักรยานยนต์มาใช้ การใช้เส้นทางเดินเท้าที่สามารถลดระยะทางให้สั้นลง เป็นต้น รวมไปถึงพฤติกรรมการเข้าชั้นเรียนที่มีความถี่ลดน้อยลง และเป็นลักษณะนี้ในทุกๆปี จากนั้นการให้บริการจะสูงขึ้นอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากอยู่ในช่วงเปิดภาคเรียนที่ 2 ซึ่งมีความถี่ในการเข้าชั้นเรียนสูงและมีจำนวนลดลงจนถึงเดือนมีนาคมเนื่องจากเป็นช่วงปิดภาคเรียน 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

4.1.3 ตารางการเดินรถ

การให้บริการขนส่งมวลชนนั้นผู้ให้บริการได้กำหนดตารางการเดินรถ โดยการออกรถในแต่ละสายจะออกทุกๆ 10 นาที สำหรับช่วงก่อนและหลังเข้าคาบเรียน 10 นาที และออกรถทุกๆ 20 นาทีในช่วงเวลาอื่นๆตัวอย่างตารางการเดินรถ สายที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.3 แต่สำหรับบางช่วงเวลาที่มีการเข้ามาของผู้โดยสารจำนวนมาก พนักงานขับรถจะออกรถทันทีเมื่อผู้โดยสารเต็มขีดความสามารถในการบรรทุกของรถ (Capacity of bus) จากการเก็บข้อมูลการออกรถแต่ละคันบริเวณสถานีแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการออกรถในช่วงเวลาเร่งด่วน อยู่ระหว่าง 7.92 ถึง 9.80 นาที และค่าเฉลี่ยของเวลาในการออกรถช่วงปกติ 15.88 ถึง 23.41 นาที

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างตารางเดินรถสายที่ 1

เที่ยวที่	เวลาออกรถ	เที่ยวที่	เวลาออกรถ	เที่ยวที่	เวลาออกรถ	เที่ยวที่	เวลาออกรถ
1	7:30	12	10:10	23	13:00	34	15:50
2	7:50	13	10:30	24	13:10	35	16:00
3	8:00	14	10:50	25	13:30	36	16:10
4	8:10	15	11:00	26	13:50	37	16:30
5	8:30	16	11:10	27	14:00	38	16:50
6	8:50	17	11:30	28	14:10	39	17:00
7	9:00	18	11:50	29	14:30	40	17:10
8	9:10	19	12:00	30	14:50	41	17:30
9	9:30	20	12:10	31	15:00		
10	9:50	21	12:30	32	15:10		
11	10:00	22	12:50	33	15:30		

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาการออกรถจากระบบจริง

สายที่	ช่วงเวลา	ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการออกรถ (นาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาที)	ระยะเวลาสูงสุดในการออกรถ (นาที)	ระยะเวลาต่ำสุดในการออกรถ (นาที)
1	เร่งด่วน	8.11	5.83	27	1
	ปกติ	21.98	9.52	60	5
2	เร่งด่วน	7.92	4.93	25	1
	ปกติ	15.88	7.20	45	4
3	เร่งด่วน	9.80	6.26	34	1
	ปกติ	23.41	11.55	83	4

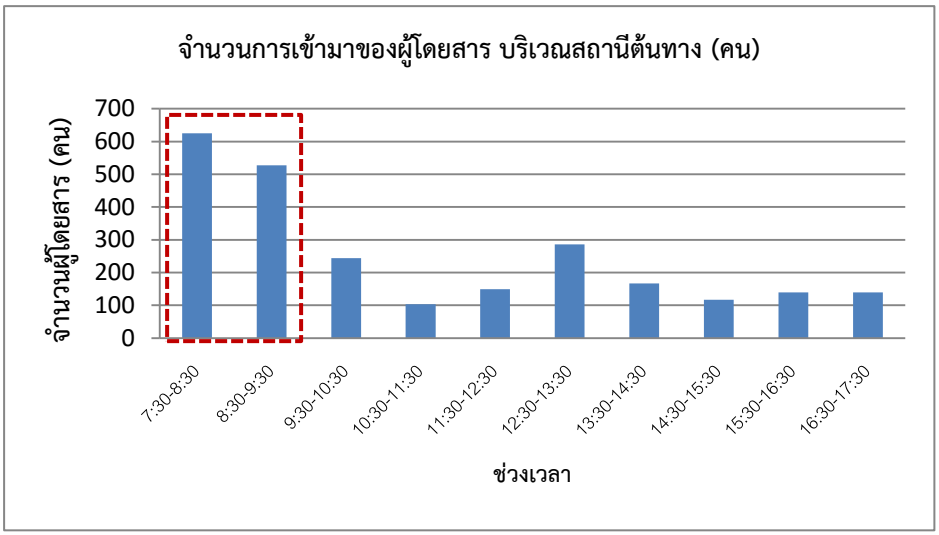
4.2 ลักษณะของปัญหา

ในการดำเนินงานที่ผ่านมาของโครงการขนส่งมวลชน ภายในมหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ได้มีการประเมินผลการดำเนินโครงการขนส่งมวลชน [1] โดยการใช้แบบสอบถามกับนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ใช้บริการหลัก โดยได้มีการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการ พบว่าประเด็นหนึ่งซึ่งไม่ผ่าน

เกณฑ์การประเมินได้แก่ ด้านความสะดวกของการใช้บริการรถไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ความตรงต่อเวลาในการให้บริการ ความเหมาะสมของตารางการเดินรถ ความเหมาะสมของจุดจอดรถ และความเหมาะสมของเส้นทางการให้บริการ นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์ผู้โดยสารพบว่าผู้โดยสารไม่พึงพอใจในการให้บริการเมื่อเกิดเวลาการรอคอยเป็นเวลานาน โดยเวลารอคอยเป็นสาเหตุหนึ่งของความไม่น่าเชื่อถือของการบริการ [23] ดังนั้นจากประเด็นที่ต่างๆเหล่านี้เป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญโดยการปรับปรุงการให้บริการเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะแก้ไขปัญหาด้านการลดเวลาการรอคอยของผู้โดยสาร นอกจากนี้ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์หัวหน้ากลุ่มงานยานยนต์ผู้รับผิดชอบโครงการ พบว่าหน่วยงานต้องการที่จะลดต้นทุนการให้บริการ เนื่องจากการให้บริการในปัจจุบันเป็นการให้บริการโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายจากผู้โดยสารโดยตรง และเงินสนับสนุนที่ได้รับในแต่ละปีจะถูกใช้เพื่อการซ่อมบำรุงหรือการจัดซื้อรถใหม่เป็นหลัก ดังนั้นการปรับปรุงการให้บริการจึงควรอยู่บนพื้นฐานของต้นทุนที่ลดลงโดยสามารถลดภาระค่าใช้จ่ายของโครงการลงได้ ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ทั้งในมุมมองของผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถขนส่งมวลชนในแต่ละวัน ตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ รวม 15 วัน ซึ่งแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลการออกรถจากสถานีแสดงดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 ซึ่งใช้สำหรับการตรวจสอบเวลาการออกรถ และจำนวนรถที่ให้บริการในแต่ละวัน และแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลจำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารในแต่ละจุดจอดรถแสดงดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2 โดยเก็บข้อมูลการเข้ามาในทุกๆ 10 นาที

จากการเก็บข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการบริเวณสถานีต้นทางในแต่ละวัน เมื่อพิจารณาจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาในแต่ละชั่วโมงนั้น พบว่าจำนวนผู้โดยสารในช่วงเช้าตั้งแต่ 7:30-8:30 น. และ 8:30-9:30 น. มีการใช้บริการอย่างหนาแน่น และมีผู้ใช้บริการสูงกว่าช่วงเวลาอื่นๆ โดยมีจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยสูงถึง 625 คน และ 527 คนตามลำดับ ภายในช่วงเวลาเพียง 1 ชั่วโมง ซึ่งแสดงได้ดังภาพประกอบ 4.7 ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ปริมาณความหนาแน่นของผู้โดยสารที่มีความแตกต่างกันนี้ ในการจำแนกการปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนตามช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเร่งด่วนระหว่าง 7:30 น. ถึง 9:30 น. และช่วงปกติ ระหว่าง 9:30 น. ถึง 17:30 น.

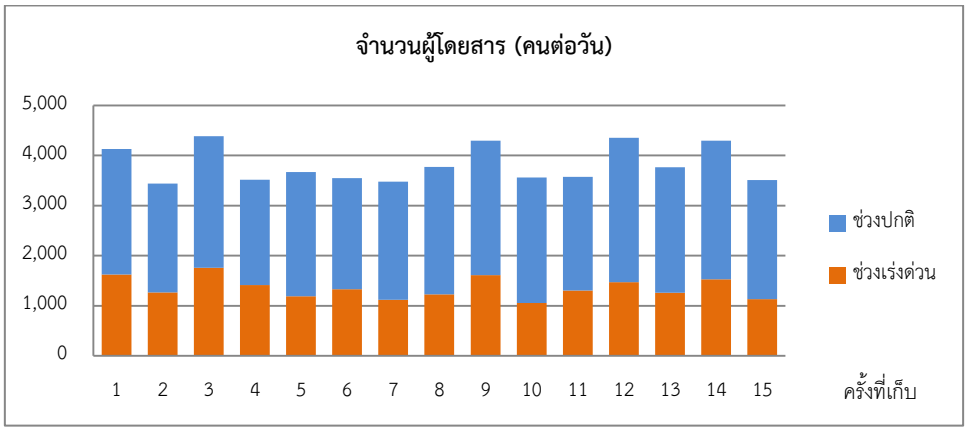


ภาพประกอบ 4.7 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารบริเวณสถานีต้นทาง

จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการขนส่งมวลชนในแต่ละวัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.5 โดยจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันมีค่า 3,819 คน การพิจารณาความแตกต่างของจำนวนผู้โดยสารในแต่ละวันจะเลือกใช้วิธีกราฟเนื่องจากโดยปกติแล้วจำนวนผู้โดยสารจะไม่ได้มีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนผู้โดยสารในแต่ละวัน เพื่อศึกษาปัจจัยด้านวันว่ามีผลต่อจำนวนผู้โดยสารหรือไม่ ดังนั้นเมื่อพิจารณากราฟจำนวนผู้โดยสารในแต่ละวันดังภาพประกอบ 4.8 จะเห็นได้ว่ามีจำนวนผู้โดยสารที่ใกล้เคียงกัน และสามารถสร้างตัวแบบเพื่อเป็นตัวแทนของการให้บริการในทุกวันทำการปกติ (จันทร์ถึงศุกร์) ได้

ตารางที่ 4.5 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถขนส่งมวลชนต่อวัน

ครั้งที่เก็บข้อมูล	จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการต่อวัน (คน)		
	ช่วงเวลาเร่งด่วน	ช่วงเวลาปกติ	รวม
1	1,624	2,505	4,129
2	1,264	2,173	3,437
3	1,756	2,629	4,385
4	1,410	2,103	3,513
5	1,192	2,477	3,669
6	1,331	2,217	3,548
7	1,119	2,359	3,478
8	1,229	2,543	3,772
9	1,613	2,683	4,296
10	1,053	2,508	3,561
11	1,307	2,266	3,573
12	1,469	2,885	4,354
13	1,260	2,503	3,763
14	1,528	2,765	4,293
15	1,134	2,374	3,508
ค่าเฉลี่ย	1352.60	2,466.00	3818.60
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	207.70	221.82	362.12



ภาพประกอบ 4.8 กราฟจำนวนผู้โดยสารต่อวัน

4.3 ต้นทุนการให้บริการในปัจจุบัน

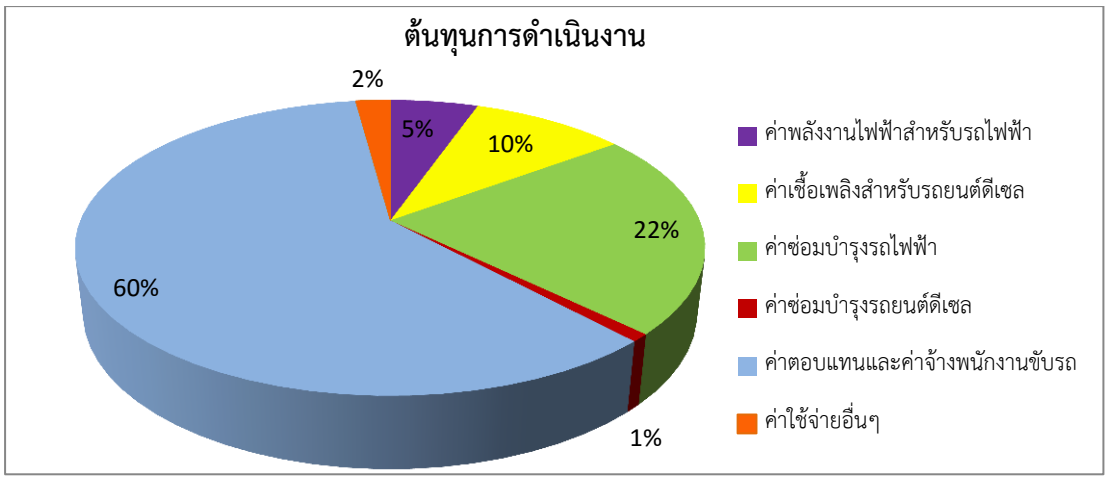
การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานในการให้บริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ใช้การวิเคราะห์เอกสารของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ ที่รวบรวมจากหน่วยงานยานยนต์ กองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้จะไม่พิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุนของการก่อตั้งโครงการ โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการแสดงได้ดังนี้

ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการขนส่งมวลชนโดยสรุป ในปีการศึกษา 2553 ถึงปีการศึกษา 2556 แสดงได้ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นต้นทุนรวมจากการดำเนินงานที่ผ่านมาในแต่ละปี ประกอบด้วยต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า ค่าเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ดีเซล ค่าซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถ และค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยสามารถจำแนกสัดส่วนต้นทุนการดำเนินงานรถขนส่งมวลชนประเภทต่างๆได้ดังภาพประกอบ 4.9 ซึ่งมากกว่า 60% ของต้นทุนทั้งหมดคือค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถ

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนการให้บริการระบบขนส่งมวลชน ปีการศึกษา 2553-2556

รายการต้นทุนการให้บริการ	**ต้นทุนการดำเนินงาน**			
	2553	**2554**	**2555**	**2556**
ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า	26,731.25	48,357.25	87,062.80	172,246.39
ค่าเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ดีเซล	185,216.41	234,435.00	64,897.18	104,761.79
ค่าซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า	20,700.00	491,912.00	751,271.40	121,040.40
ค่าซ่อมบำรุงรถยนต์ดีเซล	4,545.00	47,512.00	-	-
ค่าตอบแทนและค่าจ้าง	683,532.00	903,386.00	968,491.00	1,153,704.28
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	-	46,377.00	50,877.66	34,350.00
รวม	920,724.66	1,771,979.25	1,922,600.04	1,586,102.86

ที่มา: หน่วยงานยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2557)



ภาพประกอบ 4.9 สัดส่วนต้นทุนการดำเนินงานรถขนส่งมวลชน

เมื่อพิจารณาต้นทุนการดำเนินการที่เกิดขึ้นจริงในการให้บริการขนส่งมวลชนนั้น สามารถนำมาจำแนกต้นทุนการให้บริการได้เป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น เมื่อมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงการให้บริการในสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ต้นทุนคงที่

1) ต้นทุนด้านแรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ต้นทุนคงที่ด้านการบริหาร ได้แก่ ค่าตอบแทนผู้จัดการ ซึ่งเป็นค่าตำแหน่งเพิ่มเติมจากเงินเดือนประจำ เนื่องจากตำแหน่งผู้จัดการ จะให้พนักงานจากกองอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นผู้ดูแล และต้นทุนคงที่ด้านการขนส่ง ได้แก่ ค่าจ้างพนักงานขับรถ และค่าล่วงเวลา โดยอัตราค่าตอบแทนแสดงดังตารางที่ 4.7 สำหรับจำนวนการจ้างพนักงานขับรถนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามจำนวนรถไฟฟ้าที่ได้มีการจัดซื้ออย่างต่อเนื่อง โดยในปีเริ่มต้นมีพนักงานขับรถ 8 คน และเพิ่มเป็น 12 คน ในปีการศึกษา 2556 ซึ่งต้นทุนการจ้างบุคลากรระหว่างปีการศึกษา 2553 ถึง 2556 แสดงดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1 ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ไม่แน่นอนนั้นมาจากการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนพนักงาน ค่าล่วงเวลา และเบี้ยสมทบค่าประกันสังคม จึงทำให้จำนวนค่าใช้จ่ายมีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละเดือน ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนพนักงานขับรถเท่ากัน

ตารางที่ 4.7 อัตราค่าตอบแทนและค่าจ้าง โครงการขนส่งมวลชน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รายการ	อัตราค่าจ้าง	หน่วย
ค่าตอบแทนผู้จัดการ (ค่าตำแหน่ง)	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: หน่วยงานยานยนต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2557)

2) ต้นทุนการบำรุงรักษา สามารถจำแนกเป็นต้นทุนการบำรุงรักษารถไฟฟ้าและรถเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งรายละเอียดต้นทุนที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข โดยต้นทุนการบำรุงรักษารถยนต์ดีเซลในปีการศึกษา 2555 และ 2556 ไม่ปรากฏข้อมูล ดังนั้นจึงไม่นำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณ และต้นทุนการบำรุงรักษาต่อปี แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยทั่วไปนั้นต้นทุนการบำรุงรักษาส่วนใหญ่จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มต้นทุนแปรผัน แต่ในงานวิจัยนี้ ต้นทุนการบำรุงรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบำรุงรักษารถไฟฟ้า ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะเป็นค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ตามอายุการใช้งานของรถเป็นหลัก (ทุกๆ 2 ปีโดยประมาณ) ซึ่งพิจารณาร่วมกับระยะทางการใช้งานของรถ และรถต้องได้รับการตรวจสภาพจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานแบตเตอรี่ที่คงเหลืออยู่ก่อนทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่

3) ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ เป็นค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกิดขึ้นในการให้บริการขนส่งมวลชน และไม่สามารถจำแนกไว้ในต้นทุนคงที่ประเภทต้นทุนแรงงานและต้นทุนการบำรุงรักษาได้ เช่น ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ ให้กับรถและโรงจอดรถของโครงการ ค่าติดตั้งป้ายหยุดรถ ค่าอุปกรณ์ทำความสะอาด และชุดเครื่องแบบพนักงานขับรถ เป็นต้น รายละเอียดค่าใช้จ่ายอื่นๆแสดงดังตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ข โดยไม่ปรากฏข้อมูลในปีการศึกษา 2553 และต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ต้นทุนคงที่ในการให้บริการโครงการรถขนส่งมวลชน

รายการ	ต้นทุน (บาท/ปี)
ต้นทุนการบำรุงรักษารถไฟฟ้า	346,231.00
ต้นทุนการบำรุงรักษารถเครื่องยนต์ดีเซล	22,862.50
ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ	43,868.22

4.3.2 ต้นทุนแปรผัน

เป็นต้นทุนที่ผันแปรไปกับการเปลี่ยนแปลงการเดินรถและระยะทางการเดินรถ โดยการวิเคราะห์ต้นทุนประเภทนี้ ผู้วิจัยจะคำนวณหาค่าเฉลี่ยของต้นทุนต่อระยะการเดินทาง 1 กิโลเมตร ทั้งนี้เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์ต้นทุนที่จะเกิดขึ้นเมื่อทำการปรับเปลี่ยนการให้บริการในแต่ละสถานการณ์ทางเลือก ได้แก่ ต้นทุนด้านพลังงานในการให้บริการขนส่งมวลชนประกอบด้วย ต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานรถขนส่งมวลชนประเภทใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน และต้นทุนด้านเชื้อเพลิง จากการใช้งานรถขนส่งมวลชนประเภทใช้น้ำมันดีเซลในการขับเคลื่อน ต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดขึ้น ตั้งแต่ปีการศึกษา 2553 ถึงปีการศึกษา 2556 ของรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล แสดงดังตารางที่ ข.4 ในภาคผนวก ข เนื่องจากโครงการดังกล่าวเริ่มต้นดำเนินการในเดือนกรกฎาคมปี พ.ศ.2553 ซึ่งจากตารางพบว่าในสองเดือนแรกยังไม่ปรากฏค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในการชาร์จแบตเตอรี่ เพราะการก่อสร้างโรงจอดรถยังไม่แล้วเสร็จ จึงใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับอาคารจอดรถบัสรวม สำหรับการคำนวณต้นทุนต่อกิโลเมตรมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลระยะทางในการให้บริการ ซึ่งระยะทางรวมที่ให้บริการโดยรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซลแสดงดังตารางที่ ข.5 ในภาคผนวก ข

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล และระยะทางรวมที่ให้บริการโดยรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล สามารถนำมาคำนวณต้นทุนต่อกิโลเมตรของการใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้เชื้อเพลิงได้ ดังสมการที่ (4.1) พิจารณาต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนและพิจารณาเฉพาะเดือนที่ปรากฏข้อมูลและหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.9

$$\text{ต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า(เชื้อเพลิง)เฉลี่ยต่อกิโลเมตร} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละเดือน}}{\text{ระยะการเดินทางในแต่ละเดือน}} \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.9 ต้นทุนแปรผันของการให้บริการโครงการขนส่งมวลชน

ประเภทรถ	ประเภทพลังงาน	ต้นทุน (บาท/กิโลเมตร)
ไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า	2.39
ดีเซล	น้ำมันดีเซล	9.22

4.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการสร้างแนวทางในการตัดสินใจเพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการช่วยพิจารณาและวิเคราะห์งานก่อนที่จะนำไปใช้กับระบบงานจริงและเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์เป็นการศึกษาปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลอง ตัวแบบที่สร้างขึ้นมาสามารถเป็นตัวแทนของระบบที่เกิดขึ้นตามสถานการณ์จริงได้หรือสอดคล้องกับสถานการณ์จริง ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ทางคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการจำลองระบบงานมากขึ้น หลักการที่ใช้ในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์คือ การสร้างแนวทางในการตัดสินใจให้ระบบ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาให้ระบบ หรือปรับปรุงระบบงานเดิมที่มีอยู่ให้ดียิ่งขึ้นโดยไม่รบกวนงานในระบบจริง

สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโครงการบริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.1 การตั้งปัญหาและให้คำจำกัดความของระบบงาน

ในการสร้างตัวแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของระบบขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์นั้น เป็นการศึกษาระบบการให้บริการในสถานการณ์ปัจจุบัน นำไปสู่การหาแนวทางเพื่อการปรับปรุงการให้บริการให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีปัญหาการให้บริการคือการไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินด้านความสะดวกในการให้บริการ ที่อาจส่งผลต่อเวลาการรอคอย ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการปรับเปลี่ยน เส้นทางการเดินรถ ตารางการออกรถ และจำนวนรถ โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงด้านการลดเวลารอคอยของผู้โดยสารลง และมีต้นทุนการให้บริการที่ลดลง โดยระบบงานที่ทำการศึกษา เป็นระบบขนส่งมวลชนที่ให้บริการแก่นักศึกษาซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักของโครงการ ทำการรับ-ส่งผู้โดยสารไปยังจุดจอดรถต่างๆ โดยมีเวลาการให้บริการขนส่งมวลเริ่มจากเวลา 7:30 น. จนกระทั่งสิ้นสุดการให้บริการในเวลา 17:30 น. ซึ่งข้อมูลนำเข้าที่นำมาพิจารณาจะใช้ข้อมูลการให้บริการในทำงานปกติของทางราชการ (จันทร์ถึงศุกร์)

4.4.2 กรอบแนวคิดสำหรับการสร้างตัวแบบ

จากการศึกษากระบวนการให้บริการขนส่งมวลชน ทำให้ทราบถึงลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน ซึ่งมีรายละเอียดที่ซับซ้อน การสร้างตัวแบบจำลองเพื่อช่วยในการตัดสินใจจะนำไปสู่การพัฒนาและการปรับปรุงการให้บริการได้ การสร้างแบบจำลองจะใช้กรอบแนวคิดสำหรับสร้างตัวแบบเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของระบบจริง ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะสามารถเป็นตัวแทนของระบบได้ การออกแบบกรอบแนวคิดของการดำเนินงาน จะใช้การสร้างแผนภาพการไหล (Flow Chart) ของระบบขนส่งมวลชน เพื่อนำไปสู่การสร้างตัวแบบจำลองตามลำดับวิธีการคิด โดยเริ่มต้นจากการเตรียมออกจากสถานีของรถในแต่สาย การรับผู้โดยสาร การออกจากสถานี เพื่อเคลื่อนที่ไปยังจุดจอดรถต่างๆ รวมถึงส่งและรับผู้โดยสารในแต่ละจุดจอดจนกระทั่งถึงสถานีปลายทาง ซึ่งได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.1 ภาพประกอบ 4.1 โดยรายละเอียดลำดับกระบวนการดำเนินงานของตัวแบบแสดงได้ดังภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2

4.4.3 ข้อมูลนำเข้าและการวิเคราะห์

ข้อมูลนำเข้าถือเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การจำลองแบบเพื่อหาคำตอบที่ต้องการได้ โดยข้อมูลที่เก็บได้นั้น ประกอบด้วยข้อมูลที่สามารถนำเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองได้ทันที เช่น ระยะทาง อัตราส่วนผู้โดยสารแต่ละสาย เป็นต้น และข้อมูลที่ต้องนำมาหารูปแบบการแจกแจงของข้อมูลและการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงที่หาได้ เช่น จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร เป็นต้น โดยการหารูปแบบการแจกแจงจะใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ ProModel® Version 11.0 ที่เรียกว่า Stat::Fit โดยเลือกการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยวิธีไคสแควร์ (Chi-Square Test) วิธีคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) และวิธีแอนเดอร์สัน-ดาร์ลิ่ง (Anderson Darling Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 หรือหากไม่สามารถหารูปแบบการแจกแจงใดๆที่ใกล้เคียงได้ จะเลือกใช้การแจกแจงเชิงประสบการณ์ (Empirical Distribution)

4.4.3.1 การเข้ามาของผู้โดยสาร

การหาการแจกแจงของข้อมูลการเข้ามาของผู้โดยสารทุกๆ 10 นาที ณ สถานีต้นทาง และทุกๆ จุดจอดรถ จะพิจารณาแยกตามช่วงเวลา โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาเร่งด่วน (7:30-9:30 น.) และช่วงเวลาปกติ (9:30-17:30 น.) โดยใช้ซอฟต์แวร์ Stat::Fit เพื่อคำนวณและหาการแจกแจงที่มีลักษณะที่เหมาะสมกับข้อมูลอย่างใกล้เคียงมากที่สุด แต่พบว่าผลทางสถิติสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานของทุกๆการแจกแจงที่มีในซอฟต์แวร์ ทำให้ไม่สามารถหาการแจกแจงได้ เนื่องจากการเข้ามาของผู้ใช้บริการนั้น มีการกระจายตัวของข้อมูลที่แตกต่างกัน และข้อมูลมีความผันผวน โดยมีจำนวนผู้โดยสารสูงมากในช่วงระหว่างก่อนเข้าคาบเรียนถึงหลังเข้าคาบเรียน เช่น คาบเรียนเริ่มเวลา 9:00 น. จะมีผู้ใช้บริการสูงในช่วงเวลา 8:50-9:10 น. ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการสูงกว่า

ช่วงอื่นๆมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การป้อนข้อมูลในโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการแจกแจงเชิงประสบการณ์ (Empirical Distribution) โดยการใช้คำสั่ง “User Distributions” ในซอฟต์แวร์โปรโมเดล โดยจำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารทุก 10 นาที ณ สถานีต้นทาง ในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติแสดงดังตารางที่ ค.1 และ ค.2 ในภาคผนวก ค

4.4.3.2 สัดส่วนผู้ใช้บริการในแต่ละสาย

จากการเก็บข้อมูลจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยต่อวันทั้ง 15 วัน พบว่าสามารถจำแนกจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการได้ 3 กลุ่มคือ ผู้ใช้บริการรถขนส่งมวลชนสายที่ 1 สายที่ 2 และสายที่ 3 ซึ่งในแต่ละสายนั้นมีเส้นทางและจุดจอดรถที่แตกต่างกัน ดังนั้นความต้องการในการใช้บริการรถขนส่งมวลชนในแต่ละสายจึงแตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งสัดส่วนการใช้บริการแต่ละสายทั้งจำนวนการเข้ามาบริเวณสถานีต้นทาง และจำนวนการเข้ามารวมในทุกๆจุดจอดรถได้ดังตารางที่ 4.10 จากตารางพบว่าสายที่ 1 มีความต้องการในการเดินทางสูงสุดทั้งบริเวณสถานี และจากจำนวนการเข้ามาทั้งหมดที่ 39.67% และ 40.35% ตามลำดับ สัดส่วนการเข้ามาบริเวณสถานีต้นทางจะใช้เป็นข้อมูลตัวแปรนำเข้า เพื่อการจำแนกเส้นทางในการจำลองแบบ

ตารางที่ 4.10 สัดส่วนผู้โดยสารที่เข้ามาในระบบ

สายที่	การเข้ามาของผู้โดยสารที่สถานีต้นทาง		การเข้ามาของผู้โดยสารรวมจากทุกจุดจอด	
	จำนวน (คน)	สัดส่วน (%)	จำนวน (คน)	สัดส่วน (%)
1	1,083	39.67	1,541	40.35
2	965	35.35	1,378	36.08
3	682	24.98	900	23.57
รวม	2,730	100.00	3,819	100.00

4.4.3.3 สัดส่วนการขึ้น-ลง ของผู้โดยสารในแต่ละจุดจอด

เก็บข้อมูลจำนวนผู้โดยสารทั้งหมดที่ขึ้น-ลงในแต่ละวัน ในทุกๆจุดจอดรถ จากนั้นคำนวณสัดส่วนผู้โดยสารแต่ละจุดจอด ดังตารางที่ 4.11 เพื่อใช้เป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ได้ โดยสัดส่วนการขึ้นลงในแต่ละสายได้มาจาก จำนวนผู้โดยสารขึ้นหรือลง ในแต่ละจุดจอดเทียบกับจำนวนผู้โดยสารทั้งหมดที่ขึ้นหรือลง ซึ่งพบว่าผู้โดยสารมีความต้องการลงบริเวณจุดจอดรถอาคารเรียนและปฏิบัติการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (BSc) มากที่สุด คิดเป็น 37.65% จากจำนวนผู้โดยสารทั้งหมดที่มีความต้องการลงรถ และผู้โดยสารมีความต้องการขึ้นบริเวณสถานี มากที่สุดเป็น 71.48% จากจำนวนผู้โดยสารทั้งหมดที่มีความต้องการขึ้นรถ

ตารางที่ 4.11 สัดส่วนความต้องการในการขึ้น-ลงรถขนส่งมวลชนในแต่ละจุดจอดรถ

จุดจอดรถ	จำนวนผู้โดยสารแต่ละจุดจอด (คน)		สัดส่วนผู้โดยสารแต่ละจุดจอด (%)	
	ลง	ขึ้น	ลง	ขึ้น
สถานี (จุดเริ่มต้น/สิ้นสุด)	1,005	2,730	26.32	71.48
คณะศิลปศาสตร์	165	36	4.32	0.94
ลานพระบิดา	4	4	0.1	0.1
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	780	184	20.42	4.82
คณะพยาบาลศาสตร์	77	41	2.02	1.07
อาคารศูนย์ทรัพยากรการเรียนรู้ (LRC)	-	-	-	-
อาคารเรียนและปฏิบัติการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (BSc)	1,438	716	37.65	18.75
คณะวิศวกรรมศาสตร์	32	2	0.84	0.05
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	63	32	1.65	0.84
หอประวัติ ม.สงขลานครินทร์	2	0	0.05	0
คณะวิทยาศาสตร์	23	8	0.6	0.21
คณะทันตแพทยศาสตร์	60	21	1.57	0.55
หอพักนักศึกษาพยาบาล	17	15	0.46	0.39
คณะเภสัชศาสตร์	70	15	1.83	0.39
ตลาดเกษตร	20	10	0.52	0.28
คณะอุตสาหกรรมเกษตร	8	1	0.21	0.03
คณะทรัพยากรธรรมชาติ	55	4	1.44	0.1
รวม	3,819	3,819	100.00	100.00

ข้อมูลการขึ้น-ลงรถ จากการเก็บข้อมูลทั้ง 15 วัน สามารถพิจารณาจำนวนการขึ้น-ลง จำแนกตามเส้นทางการเดินรถทั้ง 3 สาย ซึ่งสำหรับข้อมูลป้อนเข้า ในกระบวนการดำเนินงานของการสร้างตัวแบบจำลองนั้น ตัวแปรหนึ่งที่สำคัญคือ สัดส่วนการลงรถในแต่ละจุดจอดรถ โดยเมื่อรถเดินทางไปถึง ณ จุดจอดใดๆแล้วนั้น จะต้องทำการส่งคนตามจำนวน หรือสัดส่วนที่ถูกระบุไว้ ซึ่งผู้โดยสารที่คงเหลือ จะเป็นกลุ่มผู้โดยสารที่มีความต้องการในการเดินทางต่อไปยังจุดจอดรถอื่นๆ ดังนั้นจึงนำตารางที่ 4.11 มาปรุงปรุงได้ดังตารางที่ 4.12 โดยใช้การคำนวณเพื่อหาจำนวนคน

ก่อนรถจอด สัดส่วนผู้โดยสารลง และสัดส่วนผู้โดยสารที่จะเดินทางต่อไปยังจุดจอดอื่นต่อไป โดยการมีคำนวณดังสมการที่ (4.2) - (4.4) ตามลำดับ

จำนวนผู้โดยสารก่อนจอด = จำนวนผู้โดยสารก่อนจอด – จำนวนผู้โดยสารลง
(จุดจอดที่ n+1)
+ จำนวนผู้โดยสารขึ้น ..... (จุดจอดที่ n) (4.2)

สัดส่วนผู้โดยสารลงรถเทียบกับจำนวนผู้โดยสารบนรถ (จุดจอดที่ n)

= จำนวนผู้โดยสารลงรถ / จำนวนผู้โดยสารก่อนจอด (จุดจอดที่ n) (4.3)

สัดส่วนผู้โดยสารไปต่อรถเทียบกับจำนวนผู้โดยสารบนรถ (จุดจอดที่ n)

= 1 - สัดส่วนผู้โดยสารลงรถ (จุดจอดที่ n) (4.4)

ตารางที่ 4.12 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อ ในแต่ละจุดจอดรถ

เส้นทาง	จุดจอดรถ	จำนวนผู้โดยสาร ณ จุดจอด (คน)			สัดส่วนผู้โดยสาร	
		ก่อนจอด	ลง	ขึ้น	ลง	ไปต่อ
สายที่ 1	สถานีต้นทาง	0	0	1,083	0.0000	1.0000
	คณะศิลปศาสตร์	1,083	126	30	0.1163	0.8837
	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	987	340	50	0.3445	0.6555
	คณะพยาบาล	697	57	16	0.0818	0.9182
	อาคาร BSc	656	577	352	0.8796	0.1204
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	431	16	10	0.0371	0.9629
	สถานีปลายทาง	425	425	0	1.0000	0.0000
สายที่ 2	สถานีต้นทาง	0	0	965	0.0000	1.0000
	ตึกฟักทอง	965	23	8	0.0238	0.9762

ตารางที่ 4.12 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อ ในแต่ละจุดจอดรถ (ต่อ)

เส้นทาง	จุดจอดรถ	จำนวนผู้โดยสาร ณ จุดจอด (คน)			สัดส่วนผู้โดยสาร	
		ก่อนจอด	ลง	ขึ้น	ลง	ไปต่อ
สายที่ 2	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	950	305	101	0.3211	0.6789
	คณะทันตแพทยศาสตร์	746	60	21	0.0804	0.9196
	หอพักนักศึกษาพยาบาล	707	17	15	0.0240	0.9760
	คณะเภสัชศาสตร์	705	58	10	0.0823	0.9177
	ตลาดเกษตร	657	13	7	0.0198	0.9802
	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	651	5	0	0.0077	0.9923
	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	646	36	2	0.0557	0.9443
	อาคาร BSc	612	453	233	0.7402	0.2598
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	392	10	16	0.0255	0.9745
	หอประวัติ ม.อ.	398	2	0	0.0050	0.9950
	สถานีปลายทาง	396	396	0	1.0000	0.0000
สายที่ 3	สถานีต้นทาง	0	0	682	0.0000	1.0000
	วิทยาการคอมพิวเตอร์	682	37	6	0.0543	0.9457
	คณะวิศวกรรมศาสตร์	651	32	2	0.0492	0.9508
	อาคาร BSc	621	408	131	0.6570	0.3430
	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	344	19	2	0.0552	0.9448
	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	327	3	1	0.0092	0.9908
	ตลาดเกษตร	325	7	3	0.0215	0.9785
	คณะเภสัชศาสตร์	321	12	5	0.0374	0.9626
	คณะพยาบาลศาสตร์	314	20	25	0.0637	0.9363
	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	319	135	33	0.4232	0.5768
	ลานพระบิดา	217	4	4	0.0184	0.9816
	คณะศิลปศาสตร์	217	39	6	0.1797	0.8203
	สถานีปลายทาง	184	184	0	1.0000	0.0000

4.4.3.4 ระยะทางการเดินรถในแต่ละสาย

เส้นทางเดินรถที่ให้บริการในปัจจุบันมี 3 เส้นทาง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยฯ โดยสายที่ 1 2 และ 3 มีระยะทางรวม 1,940 2,740 และ 2,590 เมตร ตามลำดับ สำหรับแต่ละจุดจอดและระยะห่างดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ระยะห่างของจุดจอดรถและระยะทางรวมแต่ละเส้นทาง

เส้นทาง	จุดจอดเริ่มต้น	จุดจอดสิ้นสุด	ระยะทาง (เมตร)
สายที่ 1	สถานี (หน้าโรงช้าง)	คณะศิลปศาสตร์	400
	คณะศิลปศาสตร์	ลานพระบิดา	190
	ลานพระบิดา	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	170
	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	คณะพยาบาล	200
	คณะพยาบาล	อาคาร LRC	150
	อาคาร LRC	อาคาร BSc	120
	อาคาร BSc	คณะวิศวกรรมศาสตร์	180
	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	100
	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	หอประวัติ ม.อ.	200
	หอประวัติ ม.อ.	สถานี (หน้าโรงช้าง)	230
	รวมระยะทาง (เมตร)		1,940
สายที่ 2	สถานี (หน้าโรงช้าง)	หอประวัติ ม.อ.	230
	หอประวัติ ม.อ.	ตึกฟักทอง	200
	ตึกฟักทอง	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	230
	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	คณะทันตแพทยศาสตร์	190
	คณะทันตแพทยศาสตร์	หอพักนักศึกษาพยาบาล	350
	หอพักนักศึกษาพยาบาล	คณะเภสัชศาสตร์	100
	คณะเภสัชศาสตร์	ตลาดเกษตร	350
	ตลาดเกษตร	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	130
	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	120
	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	อาคาร BSc	130
	อาคาร BSc	คณะวิศวกรรมศาสตร์	180
	คณะวิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	100

ตารางที่ 4.13 ระยะห่างของจุดจอดรถและระยะทางรวมแต่ละเส้นทาง (ต่อ)

เส้นทาง	จุดจอดเริ่มต้น	จุดจอดสิ้นสุด	ระยะทาง (เมตร)
สายที่ 2	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	สถานี (หน้าโรงช้าง)	430
	รวมระยะทาง (เมตร)		2,740
สายที่ 3	สถานี (หน้าโรงช้าง)	หอประวัติ ม.อ.	230
	หอประวัติ ม.อ.	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	200
	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	100
	คณะวิศวกรรมศาสตร์	อาคาร BSc	180
	อาคาร BSc	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	190
	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	120
	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	ตลาดเกษตร	130
	ตลาดเกษตร	คณะเภสัชศาสตร์	350
	คณะเภสัชศาสตร์	คณะพยาบาล	130
	คณะพยาบาล	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	200
	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	ลานพระบิดา	170
	ลานพระบิดา	คณะศิลปศาสตร์	190
	คณะศิลปศาสตร์	สถานี (หน้าโรงช้าง)	400
	รวมระยะทาง (เมตร)		2,590

4.4.3.5 เวลาที่ใช้ในการเดินรถ

จากการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้การให้บริการขนส่งมวลชน เริ่มตั้งแต่รถออกจากสถานี เคลื่อนที่ไปยังจุดจอดรถต่างๆ จนกระทั่งรถกลับมายังสถานี จะได้เวลาทั้งหมดที่รถใช้ต่อ 1 เที่ยว จำแนกตามเส้นทางเดินรถ (สายที่ 1-3) และช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาเร่งด่วน และช่วงเวลาปกติ จากนั้นนำข้อมูลในทุกๆเที่ยวมาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาที่ใช้ในการเดินรถ ดังตารางที่ 4.14 ข้อมูลจากตารางแสดงให้เห็นว่าเวลาเดินรถเฉลี่ยต่อเที่ยวในช่วงเวลาเร่งด่วน น้อยกว่าช่วงเวลาปกติในทุกๆเส้นทาง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สังเกตการณ์การให้บริการพบว่าในช่วงเวลา 7:30-9:30 น. ซึ่งเป็นช่วงเร่งด่วนนั้น สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยสงขลา - นครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มีปริมาณการจราจรไม่หนาแน่นมากนัก แต่จะหนาแน่นในช่วงเย็นตั้งแต่ 16:00 น. เป็นต้นไป ดังนั้นเวลาการเดินรถที่ได้จากการเก็บข้อมูลจึงสมเหตุสมผล

ตารางที่ 4.14 เวลาที่ใช้ในการเดินรถ พิจารณาแยกสายและช่วงเวลา

สายที่	ช่วงเวลา	เวลาเดินรถเฉลี่ย (นาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาที)
1	ช่วงเวลาเร่งด่วน	8.31	1.39
	ช่วงเวลาปกติ	8.96	1.39
2	ช่วงเวลาเร่งด่วน	11.11	1.55
	ช่วงเวลาปกติ	11.39	1.49
3	ช่วงเวลาเร่งด่วน	10.51	1.51
	ช่วงเวลาปกติ	11.01	2.01

4.4.3.6 ความเร็วในการเดินรถ

การคำนวณหาความเร็วที่ใช้ในการเดินรถของรถขนส่งมวลชนสามารถหาได้จากเวลาที่ใช้ในการเดินรถแต่ละคันและระยะทางที่รถเคลื่อนที่ในแต่ละเส้นทางโดยใช้สมการที่ 4.5 ซึ่งหน่วยของความเร็วในการเดินรถในงานวิจัยนี้จะใช้หน่วย “เมตรต่อนาที” เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลป้อนเข้าที่ใช้ในซอฟต์แวร์โปรโมเดล โดยที่ความเร็วรถที่ได้นี้จะใช้กำหนดความเร็วในการเดินทางของรถในแต่ละสายและแต่ละช่วงเวลา ดังตารางที่ 4.15

$$v = \frac{s}{t} \tag{4.5}$$

โดยที่ v = ความเร็วในการเดินทาง (เมตร/นาที)

s = ระยะทางที่รถเคลื่อนที่ได้ (เมตร)

t = เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (นาที)

ตารางที่ 4.15 ความเร็วรถ (พิจารณาแยกสายและช่วงเวลา)

สายที่	ช่วงเวลา	ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เมตร/นาที)
1	ช่วงเวลาเร่งด่วน	240.61	44.73
	ช่วงเวลาปกติ	221.09	36.48
2	ช่วงเวลาเร่งด่วน	251.41	36.51
	ช่วงเวลาปกติ	244.66	32.40
3	ช่วงเวลาเร่งด่วน	251.34	35.09
	ช่วงเวลาปกติ	241.92	38.87

4.4.4 การพัฒนาตัวแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

4.4.4.1 ข้อสมมติฐานของตัวแบบ

ก่อนที่จะสร้างตัวแบบจำลองในสถานการณ์ปัจจุบันนั้น จะต้องตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ โดยผู้วิจัยได้กำหนดข้อสมมติฐานดังต่อไปนี้

1) การให้บริการของโครงการขนส่งมวลชน ภายในมหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์ เริ่มให้บริการตั้งแต่ 7:30 – 17:30 น. และพิจารณาข้อมูลนำเข้าของการให้บริการเฉพาะวันทำงานปกติของทางราชการ (จันทร์ถึงศุกร์)

2) การเข้ามาของผู้โดยสารบริเวณสถานี จำแนกตามเส้นทางเป็นการเข้ามาแบบเข้าก่อน-ออกก่อน (First In-First Out: FIFO)

3) รถขนส่งมวลชนให้บริการ 3 เส้นทาง

4) จุดที่ให้บริการ ประกอบด้วยสถานีต้นทางและปลายทาง 1 จุด และจุดจอดรถทั้งสิ้น 16 จุด

5) จำนวนรถที่ให้บริการในระบบมีทั้งหมด 12 คัน

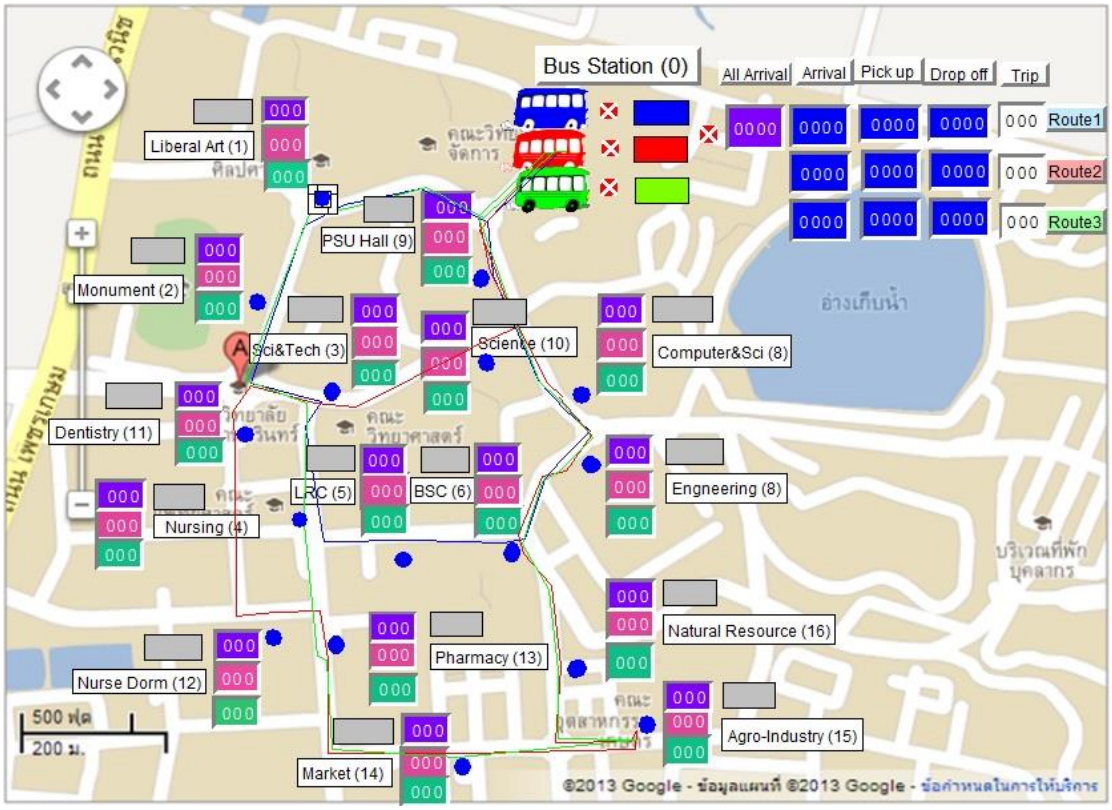
6) คำนึงถึงสภาพการจราจร โดยการเก็บข้อมูลเวลาการเดินทางเพื่อนำไปใช้คำนวณความเร็วในการเดินรถที่แตกต่างกันในแต่ละสาย ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเดินทาง หรือความเร็วของรถ สามารถสะท้อนให้เห็นถึงสภาพการจราจรที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาการให้บริการ

7) พิจารณาความหนาแน่นของตารางเรียนของนักศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยการเก็บข้อมูลความต้องการในการใช้บริการขึ้นและลงรถในแต่ละจุดจอดรถ ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงจำนวนความหนาแน่นของนักศึกษาที่มีความต้องการเดินทางเพื่อเข้าเรียนหรือการเดินทางหลังเลิกเรียนได้

8) พิจารณาเส้นทางเดินรถให้เป็นไปตามกฎจราจรและเส้นทางเดินรถทางเดียว

4.4.4.2 การสร้างตัวแบบจำลอง

ในการพัฒนาตัวแบบจำลองของระบบให้บริการขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จะประยุกต์ใช้โปรแกรมโปรโมเดล ProModel® เวอร์ชั่น 11 ในการสร้างเพื่อจำลองสถานการณ์การให้บริการในปัจจุบัน โดยขั้นตอนในการสร้างแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ซึ่งลักษณะของตัวแบบแสดงดังภาพประกอบ 4.10



ภาพประกอบ 4.10 แบบจำลองระบบการให้บริการขนส่งมวลชน

4.5 การตรวจสอบความถูกต้องและทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง

4.5.1 การตรวจสอบความถูกต้อง

เป็นกิจกรรมที่ถูกใช้ตลอดการสร้างตัวแบบเพื่อให้การสร้างนั้นเป็นไปตามรูปแบบหรือแนวคิดที่กำหนดไว้ และทำให้ผู้พัฒนาตัวแบบมั่นใจได้ว่า ตัวแบบที่สร้างบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องและสอดคล้องกับระบบจริง โดยการตรวจสอบความถูกต้องในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการดังนี้

1) การตวจสอบลำดับขั้นตอนในกระบวนการสร้างตัวแบบเปรียบเทียบกับกระบวนการดำเนินงานในระบบจริง

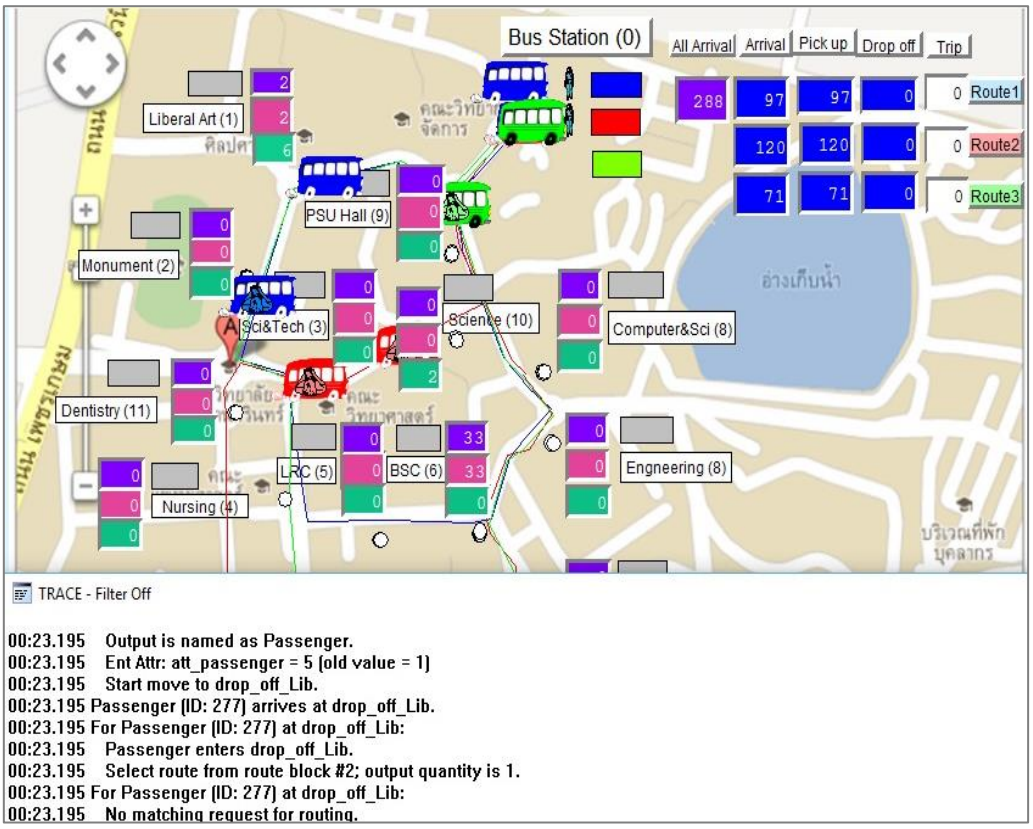
2) การเปรียบเทียบลำดับขั้นตอนในการทำงานของตัวแบบกับแผนภาพการไหลที่รวมเอาลำดับความคิดที่เป็นไปได้ของระบบจริง

3) การตรวจสอบโดยใช้การสังเกตภาพเคลื่อนไหว (Animation) เช่น ทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ การหยุดรถบริเวณจุดจอดรถ การเข้าสู่ระบบของผู้โดยสาร นอกจากนี้ยังสามารถใช้ภาพเคลื่อนไหวเพื่อทดสอบความสมเหตุสมผลได้อีกด้วย โดยการแสดงผลการนับจำนวนที่

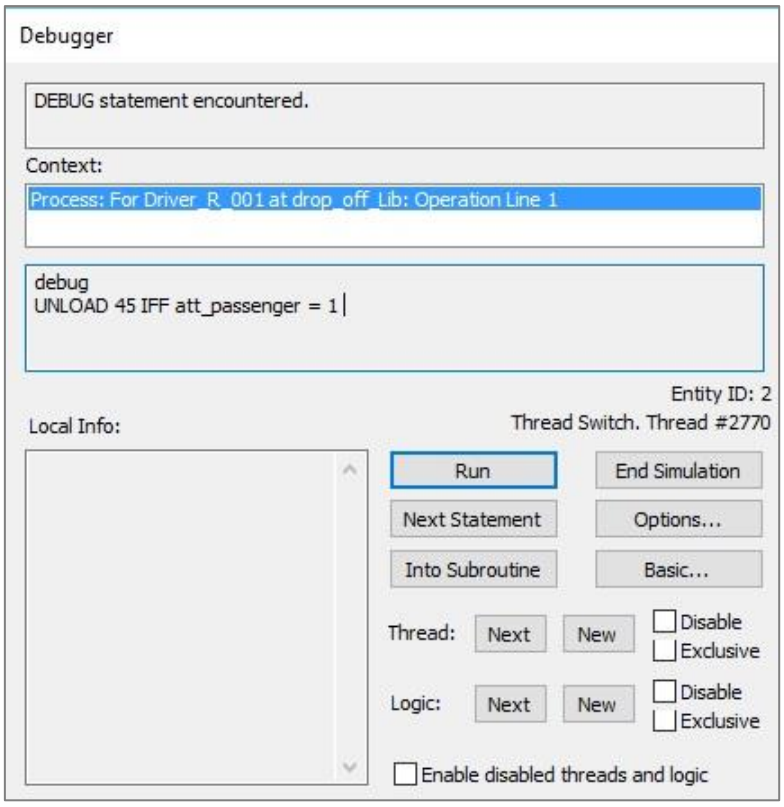
เพิ่มขึ้นหรือลดลงของตัวแปรที่สร้างขึ้น เช่น จำนวนผู้โดยสารที่เข้ามา ขึ้นรถ หรือลงรถบริเวณจุดจอด ซึ่งสามารถนำตัวเลขที่แสดงนั้นมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยข้อมูลจะต้องไม่น้อยเกินหรือไม่มากเกินความเป็นจริง

4) การตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองระหว่างการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้คำสั่ง “Trace” ของโปรแกรมโปรโมเดล ซึ่งจะแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการของตัวแบบ ดังภาพประกอบ 4.11

5) การตรวจสอบด้วยคำสั่ง “Debug” ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้แก้ไขจุดบกพร่องต่างๆในโปรแกรม ใช้สำหรับตรวจสอบเฉพาะจุดในกระบวนการที่ผู้เขียนสนใจ ดังภาพประกอบ 4.12 โดยสามารถแจ้งเตือนเมื่อระบบดำเนินไปถึงจุดที่ต้องการแก้ไขหรือตรวจสอบจุดบกพร่อง ทำให้ตรวจสอบลำดับและความถูกต้องของกระบวนการได้



ภาพประกอบ 4.11 การตรวจสอบตัวแบบโดยใช้คำสั่ง “Trace” ของซอฟต์แวร์โปรโมเดล



ภาพประกอบ 4.12 การตรวจสอบตัวแบบโดยใช้คำสั่ง “Debug” ของซอฟต์แวร์โปรโมเดล

4.5.2 การทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบ

หลังจากตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบแล้ว การทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบเป็นสิ่งที่ต้องทำในขั้นตอนถัดไป เพื่อทำให้แน่ใจว่าตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมีพฤติกรรมที่มีความสอดคล้องกับระบบจริงที่ศึกษาหรือไม่ และเพิ่มระดับความน่าเชื่อถือให้ผู้ใช้ยอมรับตัวแบบจำลอง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการยืนยันความถูกต้องโดยใช้เครื่องมือทางสถิติมาใช้ในการทดสอบผลลัพธ์จากตัวแบบที่พัฒนาขึ้น โดยตัวแปรนำออกที่สนใจ คือ อรรถประโยชน์การใช้งานรถขนส่งมวลชน ทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ เนื่องจากสามารถคำนวณอรรถประโยชน์ได้ในทั้งระบบจริงและจากแบบจำลอง โดยอรรถประโยชน์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.6) ในการรันตัวแบบจำลองจะรันในช่วงเวลาเร่งด่วนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และช่วงเวลาปกติเป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยมีช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period) เบื้องต้นที่ 24 ชั่วโมง ซึ่งคาดว่าเป็นช่วงเวลาที่ระบบน่าจะเข้าสู่สภาวะเสถียร จำนวนรอบการทำซ้ำเบื้องต้น 5 รอบ จากนั้นรันตัวแบบและสังเกตผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยสามารถเปรียบเทียบอรรถประโยชน์การใช้งานรถขนส่งมวลชนที่ได้จากแบบจำลองและระบบจริงได้ดังแสดงดังตารางที่ 4.16

$$\text{อรรถประโยชน์รถ (\%)} = \frac{\text{เวลาทั้งหมดที่รถถูกใช้งาน}}{\text{เวลาทั้งหมดที่รถอยู่ในระบบ}} \times 100 \qquad (4.6)$$

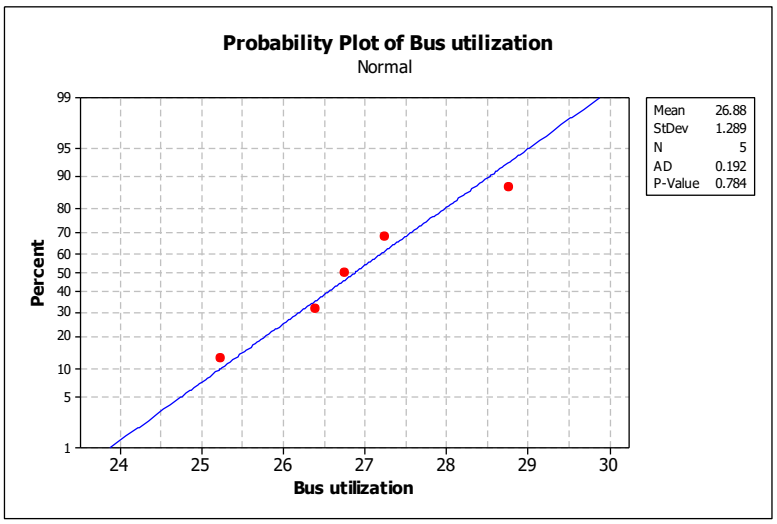
ตารางที่ 4.16 อรรถประโยชน์การใช้งานรถที่ได้จากการสังเกตการณ์และที่ได้จากการจำลองตัวแบบ

รอบที่	**อรรถประโยชน์การใช้งานรถ (%)**			
	ช่วงเร่งด่วน		**ช่วงปกติ**	
	ระบบจริง	**แบบจำลอง**	**ระบบจริง**	**แบบจำลอง**
1	26.98	28.76	12.59	12.83
2	28.78	27.25	12.93	13.27
3	27.32	26.39	13.89	13.53
4	26.77	25.23	12.93	13.39
5	26.45	26.75	13.16	14.02
ค่าเฉลี่ย	27.26	26.88	13.10	13.41
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.91	1.29	0.49	0.43

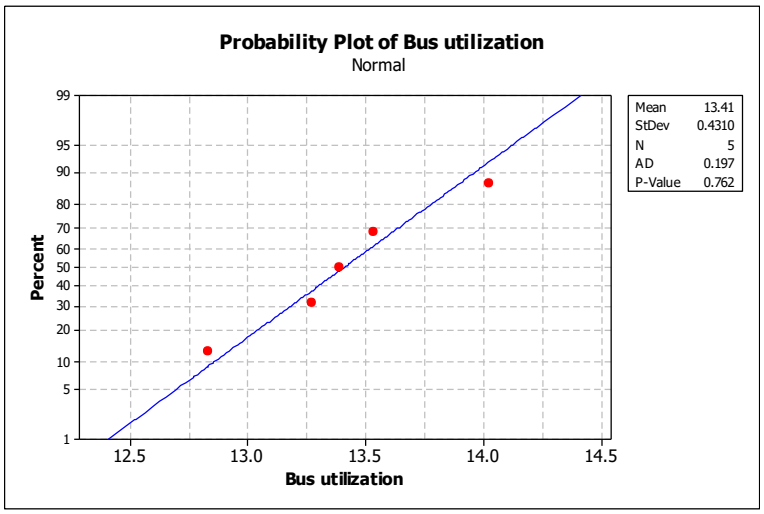
ในการทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบกับระบบจริง จะใช้การทดสอบแบบ *t* (*t*-test) เพื่อทดสอบว่าอรรถประโยชน์รถที่ได้จากการจำลองแบบกับระบบจริงมีความแตกต่างกันหรือไม่ แต่ก่อนที่จะทดสอบความสมเหตุสมผลนั้น จะต้องทำการทวนสอบความเป็นปกติของข้อมูลก่อนที่ได้จากแบบจำลองก่อน โดยใช้เครื่องมือ “Normality Test” จากโปรแกรมมินิแท็ป (Minitab®) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.1 และทำการทดสอบข้อมูลในทั้งช่วงเวลาเร่งด่วน และช่วงเวลาปกติ ซึ่งแสดงได้ดังภาพประกอบ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ โดยมีสมมติฐานในการทดสอบดังนี้

H_0: ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1: ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองไม่มีการแจกแจงแบบปกติ



ภาพประกอบ 4.13 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบในช่วงเวลาเร่งด่วน จากโปรแกรม Minitab®



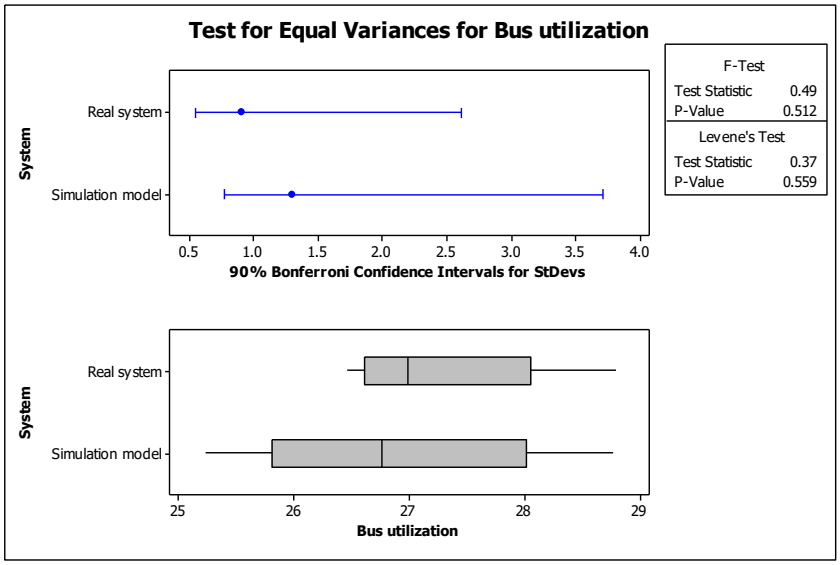
ภาพประกอบ 4.14 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบในช่วงเวลาปกติ จากโปรแกรม Minitab®

จากการทดสอบความเป็นปกติของอรรถประโยชน์การใช้งานรถขนส่งมวลชนทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ ดังภาพประกอบ 4.13 และภาพประกอบ 4.14 กราฟมีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.784 และ 0.762 สำหรับช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ได้ ดังนั้นอรรถประโยชน์การใช้งานรถที่ได้จากตัวแบบจำลองมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาทดสอบความสมเหตุสมผลด้วยการทดสอบแบบ t ได้ แต่เนื่องจากไม่

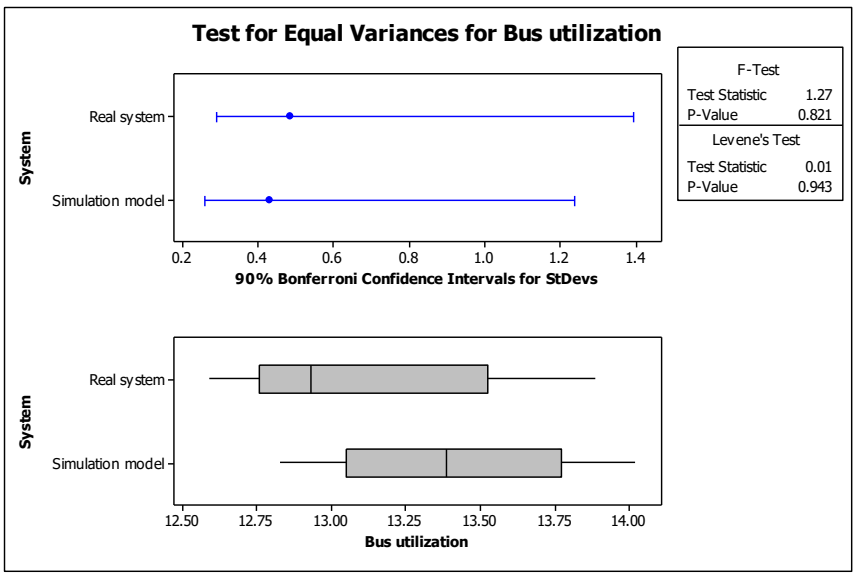
ทราบค่าความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากระบบจริงกับข้อมูลจากแบบจำลองนั้นมีความแตกต่างกันหรือไม่ จึงต้องทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน ทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ ดังภาพประกอบ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ความแปรปรวนของอรรถประโยชน์รถในระบบทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความแปรปรวนของอรรถประโยชน์รถในระบบทั้งสองชุดแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลช่วงเวลาเร่งด่วน



ภาพประกอบ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลช่วงเวลาปกติ

จากภาพประกอบ 4.15 พบว่าไม่มีข้อมูลที่มีความผิดปกติ (Outlier) มีค่ามัธยฐานตรงกลางภายในแผ่นภูมิกล่อง จึงอนุมานได้ว่าข้อมูลทั้งสองมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) และเมื่อพิจารณาการทดสอบแบบ F พบว่าค่า P-value มีค่า 0.512 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.1 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของอรรถประโยชน์การใช้งานรถในช่วงเวลาเร่งด่วนที่ได้จากระบบจริงและจากตัวแบบจำลองทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน ส่วนในช่วงเวลาปกติ ดังภาพประกอบ 4.16 สามารถอนุมานได้ว่าข้อมูลทั้งสองมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่มีความผิดปกติ (Outlier) มีค่ามัธยฐานตรงกลางภายในแผ่นภูมิกล่อง และเมื่อพิจารณาการทดสอบแบบ F พบว่าค่า P-value มีค่า 0.821 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.1 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของอรรถประโยชน์การใช้งานรถในช่วงเวลาเร่งด่วนที่ได้จากระบบจริงและจากตัวแบบจำลองทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน

เมื่อทราบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองชุด ทั้ง 2 ช่วงเวลาไม่แตกต่างกัน จากนั้นสามารถทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบ โดยการทดสอบว่า ค่าเฉลี่ยอรรถประโยชน์การใช้งานรถที่ได้จากตัวแบบจำลองและจากระบบจริงมีความแตกต่างกันหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 โดยใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากร (Two-sample t-Test) โดยแยกพิจารณาในแต่ละช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเร่งด่วนและช่วงปกติ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ตัวแบบมีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

H_1 : ตัวแบบไม่มีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

Two-Sample T-Test and CI: Bus utilization, System (rush hour)

```
Two-sample T for Bus utilization

System            N    Mean  StDev  SE Mean
Real system       5  27.260  0.907     0.41
Simulation model  5   26.88   1.29     0.58


Difference = mu (Real system) - mu (Simulation model)
Estimate for difference:  0.384
90% CI for difference:  (-0.927, 1.695)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.54
P-Value = 0.601  DF = 8
Both use Pooled StDev = 1.1146
```

ภาพประกอบ 4.17 การทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบในช่วงเวลาเร่งด่วน

Two-Sample T-Test and CI: Bus utilization, System (normal hour)

```
Two-sample T for Bus utilization

System            N    Mean  StDev  SE Mean
Real system       5  13.100  0.486     0.22
Simulation model  5  13.408  0.431     0.19


Difference = mu (Real system) - mu (Simulation model)
Estimate for difference:  -0.308
90% CI for difference:  (-0.848, 0.232)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.06
P-Value = 0.320  DF = 8
Both use Pooled StDev = 0.4594
```

ภาพประกอบ 4.18 การทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบในช่วงเวลาปกติ

จากการทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบในช่วงเวลาเร่งด่วน และช่วงเวลาปกติ ด้วยการทดสอบแบบ *t* ดังภาพประกอบ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ พบว่าค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.601 และ 0.320 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.1 ดังนั้นจึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ได้ ในทุกช่วงเวลา ดังนั้นจึงถือว่าตัวแบบมีความสมเหตุสมผลและสามารถนำไปใช้ในการประเมินทางเลือกของระบบ เพื่อการปรับปรุงขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ต่อไปได้

4.6 การวิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานของตัวแบบจำลองระบบขนส่งมวลชน พบว่าตัวแบบมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งมีอรรถประโยชน์โดยเฉลี่ยที่ได้จากการจำลอง และค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 จากค่าอรรถประโยชน์รถจากการจำลองแบบที่คำนวณได้นั้นพบว่ามีค่าน้อยมาก ดังนั้นระบบจึงควรได้รับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มอรรถการใช้ประโยชน์ของรถบริการ โดยแนวทางการปรับปรุงปัจจัยด้านจำนวนรถ จะเป็นการออกแบบสถานการณ์โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของรถที่ใช้ในแต่ละสายที่ระดับที่ต่างกัน นอกจากนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะพิจารณาปัจจัยด้านเส้นทางการเดินรถโดยการสร้างชุดเส้นทางเดินรถใหม่ เพื่อหาเส้นทางเดินรถที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และประเด็นสุดท้ายเป็นการปรับเปลี่ยนปัจจัยด้านตารางเวลาการเดินรถ

นอกจากนี้ปัจจัยที่สนใจคือเวลารอคอยของผู้โดยสารที่เกิดขึ้นจากตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบันนั้น แสดงได้ดังตารางที่ 4.17 พบว่าเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้โดยสารในระบบมีค่า 3.98 นาทีในช่วงเวลาเร่งด่วน และ 18.50 นาทีในช่วงเวลาปกติ ซึ่งเมื่อปรับปรุงการให้บริการแล้วจะต้องสามารถลดเวลาการรอคอยของผู้โดยสารลงได้

ตารางที่ 4.17 เวลารอคอยของผู้โดยสารที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ในปัจจุบัน

ช่วงเวลา	เวลารอคอยของผู้โดยสาร (นาที)					
	รอบที่ 1	**รอบที่ 1**	**รอบที่ 1**	**รอบที่ 1**	**รอบที่ 1**	**เฉลี่ย**
ช่วงเวลาเร่งด่วน	3.72	4.37	4.24	4.12	3.45	3.98
ช่วงเวลาปกติ	15.52	19.62	17.59	20.12	19.67	18.50

4.7 การทำซ้ำ

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการรันในตารางที่ 4.17 มาคำนวณหาจำนวนรอบการทำซ้ำ (N_m) ที่เหมาะสม [16] ที่จะใช้สำหรับเก็บข้อมูลในการทดลองและเปรียบเทียบตัวแบบ ซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆเพื่อสังเกตผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น โดยสามารถหารอบการทำซ้ำได้จากสมการที่ (4.7) และพิจารณาข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาๆละ 5 ข้อมูลที่ค่าความคลาดเคลื่อน 10% (ε = 0.10) ทั้ง 2 ช่วงเวลาซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนของระบบที่หน่วยงานยานยนต์ยอมรับได้ จากผลการคำนวณจำนวนการทำซ้ำในแต่ละช่วงเวลาดังแสดงดังตารางที่ 4.18 พบว่าจำนวนรอบการทำซ้ำมีค่า 5 ครั้ง ในช่วงเวลาเร่งด่วน และในช่วงเวลาปกติ

$$N_m = \left(\frac{S(m) \times t_{m-1,1-\frac{\alpha}{2}}}{\bar{x}(m)\varepsilon} \right)^2 \quad (4.7)$$

โดยที่

$S(m)$ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูล

$t_{m-1,1-\frac{\alpha}{2}}$ คือ ค่าการแจกแจงแบบ *t*

$(t_{5-1,1-\frac{0.10}{2}})$ = 2.132

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

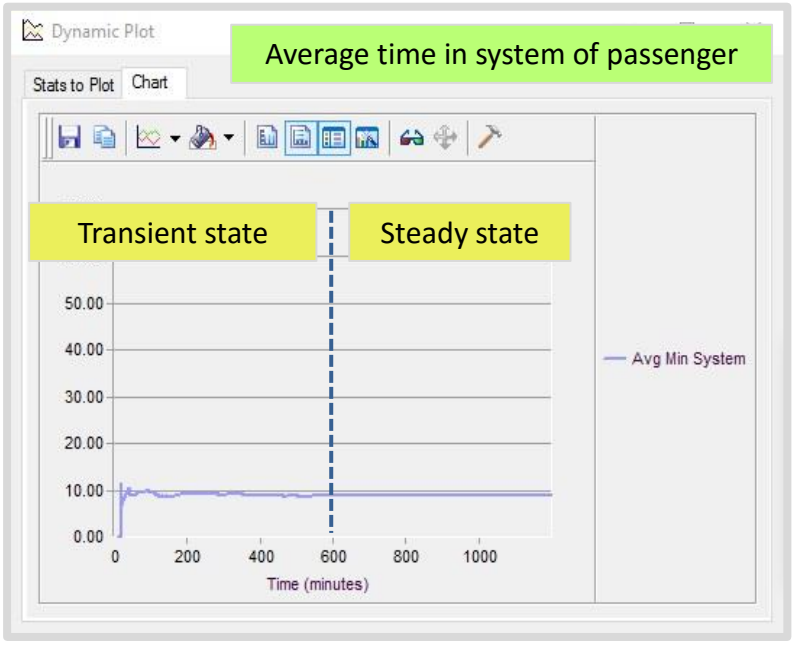
และ ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 4.18 ผลการคำนวณจำนวนรอบทำซ้ำ

ช่วงเวลา	เวลารอยคอย (คน)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนรอบทำซ้ำ (ครั้ง)
ช่วงเร่งด่วน	3.98	0.38	4.22
ช่วงปกติที่	18.50	1.93	4.96

4.8 การหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period) และช่วงเวลาในการเก็บค่าผลลัพธ์ (Run length)

ในการสร้างสถานการณ์ทางเลือกนั้นเมื่อทราบจำนวนรอบการทำซ้ำที่เหมาะสมแล้ว จะต้องหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up period) เพื่อต้องการให้การรันระบบพ้นช่วงเวลาที่ระบบไม่เสถียร (Transient State) ไปสู่ช่วงเวลาที่ระบบมีความเสถียร (Steady State) โดยการหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูลนี้สามารถหาได้จากการสังเกตกราฟ “Dynamic Plot” ที่เกิดขึ้นระหว่างการรันตัวแบบ (ดังภาพประกอบ 4.19) ซึ่งเป็นกราฟของเวลาที่ผู้โดยสารใช้ในระบบ โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าระบบจะเริ่มคงที่ที่ 200 นาที แต่กราฟยังคงมีความผกผันอยู่เล็กน้อย และมีความเสถียรสูงเมื่อเข้าสู่นาทีที่ 600 จากการตรวจสอบกราฟ “Dynamic plot” ของตัวแปรอื่นๆ เช่น เวลาการใช้รถหรือเวลาการรอคอยของผู้โดยสาร มีการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลาน้อยกว่า 600 นาที ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูลที่ 600 นาที หรือ 10 ชั่วโมงในทุกๆสถานการณ์ ซึ่งครอบคลุมช่วงเวลาการเข้าสู่สภาวะเสถียรทั้งหมด จากนั้นทำการรันตัวแบบทั้ง 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเร่งด่วน จำลองด้วยช่วงระยะเวลาเวลา 2 ชั่วโมงต่อวัน และช่วงปกติ จำลองด้วยช่วงระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน รวมทั้งสิ้น 10 ชั่วโมงต่อวัน



ภาพประกอบ 4.19 กราฟ “Dynamic Plot” ของการจำลองแบบในการเข้าสู่สภาวะเสถียร

4.9 การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการให้บริการ

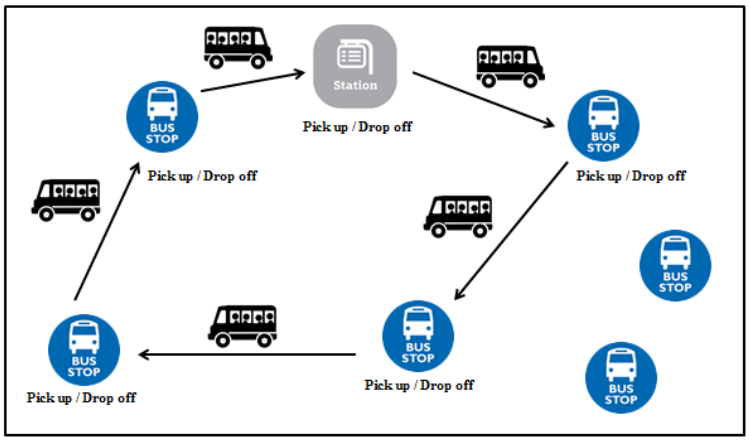
ในการปรับปรุงการให้บริการ จะใช้ผลจากการวิเคราะห์การให้บริการในปัจจุบันเพื่อออกแบบแนวทางการปรับปรุง โดยพิจารณาปัจจัยจำนวน 3 ปัจจัย คือ เส้นทางการเดินรถ ตารางการเดินรถ และจำนวนรถที่ให้บริการแต่ละสาย โดยแนวทางการปรับปรุงในแต่ละปัจจัยสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.9.1 การสร้างเส้นทางเดินรถ

วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) เป็นเทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการสร้างเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสมซึ่งเสนอโดย Clarke and Wright นักวิจัยในประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1964 [27] ซึ่งการใช้อัลกอริทึมแบบประหยัดถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และสามารถประยุกต์ใช้หาเส้นทางการเดินทางได้หลากหลาย นอกจากนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์กับวิธีการหาคำตอบอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้น เช่น การใช้อัลกอริทึมแบบประหยัดร่วมกับโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) หรือการใช้อัลกอริทึมร่วมกับวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) หรือการสร้างข้อจำกัดในการเดินทาง เป็นต้น

การให้บริการด้านการขนส่งนั้น ประกอบด้วยการรับและส่งผู้โดยสารภายในเที่ยวเดียวกัน (Pick-up and Drop-off) ที่บริเวณจุดจอดรถ (Bus Stop) โดยที่จุดเริ่มต้น และ

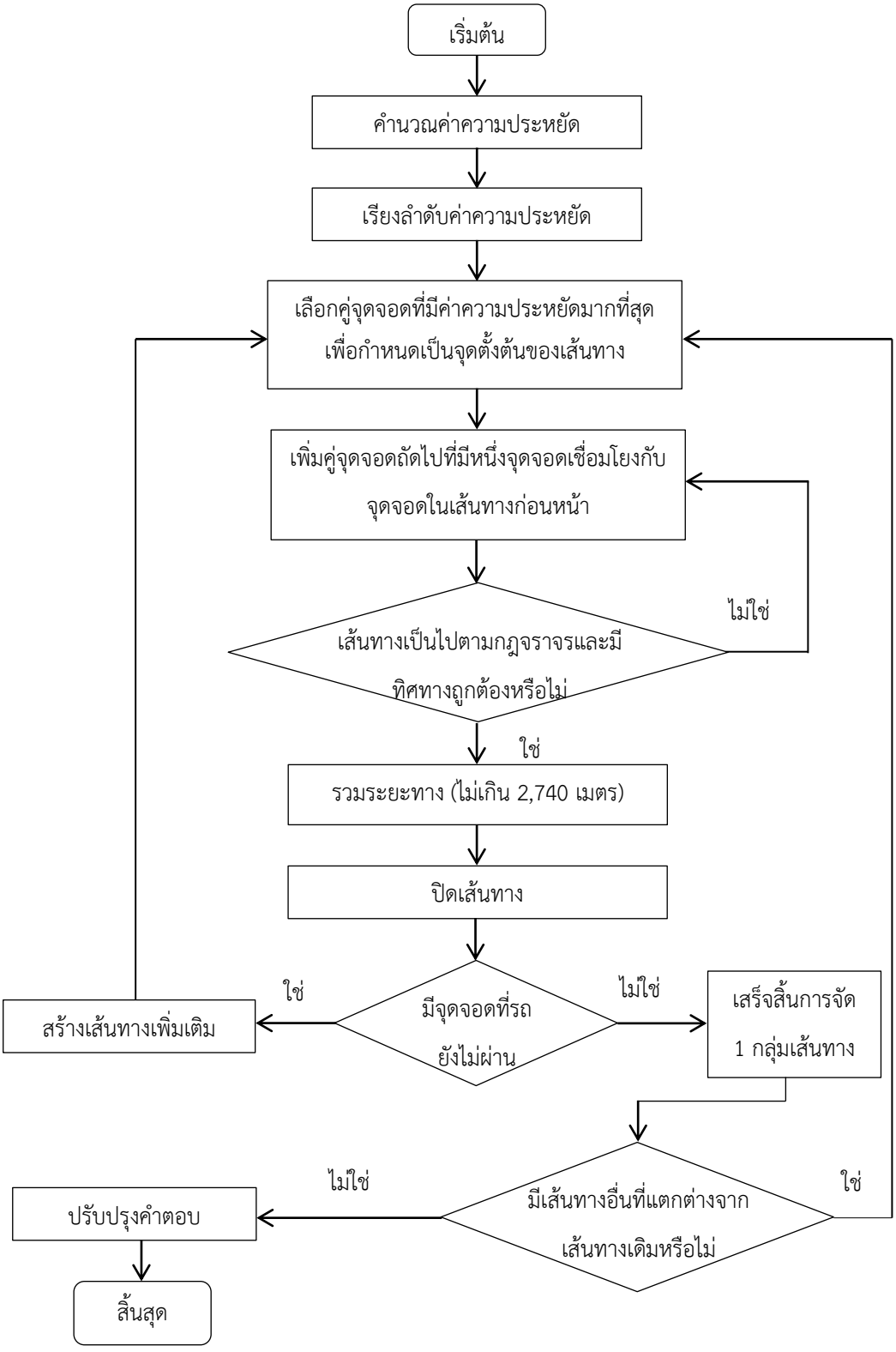
จุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกัน คือ บริเวณสถานี (Station) ซึ่งลักษณะการให้บริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยแสดงได้ดังภาพประกอบ 4.20 สำหรับการให้บริการส่วนใหญ่นั้น หน่วยงานต้องการที่จะรองรับผู้โดยสารให้ได้จำนวนมากที่สุด การให้บริการจะต้องครอบคลุมทุกพื้นที่ให้บริการมีระยะทางในการเดินทางที่สั้นที่สุด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาที่ผู้โดยสารใช้ในการเดินทาง



ภาพประกอบ 4.20 ลักษณะการให้บริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย

การพัฒนาวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัดเพื่อหาเส้นทางเดินรถในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการหาชุดเส้นทางการเดินรถที่มีระยะทางรวมในการขนส่งน้อยที่สุด และมีข้อจำกัดคือ ระยะทางในแต่ละเส้นทางไม่เกินระยะทางสูงสุดที่รถให้บริการอยู่ในปัจจุบัน (2,740 เมตร) เพื่อให้ได้ชุดเส้นทางที่มีระยะทางใกล้เคียงและไม่มากกว่าระยะทางที่ให้บริการในปัจจุบัน ซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาเดินทางที่ผู้โดยสารส่วนใหญ่ยอมรับได้ โดยไม่คำนึงถึงขีดความสามารถในการบรรทุกของรถ เนื่องจากโครงการในปัจจุบันมีรถให้บริการเป็นจำนวนมากและเพียงพอต่อการให้บริการในแต่ละสาย ดังนั้นจึงตั้งข้อสมมติฐานว่า ในการเดินทางแต่ละเส้นทางนั้น มีรถให้บริการอย่างสม่ำเสมอ และเพียงพอต่อความต้องการในทุกๆช่วงเวลา นอกจากนั้นการจัดเรียงเส้นทางจะเป็นไปตามกฎจราจร และเดินทางไปตามลำดับเส้นทาง โดยไม่มีการย้อนกลับไป-มา ระหว่างจุดที่อยู่ใกล้กัน

สำหรับวิธีการดำเนินงานในการพัฒนาวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดเพื่อสร้างเส้นทางเดินรถ แสดงได้ดังแผนผังการไหลดังภาพประกอบ 4.21



ภาพประกอบ 4.21 กระบวนการพัฒนาวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัด

การใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดเพื่อสร้างเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสม มีรายละเอียดขั้นตอนการสร้างดังนี้

1) ทำการคำนวณค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด 2 จุด คือจุดจอด i และจุดจอด j ดังสมการที่ (4.8) โดยก่อนที่จะคำนวณนั้นจะต้องระบุตำแหน่งของจุดจอดรถดังตารางที่ 4.19 จากนั้นหาระยะทางระหว่างแต่ละจุดจอดซึ่งแสดงดังตารางที่ จ.1 ภาคผนวก จ เพื่อใช้ระยะทางดังกล่าวในการคำนวณค่าความประหยัดของระยะทาง ดังนั้นจะได้ค่าความประหยัดแสดงได้ดังตารางที่ จ.2 และแสดงได้ดังเมตริกซ์ ตารางที่ จ.3

$$S_{i,j} = D_{i,0} + D_{0,j} - D_{i,j} \tag{4.8}$$

โดยที่

$S_{i,j}$ = ค่าความประหยัดของระยะทางในการเดินทาง ระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j

$D_{i,0}$ = ระยะทาง ในการเดินทางระหว่างจุดจอด i และสถานีต้นทาง 0

$D_{0,j}$ = ระยะทาง ในการเดินทางระหว่างสถานีต้นทาง 0 และจุดจอด j

$D_{i,j}$ = ระยะทาง ในการเดินทางงระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j

ตารางที่ 4.19 จุดจอดรถและตำแหน่งจุดจอดรถ

จุดจอด	ตำแหน่งจุดจอดรถ	จุดจอด	ตำแหน่งจุดจอดรถ
0	สถานี (จุดเริ่มต้น/สิ้นสุด)	10	คณะวิทยาศาสตร์ ศูนย์ปาฐกถาประดิษฐ์ เชยจิตร (ตึกฟักทอง)
1	คณะศิลปศาสตร์	11	คณะทันตแพทยศาสตร์
2	ลานพระบิดา	12	หอพักนักศึกษาพยาบาล
3	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	13	คณะเภสัชศาสตร์
4	คณะพยาบาลศาสตร์	14	ตลาดเกษตร
5	อาคารศูนย์ทรัพยากรการเรียนรู้ (LRC)	15	คณะอุตสาหกรรมเกษตร
6	อาคารเรียนและปฏิบัติการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (BSc)	16	คณะทรัพยากรธรรมชาติ
7	คณะวิศวกรรมศาสตร์		
8	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์		
9	หอประวัติ ม.สงขลานครินทร์		

ตัวอย่าง การคำนวณค่าความประหยัด ระหว่างจุดจอดที่ 1 และจุดจอดที่ 2 ($S_{1,2}$)

$D_{1,0}$ = ระยะทางจากจุดจอดที่ 1 ถึงจุดจอดที่ 0 = 400 เมตร

$D_{0,2}$ = ระยะทางจากจุดจอดที่ 0 ถึงจุดจอดที่ 2 = 590 เมตร

$D_{1,2}$ = ระยะทางจากจุดจอดที่ 1 ถึงจุดจอดที่ 2 = 190 เมตร

ดังนั้น จากสมการที่ 3.8 สามารถคำนวณค่าความประหยัดจากจุดจอดที่ 1 และจุดจอดที่ 2 ได้ดังนี้

$$S_{1,2} = D_{1,0} + D_{0,2} - D_{1,2}$$
$$= 400 + 590 - 190$$
$$= 800 \text{ เมตร}$$

2) เรียงลำดับความประหยัด ($S_{i,j}$) จากมากไปน้อย ได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การจัดลำดับค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$)

จุดที่ i – จุดที่ j	ค่าความประหยัด ($S_{i,j}$)	ระยะทาง ($D_{i,j}$)	จุดที่ i – จุดที่ j	ค่าความประหยัด ($S_{i,j}$)	ระยะทาง ($D_{i,j}$)
14 - 15	2,040	130	11 - 13	1,360	450
12 - 13	1,850	100	5 - 14	1,350	630
14 - 16	1,800	250	3 - 11	1,290	190
15 - 16	1,800	120	4 - 11	1,290	390
13 - 14	1,760	350	4 - 6	1,270	270
12 - 14	1,690	450	6 - 12	1,270	430
4 - 12	1,660	160	6 - 13	1,270	400
4 - 13	1,660	130	12 - 16	1,270	620
4 - 5	1,510	150	3 - 4	1,260	200
5 - 12	1,510	310	3 - 12	1,260	360
5 - 13	1,510	280	3 - 13	1,260	330
4 - 14	1,500	480	13 - 16	1,260	600
13 - 15	1,500	480	2 - 11	1,250	190
11 - 12	1,490	350	4 - 15	1,240	610
6 - 14	1,480	380	5 - 15	1,240	610
12 - 15	1,430	580	5 - 16	1,240	490
5 - 6	1,420	120	11 - 14	1,200	800
6 - 15	1,420	310	5 - 11	1,140	540
6 - 16	1,420	190	3 - 5	1,110	350

ตารางที่ 4.20 การจัดลำดับค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$) (ต่อ)

จุดที่ i – จุดที่ j	ค่าความประหยัด ($S_{i,j}$)	ระยะทาง ($D_{i,j}$)	จุดที่ i – จุดที่ j	ค่าความประหยัด ($S_{i,j}$)	ระยะทาง ($D_{i,j}$)
3 - 14	1,100	680	4 - 10	800	430
4 - 16	1,090	640	10 - 12	800	590
5 - 7	1,060	300	10 - 13	800	560
6 - 7	1,060	180	4 - 8	710	550
7 - 14	1,060	620	8 - 12	710	710
7 - 15	1,060	490	8 - 13	710	680
7 - 16	1,060	370	5 - 10	700	530
2 - 3	1,050	170	3 - 16	690	840
2 - 4	1,050	370	1 - 3	670	360
2 - 12	1,050	530	1 - 4	670	560
2 - 13	1,050	500	1 - 12	670	720
11 - 15	940	930	1 - 13	670	690
4 - 7	910	450	2 - 6	660	640
7 - 13	910	580	2 - 15	660	950
2 - 5	900	520	2 - 16	660	830
6 - 11	900	660	7 - 11	640	740
11 - 16	900	850	10 - 14	640	910
2 - 14	890	850	3 - 7	610	550
7 - 12	880	640	3 - 8	610	450
1 - 11	870	380	6 - 10	610	500
3 - 6	870	470	7 - 10	610	320
8 - 11	870	410	8 - 10	610	220
5 - 8	860	400	10 - 15	610	810
6 - 8	860	280	10 - 16	610	690
7 - 8	860	100	2 - 10	590	400
8 - 14	860	720	1 - 5	520	710
8 - 15	860	590	9 - 11	520	560
8 - 16	860	470	1 - 14	510	1040
3 - 15	840	810	3 - 9	490	370
10 - 11	830	420	4 - 9	490	570
1 - 2	800	190	9 - 12	490	730
3 - 10	800	230	9 - 13	490	700

ตารางที่ 4.20 การจัดลำดับค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$) (ต่อ)

จุดที่ i – จุดที่ j	ค่าความประหยัด ($S_{i,j}$)	ระยะทาง ($D_{i,j}$)	จุดที่ i – จุดที่ j	ค่าความประหยัด ($S_{i,j}$)	ระยะทาง ($D_{i,j}$)
5 - 9	460	600	2 - 8	400	620
6 - 9	460	480	1 - 6	280	830
7 - 9	460	300	1 - 7	280	650
8 - 9	460	200	1 - 8	280	550
9 - 14	460	920	1 - 9	280	350
9 - 15	460	790	1 - 15	280	1140
9 - 16	460	670	1 - 16	280	1020
9 - 10	430	200	2 - 9	280	540
2 - 7	400	720	1 - 10	250	550

3) สร้างเส้นทางการเดินรถ โดยเรียงจาก $S_{i,j}$ ที่มีค่ามาก ไปยังค่าที่น้อยกว่า โดยมีข้อจำกัดคือ ระยะทางในแต่ละเส้นทางต้องมีค่าไม่เกิน 2,740 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางสูงสุดของเส้นทางการเดินรถสายเดิมที่ให้บริการในปัจจุบัน นอกจากนั้นทำการตั้งสมมติฐานว่า การจัดเรียงเส้นทางนั้นจะเป็นไปตามกฎจราจร และเดินทางไปตามลำดับเส้นทาง โดยไม่มีการย้อนกลับไป-มา ระหว่างจุดที่อยู่ใกล้กัน

4) ทำซ้ำจนสามารถจัดเส้นทางยานพาหนะได้ครอบคลุมจุดจอดทั้งหมด

5) หากลุ่มเส้นทางการเดินทางเพิ่มเติม ซึ่งมีลักษณะการเดินทางแตกต่างจากเส้นทางเดิมที่หาได้ก่อนหน้า

6) ปรับปรุงคำตอบ โดยให้เส้นทางที่ได้สอดคล้องกับความต้องการขึ้น-ลงของผู้โดยสาร ในแต่ละจุดจอดรถ

4.9.1.1 กลุ่มเส้นทางที่ 1

จากขั้นตอนการหาเส้นทางด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด สามารถสร้างกลุ่มเส้นทางเดินรถที่ 1 ได้ ภายใต้ข้อสมมติฐานดังนี้

1) ระยะทางรวมในแต่ละเส้นทาง ไม่เกิน 2,740 เมตร

2) มีรถให้บริการอย่างสม่ำเสมอ และเพียงพอต่อความต้องการในทุกๆ ช่วงเวลา (ไม่คำนึงถึงขีดความสามารถในการบรรทุกของรถ)

3) การจัดเรียงเส้นทางจะเป็นไปตามกฎจราจร และเดินทางไปตามลำดับเส้นทาง โดยไม่มีการย้อนกลับไป-มา ระหว่างจุดที่อยู่ใกล้กัน

4) สร้างเส้นทางโดยในแต่ละกลุ่มเส้นทางจะต้องผ่านครบทั้ง 16 จุดจอด

จากนั้นเลือกคู่จุดจอดรถที่มีค่าระยะทางที่ประหยัด ระหว่างจุดจอด i กับจุดจอด j ($S_{i,j}$) ที่มีค่ามากที่สุดเป็นจุดตั้งต้น ซึ่งได้แก่ จุดจอดรถ 14-15 (ตลาดเกษตร-คณะอุตสาหกรรมเกษตร) จากนั้นเลือกคู่ที่มีค่าประหยัดถัดไป ซึ่งมีจุดใดจุดหนึ่งเชื่อมต่อจุดจอดรถคู่แรก ได้แก่ 16-14 จะได้เส้นทาง 16-14-15 (คณะทรัพยากรธรรมชาติ-ตลาดเกษตร-คณะอุตสาหกรรมเกษตร) แต่เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า เส้นทางดังกล่าวไม่เป็นไปตามกฎการจราจรและเส้นทางการเดินทางที่ถูกต้อง เนื่องจากเส้นทางดังกล่าวมีการวกกลับ ดังนั้นจะไม่พิจารณาคู่จุดจอดนี้ แต่เลือกพิจารณาจุดจอดถัดไปแทน ซึ่งพบว่าคู่จุดจอด 15-16 เป็นคู่ลำดับจุดจอดที่มีค่าความประหยัดรองลงมา และสามารถเชื่อมโยงเส้นทางได้ ดังนั้นจะได้เส้นทางคือ 14-15-16 (ตลาดเกษตร-คณะอุตสาหกรรมเกษตร-คณะทรัพยากรธรรมชาติ) ซึ่งมีเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ถูกต้อง

จากนั้นหาคู่จุดจอดลำดับถัดไปเรื่อยๆตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนดไว้ สำหรับเส้นทาง 1 เส้นทางนั้นมีข้อจำกัดคือ ระยะทางรวมในแต่ละเส้นทางต้องไม่เกิน 2,740 เมตร โดยให้เส้นทางนั้นมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเดียวกันคือบริเวณสถานี เมื่อสร้างเส้นทางที่ 1 แล้ว จากนั้นพิจารณาจุดจอดรถอื่นๆที่เส้นทางที่ 1 ยังไม่ผ่าน แล้วจึงสร้างเส้นทางที่ 2 โดยเลือกจากคู่จุดจอดที่ยังไม่ผ่านที่มีค่าความประหยัดรองลงมาซึ่งยังไม่ถูกเลือกเป็นจุดเริ่มต้น จากนั้นเลือกจุดเชื่อมต่อเช่นเดียวกับสายที่ 1 จนครบรอบการเดินทาง แต่พบว่ายังมีบางจุดจอดที่รถยังไม่ผ่านในเส้นทางที่ 1 และ 2 ดังนั้นจึงสร้างเส้นทางที่ 3 โดยใช้วิธีการเดิม จากนั้นคำนวณระยะทางรวมระหว่างจุดจอด ของทั้ง 3 เส้นทาง จากการสร้างเส้นทางทั้ง 3 เส้นทางนี้ ครอบคลุมทุกๆจุดจอด โดยกลุ่มเส้นทางที่ 1 สามารถจัดเรียงเส้นทางได้ดังนี้

1) สายที่ 1: 0-9-16-15-14-13-5-6-9-0 ระยะทางรวม 2,610 เมตร
2) สายที่ 2: 0-9-10-11-12-13-14-6-7-8-9-0 ระยะทางรวม 2,740 เมตร
3) สายที่ 3: 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-0 ระยะทางรวม 1,940 เมตร

การใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดนั้น พิจารณาเพียงระยะทางระหว่างจุด ซึ่งผลที่ได้อาจยังไม่เป็นไปตามลำดับจุดจอดรถและเส้นทางจริงที่รถควรจะเดินทางไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ซึ่งพบว่าการใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดนั้น ยังมีบางจุดจอดรถที่ไม่ได้ถูกเลือกให้อยู่ในบางเส้นทางเดินรถ แต่มีรถวิ่งผ่านจุดจอดนั้นๆ ดังนั้นจะทำการเพิ่มจุดจอดสำหรับจุดจอดที่มีความต้องการขึ้น-ลง และจะลดจุดจอดในบางจุดที่ไม่มีผู้ใช้บริการ ซึ่งจำนวนผู้ใช้บริการนั้นได้มาจากข้อมูลความต้องการในการขึ้น-ลงรถขนส่งมวลชนในแต่ละจุดจอดรถดังตารางที่ 4.11 ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3.3 โดยระยะทางในแต่ละเที่ยวนั้นมีค่าเท่ากับการใช้วิธี

อัลกอริทึมแบบประหยัด ในกลุ่มเส้นทางที่ 1 ซึ่งไม่มีการปรับปรุงคำตอบ ดังนั้นกลุ่มเส้นทางที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบ ประกอบด้วย 3 เส้นทาง ดังนี้

1) สายที่ 1: 0-9-8-7-6-16-15-14-13-4-5-6-7-8-9-0

ปรับปรุง: ลดจุดจอดรถที่ 9 4 7 และ 8 และเพิ่มจุดจอดรถที่ 8 7 และ 6

ดังนั้น จะได้สายที่ 1: 0-8-7-6-16-15-14-13-5-6-9-0

2) สายที่ 2: 0-9-10-3-11-12-13-14-15-16-6-7-8-9-0

ปรับปรุง: ลดจุดจอดรถที่ 9 และเพิ่มจุดจอดรถที่ 3 15 และ 16

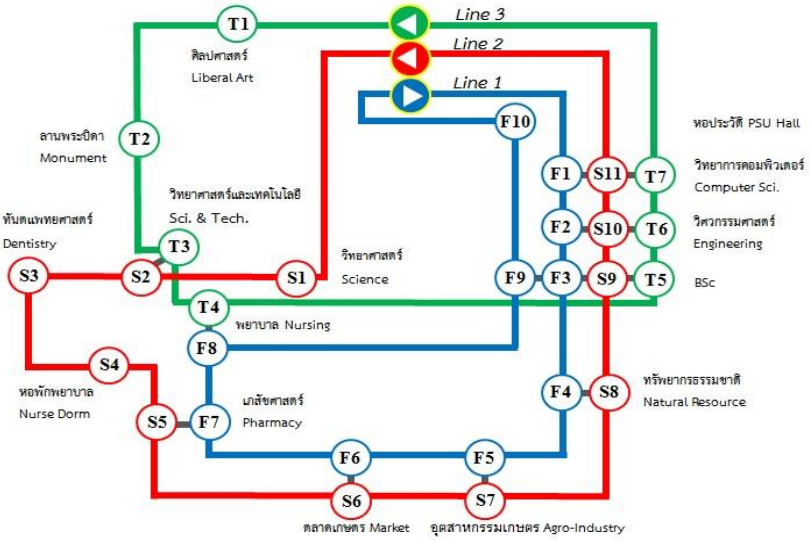
ดังนั้น จะได้สายที่ 2: 0-10-3-11-12-13-14-15-16-6-7-8-0

3) สายที่ 3: 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-0

ปรับปรุง: ลดจุดจอดรถที่ 5 และ 9

ดังนั้น จะได้สายที่ 3: 0-1-2-3-4-6-7-8-0

สามารถสร้างเส้นทางการเดินรถ กลุ่มเส้นทางที่ 1 ได้ดังภาพประกอบ 4.22 ซึ่งเส้นทางสายที่ 1 (Line 1) เริ่มตั้งแต่สถานี เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ “F1-F10” และกลับมายังสถานี มีระยะทาง 2,610 เมตร เส้นทางสายที่ 2 (Line 2) เริ่มตั้งแต่สถานี เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ “S1-S11” และกลับมายังสถานี มีระยะทาง 2,740 เมตร และเส้นทางสายที่ 3 (Line 3) เริ่มตั้งแต่สถานี เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ “T1-T7” และกลับมายังสถานี มีระยะทาง 1,940 เมตร รวมระยะทางทั้งสิ้น 7,290 เมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สำหรับระยะห่างแต่ละจุดจอดของกลุ่มเส้นทางที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.21



ภาพประกอบ 4.22 กลุ่มเส้นทางที่ 1 ที่ได้จากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

ตารางที่ 4.21 ระยะทางของกลุ่มเส้นทางที่ 1

สาย	จุดที่	ตำแหน่ง	จุดที่	ตำแหน่ง	ระยะทาง (เมตร)
1	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	F1 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	430
	F1 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	F2 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	100
	F2 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	F3 (6)	อาคาร BSc	180
	F3 (6)	อาคาร BSc	F4 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	190
	F4 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	F5 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	120
	F5 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	F6 (14)	ตลาดเกษตร	130
	F6 (14)	ตลาดเกษตร	F7 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	350
	F7 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	F8 (4)	คณะพยาบาล	130
	F8 (4)	คณะพยาบาล	F9 (6)	อาคาร BSc	270
	F9 (6)	อาคาร BSc	F12 (9)	หอประวัติ ม.อ.	480
	F10 (9)	หอประวัติ ม.อ.	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	230
	ระยะทางรวม (เมตร)				2,610
2	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	S1 (10)	คณะวิทยาศาสตร์	430
	S1 (10)	คณะวิทยาศาสตร์	S2 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	230
	S2 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	S3 (11)	คณะทันตแพทยศาสตร์	190
	S3 (11)	คณะทันตแพทยศาสตร์	S4 (12)	หอพักนักศึกษาพยาบาล	350
	S4 (12)	หอพักนักศึกษาพยาบาล	S5 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	100
	S5 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	S6 (14)	ตลาดเกษตร	350
	S6 (14)	ตลาดเกษตร	S7 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	130
	S7 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	S8 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	120
	S8 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	S9 (6)	อาคาร BSc	130
	S9 (6)	อาคาร BSc	S10 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	180
	S10 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	S11 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	100
	S11 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	430
	ระยะทางรวม (เมตร)				2,740

ตารางที่ 4.21 ระยะทางของกลุ่มเส้นทางที่ 1 (ต่อ)

สาย	จุดที่	ตำแหน่ง	จุดที่	ตำแหน่ง	ระยะทาง (เมตร)
3	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	T1 (1)	คณะศิลปศาสตร์	400
	T1 (1)	คณะศิลปศาสตร์	T2 (2)	ลานพระบิดา	190
	T2 (2)	ลานพระบิดา	T3 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	170
	T3 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และฯ	T4 (4)	คณะพยาบาล	200
	T4 (4)	คณะพยาบาล	T5 (6)	อาคาร BSc	270
	T5 (6)	อาคาร BSc	T6 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	180
	T6 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	T7 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	100
	T7 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	430
	ระยะทางรวม (เมตร)				1,940

3.9.1.2 กลุ่มเส้นทางที่ 2

สร้างเส้นทางการเดินรถโดยใช้วิธีจัดเรียงคู่จุดจอดตามขั้นตอนเช่นเดียวกับกลุ่มเส้นทางที่ 1 โดยมีข้อสมมติฐานดังนี้

1) เส้นทางที่สร้างขึ้นใหม่จะต้องมีลักษณะการเดินทางแตกต่างจากเส้นทางในกลุ่มเส้นทางที่ 1

2) ระยะทางรวมในแต่ละเส้นทาง ไม่เกิน 2,740 เมตร

3) มีรถให้บริการอย่างสม่ำเสมอ และเพียงพอต่อความต้องการในทุกๆ ช่วงเวลา (ไม่คำนึงถึงขีดความสามารถในการบรรทุกของรถ)

4) การจัดเรียงเส้นทางจะเป็นไปตามกฎจราจร และเดินทางไปตามลำดับเส้นทาง โดยไม่มีการย้อนกลับไป-มา ระหว่างจุดที่อยู่ใกล้กัน

5) สร้างเส้นทางโดยในแต่ละกลุ่มเส้นทางจะต้องผ่านครบทั้ง 16 จุดจอด

จากนั้นเลือกคู่จุดจอดรถที่มีค่าระยะทางที่ประหยัด ระหว่างจุดจอด i กับจุดจอด j ($S_{i,j}$) ที่มีค่ามากที่สุดเป็นจุดตั้งต้น แล้วเลือกคู่ที่มีค่าประหยัดถัดไปซึ่งมีจุดใดจุดหนึ่งเชื่อมต่อจุดจอดรถคู่แรก ต่อจากนั้นหาคู่จุดจอดถัดไปที่มีค่าความประหยัดรองลงมาและเป็นไปตามข้อสมมติฐานข้างต้นในการสร้างกลุ่มเส้นทางที่ 2 นี้ มีข้อจำกัดสำคัญประการหนึ่งคือ เส้นทางที่สร้างขึ้นใหม่จะต้องมีลักษณะการเดินทางแตกต่างจากเส้นทางในกลุ่มเส้นทางที่ 1 ซึ่งกลุ่มเส้นทางที่ได้จะต้องสร้างขึ้นครอบคลุมทุกๆจุด โดยไม่กำหนดจำนวนเส้นทาง ดังนั้นสามารถจัดเรียงเส้นทางที่แตกต่างได้ทั้งหมด 2 เส้นทาง ดังนี้

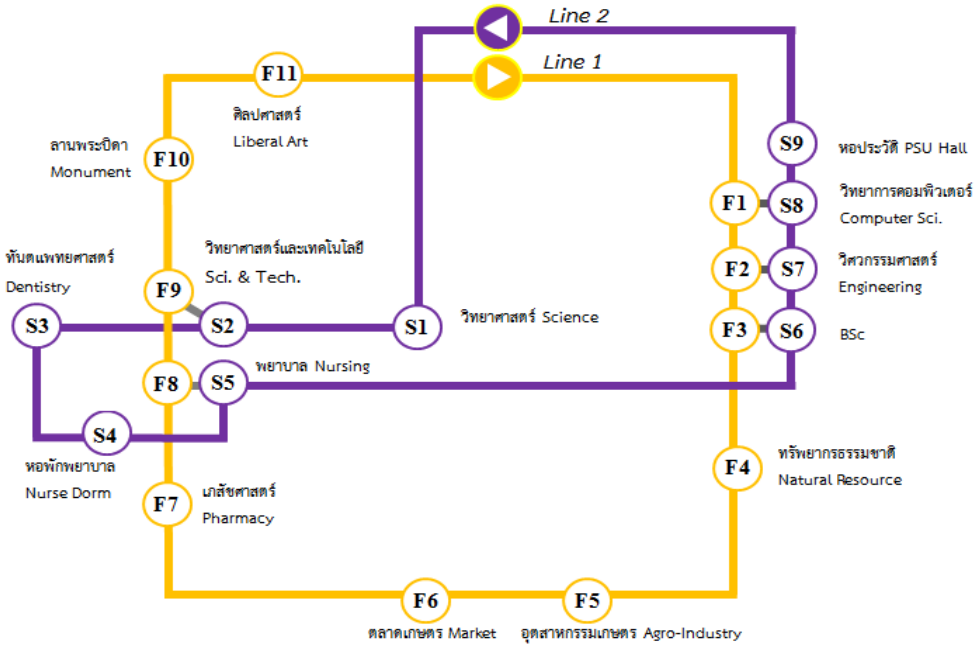
1) เส้นที่ 1: 0-9-7-16-15-14-13-4-3-2-1-0 ระยะทางรวม 2,590 เมตร
2) เส้นที่ 2: 0-10-3-11-12-6-7-8-9-0 ระยะทางรวม 2,310 เมตร

จากนั้นปรับปรุงคำตอบที่ได้เช่นเดียวกับกลุ่มเส้นทางที่ 1 โดยการเพิ่มจุดจอด สำหรับจุดจอดที่มีความต้องการขึ้น-ลง และลดจุดจอดในบางจุดจอดที่ไม่มีผู้ใช้บริการ จะได้กลุ่มเส้นทางที่ 2 ที่มีการปรับปรุงคำตอบ ประกอบด้วย 2 เส้นทาง ดังนี้

1) เส้นที่ 1: 0-9-8-7-6-16-15-14-13-4-3-2-1-0
ปรับปรุง: ลดจุดจอดรถที่ 9 และเพิ่มจุดจอดรถที่ 8 และ 6
ดังนั้น จะได้เส้นทางที่ 1: 0-8-7-6-16-15-14-13-4-3-2-1-0

2) เส้นที่ 2: 0-10-3-11-12-6-7-8-9-0

จากนั้นสร้างเส้นทางการเดินรถ กลุ่มเส้นทางที่ 2 ดังภาพประกอบ 4.23 ซึ่งเส้นทางสายที่ 1 (Line 1) เริ่มตั้งแต่สถานี เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ “F1-F11” และกลับมายังสถานี มีระยะทาง 2,590 เมตร และเส้นทางสายที่ 2 (Line 2) เริ่มตั้งแต่สถานี เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ “S1-S9” และกลับมายังสถานี มีระยะทาง 2,310 เมตร รวมระยะทางทั้งสิ้น 4,900 เมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สำหรับระยะห่างแต่ละจุดจอดของกลุ่มเส้นทางที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.21



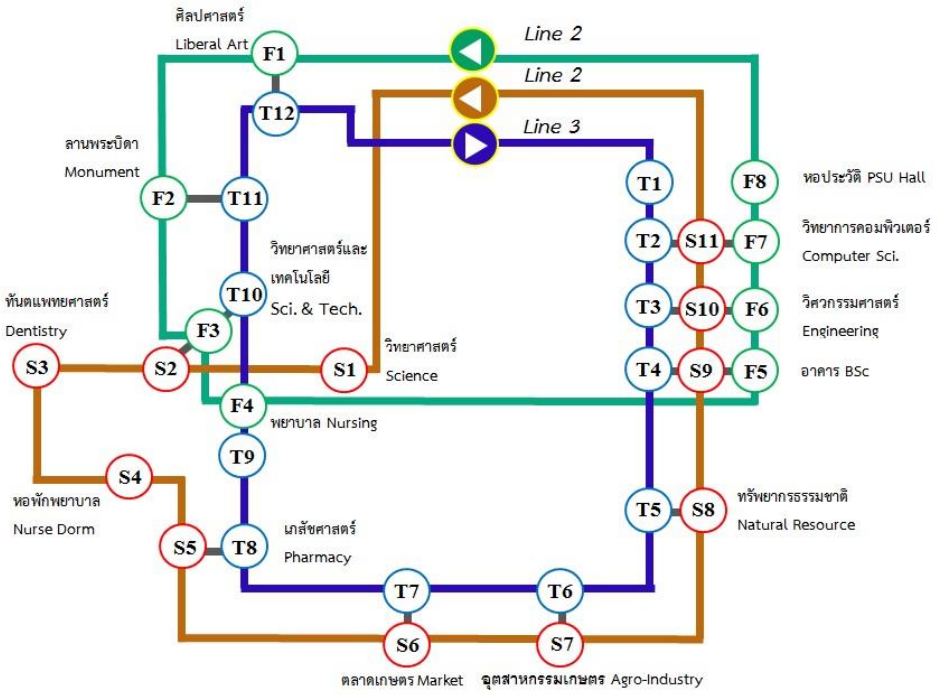
ภาพประกอบ 4.23 กลุ่มเส้นทางที่ 2 ที่ได้จากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

ตารางที่ 4.22 ระยะทางของกลุ่มเส้นทางที่ 2

สาย	จุดที่	ตำแหน่ง	จุดที่	ตำแหน่ง	ระยะทาง (เมตร)
1	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	F1 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	430
	F1 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	F2 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	100
	F2 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	F3 (6)	อาคาร BSc	180
	F3 (6)	อาคาร BSc	F4 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	190
	F4 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	F5 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	120
	F5 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	F6 (14)	ตลาดเกษตร	130
	F6 (14)	ตลาดเกษตร	F7 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	350
	F7 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	F8 (4)	คณะพยาบาล	130
	F8 (4)	คณะพยาบาล	F9 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	200
	F9 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	F10 (2)	ลานพระบิดา	170
	F10 (2)	ลานพระบิดา	F11 (1)	คณะศิลปศาสตร์	190
1	F11 (1)	คณะศิลปศาสตร์	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	400
	ระยะทางรวม (เมตร)				2,590
2	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	S1 (10)	ตึกฟักทอง	400
	S1 (10)	ตึกฟักทอง	S2 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	230
	S2 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	S3 (11)	คณะทันตแพทยศาสตร์	190
	S3 (11)	คณะทันตแพทยศาสตร์	S4 (12)	หอพักนักศึกษาพยาบาล	350
	S4 (12)	หอพักนักศึกษาพยาบาล	S5 (4)	คณะพยาบาล	160
	S5 (4)	คณะพยาบาล	S6 (6)	อาคาร BSc	270
	S6 (6)	อาคาร BSc	S7 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	180
	S7 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	S8 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	100
	S8 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	S9 (9)	หอประวัติ ม.อ.	200
	S9 (9)	หอประวัติ ม.อ.	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	230
	ระยะทางรวม (เมตร)				2,310

สำหรับปัจจัยเส้นทางการเดินรถ นอกจากชุดเส้นทางทั้ง 2 ประเภทที่ได้จากวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมแล้ว ผู้วิจัยสนใจที่จะเปรียบเทียบการให้บริการกับรูปแบบเส้นทางในปัจจุบันด้วย ดังนั้นจึงกำหนดให้เส้นทางการให้บริการในปัจจุบันเป็นเส้นทางประเภทที่ 3 ซึ่งเส้นทางแสดงได้ดัง

ภาพประกอบ 4.24 โดยระยะทางแต่ละจุดจอดรถแสดงดังหัวข้อที่ 4.4.3.4 ตารางที่ 4.13 จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะเส้นทางทั้ง 3 กลุ่มเส้นทางได้ดังตารางที่ 4.23



ภาพประกอบ 4.24 กลุ่มเส้นทางที่ 3 ซึ่งให้บริการในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.23 รายละเอียดเส้นทางการเดินรถทั้ง 3 กลุ่มเส้นทาง

กลุ่มเส้นทาง	เส้นทาง	ตำแหน่งการจอดรถ	ระยะทาง (เมตร)	ระยะทางรวม (เมตร)
กลุ่มที่ 1	1	0-8-7-6-16-15-14-13-5-6-9-0 (สถานี-F1-F2-F3-F4-F5-F6-F7-F8-F9-F10-สถานี)	2,610	7,290
	2	0-10-3-11-12-13-14-15-16-6-7-8-0 (สถานี-S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S9-S10-S11-สถานี)	2,740	
	3	0-1-2-3-4-6-7-8-0 (สถานี-T1-T2-T3-T4-T5-T6-T7-สถานี)	1,940	
กลุ่มที่ 2	1	0-8-7-6-16-15-14-13-4-3-2-1-0 (สถานี-F1-F2-F3-F4-F5-F6-F7-F8-F9-F10-F11-สถานี)	2,590	4,900
	2	0-10-3-11-12-6-7-8-9-0 (สถานี-S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S9-สถานี)	2,310	

ตารางที่ 4.23 รายละเอียดเส้นทางการเดินรถทั้ง 3 กลุ่มเส้นทาง (ต่อ)

กลุ่มเส้นทาง	เส้นทาง	ตำแหน่งการจอดรถ	ระยะทาง (เมตร)	ระยะทางรวม (เมตร)
กลุ่มที่ 3	1	0-1-2-3-4-6-7-8-9-0 (สถานี-F1-F2-F3-F4-F5-F6-F7-F8-สถานี)	1,940	7,270
	2	0-10-3-11-12-13-14-15-16-6-7-8-0 (สถานี-S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8-S9-S10-S11-สถานี)	2,740	
	3	0-9-8-7-6-16-15-14-13-4-3-2-1-0 (สถานี-T1-T2-T3-T4-T5-T6-T7-T8-T9-T10-T11-T12-สถานี)	2,590	

4.9.2 ตารางเดินรถ

แนวทางการปรับปรุงการให้บริการด้านตารางเวลาเดินรถนั้น จะพิจารณาจากข้อมูลช่วงเวลาเฉลี่ยในการออกรถที่ได้จากการสังเกตการณ์ในทุกช่วงเวลา พบว่าช่วงเวลาออกรถในสถานการณ์จริงนั้นมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 7.92-23.41 นาที ใกล้เคียงกับตารางการออกรถที่ถูกกำหนดไว้คือ ออกรถทุกๆ 10 และ 20 นาที ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบช่วงเวลาการออกรถที่เหมาะสมในการให้บริการรถขนส่งมวลชนโดยแยกพิจารณาในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติเป็น 3 กรณีคือ

1) รถออกเดินทางทุกๆ 5 นาที

2) รถออกเดินทางทุกๆ 10 นาที

3) รถออกเดินทางทุกๆ 15 นาที

ซึ่งการกำหนดระดับของปัจจัยด้านตารางการออกรถนั้นไม่ควรเกินเวลาออกรถช้าสุดตามตารางการเดินรถ นั่นคือการออกรถทุกๆ 20 นาที แต่พบว่าผู้โดยสารยังคงมีความพึงพอใจน้อยด้านตารางการออกรถ ดังนั้นจึงไม่พิจารณาการออกรถทุก 20 นาที เนื่องจากอาจทำให้ผู้โดยสารเกิดการรอคอยเป็นเวลานาน การกำหนดระดับของปัจจัยที่แตกต่างกันนี้จะนำไปสู่การออกแบบการทดลองเพื่อหาผลลัพธ์ต่อไป ส่วนในช่วงเวลาที่มีผู้โดยสารเข้ามาเป็นจำนวนมาก เช่น ช่วงระยะเวลาระหว่างก่อนและหลังเข้าคาบเรียน 10 นาทีนั้น หากมีผู้โดยสารเข้ามาเต็มคันรถ (45 คน) ก่อนตารางการออกรถที่กำหนดไว้ตัวแบบที่ถูกพัฒนาจะสั่งให้รถออกจากสถานีได้ในทันที เพื่อรองรับการเข้ามาของนักศึกษาจำนวนมาก

4.9.3 จำนวนรถแต่ละสาย

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมรรถนะในการให้บริการ ดังนั้นมุมมองในการแก้ปัญหาจะเป็นส่วนมุมมองด้านการให้บริการ ซึ่งการปรับปรุงบริการให้ดีขึ้นและตอบสนองผู้ใช้บริการได้นั้น สามารถที่จะวัดได้จากอรรถประโยชน์ในการใช้งานระบบ ซึ่งในการ

เพิ่มการใช้ประโยชน์ของระบบ สามารถเพิ่มได้จากทั้งการเพิ่มจำนวนผู้โดยสาร และการปรับปรุงการให้บริการให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการเพิ่มผู้โดยสารนั้นอาจทำได้ยากและเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ต่างกับการปรับปรุงการให้บริการ เช่น การเพิ่มอรรถประโยชน์ในการใช้รถ ซึ่งในที่นี้อาจปรับปรุงได้โดยการลดจำนวนรถในส่วนที่มีการใช้งานน้อย

ดังนั้นจำนวนรถที่ให้บริการในแต่ละสาย จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาเพื่อสังเกตผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนจำนวนรถในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการคำนวณอรรถประโยชน์การใช้งานรถเฉลี่ยนั้นเพียง 27.26% และ 13.10% ในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ ตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลดปริมาณรถในระบบลงโดยจะพิจารณา 2 กรณี คือ

1) ใช้รถจำนวน 3 คัน
2) ใช้รถจำนวน 4 คัน

4.10 การทดลองการจำลองแบบ

ในการทดลองจะนำแนวทางการปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่นำเสนอในหัวข้อ 4.9 มาออกแบบเพื่อสร้างรูปแบบสถานการณ์ทางเลือก โดยในหัวข้อนี้ประกอบด้วย การสร้างรูปแบบสถานการณ์ทางเลือกและข้อมูลนำเข้าสำหรับสถานการณ์ทางเลือก

4.10.1 การสร้างรูปแบบสถานการ์ทางเลือก

จากแนวทางในการปรับปรุงการให้บริการสามารถสร้างรูปแบบสถานการณ์ทางเลือกที่แตกต่างกัน โดยมีการปรับเปลี่ยนปัจจัย และระดับของปัจจัยดังตารางที่ 4.24 โดยสามารถสร้างสถานการณ์ทางเลือกให้กับระบบได้ทั้งสิ้น 18 สถานการณ์ และทำซ้ำจำนวน 5 รอบที่ช่วงเร่งด่วนและช่วงปกติ จากนั้นรันตัวแบบทุกๆสถานการณ์เพื่อสังเกตผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น และนำไปสู่การวิเคราะห์ผลลัพธ์ ตัวแปร และความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวต่อไป

ตารางที่ 4.24 ปัจจัยที่ใช้ออกแบบแนวทางการปรับปรุง

ปัจจัย	ระดับ		
	1	2	3
เส้นทางการเดินรถ	กลุ่มเส้นทางที่ 1	กลุ่มเส้นทางที่ 2	กลุ่มเส้นทางปัจจุบัน
ตารางการเดินรถ	5 นาที	10 นาที	15 นาที
จำนวนรถต่อเส้นทาง	3 คัน	4 คัน	

4.10.2 ข้อมูลนำเข้าสำหรับสถานการณ์ทางเลือก

สำหรับการสร้างแบบจำลอง จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลนำเข้าที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วในการเดินรถแต่ละสาย ซึ่งจะใช้ข้อมูลความเร็วรถจากทุกเส้นทางที่ให้บริการในปัจจุบันจำแนกตามช่วงเวลา (ตารางที่ 4.15) นำมาหาค่าเฉลี่ยแสดงได้ดังตารางที่ 4.25 และสัดส่วนการลงรถและไปต่อของผู้โดยสารที่ได้มาจากสัดส่วนความต้องการในการขึ้น-ลงรถขนส่งมวลชนในแต่ละจุดจอดรถ (ตารางที่ 4.12) นำมาหาสัดส่วนการลงรถและไปต่อของแต่ละเส้นทางทางเลือก โดยจุดจอดเดียวกันจะนำค่าจำนวนผู้โดยสารขึ้นลงมาเฉลี่ยเท่ากันทั้งในเส้นทางกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ดังตารางที่ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มที่ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มเส้นทางที่ให้บริการในปัจจุบันจึงใช้ข้อมูลเดิมดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.25 ความเร็วรถสำหรับสถานการณ์ทางเลือก

ช่วงเวลา	ความเร็ว (เมตร/นาที)			
	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	เฉลี่ย
ช่วงเวลาเร่งด่วน	240.61	251.41	251.34	247.79
ช่วงเวลาปกติ	221.09	244.66	241.92	235.89

ตารางที่ 4.26 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อในแต่ละจุดจอดรถ เส้นทางประเภทที่ 1

สาย	จุดจอด	ตำแหน่ง	จำนวนผู้โดยสาร (คน)			สัดส่วนผู้โดยสาร	
			ก่อนจอด	ลง	ขึ้น	ลง	ไปต่อ
1	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	0	0	335	0.0000	1.0000
	F1 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	335	11	21	0.0318	0.9682
	F2 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	345	1	11	0.0019	0.9981
	F3 (6)	อาคาร BSc	355	179	360	0.5038	0.4962
	F4 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	536	2	28	0.0037	0.9963
	F5 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	561	1	4	0.0009	0.9991
	F6 (14)	ตลาดเกษตร	565	5	10	0.0089	0.9911
	F7 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	570	8	35	0.0132	0.9868
	F8 (4)	คณะพยาบาล	597	21	39	0.0343	0.9657
	F9 (6)	อาคาร BSc	615	179	360	0.2909	0.7091
	F12 (9)	หอประวัติ ม.อ.	796	0	2	0.0000	1.0000
	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	798	798	0	1.0000	0.0000
2	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	0	0	335	0.0000	1.0000
	S1 (10)	คณะวิทยาศาสตร์	335	8	23	0.0239	0.9761

ตารางที่ 4.26 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อในแต่ละจุดจอดรถ เส้นทางประเภทที่ 1 (ต่อ)

สาย	จุดจอด	ตำแหน่ง	จำนวนผู้โดยสาร (คน)			สัดส่วนผู้โดยสาร	
			ก่อนจอด	ลง	ขึ้น	ลง	ไปต่อ
2	S2 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	350	92	390	0.2629	0.7371
	S3 (11)	คณะทันตแพทยศาสตร์	648	21	60	0.0324	0.9676
	S4 (12)	หอพักนักศึกษาพยาบาล	687	15	17	0.0218	0.9782
	S5 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	689	8	35	0.0109	0.9891
	S6 (14)	ตลาดเกษตร	717	5	10	0.0070	0.9930
	S7 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	722	1	4	0.0007	0.9993
	S8 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	725	2	28	0.0028	0.9972
	S9 (6)	อาคาร BSc	751	179	360	0.2385	0.7615
	S10 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	931	1	11	0.0007	0.9993
	S11 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	941	11	21	0.0113	0.9887
	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	951	951	0	1.0000	0.0000
3	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	0	0	335	0.0000	1.0000
	T1 (1)	คณะศิลปศาสตร์	335	36	165	0.1075	0.8925
	T2 (2)	ลานพระบิดา	464	4	4	0.0086	0.9914
	T3 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และฯ	464	92	390	0.1983	0.8017
	T4 (4)	คณะพยาบาล	762	21	39	0.0269	0.9731
	T5 (6)	อาคาร BSc	780	179	360	0.2295	0.7705
	T6 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	961	1	11	0.0007	0.9993
	T7 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	971	11	21	0.0110	0.9890
	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	981	981	0	1.0000	0.0000

ตารางที่ 4.27 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อในแต่ละจุดจอดรถ เส้นทางประเภทที่ 2

สาย	จุดจอด	ตำแหน่ง	จำนวนผู้โดยสาร (คน)			สัดส่วนผู้โดยสาร	
			ก่อนจอด	ลง	ขึ้น	ลง	ไปต่อ
1	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	0	0	502.5	0.0000	1.0000
	F1 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	502.5	16	31.5	0.0318	0.9682
	F2 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	518	1	16	0.0019	0.9981
	F3 (6)	อาคาร BSc	533	358	719	0.6717	0.3283
	F4 (16)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	894	4	55	0.0045	0.9955
	F5 (15)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	945	1	8	0.0011	0.9989
	F6 (14)	ตลาดเกษตร	952	10	20	0.0105	0.9895

ตารางที่ 4.27 สัดส่วนความต้องการในการลงและไปต่อในแต่ละจุดจอดรถ เส้นทางประเภทที่ 2 (ต่อ)

สาย	จุดจอด	ตำแหน่ง	จำนวนผู้โดยสาร (คน)			สัดส่วนผู้โดยสาร	
			ก่อนจอด	ลง	ขึ้น	ลง	ไปต่อ
1	F7 (13)	คณะเภสัชศาสตร์	962	15	70	0.0156	0.9844
	F8 (4)	คณะพยาบาล	1017	20.5	38.5	0.0202	0.9798
	F9 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	1035	92	390	0.0889	0.9111
	F10 (2)	ลานพระบิดา	1333	4	4	0.0030	0.9970
	F11 (1)	คณะศิลปศาสตร์	1333	36	165	0.0270	0.9730
	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	1462	1462	0	1.0000	0.0000
2	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	0	0	502.5	0.0000	1.0000
	S1 (10)	ตึกฟักทอง	502.5	8	23	0.0159	0.9841
	S2 (3)	อาคารวิทยาศาสตร์และเทคฯ	517.5	92	390	0.1778	0.8222
	S3 (11)	คณะทันตแพทยศาสตร์	815.5	21	60	0.0258	0.9742
	S4 (12)	หอพักนักศึกษาพยาบาล	854.5	15	17	0.0176	0.9824
	S5 (4)	คณะพยาบาล	856.5	20.5	38.5	0.0239	0.9761
	S6 (6)	อาคาร BSc	874.5	358	719	0.4094	0.5906
	S7 (7)	คณะวิศวกรรมศาสตร์	1235.5	1	16	0.0008	0.9992
	S8 (8)	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์	1250.5	16	31.5	0.0128	0.9872
	S9 (9)	หอประวัติ ม.อ.	1266	0	2	0.0000	1.0000
	0	สถานี (หน้าโรงช้าง)	1268	1268	0	1.0000	0.0000

บทที่ 5

การวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์

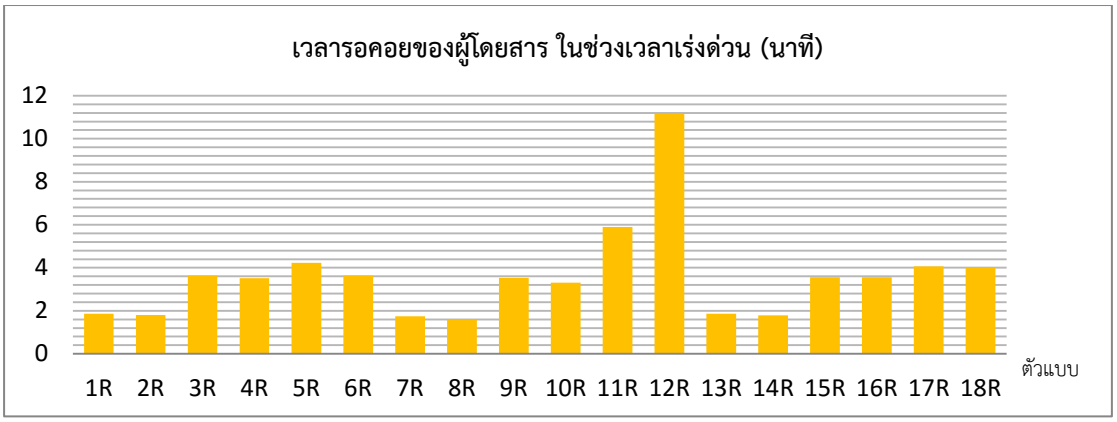
เมื่อรันตัวแบบในทุกๆสถานการณ์ทางเลือกแล้ว จากนั้นเก็บรวมรวบผลลัพธ์เวลาการรอคอยของผู้โดยสารในสถานการณ์ที่มีการปรับเปลี่ยนปัจจัยในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยของเวลารอคอยของผู้โดยสารที่ได้จากสถานการณ์ทางเลือกทั้ง 18 รูปแบบ ที่จำนวนการทำซ้ำ 5 ครั้ง ทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ แสดงได้ดังตารางที่ 5.1 โดยตัวแบบ R คือตัวแบบที่จำลองในช่วงเวลาเร่งด่วน และตัวแบบ N คือตัวแบบที่จำลองในช่วงเวลาปกติ และกราฟเวลาการรอคอยของผู้โดยสารในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ แสดงได้ดังภาพประกอบ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์เวลารอคอยของผู้โดยสารจากสถานการณ์ทางเลือกทั้งหมด

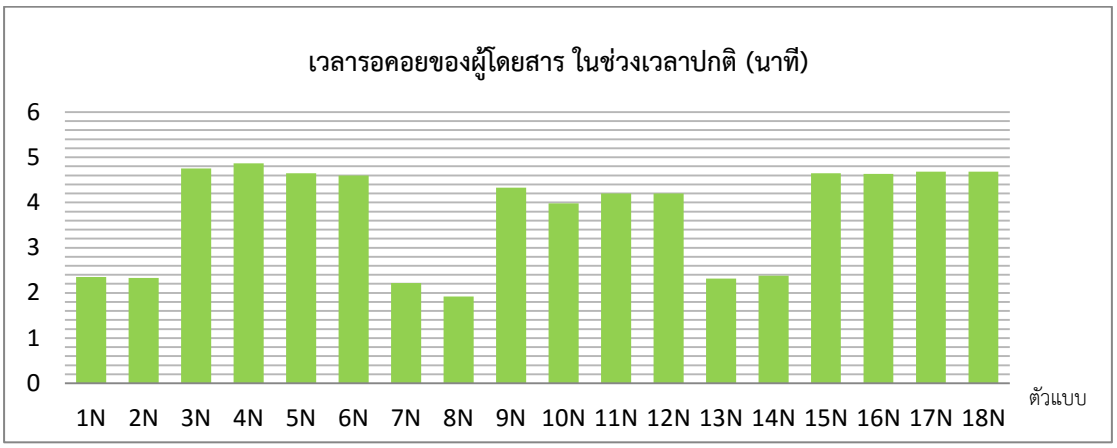
กลุ่มเส้นทาง	ตารางเดินรถ (นาที)	จำนวนรถ (คัน)	ตัวแบบ	เวลารอคอยของผู้โดยสาร (คน)						
				1	2	3	4	5	เฉลี่ย	SD
1 (3 สาย)	5	3	1R	1.83	1.96	1.38	1.86	2.01	1.81	0.25
		4	2R	1.80	1.66	2.05	1.94	1.49	1.79	0.22
	10	3	3R	3.56	3.81	3.62	4.57	3.00	3.71	0.57
		4	4R	3.30	3.26	2.85	3.08	4.26	3.35	0.54
	15	3	5R	4.14	3.67	3.62	4.38	4.43	4.05	0.38
		4	6R	3.32	3.36	3.76	3.36	4.44	3.65	0.48
2 (3 สาย)	5	3	7R	1.60	2.01	1.99	1.76	1.87	1.85	0.17
		4	8R	1.59	1.74	1.31	1.44	1.51	1.52	0.16
	10	3	9R	2.81	3.57	2.84	3.82	3.28	3.26	0.45
		4	10R	3.08	3.35	3.34	3.55	3.04	3.27	0.21
	15	3	11R	4.76	4.36	3.67	3.02	4.08	3.98	0.67
		4	12R	7.94	6.56	15.03	14.08	6.97	10.12	4.10
3 (2 สาย)	5	3	13R	1.86	2.01	1.83	1.57	2.17	1.89	0.22
		4	14R	1.82	1.86	1.91	1.67	1.75	1.80	0.09

ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์เวลารอคอยของผู้โดยสารจากสถานการณ์ทางเลือกทั้งหมด (ต่อ)

กลุ่มเส้นทาง	ตารางเดินรถ (นาที)	จำนวนรถ (คัน)	ตัวแบบ	เวลารอคอยของผู้โดยสาร (คน)						
				1	2	3	4	5	เฉลี่ย	SD
	10	3	9R	2.81	3.57	2.84	3.82	3.28	3.26	0.45
		4	10R	3.08	3.35	3.34	3.55	3.04	3.27	0.21
	15	3	11R	4.76	4.36	3.67	3.02	4.08	3.98	0.67
		4	12R	7.94	6.56	15.03	14.08	6.97	10.12	4.10
3 (2 สาย)	5	3	13R	1.86	2.01	1.83	1.57	2.17	1.89	0.22
		4	14R	1.82	1.86	1.91	1.67	1.75	1.80	0.09
	10	3	15R	3.13	3.59	3.83	4.32	3.20	3.61	0.49
		4	16R	3.69	3.39	4.02	3.59	3.75	3.69	0.23
	15	3	17R	4.39	4.28	5.56	3.67	3.92	4.36	0.73
		4	18R	4.11	3.79	3.28	4.11	4.70	4.00	0.52
1 (3 สาย)	5	3	1N	2.40	2.46	2.19	2.35	2.39	2.36	0.10
		4	2N	2.28	2.25	2.46	2.38	2.42	2.36	0.09
	10	3	3N	4.96	4.59	4.71	4.80	4.53	4.72	0.17
		4	4N	4.96	4.87	4.78	4.71	4.87	4.84	0.10
	15	3	5N	4.78	4.41	4.75	4.80	4.60	4.67	0.16
		4	6N	4.55	4.41	4.84	4.93	4.84	4.71	0.22
2 (3 สาย)	5	3	7N	2.16	2.14	2.36	2.29	1.76	2.14	0.23
		4	8N	1.88	1.85	2.03	2.13	2.02	1.98	0.11
	10	3	9N	4.32	4.31	4.38	4.13	3.86	4.20	0.22
		4	10N	4.24	4.31	3.38	4.18	4.38	4.10	0.41
	15	3	11N	3.84	4.11	4.64	4.09	4.30	4.20	0.30
		4	12N	3.84	4.11	4.64	4.15	4.25	4.20	0.29
3 (2 สาย)	5	3	13N	2.39	2.28	2.29	2.31	2.33	2.32	0.05
		4	14N	2.46	2.29	2.38	2.25	2.46	2.37	0.10
	10	3	15N	4.45	4.69	4.81	4.72	4.80	4.69	0.15
		4	16N	4.74	4.51	4.63	4.73	4.71	4.67	0.10
	15	3	17N	4.68	4.88	4.47	4.80	4.85	4.74	0.17
		4	18N	4.68	4.88	4.47	4.80	4.85	4.74	0.17



ภาพประกอบ 5.1 เวลารอคอยของผู้โดยสารในช่วงเวลาเร่งด่วน



ภาพประกอบ 5.2 เวลารอคอยของผู้โดยสารในช่วงเวลาปกติ

5.2 การประเมินทางเลือกของรูปแบบการให้บริการที่เหมาะสม

ในการประเมินทางเลือกของรูปแบบสถานการณ์ที่เหมาะสมนั้น ก่อนที่จะพิจารณาเวลารอคอยในแต่ละสถานการณ์ ผู้วิจัยใช้เกณฑ์ในการเลือกสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากต้นทุนการดำเนินงานที่จะเกิดขึ้นเมื่อปรับปรุงการให้บริการในรูปแบบที่ต่างกัน จากการพิจารณาต้นทุนพบว่าจากแผนภูมิวงกลมของสัดส่วนต้นทุนการดำเนินงาน หัวข้อที่ 4.3 ดังภาพประกอบ 4.9 จำนวน 60% ของต้นทุนทั้งหมดมาจากต้นทุนด้านค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถ ดังนั้นการเลือกรูปแบบการให้บริการที่เหมาะสม จะเลือกจากรูปแบบที่มีต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนประเภทนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนพนักงานขับรถสำหรับการให้บริการที่มี

จำนวนเส้นทางต่างกัน ย่อมมีความต้องการจำนวนพนักงานขับรถต่างกัน โดยอัตราค่าตอบแทนผู้จัดการ ค่าจ้างพนักงานขับรถ และค่าล่วงเวลาโครงการขนส่งมวลชน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ้างอิงได้จากตารางที่ 4.7 ซึ่งต้นทุนค่าจ้างและค่าตอบแทนคำนวณได้จากสมการที่ (5.1)

ค่าจ้างและค่าตอบแทน = ค่าตอบแทนผู้จัดการ + ค่าจ้างพนักงานขับรถ + ค่าล่วงเวลา (5.1)

ต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถประกอบด้วย ค่าตอบแทนผู้จัดการ 7,000 บาทต่อเดือน หรือ 84,000 บาทต่อปี ค่าจ้างพนักงานขับรถซึ่งมีต้นทุนแตกต่างกันตามรูปแบบสถานการณ์การให้บริการ โดยมีจำนวนพนักงานขับรถเท่ากับจำนวนรถที่ใช้ในการให้บริการ โดยค่าจ้างพนักงานขับรถต่อเดือนเท่ากับ 7,500 บาทต่อคน ซึ่งสามารถคำนวณค่าจ้างพนักงานขับรถต่อปีของสถานการณ์ทางเลือกได้ดังตารางที่ 5.2 และค่าล่วงเวลาในการทำงานของพนักงานขับรถในอัตรา 420 บาทต่อคนต่อวัน เพื่อการเป็นค่าตอบแทนของพนักงานขับรถที่ปฏิบัติงานในวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) และวันหยุดนักขัตฤกษ์ โดยผู้วิจัยอ้างอิงจากปฏิทินประจำปี พ.ศ.2559 โดยรวมถึงวันหยุดเพิ่มเติมตามมติคณะรัฐมนตรีเท่ากับ 122 วันต่อปี แสดงได้ดังตารางที่ 5.3 ซึ่งต้นทุนรวมของค่าใช้จ่ายด้านค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.2 ต้นทุนค่าจ้างพนักงานขับรถต่อปีของสถานการณ์รูปแบบทางเลือก

กลุ่มเส้นทางที่	จำนวนรถ (คัน)	จำนวนเส้นทาง (เส้น)	จำนวนพนักงานขับรถ (คน)	ค่าจ้างพนักงานขับรถ (บาท)	ค่าจ้างพนักงานขับรถต่อปี (บาท)
1	3	3	9	67,500	810,000
	4	3	12	90,000	1,080,000
2	3	3	9	67,500	540,000
	4	3	12	90,000	720,000
3	3	2	6	67,500	810,000
	4	2	8	90,000	1,080,000

ตารางที่ 5.3 ต้นทุนค่าล่วงเวลาของพนักงานขับรถต่อปีของสถานการณ์รูปแบบทางเลือก

กลุ่มเส้นทางที่	จำนวนรถ (คัน)	จำนวนเส้นทาง (เส้น)	จำนวนพนักงานขับรถในวันหยุด (คน)	จำนวนวันหยุดต่อปี	ต้นทุนค่าจ้างพนักงานขับรถ (บาท)
1	3	3	3	122	153,720
	4	3	3	122	153,720
2	3	3	3	122	153,720
	4	3	3	122	153,720
3	3	2	2	122	102,480
	4	2	2	122	102,480

ตารางที่ 5.4 ต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถต่อปีของสถานการณ์รูปแบบทางเลือก

กลุ่มเส้นทางที่	จำนวนรถ (คัน)	ค่าตอบแทนผู้จัดการ (บาท/ปี)	ค่าจ้างพนักงานขับรถ (บาท/ปี)		ต้นทุนรวม (บาท/ปี)
			วันทำงานปกติ	วันหยุด	
1	3	84,000	810,000	153,720	1,047,720
	4	84,000	1,080,000	153,720	1,317,720
2	3	84,000	810,000	153,720	**726,480**
	4	84,000	1,080,000	153,720	906,480
3	3	84,000	540,000	102,480	1,047,720
	4	84,000	720,000	102,480	1,317,720

จากตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการให้บริการที่มีต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถต่ำที่สุดคือ การเดินทางด้วยเส้นทางกลุ่มที่ 2 เนื่องจากกลุ่มเส้นทางนี้มีเส้นทางให้บริการเพียง 2 เส้นทาง ดังนั้นจึงมีจำนวนพนักงานขับรถน้อยที่สุดจากทั้ง 3 กลุ่มเส้นทาง และเมื่อพิจารณาที่จำนวนรถต่อเส้นทาง พบว่าการใช้งานรถ 3 คันต่อเส้นทางจะทำให้เกิดต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเลือกสถานการณ์ที่มีความเหมาะสมจะพิจารณากลุ่มเส้นทางประเภทที่ 2 โดยใช้งานรถเส้นทางละ 3 คัน

จากนั้นพิจารณาเวลารอคอยของผู้โดยสารและระยะการเดินทางต่อวันแสดงได้ดังตารางที่ 5.5 โดยการเลือกสถานการณ์ที่เหมาะสมนั้น จะพิจารณาจากระยะทางในการเดินทางในแต่ละวัน เนื่องจากระยะที่เดินทางได้ส่งผลโดยตรงกับต้นทุนการด้านพลังงาน ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาระยะทางร่วมกับเวลาการรอคอยของผู้โดยสาร สำหรับในช่วงเวลาเร่งด่วนนั้น มีจำนวนผู้โดยสารใช้บริการสูง ดังนั้นเวลารอคอยที่น้อยจะสามารถตอบสนองความต้องการของผู้โดยสารได้ดีกว่ารูปแบบที่มีเวลาการรอคอยสูง ดังนั้นจะเลือกรูปแบบการให้บริการโดยการออกรถทุกๆ 5 นาที ซึ่งจะทำให้เวลา

การรอคอยต่ำที่สุดซึ่งมีค่า 1.85 นาที โดยมีระยะทางการเดินทาง 192.85 กิโลเมตรต่อวัน ส่วนในช่วงเวลาปกติมีความต้องการในการเดินทางน้อยกว่าช่วงเวลาเร่งด่วน จึงพิจารณารูปแบบที่ทำให้เกิดระยะการเดินทางต่ำที่สุดซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนด้านพลังงานที่ต่ำกว่า คือการออกรถทุกๆ 15 นาที จะทำให้เกิดเวลารอคอยของผู้โดยสาร 4.20 นาที และมีระยะทางการเดินทาง 323.4 กิโลเมตรต่อวัน

ตารางที่ 5.5 เวลารอคอยของผู้โดยสารและระยะการเดินทางต่อวันของกลุ่มเส้นทางเดินรถที่ 2 โดยการใช้งานรถ 3 คันต่อเส้นทาง

ช่วงเวลา	ตารางเดินรถ (นาที)	ระยะทางรวมต่อวัน (กิโลเมตร)	เวลารอคอยของผู้โดยสาร (นาที)
เร่งด่วน	5	192.85	**1.85**
	10	129.99	3.26
	15	88.20	3.95
ปกติ	5	714.63	2.14
	10	482.79	4.20
	15	323.4	**4.20**

ดังนั้นสามารถสรุปสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสมในการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้ คือ การให้บริการด้วยกลุ่มเส้นทางประเภทที่ 2 มีเส้นทางการให้บริการ 2 เส้นทางครอบคลุมพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งมีการใช้รถ 3 คันเพื่อให้บริการใน 2 เส้นทาง รวมแล้วมีการใช้งานรถทั้งสิ้น 6 คัน โดยในช่วงเวลาเร่งด่วน (7:30 น.–9:30 น.) จะออกรถทุกๆ 5 นาที และช่วงเวลาปกติ (9:30 น.–17:30 น.) จะออกรถทุกๆ 15 นาที

5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนสำหรับรูปแบบสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด

ในการวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนประกอบด้วยต้นทุน 2 ประเภทคือ ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน ซึ่งแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.3.1 ต้นทุนคงที่

ประกอบด้วยต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถ ต้นทุนการบำรุงรักษา และต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยต้นทุนด้านค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถถูกกล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 5.2 ตารางที่ 5.4 โดยสามารถอธิบายที่มาของการคำนวณได้ว่าต้นทุนด้าน

ค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถประกอบด้วยต้นทุนค่าตอบแทนผู้จัดการโครงการ จำนวน 1 ตำแหน่ง ค่าจ้างพนักงานขับรถ เส้นทางละ 3 คน ให้บริการ 2 เส้นทาง จำนวนทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง และค่าล่วงเวลาที่ให้แก่พนักงานขับรถสำหรับการทำงานในวันหยุดราชการและวันหยุดนักขัตฤกษ์ โดยจ้างพนักงานเท่ากับจำนวนเส้นทางที่ให้บริการคือ วันละ 2 อัตรา เนื่องจากช่วงวันหยุดมีความต้องการในการเดินทางของผู้โดยสารน้อย จึงมีการเตรียมรถให้บริการในจำนวนไม่มากนัก และต้นทุนด้านแรงงานจะไม่นำค่าเบี้ยสมทบประกันสังคมมาประกอบการคำนวณ สำหรับต้นทุนคงที่ทั้งหมดในช่วงเวลา 1 ปีการศึกษา แสดงตารางที่ 5.6 ประกอบด้วย ต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถ 726,480.00 บาทต่อปีต้นทุนการบำรุงรักษา 346,231.00 บาทต่อปี และต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 43,868.22 บาทต่อปี ซึ่งสามารถคำนวณต้นทุนคงที่ในการให้บริการขนส่งมวลชนได้ 1,116,579.22 บาทต่อปี

ตารางที่ 5.6 ต้นทุนคงที่ของการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี

รายการ	**ต้นทุน (บาท/ปี)**
ต้นทุนค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถ	726,480.00
ต้นทุนค่าบำรุงรักษา	346,231.00
ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ	43,868.22
ต้นทุนคงที่สุทธิ	1,116,579.22

5.3.2 ต้นทุนแปรผัน

ต้นทุนแปรผันที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ คือต้นทุนด้านพลังงาน โดยการคำนวณต้นทุนด้านพลังงานนั้น จะต้องหาระยะการเดินทางรวมของการให้บริการซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการจำลองแบบในวันทำงานปกติของทางราชการ โดยระยะทางการให้บริการที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของรูปแบบทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดคือ 192.85 กิโลเมตรต่อวันในช่วงเวลาเร่งด่วนและ 323.4 กิโลเมตรต่อวันในช่วงเวลาปกติ รวมทั้งสิ้น 516.25 กิโลเมตรต่อวัน แต่สำหรับวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) วันหยุดนักขัตฤกษ์ และวันทำงานของทางราชการช่วงภาคฤดูร้อน ผู้วิจัยได้กำหนดระยะทางการให้บริการที่ 1 ใน 3 ของระยะการเดินทางในวันราชการปกติ เนื่องจากวันดังกล่าวมีตารางการออกรถที่ไม่แน่นอน และมีผู้ใช้บริการน้อย โดยระยะทางการให้บริการต่อปี แสดงดังตารางที่ 5.7 สำหรับในวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ผู้วิจัยอ้างอิงจากปฏิทินประจำปี พ.ศ.2559 โดยรวมถึงวันหยุดเพิ่มเติมตามมติคณะรัฐมนตรี และวันทำงานปกติของทางราชการช่วงภาคฤดูร้อนคำนวณจากวันทำงานของทางราชการในช่วงเวลา 3 เดือน

ตารางที่ 5.7 ระยะทางการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี

การให้บริการ	จำนวน (วัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/วัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/ปี)
วันทำงานปกติของทางราชการ	177	516.25	91,376.25
วันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์)	104	172.08	17,896.67
วันหยุดนักขัตฤกษ์	18	172.08	3,097.50
วันทำงานปกติของทางราชการ ช่วงภาคฤดูร้อน	66	172.08	11,357.50
ระยะทางสุทธิ			**123,727.92**

โดยยานพาหนะที่เลือกใช้ในการให้บริการนั้นมีจำนวนรวม 6 คัน ดังนั้น ผู้วิจัยพิจารณาการเลือกใช้เฉพาะรถไฟฟ้า และลดการใช้รถเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากรถไฟฟ้ามีต้นทุนค่าพลังงานในการขับเคลื่อนต่ำกว่ารถยนต์ดีเซล อีกทั้งเป็นการใช้พลังงานสะอาดและลดการปลดปล่อยมลภาวะสู่สภาพแวดล้อมได้อีกด้วย โดยการคำนวณต้นทุนแปรผันสุทธิได้จากผลคูณของต้นทุนด้านพลังงานต่อกิโลเมตรของการใช้งานรถไฟฟ้ากับระยะทางในการให้บริการต่อปี แสดงได้ดังตารางที่ 5.8 มีต้นทุนแปรผันสุทธิเท่ากับ 295,709.72 บาทต่อปี และสามารถสรุปต้นทุนสุทธิในการให้บริการได้ดังตารางที่ 5.9 โดยต้นทุนการให้บริการของรูปแบบข้อเสนอที่ถูกเลือกนั้น มีค่าเท่ากับ 1,412,288.94 บาทต่อปี

ตารางที่ 5.8 ต้นทุนแปรผันของการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปี

รายการ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุน (บาท/กิโลเมตร)	ต้นทุนแปรผันสุทธิ (บาท/ปี)
ต้นทุนด้านพลังงาน	123,727.92	2.39	295,709.72

ตารางที่ 5.9 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อปีสุทธิ

รายการ	ต้นทุน (บาท/ปี)
ต้นทุนคงที่	1,116,579.22
ต้นทุนแปรผัน	295,709.72
ต้นทุนการให้บริการสุทธิ	**1,412,288.94**

5.4 การเปรียบเทียบการให้บริการ

5.4.1 เวลารอคอยของผู้โดยสาร

ในการปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ การกำหนดดัชนีชี้วัดการปรับปรุงได้แก่ เวลาการรอคอยของผู้โดยสารที่ลดลง ซึ่งจากการวิเคราะห์รูปแบบสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสมนั้นสามารถแสดงเวลาการรอคอยของผู้โดยสารเปรียบเทียบกับตัวแบบเริ่มต้นซึ่งจำลองสถานการณ์การให้บริการในปัจจุบันได้ดังตารางที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าเวลารอคอยของผู้โดยสารลดลงทั้ง 2 ช่วงเวลา คือ ในช่วงเวลาเร่งด่วนเวลารอคอยลดลงจาก 3.98 นาทีต่อคน เหลือ 1.85 นาทีต่อคน โดยลดลง 53.51% และในช่วงเวลาปกติเวลารอคอยลดลงจาก 18.51 นาทีต่อคน เหลือ 4.20 นาทีต่อคน โดยลดลง 77.31%

ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบเวลาการรอคอยของผู้โดยสารระหว่างตัวแบบปัจจุบันกับตัวแบบทางเลือกที่เหมาะสม

ช่วงเวลา	ตัวแบบ	เวลารอคอยของผู้โดยสาร (นาที)					
		รอบที่1	รอบที่2	รอบที่3	รอบที่4	รอบที่5	เฉลี่ย
เร่งด่วน	ปัจจุบัน	3.72	4.37	4.24	4.12	3.45	3.98
	ทางเลือกที่เหมาะสม	1.60	2.01	1.99	1.76	1.87	1.85
ปกติ	ปัจจุบัน	15.52	19.62	17.59	20.12	19.67	18.51
	ทางเลือกที่เหมาะสม	3.84	4.11	4.64	4.15	4.25	4.20

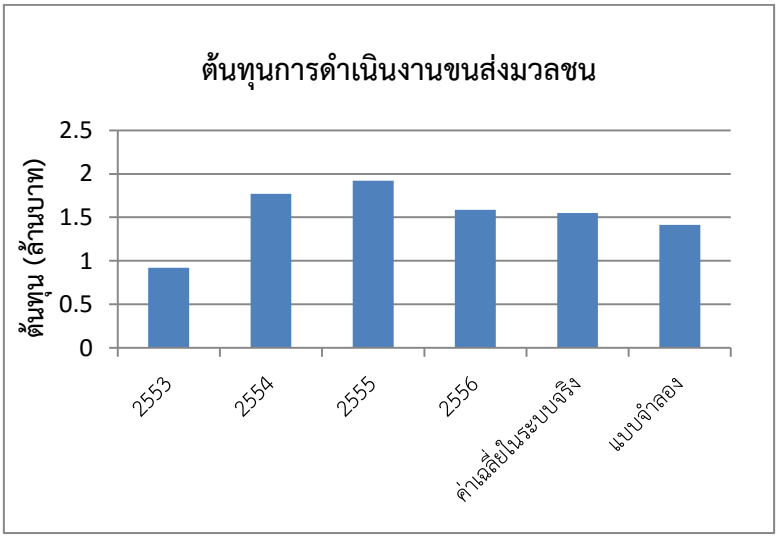
5.4.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการดำเนินงาน

เมื่อพิจารณาต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงานที่ได้มาจากรูปแบบทางเลือกของแบบจำลอง และเปรียบเทียบกับต้นทุนการดำเนินการที่ผ่านมา ตั้งแต่ปีการศึกษา 2553 ถึง 2556 (ดังแสดงในตารางที่ 5.11) พบว่าต้นทุนการให้บริการของรูปแบบสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสมเท่ากับ 1,412,288.94 บาทต่อปี ลดลง 8.90% จากการให้บริการที่ผ่านมาระหว่างปีการศึกษา 2553 ถึง 2556 ซึ่งมีต้นทุนเฉลี่ย 1,550,351.70 บาทต่อปี โดยแสดงกราฟเปรียบเทียบต้นทุนการให้บริการต่อปีได้ดังภาพประกอบที่ 5.3 เมื่อคำนวณต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลเมตร ในการดำเนินงานที่ผ่านมาพบว่ามีต้นทุนเฉลี่ยรวมต่อกิโลเมตรเท่ากับ 29.32 บาท ในขณะที่ต้นทุนเฉลี่ยรวมต่อกิโลเมตรที่ได้จากรูปแบบทางเลือกเท่ากับ 11.41 บาท ซึ่งมีต้นทุนการดำเนินงานลดลง 61.07% จากต้นทุนการดำเนินงานเฉลี่ยในปีการศึกษาที่ผ่านมา การเปรียบเทียบต้นทุนการดำเนินงานต่อกิโลเมตรระหว่างปีการศึกษาที่ผ่านมาและแบบจำลอง แสดงดังภาพประกอบที่ 5.4

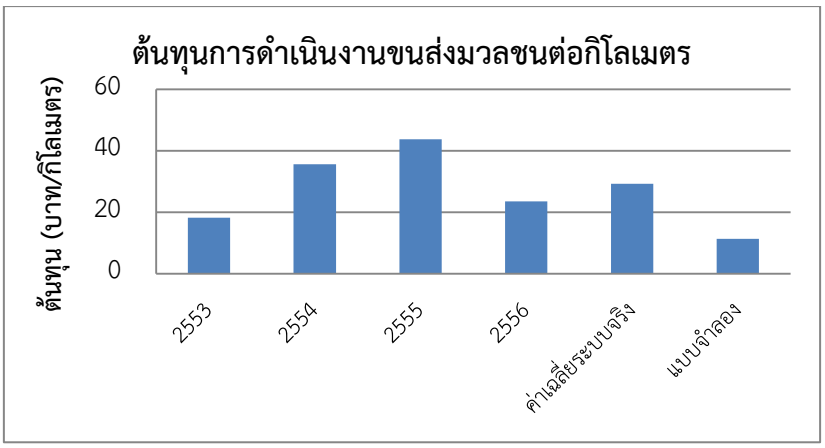
สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนการดำเนินงานลดลงเนื่องจากการลดต้นทุนด้านแรงงาน (พนักงานขับรถ) จากการลดปริมาณรถที่ให้บริการจาก 12 คัน เหลือเพียง 6 คัน และการลดต้นทุนการบำรุงรักษารถเครื่องยนต์ดีเซลและต้นทุนด้านพลังงานจากการใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากการนำเสนอแนวทางปรับปรุงนั้นจะไม่ใช้รถเครื่องยนต์ดีเซลในการให้บริการ

ตารางที่ 5.11 ต้นทุนการดำเนินงานระบบขนส่งมวลชนต่อกิโลเมตร

ปีการศึกษา	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุนการดำเนินงาน (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	**123,727.92**	**1,412,288.94**	**11.41**



ภาพประกอบ 5.3 ต้นทุนการดำเนินงานขนส่งมวลชนต่อปี



ภาพประกอบ 5.4 ต้นทุนการดำเนินงานขนส่งมวลชนต่อกิโลเมตร

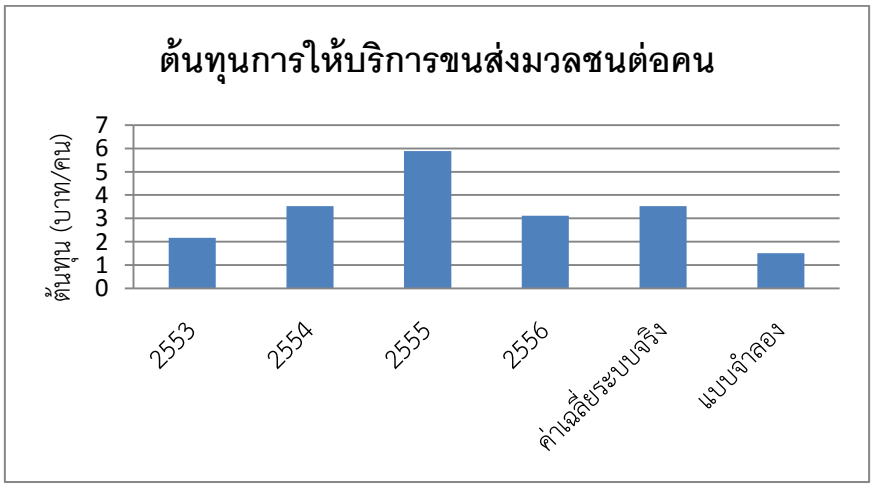
นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อผู้โดยสาร 1 คนได้ โดยพิจารณาจากจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันที่ได้จากการเก็บข้อมูลมีจำนวน 3,819 คนต่อวัน ซึ่งเป็นจำนวนผู้โดยสารที่ได้จากการเก็บข้อมูลในสถานการณ์จริงในวันทำงานปกติของทางราชการ ที่ให้บริการตั้งแต่เวลา 7:30 – 17:30 น. สำหรับวันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์) วันหยุดนักขัตฤกษ์ และวันทำงานของทางราชการช่วงภาคฤดูร้อน ผู้วิจัยได้กำหนดระยะทางการให้บริการเป็น 1 ใน 3 ของจำนวนผู้โดยสารในวันทำงานปกติของทางราชการ เนื่องจากวันดังกล่าวมีตารางการออกรถที่ไม่แน่นอน และมีผู้ใช้บริการน้อย ซึ่งจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการขนส่งมวลชนเท่ากับ 939,014 คนต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 5.12 จากนั้นทำการเปรียบเทียบต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคนจากผลการดำเนินงานที่ผ่านมากับต้นทุนที่ได้จากตัวแบบจำลองดังตารางที่ 5.13 พบว่าต้นทุนการดำเนินงานเฉลี่ยที่ผ่านมาเท่ากับ 3.52 บาทต่อคน และต้นทุนจากแบบจำลองเท่ากับ 1.50 บาทต่อคน มีค่าลดลง 57.27% ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกราฟต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคนดังภาพประกอบที่ 5.5

ตารางที่ 5.12 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการขนส่งมวลชนต่อปี

การให้บริการ	**จำนวน (วัน)**	**จำนวนผู้โดยสาร (คน/วัน)**	**จำนวนผู้โดยสาร (คน/ปี)**
วันทำงานของทางราชการ	177	3,918	693,486
วันหยุดราชการ (เสาร์-อาทิตย์)	104	1306	135,824
วันหยุดนักขัตฤกษ์	18	1306	23,508
วันทำงานของทางราชการช่วงภาคฤดูร้อน	66	1306	86,196
จำนวนผู้โดยสารสุทธิ			**939,014**

ตารางที่ 5.13 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	**939,014**	**1,412,288.94**	**1.50**



ภาพประกอบ 5.5 ต้นทุนการให้บริการขนส่งมวลชนต่อคน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของการให้บริการรถขนส่งสาธารณะภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยเริ่มจากการศึกษาการให้บริการขนส่งมวลชนในปัจจุบัน การเก็บข้อมูลการให้บริการโครงการรถขนส่งมวลชน การวิเคราะห์ลักษณะของปัญหา การพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถเลียนแบบพฤติกรรมของระบบได้อย่างเหมาะสม โดยมีการทวนสอบและทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง จากนั้นการวิเคราะห์ตัวแบบสถานการณ์ปัจจุบัน แล้วนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงเพื่อนำไปสู่การออกแบบการจำลองแบบ การหารอบการทำซ้ำ การหาช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up period) และช่วงเวลาในการเก็บค่าผลลัพธ์ จากนั้นทำการรันตัวแบบจำลองในทุกสถานการณ์ทางเลือก เพื่อหารูปแบบการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดจากรูปแบบทางเลือกทั้งหมด ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

6.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

6.1.1 การวิเคราะห์การให้บริการในปัจจุบัน

การให้บริการรถขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีการให้บริการขนส่งสาธารณะ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยฯแก่ผู้โดยสาร โดยมีกลุ่มผู้ใช้บริการหลักเป็นกลุ่มนักศึกษาที่อาศัยอยู่ในหอพักภายในมหาวิทยาลัยฯ ให้บริการ 3 เส้นทาง โดยใช้รถพลังงานไฟฟ้าเป็นยานพาหนะหลัก จากการวิเคราะห์การให้บริการพบว่าจำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารสูงในช่วงเวลาเร่งด่วน (7:30-9:30 น.) และมีจำนวนลดลงในช่วงเวลาปกติ (9:30-17:30 น.) แต่จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการในแต่ละวัน (พิจารณาวันทำงานของทางราชการในช่วงเปิดภาคเรียน) นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับตารางการเดินรถในแต่ละสายจะออกทุกๆ 10-20 นาที แต่จากการเก็บข้อมูลพบว่าการออกรถมีความแปรผันจากตารางเดินรถ คือ ระยะเวลาในการออกรถอยู่ที่ 1-83 นาที ซึ่งส่งผลต่อการรอคอยที่ล่าช้าของผู้โดยสาร และอาจส่งผลต่อความพึงพอใจและความน่าเชื่อถือในการให้บริการ นอกจากนั้นพบว่ามีอรรถประโยชน์การใช้งานรถในระบบจริงที่ 27.26% ในช่วงเวลาเร่งด่วนและ 13.10% ในช่วงเวลาปกติ

6.1.2 การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์

การให้บริการขนส่งมวลชนภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยฯ ถูกนำมาสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อจำลองระบบการให้บริการที่สามารถสะท้อนพฤติกรรมได้ใกล้เคียงระบบจริง โดยการพัฒนาตัวแบบด้วยซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel®) เวอร์ชั่น 11 โดยเริ่มต้นจากการศึกษาและเก็บข้อมูลการให้บริการในสภาวะปัจจุบัน การสร้างตัวแบบ การเก็บข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลอง และการสังเกตผลลัพธ์ แต่การจำลองสถานการณ์จะต้องมั่นใจได้ว่าตัวแบบสามารถเลียนแบบพฤติกรรมของระบบได้เสมือนระบบจริง ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและทวนสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบโดยการเปรียบเทียบอรรถประโยชน์ในการใช้งานรถ พบว่าตัวแบบมีอรรถประโยชน์ใกล้เคียงกับระบบจริงและมีค่าไม่แตกต่างกันจากการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนั้นสามารถนำตัวแบบจำลองมาใช้ในงานวิจัยเพื่อปรับปรุงการให้บริการระบบขนส่งมวลชนได้ จากนั้นพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่ ประเภทเส้นทาง ตารางเดินรถ และจำนวนรถ เพื่อการปรับปรุงการให้บริการที่ดียิ่งขึ้น และใช้การจำลองแบบเป็นเครื่องมือในการสร้างสถานการณ์รูปแบบทางเลือก ซึ่งมีลักษณะการให้บริการที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าซอฟต์แวร์โปรโมเดล (ProModel®) สามารถนำมาใช้ในงานวิจัยเพื่อจำลองและแสดงผลลัพธ์ปรับปรุงการให้บริการระบบขนส่งมวลชนได้เป็นอย่างดี

6.1.3 การวิเคราะห์สถานการณ์รูปแบบทางเลือก

จากการออกแบบการทดลอง สามารถสร้างรูปแบบทางเลือกได้ 18 สถานการณ์ โดยมีรอบการทำซ้ำจำนวน 5 รอบทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและช่วงเวลาปกติ การวิเคราะห์รูปแบบสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณา 2 ปัจจัยร่วมกัน ได้แก่เวลาการรอคอยของผู้โดยสารและต้นทุนการดำเนินงานในแต่ละสถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยก่อนที่จะพิจารณาเวลาการรอคอยของผู้โดยสาร ผู้วิจัยได้คำนวณต้นทุนการดำเนินงานด้านค่าตอบแทนและค่าจ้างพนักงานขับรถ โดยพิจารณาสถานการณ์ที่มีต้นทุนต่ำที่สุด นั่นคือ การเดินทางด้วยเส้นทางกลุ่มที่ 2 เนื่องจากกลุ่มเส้นทางนี้มีเส้นทางให้บริการเพียง 2 เส้นทาง และเลือกใช้รถเส้นทางละ 3 คัน จากนั้นพิจารณาเวลารอคอยของผู้โดยสารและระยะการเดินทางต่อวัน เนื่องจากระยะที่เดินทางได้ส่งผลโดยตรงกับต้นทุนการด้านพลังงานในการเดินทางของรถ ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาระยะทางร่วมกับเวลาการรอคอยของผู้โดยสาร สำหรับในช่วงเวลาเร่งด่วนนั้นตัวแบบที่เหมาะสมจะทำให้เกิดเวลารอคอยของผู้โดยสาร 1.85 นาทีต่อคน โดยการออกรถโดยรออกรถทุกๆ 5 นาที ส่วนในช่วงเวลาปกติเกิดเวลารอคอยของผู้โดยสาร 4.20 นาทีต่อคน โดยการออกรถทุกๆ 15 นาที

ดังนั้นสถานการณ์ทางเลือกที่เหมาะสมในการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้ คือ การให้บริการด้วยกลุ่มเส้นทางประเภทที่ 2 มีเส้นทางการ

ให้บริการ 2 เส้นทางครอบคลุมพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งมีการใช้รถ 3 คันเพื่อให้บริการใน 2 เส้นทาง รวมแล้วมีการใช้งานรถทั้งสิ้น 6 คัน โดยในช่วงเวลาเร่งด่วน (7:30 น.–9:30 น.) จะออกรถทุกๆ 5 นาที และช่วงเวลาปกติ (9:30 น.–17:30 น.) จะออกรถทุกๆ 15 นาที

6.1.4 ต้นทุนการให้บริการ

เมื่อสามารถเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดจากสถานการณ์ทางเลือกได้แล้ว จะต้องคำนวณต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมด โดยใช้ข้อมูลต้นทุนการให้บริการในปัจจุบันเพื่อจำแนกประเภทต้นทุน ได้แก่ ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วย ต้นทุนด้านแรงงาน ต้นทุนการบำรุงรักษา และต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ และต้นทุนแปรผัน ประกอบด้วย ต้นทุนด้านพลังงาน ซึ่งพบว่าต้นทุนคงที่ในการให้บริการด้วยรูปแบบที่ได้จากแบบจำลองเท่ากับ 1,116,579.22 บาทต่อปี และต้นทุนแปรผันเท่ากับ 295,709.72 บาทต่อปี รวมต้นทุนทั้งหมดเท่ากับ 1,412,288.94 บาทต่อปี ซึ่งลดลง 8.90% จากการให้บริการที่ผ่านมาระหว่างปีการศึกษา 2553 ถึง 2556 ซึ่งมีต้นทุนเฉลี่ย 1,550,351.70 บาทต่อปี และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนต่อระยะทาง จะได้ว่าต้นทุนการให้บริการลดลง 61.07% จาก 29.32 บาทต่อกิโลเมตรเป็น 11.41 บาท และหากเปรียบเทียบต้นทุนต่อผู้โดยสาร 1 คน พบว่าต้นทุนการดำเนินงานเฉลี่ยที่ผ่านมาเท่ากับ 3.52 บาทต่อคน และต้นทุนจากแบบจำลองเท่ากับ 1.50 บาทต่อคน ลดลง 57.27%

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย

6.2.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารในแต่ละจุดจอดรถ ซึ่งเก็บจากบริเวณป้ายหยุดรถที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน และสร้างเส้นทางการเดินรถใหม่ แต่ไม่ได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงจุดจอดรถเป็นจุดอื่นๆ นอกเหนือจากจุดเดิม เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาที่ไม่เพียงพอในการเก็บข้อมูลความต้องการของผู้โดยสาร และอยู่นอกเหนือขอบเขตงานวิจัย ซึ่งหากจะพิจารณาความต้องการใช้งานของผู้โดยสารอย่างชัดเจนมากขึ้น อาจต้องมีการสัมภาษณ์และการใช้การประเมินแบบสอบถามร่วมด้วย เช่น ความต้องการขึ้นรถ-ลงรถ บริเวณประตูหน้าโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ หรือบริเวณประตูศรีทรัพย์ (ประตู 109) เป็นต้น

6.2.1.2 การพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์ เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาเพื่อการเรียนรู้คำสั่งและทำความเข้าใจลักษณะเฉพาะของโปรแกรม ซึ่งบางลักษณะนั้นอาจไม่มีการ

กล่าวถึงจากในตำรา ผู้วิจัยจะต้องศึกษาจากประสบการณ์การใช้งานจริง และการลองผิดลองถูก เพื่อให้สามารถสร้างตัวแบบจำลองที่สะท้อนพฤติกรรมของระบบได้ใกล้เคียงระบบจริงมากที่สุด

6.2.2 ข้อเสนอแนะในการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัย

6.2.2.1 ความต้องการในการใช้ระบบขนส่งมวลชน

ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานที่ผ่านมา ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาระบบการให้บริการขนส่งมวลชนนั้น พบว่าการให้บริการเป็นที่ต้องการของนักศึกษาในการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นอย่างมาก จากการสอบถามนักศึกษา พบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อจำนวนการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จำนวนความถี่ในการออกรถ ที่ทำให้นักศึกษาต้องรอเป็นเวลานาน เกินกว่าเวลาตามตารางเดินรถที่กำหนดไว้ ส่งผลโดยตรงต่อความพึงพอใจ ซึ่งอาจทำให้นักศึกษาเลือกใช้การเดินทางด้วยวิธีอื่นแทนการใช้รถขนส่งมวลชน เช่น การนำรถส่วนตัวมาใช้ ดังแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนจากจำนวนรถจักรยานยนต์ของนักศึกษาที่จอดบริเวณโดยรอบหอพักนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังนั้นหากมีการปรับปรุงการให้บริการ ที่สามารถเพิ่มความพึงพอใจของนักศึกษาได้ และนักศึกษามีความเชื่อมั่นต่อการให้บริการ จะส่งผลต่อจำนวนผู้ใช้บริการที่จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นได้ อีกทั้งยังช่วยลดการใช้รถจักรยานยนต์ของนักศึกษาได้อีกด้วย

การวางแผนด้านนโยบายต่างๆ ควบคู่กับการปรับปรุงคุณภาพในการให้บริการ เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนผู้โดยสารได้ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรให้ความสำคัญในการปรับปรุงการให้บริการ และการรณรงค์การใช้รถขนส่งมวลชนให้กับนักศึกษา ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ใช้บริการหลัก โดยหากมีจำนวนนักศึกษาใช้บริการรถโดยสารสาธารณะเพิ่มมากขึ้น จะสามารถช่วยลดการใช้งานรถส่วนบุคคล ลดพื้นที่จอดรถ และช่วยลดความหนาแน่นของสภาพการจราจรได้อีกด้วย

นอกจากนั้น สามารถเพิ่มการเข้าถึงขนส่งสาธารณะ โดยการเพิ่มจุดจอดรถบริเวณประตูทางเข้า-ออกโดยรอบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อรับส่งผู้โดยสารที่อาศัยอยู่ภายนอกมหาวิทยาลัยฯ และควรมีการสร้างพื้นที่จอดรถ เพื่อรองรับกลุ่มผู้โดยสารที่มีความจำเป็นต้องใช้รถส่วนตัวเพื่อเดินทางมายังมหาวิทยาลัยฯ แต่มีความต้องการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยฯ ด้วยรถขนส่งมวลชน ซึ่งสามารถช่วยลดความแออัดของสภาพการจราจร และลดพื้นที่จอดรถในบริเวณอื่นๆได้

6.2.2.2 การจัดการด้านทรัพยากร

สิ่งหนึ่งที่สำคัญในการให้บริการขนส่งมวลชนโดยใช้รถไฟฟ้านั้นคือข้อจำกัดหลายประการในการใช้งาน ซึ่งบ่อยครั้งที่หน่วยงานจะต้องเผชิญกับปัญหาความขัดข้องของรถไฟฟ้า และใช้เวลานานในการรอช่างที่มีความชำนาญเพื่อแก้ไขและซ่อมแซม ผู้วิจัยจึงมี

ข้อเสนอแนะคือ หน่วยงานที่รับผิดชอบควรจะต้องมีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) อย่างต่อเนื่อง โดยการตรวจสภาพรถและบำรุงรักษาเบื้องต้นอยู่เสมอตามคู่มือการการบำรุงรักษา และการจัดทำเอกสารสำหรับการตรวจเช็คการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อลดปัญหารถขัดข้องในกรณีฉุกเฉิน (Breakdown) ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้

การใช้งานรถเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีค่าเชื้อเพลิงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานรถไฟฟ้า ดังนั้นการใช้งานรถไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในการให้บริการ และจากการสังเกตลักษณะการใช้งานรถเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า การขึ้น-ลงของผู้โดยสารนั้นไม่สะดวกเท่าที่ควร เนื่องจากมีประตูเข้า-ออก เพียงแค่ประตูเดียว รถต้องหยุดในแต่ละจุดจอดเป็นเวลานานเพื่อรับ-ส่งผู้โดยสาร ซึ่งต่างจากรถไฟฟ้าที่มีการออกแบบลักษณะของรถตามรูปแบบการใช้งานอย่างเหมาะสม โดยมีประตูสองทาง ซึ่งเหมาะสำหรับการรับส่งผู้โดยสารเป็นระยะทางสั้นๆ มีความถี่ในการจอดและความต้องการในการขึ้น-ลงสูง นอกจากนี้การใช้รถไฟฟ้ายังสามารถช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดการปล่อยมลพิษสู่สภาพแวดล้อมได้อีกด้วย

บรรณานุกรม

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

[2] ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2542. การจำลองแบบปัญหา.กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] จุฑา พิชิตลำเค็ญ. 2558. พื้นฐานการจำลองสถานการณ์เชิงสุ่ม เพื่อการประยุกต์ใช้กับปัญหาจริง. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2541. การวิจัยขั้นดำเนินงาน: การวิเคราะห์เชิงปริมาณทางธุรกิจ กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] J. Banks, J.S. Carson II, B. L. Nelson, and D. M. Nicol. 2010. Discrete-event system simulation 5th ed. USA: Prentice Hall Inc.

[6] ประชด ไกรเนตร. 2541. หน่วยที่ 1. ชุดวิชาการจัดการงานขนส่งสินค้า. พิมพ์ครั้งที่ 5. สาขาวิทยาการจัดการ, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

[7] สลิลาทิพย์ ทิพยไกรศร. 2554. ประเทศไทยเริ่มต้นพัฒนาระบบขนส่งมวลชนอย่างไร. วารสารนักบริหาร 31(4): 55-58.

[8] ณกร อินทร์พยุง. 2548. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและโลจิสติกส์. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[9] ธรินี มณีศรี. 2551. “การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีหลายคลังสินค้าและไม่มีความแน่นอนภายใต้กรอบเวลา.” วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[10] กวี ศรีเมือง. 2550. “การหาจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมในการขนส่งสินค้าในธุรกิจค้าปลีก กรณีศึกษาท็อปส์ซุปเปอรมารเก็ต.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[11] Clark, G. and J.W. Wright. 1964. “Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points.” *Operation Research.* 12: 568-581.

[12] วนัฐฌพงษ์ คงแก้ว. 2550. “การใช้การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ในการปรับปรุงกระบวนการของแผนกจ่ายยาผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสงขลานครินทร์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[13] อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์. 2551. การบัญชีต้นทุน. เอกสารประกอบการสอนวิชาการบัญชีต้นทุน. ภาควิชาการเงินและบัญชี คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

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

[15] A. Bond and R. Steiner. 2006. “Sustainable campus transportation through transit Partnership and transportation demand management: a case study from the University of Florida,” *Berkeley Planning Journal* 19 (1): 125-142.

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

[17] 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. 2011. “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): 504–509.

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

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

[20] S. E. Kesen and Ö. F. Baykoç. 2007. “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): 272–284.

[21] 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.

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

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

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

[25] P. Cortés, J. Muñuzuri, J. Nicolás Ibáñez, and J. Guadix, 2207. “Simulation of freight traffic in the Seville inland port,” *Simulation Modelling Practice and Theory* 15 (3): 256-271.

[26] A. Motraghi and M. V. Marinov. 2013. “Analysis of urban freight by rail using event based simulation,” *Simulation Modelling Practice and Theory* 25: 73–89.

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

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

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

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

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

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

[33] P. Schittekat, M. Sevaux, and K. Sorensen. 2006. “A mathematical formulation for a school bus routing problem,” *Proceedings of the 2006 International Conference on Service Systems and Service Management* 2: 1552–1557.

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

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

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

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

[38] อภิชิต มณีงาม กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ และอภินันทนา อุดมศักดิกุล. 2556. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถโดยมีการ จำกัดเวลาการเดินรถบรรทุกขนาดใหญ่ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ กรณีศึกษา: การขนส่งอิฐบล็อกในกรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี 3 (6): 73–85.

[39] นพรุจ สังข์แป้น และสุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา. 2557. การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม สำหรับปัญหาเส้นทางการขนส่งของโรงกำจัดซากไก่. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 24 (3): 526-536.

[40] กนกวรรณ สุภักดี นัทธพงศ์ นันทสำเริง และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. 2558. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ โดยวิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัด: กรณีศึกษาสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 7 (2): 23-36.

[41] นคร ไชยวงศ์ศักดา และคณะ. 2558. จัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน. 3 (1): 51-61.

[42] Zhang, Y., Sheng, L. 2009. “Economic analysis of financial subsidy in urban public transit.” Proceedings of the 2009 Advanced Forum on Transportation of China. 167–171.

[43] ปัทมา อยู่เย็น. 2556. การจัดตารางเวลาในการเดินรถขนส่ง มวลชนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้โปรแกรมเอกเซลโซลเวอร์. วิศวสารลาดกระบัง 30 (2): 79-84.

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

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล

ตารางที่ ก.1 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเวลาและจำนวนผู้โดยสาร ณ สถานี

วันที่.....

ผู้บันทึก.....

ตารางบันทึกข้อมูลการให้บริการรถขนส่งมวลชน ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ณ สถานี

หมายเลขรถ	สายที่	เวลาที่รถ ออกจากสถานี	จำนวนผู้โดยสาร ขึ้นรถ (คน)	เวลาที่รถ ถึงสถานี	จำนวนผู้โดยสาร ลงรถ (คน)

ตารางที่ ก.2 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลจำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร บริเวณจุดจอดรถ

จุดจอดรถ..... วันที่..... ผู้บันทึก.....

ช่วงเวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)		ช่วงเวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)		ช่วงเวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)		ช่วงเวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	
	ขึ้นรถ	ลงรถ		ขึ้นรถ	ลงรถ		ขึ้นรถ	ลงรถ		ขึ้นรถ	ลงรถ
7:30 - 7:39			10:10 - 10:19			12:50 - 12:59			15:30 - 15:39		
7:40 - 7:49			10:20 - 10:29			13:00 - 13:09			15:40 - 15:49		
7:50 - 7:59			10:30 - 10:39			13:10 - 13:19			15:50 - 15:59		
8:00 - 8:09			10:40 - 10:49			13:20 - 13:29			16:00 - 16:09		
8:10 - 8:19			10:50 - 10:59			13:30 - 13:39			16:10 - 16:19		
8:20 - 8:29			11:00 - 11:09			13:40 - 13:49			16:20 - 16:29		
8:30 - 8:39			11:10 - 11:19			13:50 - 13:59			16:30 - 16:39		
8:40 - 8:49			11:20 - 11:29			14:00 - 14:09			16:40 - 16:49		
8:50 - 8:59			11:30 - 11:39			14:10 - 14:19			16:50 - 16:59		
9:00 - 9:09			11:40 - 11:49			14:20 - 14:29			17:00 - 17:09		
9:10 - 9:19			11:50 - 11:59			14:30 - 14:39			17:10 - 17:19		
9:20 - 9:29			12:00 - 12:09			14:40 - 14:49			17:20 - 17:29		
9:30 - 9:39			12:10 - 12:19			14:50 - 14:59			17:30 17:39		
9:40 - 9:49			12:20 - 12:29			15:00 - 15:09					
9:50 - 9:59			12:30 - 12:39			15:10 - 15:19					
10:00 - 10:09			12:40 - 12:49			15:20 - 15:29			รวม		

ภาคผนวก ข ต้นทุนการให้บริการโครงการขนส่งมวลชน

ในการให้บริการขนส่งมวลชนในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สามารถจำแนกต้นทุนได้ดังตารางที่ ข.1-ข.4 และระยะทางรวมที่รถให้บริการ แสดงดังตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.1 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

ตารางที่ ข.2 ต้นทุนการบำรุงรักษา ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	ต้นทุนการบำรุงรักษารถไฟฟ้า (บาท)				ต้นทุนการบำรุงรักษารถยนต์ดีเซล (บาท)			
	2553	2554	2555	2556	2553	2554	2555	2556
มิถุนายน	-	5,000	-	48,502	-	27,300	N/A	N/A
กรกฎาคม	1,000	476,463	-	4,650	2,205	150	N/A	N/A
สิงหาคม	1,000	-	1,926	31,809	-	2,686	N/A	N/A
กันยายน	1,000	6,840	278	2,054	1,170	680	N/A	N/A
ตุลาคม	1,000	-	-	-	-	5,490	N/A	N/A
พฤศจิกายน	1,000	-	8,174.40	4,108	-	-	N/A	N/A
ธันวาคม	1,000	-	214	28,691	-	830	N/A	N/A
มกราคม	1,000	699	174,664	380	-	2,376	N/A	N/A
กุมภาพันธ์	1,000	2,910	8,090	364	-	-	N/A	N/A
มีนาคม	1,000	-	-	-	1,170	-	N/A	N/A
เมษายน	10,700	-	-	482	-	-	N/A	N/A
พฤษภาคม	1,000	-	557,925	-	-	8,000	N/A	N/A
รวม	20,700	491,912	751,271.40	121,040	4,545	47,512	N/A	N/A

ตารางที่ ข.3 ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	ต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ (บาท)			
	2553	2554	2555	2556
มิถุนายน	N/A	6,900	-	1,800
กรกฎาคม	N/A	3,496	8,616	-
สิงหาคม	N/A	12,000	1,410	-
กันยายน	N/A	5,200	2,330.46	-
ตุลาคม	N/A	8,881	-	960
พฤศจิกายน	N/A	-	36,210	-
ธันวาคม	N/A	-	2,311.20	-
มกราคม	N/A	7,150	-	24,180
กุมภาพันธ์	N/A	2,750	-	1,300
มีนาคม	N/A	-	-	-
เมษายน	N/A	-	-	6,110
พฤษภาคม	N/A	-	-	-
รวม	N/A	46,377	50,877.66	34,350

ตารางที่ ข.4 ต้นทุนด้านพลังงานของรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของรถไฟฟ้า (บาท)				ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของรถยนต์ดีเซล (บาท)			
	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 ข.5 ระยะทางรวมที่ให้บริการโดยรถไฟฟ้าและรถยนต์ดีเซล ประจำปีการศึกษา 2553-2556

เดือน	ระยะที่ใช้ในการเดินทางของรถไฟฟ้า (กิโลเมตร)				ระยะที่ใช้ในการเดินทางของรถยนต์ดีเซล (กิโลเมตร)			
	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

ภาคผนวก ค จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร

ตารางที่ ค.1 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสารทุก 10 นาที ณ สถานีต้นทาง ในช่วงเวลาเร่งด่วน

จำนวน ผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	*โอกาสเกิด (%)	จำนวน ผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	โอกาสเกิด (%)
4	1	0.56	44	2	1.11
5	1	0.56	45	1	0.56
11	2	1.11	46	2	1.11
12	1	0.56	47	3	1.67
15	2	1.11	48	2	1.11
16	1	0.56	49	2	1.11
17	1	0.56	50	1	0.56
18	1	0.56	51	1	0.56
19	2	1.11	53	1	0.56
20	1	0.56	54	2	1.11
21	2	1.11	55	5	2.78
22	4	2.22	56	2	1.11
23	2	1.11	57	1	0.56
24	1	0.56	58	2	1.11
25	3	1.67	63	1	0.56
26	2	1.11	64	1	0.56
27	1	0.56	66	1	0.56
28	3	1.67	67	3	1.67
30	2	1.11	69	1	0.56
31	2	1.11	70	1	0.56
32	2	1.11	71	1	0.56
33	1	0.56	73	1	0.56
34	1	0.56	75	1	0.56
35	1	0.56	77	2	1.11
36	2	1.11	78	2	1.11
37	1	0.56	79	1	0.56
38	1	0.56	81	1	0.56
39	3	1.67	83	1	0.56
40	1	0.56	84	2	1.11

ตารางที่ ค.1 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ทุก 10 นาที ณ สถานีต้นทาง ช่วงเวลาเร่งด่วน (ต่อ)

จำนวน ผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	โอกาสเกิด (%)	จำนวน ผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	โอกาสเกิด (%)
87	2	1.11	151	1	0.56
88	1	0.56	153	1	0.56
90	3	1.29	155	1	0.56
91	2	1.11	156	1	0.56
92	1	0.56	157	1	0.56
93	1	0.56	158	2	1.11
97	2	1.11	164	1	0.56
100	1	0.56	165	1	0.56
102	1	0.56	170	2	1.11
103	1	0.56	174	1	0.56
104	3	1.67	176	1	0.56
106	1	0.56	178	1	0.56
107	3	1.67	182	1	0.56
112	3	1.67	183	1	0.56
113	1	0.56	185	1	0.56
115	1	0.56	186	2	1.11
116	1	0.56	191	1	0.56
117	1	0.56	194	1	0.56
118	1	0.56	197	1	0.56
119	1	0.56	204	1	0.56
120	1	0.56	205	1	0.56
122	1	0.56	209	1	0.56
123	2	1.11	212	1	0.56
126	1	0.56	213	2	1.11
131	1	0.56	217	1	0.56
135	1	0.56	221	1	0.56
136	1	0.56	224	1	0.56
139	1	0.56	231	1	0.56
142	2	1.11	232	1	0.56
144	1	0.56	239	1	0.56
145	1	0.56	241	1	0.56

ตารางที่ ค.1 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ทุก 10 นาที ณ สถานีต้นทาง ช่วงเวลาเร่งด่วน (ต่อ)

จำนวน ผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	โอกาสเกิด (%)
247	1	0.56
267	1	0.56
269	1	0.56
271	1	0.56
290	1	0.56
326	1	0.56
รวม	180	100.00

* ความน่าจะเป็นของจำนวนการเข้ามา (%) = [ความถี่ (ครั้ง) /ความถี่สะสม (ครั้ง)] x 100

ตารางที่ ค.2 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ทุก 10 นาที ณ สถานีต้นทาง ช่วงเวลาปกติ

จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	โอกาสเกิด (%)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	โอกาสเกิด (%)
1	4	0.54	32	15	2.04
2	5	0.68	33	4	0.54
3	14	1.9	34	13	1.77
4	15	2.04	35	7	0.95
5	12	1.63	36	8	1.09
6	23	3.13	37	7	0.95
7	20	2.72	38	5	0.68
8	14	1.9	39	5	0.68
9	18	2.45	40	6	0.82
10	31	4.21	41	6	0.82
11	27	3.67	42	3	0.41
12	23	3.13	43	5	0.68
13	21	2.85	44	6	0.82
14	19	2.58	45	3	0.41
15	21	2.85	46	4	0.54
16	17	2.31	47	3	0.41
17	11	1.49	48	6	0.82
18	17	2.31	49	3	0.41
19	19	2.58	50	3	0.41
20	27	3.67	51	5	0.68
21	15	2.04	52	2	0.27
22	19	2.58	53	2	0.27
23	17	2.31	54	3	0.41
24	18	2.45	56	2	0.27
25	17	2.31	57	5	0.68
26	14	1.9	58	4	0.54
27	12	1.63	59	5	0.68
28	11	1.38	60	6	0.82
29	12	1.63	61	5	0.68
30	15	2.04	62	5	0.68
31	11	1.49	63	1	0.14

ตารางที่ ค.2 จำนวนการเข้ามาของผู้โดยสาร ทุก 10 นาที ณ สถานีต้นทาง ช่วงเวลาปกติ (ต่อ)

จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	โอกาสเกิด (%)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ความถี่ (ครั้ง)	โอกาสเกิด (%)
64	2	0.27	91	1	0.14
65	5	0.68	92	1	0.14
66	4	0.54	95	1	0.14
67	2	0.27	96	1	0.14
68	5	0.68	97	1	0.14
69	4	0.54	98	2	0.27
70	1	0.14	99	1	0.14
71	3	0.41	100	1	0.14
73	2	0.27	103	1	0.14
74	2	0.27	107	1	0.14
76	1	0.14	112	1	0.14
77	1	0.14	114	1	0.14
79	2	0.27	116	1	0.14
81	1	0.14	118	1	0.14
85	2	0.27	125	2	0.27
86	1	0.14	137	1	0.14
87	1	0.14	145	1	0.14
88	1	0.14	รวม	736	100.00
89	1	0.14			

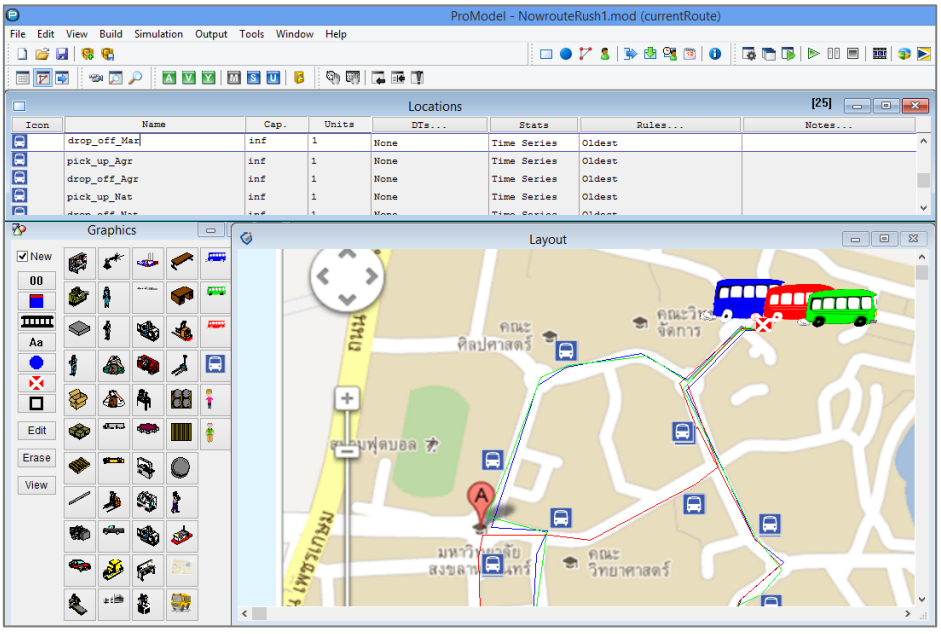
ภาคผนวก ง การสร้างตัวแบบจำลอง

ง.1 การสร้าง “Location”

เป็นการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของสถานีและจุดจอดรถของทั้ง 3 เส้นทางลงในแผนที่ โดยการกำหนดจุดนี้ได้มาจากการลงพื้นที่เพื่อตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละจุดจอด โดยที่ในแต่ละจุดจอดนั้นจะประกอบด้วย 3 ตำแหน่งซ้อนทับกัน ประกอบด้วย “Drop_off” “Pick_up_cont” และ “Pick_up” ซึ่งรายละเอียดการกำหนด “Locations” แสดงได้ดังตาราง ง.1 และตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งแสดงดังภาพประกอบ ง.1

ตารางที่ ง.1 การกำหนด “Locations”

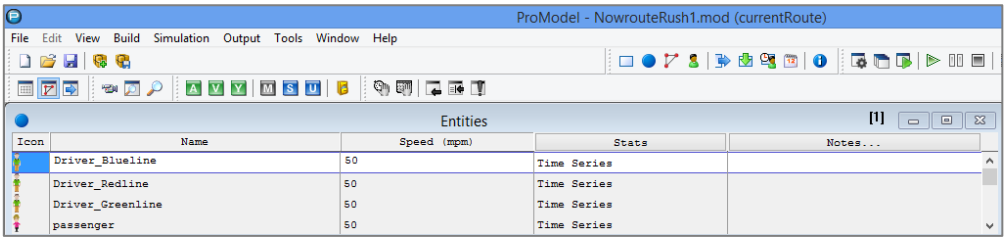
ประเภท	ความหมายของ “Locations”
Drop_off_(bus stop)	ตำแหน่งที่พนักงานขับรถใช้สำหรับการจอดรถ เพื่อส่งผู้โดยสารที่เดินทางมาจากป้ายก่อนหน้า และมีความต้องการที่จะลงบริเวณจุดจอดนี้
Pick_up_cont_ (bus stop)	ตำแหน่งที่พนักงานขับรถใช้สำหรับการจอดรถ เพื่อการรวบรวมจำนวนผู้โดยสารที่คงเหลืออยู่บนรถและมีความต้องการเดินทางต่อ ก่อนจะมีผู้โดยสารใหม่เข้ามา
Pick_up_(bus stop)	ตำแหน่งที่พนักงานขับรถใช้สำหรับการจอดรถ เพื่อรับผู้โดยสารที่ขึ้นรถและมีความต้องการเดินทางไปยังจุดจอดถัดไป



ภาพประกอบ ง.1 การสร้าง “Location”

ง.2 การสร้าง “Entities”

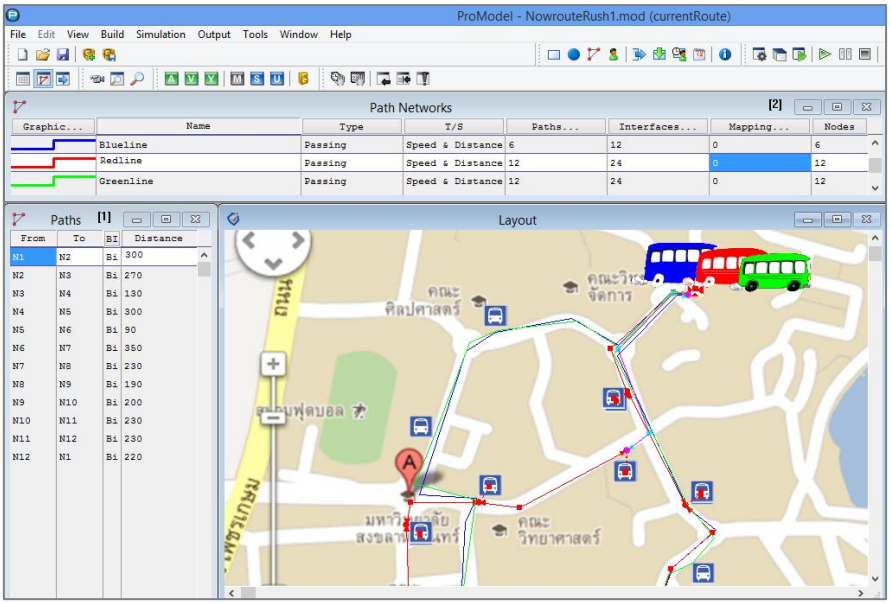
“Entities” คือ วัตถุหรือองค์ประกอบในระบบที่ต้องการนำเสนออย่างชัดเจนในการจำลองแบบ และเป็นสิ่งสำคัญที่ได้รับความสนใจ ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังภาพประกอบ ง.2 โดยที่โปรแกรมสามารถวัดผลลัพธ์ได้หลังจากการจำลอง ซึ่งได้แก่ ผู้โดยสารและพนักงานขับรถทั้ง 3 สาย



ภาพประกอบ ง.2 การสร้าง “Entities”

ง.3 การสร้าง “Path Networks”

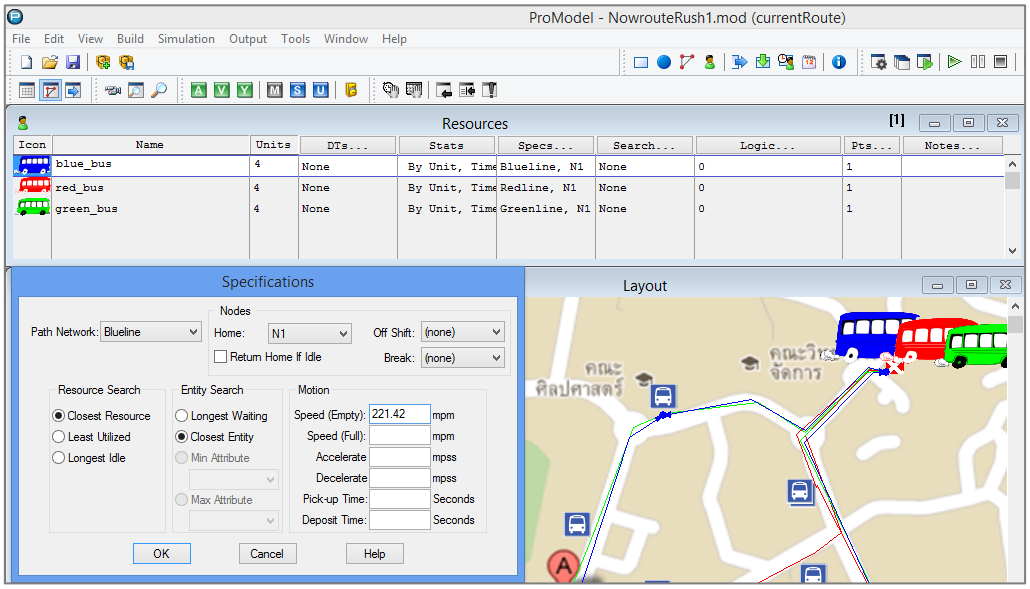
ทำการสร้าง “Path Networks” ของเส้นทางทั้ง 3 เส้นทางในการจำลองแบบปัจจุบัน ตัวอย่างการสร้างเส้นทางแสดงดังภาพประกอบ ง.3 โดยสายสีน้ำเงินเป็นตัวแทนของสายที่ 1 สายสีแดงเป็นตัวแทนของสายที่ 2 และสายสีเขียวเป็นตัวแทนของสายที่ 3 โดยเริ่มจากการสร้าง “Nodes” เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดจอดรถ จากนั้นสร้าง “Interfaces” เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง “Nodes” และ “Locations” ที่ถูกสร้างขึ้นก่อนหน้า จากนั้นสร้าง “Paths” ซึ่งเป็นเส้นทางการเดินรถและระยะทางระหว่างแต่ละจุด



ภาพประกอบ ง.3 การสร้าง “Path Networks”

ง.4 การสร้าง “Resources”

สำหรับในตัวแบบจำลองนี้ ตัวแปร “Resources” คือ รถที่ให้บริการในแต่ละสายดังภาพประกอบ ง.4 โดยที่ในปัจจุบันใน 1 เส้นทางจะมีรถให้บริการ 4 คัน จากนั้นกำหนดความสัมพันธ์ของรถแต่ละสายกับเส้นทางที่สร้างไว้ใน Path networks เพื่อให้รถเดินทางตามเส้นทางและจุดจอดรถที่กำหนด นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดความเร็วของรถได้ สำหรับรถประเภทที่แตกต่างกันหรือเดินทางต่างสายกัน สามารถกำหนดความเร็วที่แตกต่างกันได้



ภาพประกอบ ง.4 การสร้าง “Resources”

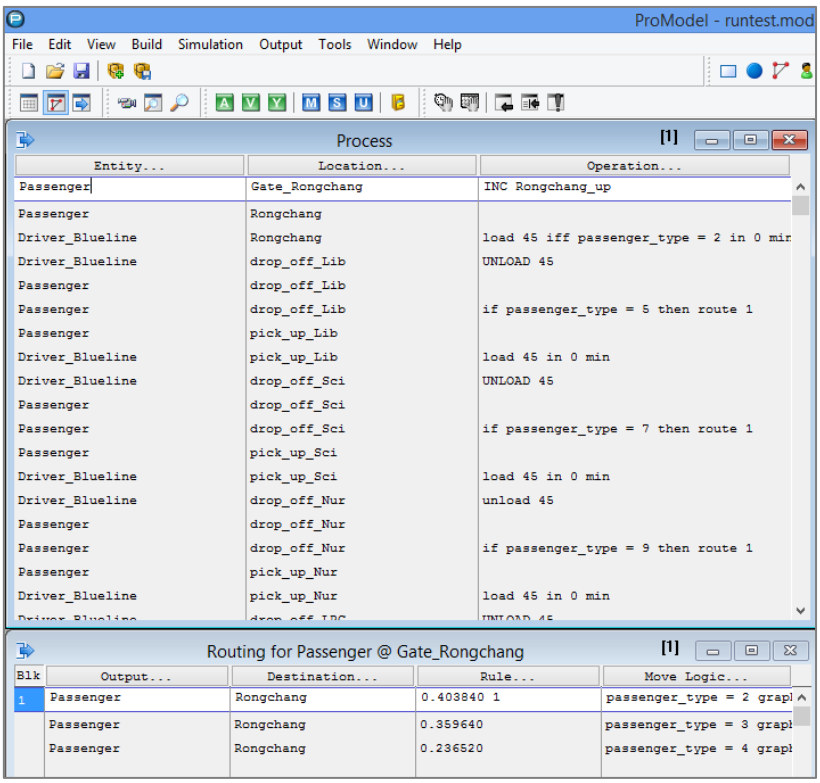
ง.5 การสร้าง “Processing”

การสร้างกระบวนการและลำดับความคิดของตัวแบบ ตามกรอบแนวคิดสำหรับการไหลของการให้บริการรถขนส่งมวลชน ซึ่งลักษณะการสร้างลำดับกระบวนการด้วยคำสั่ง “Processing” แสดงลำดับการทำงานของตัวแบบได้ดังตารางที่ ง.2 และตัวอย่างการสร้าง “Processing” แสดงได้ดังภาพประกอบ ง.5 ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ 1) กระบวนการ (Process) ซึ่งการกำหนดกระบวนการที่ดีนั้น จะต้องสร้างลำดับการทำงานของตัวแบบที่สามารถเลียนแบบพฤติกรรมของระบบจริงได้ โดยในงานวิจัยนี้ กระบวนการจะเริ่มตั้งแต่การเข้ามาของผู้โดยสารที่เข้ามาบริเวณจุดจอดรถ เข้าแถวคอย รถรับผู้โดยสารแล้วเดินทางไปยังจุดจอดรถถัดไป จากนั้นส่งผู้โดยสาร ซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกันในแต่ละจุดจอดรถ จนกระทั่งรถเดินทางกลับมายังสถานี 2) เส้นทาง (routing) เป็นคำสั่งเพื่อกำหนดเส้นทางการเดินทางของ “Entity” ให้สิ้นสุด

กระบวนการที่ “Location” ใดและสามารถกำหนดกฎของการเดินทางได้ เช่น จำแนกปริมาณการเดินทางไปยังจุด “Location” ที่ต่างกัน โดยการกำหนดความน่าจะเป็น (Probability) เป็นต้น

ตารางที่ ง.2 การสร้างลำดับกระบวนการด้วยคำสั่ง “Processing”

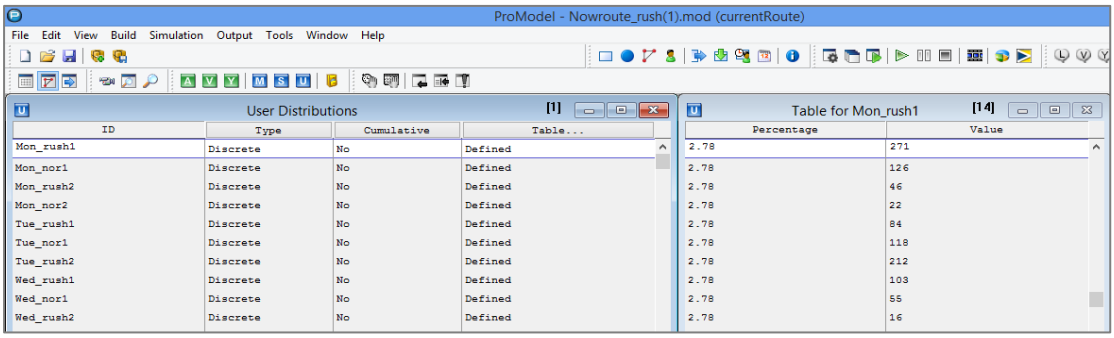
ตำแหน่ง	สิ่งที่สนใจ	ลำดับกระบวนการคิด
สถานี	Passengers	เข้ามาบริเวณสถานี
	Passengers	เลือกเส้นทางการเดินรถตามความต้องการในการเดินทาง
	Passengers	เข้าแถวคอย
	Driver	พิจารณาจำนวนผู้โดยสาร 1) ถ้าผู้โดยสาร เท่ากับ 45 คน (ขีดความสามารถในการบรรทุก = 45) จะรับผู้โดยสารขึ้นรถและเดินทางไปยังจุดจอดถัดไป 2) ถ้าผู้โดยสารน้อยกว่า 45 คน พนักงานขับรถจะรอรับผู้โดยสารตามตารางการเดินรถ จากนั้นเดินทางไปยังจุดจอดถัดไป
	Passengers	1) เดินทางไปกับรถ หากรถสามารถรองรับจำนวนผู้โดยสารได้ (ไม่เกิน 45 คน) 2) รอในแถวคอยหากรถเต็ม (เกิน 45)
จุดจอดรถ	Passengers	แยกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ผู้โดยสารที่มีความต้องการจะลงบริเวณจุดจอดรถ (ออกจากระบบ) กลุ่มที่ 2 ผู้โดยสารต้องการเดินทางต่อไปยังจุดจอดรถถัดไป
	Driver	ส่งผู้โดยสารกลุ่มที่ 1 ลงจากรถ
	Passenger	ลงจากรถ (ออกจากระบบ)
	Passenger	ผู้โดยสารกลุ่มที่ 2 ยังคงอยู่บนรถ
	Passengers	ผู้โดยสารใหม่เข้ามาบริเวณจุดจอดรถ
	Passengers	ผู้โดยสารใหม่รอในแถวคอย
	Driver	รับผู้โดยสารใหม่ โดยที่ผู้โดยสารเดิม (กลุ่มที่ 2) และผู้โดยสารใหม่จะต้องไม่เกิน 45 คนต่อคัน
	Passengers	1) เดินทางไปกับรถ หากรถสามารถรองรับจำนวนผู้โดยสารได้ (ไม่เกิน45 คนต่อคัน) 2) รอในแถวคอยหากรถเต็ม (เกิน 45 คน)



ภาพประกอบ ง.5 การสร้าง “Processing”

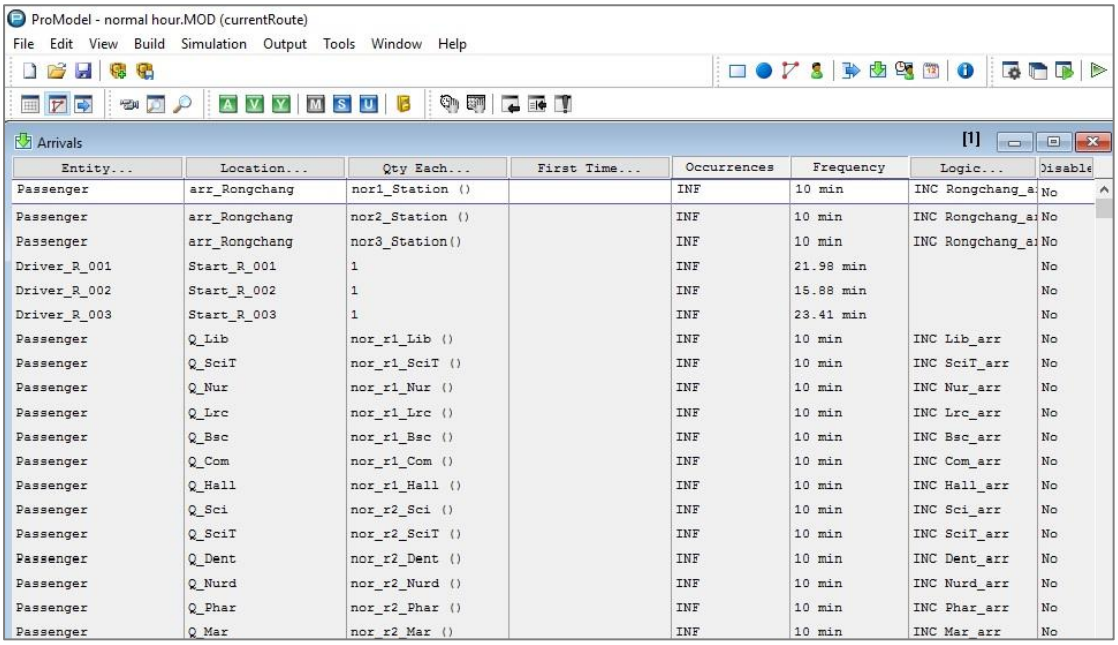
ง.6 การสร้าง “Arrivals”

1) “User Distributions” เนื่องจากการเข้ามาของผู้โดยสารที่บริเวณสถานีและบริเวณจุดจอดรถ ในทุกๆ 10 นาที ไม่สามารถหาการแจกแจงที่ใกล้เคียงกับข้อมูลได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้การแจกแจงแบบ “Empirical” ซึ่งเป็นการป้อนข้อมูลลงในตารางของซอฟต์แวร์โปรโมเดลโดยตรง โดยใช้คำสั่ง “User Distributions” ป้อนข้อมูลปริมาณการเข้ามาของผู้โดยสารในทุกๆ 10 นาที และเปอร์เซ็นต์ความถี่ที่เกิดขึ้น ดังภาพประกอบ ง.6 จากนั้นสามารถเรียกใช้ข้อมูลแต่ละชุดได้ในคำสั่ง “Arrivals”



ภาพประกอบ ง.6 การสร้าง “User Distributions”

2) “Arrivals” คือการกำหนดการเข้ามาของ “Entities” ซึ่งพนักงานขับรถจะเข้ามายังสถานี และผู้โดยสารจะเข้ามายังสถานีและแต่ละจุดจอด ในปริมาณและความถี่ที่กำหนดไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การเข้ามาโดยเรียกใช้คำสั่ง “User distributions” ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แสดงได้ดังภาพประกอบ ง.7

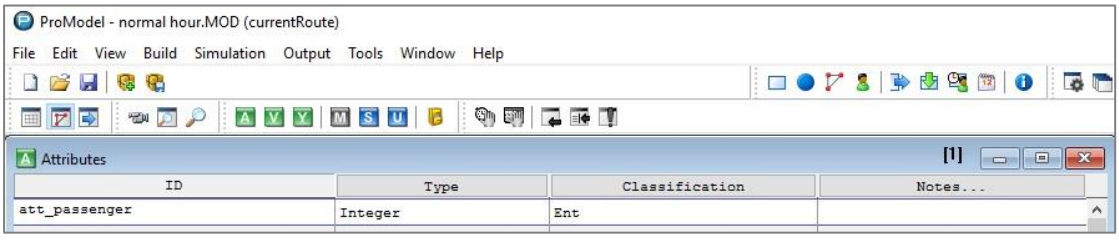


Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...	Disable
Passenger	arr_Rongchang	nor1_Station ()		INF	10 min	INC Rongchang_a	No
Passenger	arr_Rongchang	nor2_Station ()		INF	10 min	INC Rongchang_a	No
Passenger	arr_Rongchang	nor3_Station()		INF	10 min	INC Rongchang_a	No
Driver_R_001	Start_R_001	1		INF	21.98 min		No
Driver_R_002	Start_R_002	1		INF	15.88 min		No
Driver_R_003	Start_R_003	1		INF	23.41 min		No
Passenger	Q_Lib	nor_r1_Lib ()		INF	10 min	INC Lib_arr	No
Passenger	Q_SciT	nor_r1_SciT ()		INF	10 min	INC SciT_arr	No
Passenger	Q_Nur	nor_r1_Nur ()		INF	10 min	INC Nur_arr	No
Passenger	Q_Lrc	nor_r1_Lrc ()		INF	10 min	INC Lrc_arr	No
Passenger	Q_Bsc	nor_r1_Bsc ()		INF	10 min	INC Bsc_arr	No
Passenger	Q_Com	nor_r1_Com ()		INF	10 min	INC Com_arr	No
Passenger	Q_Hall	nor_r1_Hall ()		INF	10 min	INC Hall_arr	No
Passenger	Q_Sci	nor_r2_Sci ()		INF	10 min	INC Sci_arr	No
Passenger	Q_SciT	nor_r2_SciT ()		INF	10 min	INC SciT_arr	No
Passenger	Q_Dent	nor_r2_Dent ()		INF	10 min	INC Dent_arr	No
Passenger	Q_Nurd	nor_r2_Nurd ()		INF	10 min	INC Nurd_arr	No
Passenger	Q_Phar	nor_r2_Phar ()		INF	10 min	INC Phar_arr	No
Passenger	Q_Mar	nor_r2_Mar ()		INF	10 min	INC Mar_arr	No

ภาพประกอบ ง.7 การสร้าง “Arrivals”

ง.7 การสร้าง “Attributes”

เป็นการกำหนดคุณลักษณะของตัวแปรของ “Entities” ซึ่งในที่นี้คือ ผู้โดยสาร ดังภาพประกอบ ง.8 โดยคุณลักษณะนี้ ใช้เพื่อการจำแนกประเภทของผู้โดยสาร ซึ่งแม้ตัวแปรนี้จะหมายถึงผู้โดยสารเหมือนกัน แต่มีคุณลักษณะที่ต่างกัน เช่น “att_passenger = 1” หมายถึงผู้โดยสารที่ต้องการเดินทางกับรถสายที่ 1 แต่ “att_passenger = 2” หมายถึงผู้โดยสารที่ต้องการเดินทางกับรถสายที่ 2 เป็นต้น

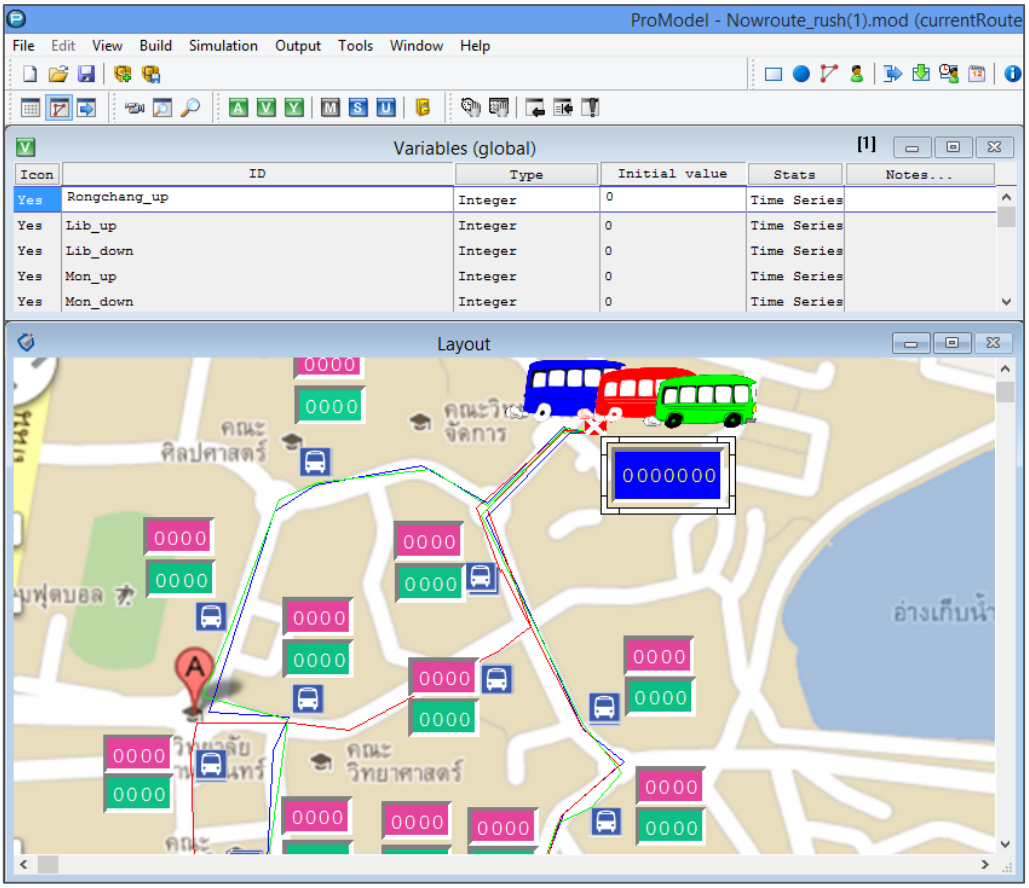


ID	Type	Classification	Notes...
att_passenger	Integer	Ent	

ภาพประกอบ ง.8 การสร้าง “Attributes”

ง.8 การสร้าง “Variables (Global)”

เป็นการกำหนดตัวแปรที่ต้องการเก็บจำนวนข้อมูลของ “Entities” ในระบบ โดยสามารถเลือกให้ตัวแปรแสดงผลได้ในลักษณะช่องนับตัวเลข ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรและแสดงจำนวนของตัวแปร ได้แก่ ทั้งจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาในระบบ จำนวนผู้โดยสารขึ้นและลงจากรถในแต่ละจุดจอดรถ และการนับเที่ยวการเดินรถ แสดงดังภาพประกอบ ง.9



ภาพประกอบ ง.9 การสร้าง “Variables (Global)”

ภาคผนวก จ การประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

ตารางที่ จ.1 ระยะทางระหว่างจุดจอดรถ

ไป / จาก	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	400	590	630	830	830	710	530	430	230	400	740	990	960	1,150	1,020	900
1		0	190	360	560	710	830	650	550	350	550	380	720	690	1,040	1,140	1,020
2			0	170	370	520	640	720	620	540	400	190	530	500	850	950	830
3				0	200	350	470	550	450	370	230	190	360	330	680	810	840
4					0	150	270	450	550	570	430	390	160	130	480	610	640
5						0	120	300	400	600	530	540	310	280	630	610	490
6							0	180	280	480	500	660	430	400	390	310	190
7								0	100	300	320	740	640	580	620	490	370
8									0	200	220	410	710	680	720	590	470
9										0	200	560	730	700	920	790	670
10											0	400	590	560	910	810	690
11												0	350	450	800	930	850
12													0	100	450	580	620
13														0	350	480	600
14															0	130	250
15																0	120
16																	0

ตารางที่ จ.2 การคำนวนค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$)

จุดที่ 0 – จุดที่ i	จุดที่ 0 – จุดที่ j	จุดที่ i – จุดที่ j	$D_{i,0}$	$D_{0,i}$	$D_{i,j}$	$S_{i,j}$
0 - 1	0 - 2	1 - 2	400	590	190	800
0 - 1	0 - 3	1 - 3	400	630	360	670
0 - 1	0 - 4	1 - 4	400	830	560	670
0 - 1	0 - 5	1 - 5	400	830	710	520
0 - 1	0 - 6	1 - 6	400	710	830	280
0 - 1	0 - 7	1 - 7	400	530	650	280
0 - 1	0 - 8	1 - 8	400	430	550	280
0 - 1	0 - 9	1 - 9	400	230	350	280
0 - 1	0 - 10	1 - 10	400	400	550	250
0 - 1	0 - 11	1 - 11	400	850	380	870
0 - 1	0 - 12	1 - 12	400	990	720	670
0 - 1	0 - 13	1 - 13	400	960	690	670
0 - 1	0 - 14	1 - 14	400	1,150	1,040	510
0 - 1	0 - 15	1 - 15	400	1,020	1,140	280
0 - 1	0 - 16	1 - 16	400	900	1,020	280
0 - 2	0 - 3	2 - 3	590	630	170	1,050
0 - 2	0 - 4	2 - 4	590	830	370	1,050
0 - 2	0 - 5	2 - 5	590	830	520	900
0 - 2	0 - 6	2 - 6	590	710	640	660
0 - 2	0 - 7	2 - 7	590	530	720	400
0 - 2	0 - 8	2 - 8	590	430	620	400
0 - 2	0 - 9	2 - 9	590	230	540	280
0 - 2	0 - 10	2 - 10	590	400	400	590
0 - 2	0 - 11	2 - 11	590	850	190	1,250
0 - 2	0 - 12	2 - 12	590	990	530	1,050
0 - 2	0 - 13	2 - 13	590	960	500	1,050
0 - 2	0 - 14	2 - 14	590	1,150	850	890
0 - 2	0 - 15	2 - 15	590	1,020	950	660
0 - 2	0 - 16	2 - 16	590	900	830	660
0 - 3	0 - 4	3 - 4	630	830	200	1,260
0 - 3	0 - 5	3 - 5	630	830	350	1,110
0 - 3	0 - 6	3 - 6	630	710	470	870

ตารางที่ จ.2 การคำนวนค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$) (ต่อ)

จุดที่ 0 – จุดที่ i	จุดที่ 0 – จุดที่ j	จุดที่ i – จุดที่ j	$D_{i,0}$	$D_{0,i}$	$D_{i,j}$	$S_{i,j}$
0 - 3	0 - 7	3 - 7	630	530	550	610
0 - 3	0 - 8	3 - 8	630	430	450	610
0 - 3	0 - 9	3 - 9	630	230	370	490
0 - 3	0 - 10	3 - 10	630	400	230	800
0 - 3	0 - 11	3 - 11	630	850	190	1,290
0 - 3	0 - 12	3 - 12	630	990	360	1,260
0 - 3	0 - 13	3 - 13	630	960	330	1,260
0 - 3	0 - 14	3 - 14	630	1,150	680	1,100
0 - 3	0 - 15	3 - 15	630	1,020	810	840
0 - 3	0 - 16	3 - 16	630	900	840	690
0 - 4	0 - 5	4 - 5	830	830	150	1,510
0 - 4	0 - 6	4 - 6	830	710	270	1,270
0 - 4	0 - 7	4 - 7	830	530	450	910
0 - 4	0 - 8	4 - 8	830	430	550	710
0 - 4	0 - 9	4 - 9	830	230	570	490
0 - 4	0 - 10	4 - 10	830	400	430	800
0 - 4	0 - 11	4 - 11	830	850	390	1,290
0 - 4	0 - 12	4 - 12	830	990	160	1,660
0 - 4	0 - 13	4 - 13	830	960	130	1,660
0 - 4	0 - 14	4 - 14	830	1,150	480	1,500
0 - 4	0 - 15	4 - 15	830	1,020	610	1,240
0 - 4	0 - 16	4 - 16	830	900	640	1,090
0 - 5	0 - 6	5 - 6	830	710	120	1,420
0 - 5	0 - 7	5 - 7	830	530	300	1,060
0 - 5	0 - 8	5 - 8	830	430	400	860
0 - 5	0 - 9	5 - 9	830	230	600	460
0 - 5	0 - 10	5 - 10	830	400	530	700
0 - 5	0 - 11	5 - 11	830	850	540	1,140
0 - 5	0 - 12	5 - 12	830	990	310	1,510
0 - 5	0 - 13	5 - 13	830	960	280	1,510
0 - 5	0 - 14	5 - 14	830	1,150	630	1,350

ตารางที่ จ.2 การคำนวนค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$) (ต่อ)

จุดที่ 0 – จุดที่ i	จุดที่ 0 – จุดที่ j	จุดที่ i – จุดที่ j	$D_{i,0}$	$D_{0,i}$	$D_{i,j}$	$S_{i,j}$
0 - 5	0 - 15	5 - 15	830	1,020	610	1,240
0 - 5	0 - 16	5 - 16	830	900	490	1,240
0 - 6	0 - 7	6 - 7	710	530	180	1,060
0 - 6	0 - 8	6 - 8	710	430	280	860
0 - 6	0 - 9	6 - 9	710	230	480	460
0 - 6	0 - 10	6 - 10	710	400	500	610
0 - 6	0 - 11	6 - 11	710	850	660	900
0 - 6	0 - 12	6 - 12	710	990	430	1,270
0 - 6	0 - 13	6 - 13	710	960	400	1,270
0 - 6	0 - 14	6 - 14	710	1,150	390	1,480
0 - 6	0 - 15	6 - 15	710	1,020	310	1,420
0 - 6	0 - 16	6 - 16	710	900	190	1,420
0 - 7	0 - 8	7 - 8	530	430	100	860
0 - 7	0 - 9	7 - 9	530	230	300	460
0 - 7	0 - 10	7 - 10	530	400	320	610
0 - 7	0 - 11	7 - 11	530	850	740	640
0 - 7	0 - 12	7 - 12	530	990	640	880
0 - 7	0 - 13	7 - 13	530	960	580	910
0 - 7	0 - 14	7 - 14	530	1,150	620	1,060
0 - 7	0 - 15	7 - 15	530	1,020	490	1,060
0 - 7	0 - 16	7 - 16	530	900	370	1,060
0 - 8	0 - 9	8 - 9	430	230	200	460
0 - 8	0 - 10	8 - 10	430	400	220	610
0 - 8	0 - 11	8 - 11	430	850	410	870
0 - 8	0 - 12	8 - 12	430	990	710	710
0 - 8	0 - 13	8 - 13	430	960	680	710
0 - 8	0 - 14	8 - 14	430	1,150	720	860
0 - 8	0 - 15	8 - 15	430	1,020	590	860
0 - 8	0 - 16	8 - 16	430	900	470	860
0 - 9	0 - 10	9 - 10	230	400	200	430
0 - 9	0 - 11	9 - 11	230	850	560	520
0 - 9	0 - 12	9 - 12	230	990	730	490

ตารางที่ จ.2 การคำนวนค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$) (ต่อ)

จุดที่ 0 – จุดที่ i	จุดที่ 0 – จุดที่ j	จุดที่ i – จุดที่ j	$D_{i,0}$	$D_{0,i}$	$D_{i,j}$	$S_{i,j}$
0 - 9	0 - 13	9 - 13	230	960	700	490
0 - 9	0 - 14	9 - 14	230	1,150	920	460
0 - 9	0 - 15	9 - 15	230	1,020	790	460
0 - 9	0 - 16	9 - 16	230	900	670	460
0 - 10	0 - 11	10 - 11	400	850	420	830
0 - 10	0 - 12	10 - 12	400	990	590	800
0 - 10	0 - 13	10 - 13	400	960	560	800
0 - 10	0 - 14	10 - 14	400	1,150	910	640
0 - 10	0 - 15	10 - 15	400	1,020	810	610
0 - 10	0 - 16	10 - 16	400	900	690	610
0 - 11	0 - 12	11 - 12	850	990	350	1,490
0 - 11	0 - 13	11 - 13	850	960	450	1,360
0 - 11	0 - 14	11 - 14	850	1,150	800	1,200
0 - 11	0 - 15	11 - 15	850	1,020	930	940
0 - 11	0 - 16	11 - 16	850	900	850	900
0 - 12	0 - 13	12 - 13	990	960	100	1,850
0 - 12	0 - 14	12 - 14	990	1,150	450	1,690
0 - 12	0 - 15	12 - 15	990	1,020	580	1,430
0 - 12	0 - 16	12 - 16	990	900	620	1,270
0 - 13	0 - 14	13 - 14	960	1,150	350	1,760
0 - 13	0 - 15	13 - 15	960	1,020	480	1,500
0 - 13	0 - 16	13 - 16	960	900	600	1,260
0 - 14	0 - 15	14 - 15	1,150	1,020	130	2,040
0 - 14	0 - 16	14 - 16	1,150	900	250	1,800
0 - 15	0 - 16	15 - 16	1,020	900	120	1,800

ตารางที่ จ.3 ค่าความประหยัดระหว่างจุดจอด i และจุดจอด j ($S_{i,j}$)

จาก \ ไป	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	800	670	670	520	280	280	280	280	250	870	670	670	510	280	280
2		0	1,050	1,050	900	660	400	400	280	590	1,250	1,050	1,050	890	660	660
3			0	1,260	1,110	870	610	610	490	800	1,290	1,260	1,260	1,100	840	690
4				0	1,510	1,270	910	710	490	800	1,290	1,660	1,660	1,500	1,240	1,090
5					0	1,420	1,060	860	460	700	1,140	1,510	1,510	1,350	1,240	1,240
6						0	1,060	860	460	610	900	1,270	1,270	1,420	1,420	1,420
7							0	860	460	610	640	880	910	1,060	1,060	1,060
8								0	460	610	870	710	710	860	860	860
9									0	430	520	490	490	460	460	460
10										0	850	800	800	640	610	610
11											0	1,490	1,360	1,200	940	900
12												0	1,850	1,690	1,430	1,270
13													0	1,760	1,500	1,260
14														0	2,040	1,800
15															0	1,800
16																0

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5610120038

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2556

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

1. ทุนสำหรับนักศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นอาจารย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2556 (ทุนวิศวะ ม.อ.2) ได้รับจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภทวิจัยสถาบัน ประจำปีงบประมาณ 2557 สัญญาเลขที่ ENG 580975S ได้รับจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. ทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2556 ได้รับจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์, เสกสรร สุธรรมานนท์, วนัฐณพงษ์ คงแก้ว และนิกร ศิริวงศ์ไพศาล. 2558. การใช้การจำลองสถานกาณ์เพื่อปรับปรุงการให้บริการขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนิน งานแห่งชาติ. ชลบุรี, ประเทศไทย, 25-27 มี.ค. 2558. หน้า 70-77.