



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต

ปริญญา

เศรษฐศาสตร์

สาขา

เศรษฐศาสตร์

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร
กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต

Queuing Analysis of Ticket Selling Service System at Mo Chit BTS Skytrain Station

นามผู้วิจัย นางสาววันดา ลีลากิจรุ่งเรือง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ดารารัตน์ วิรุฬผล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ธนาธิกร เหล่าสุทธิ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์โสภณสกล เพชรานนท์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร
กรณีศึกษาสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต

Queuing Analysis of Ticket Selling Service System at Mo Chit BTS Skytrain Station

โดย

นางสาวขวัญตา ลีลากิจรุ่งเรือง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขวัญตา ลีลาภิรุ่งเรือง 2554: การวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการที่ห้องแล็ก
เหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิม
ขวัญสมุทรสาครมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ดร.วราวรรณ วิรุฬผล, Ph.D. 100 หน้า

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการให้บริการและต้นทุนค่าเสีย
โอกาสที่เกิดจากการรอแถวคอยและซื้อบัตรโดยสารของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสและ
วิเคราะห์ต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอยที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตร
โดยสารของระบบการให้บริการในปัจจุบัน รวมทั้งปรับปรุงระบบการให้บริการโดยพิจารณา
จำนวนช่องให้บริการที่ก่อให้เกิดต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำที่สุด โดยการวิเคราะห์ใช้แบบจำลอง
แถวคอยที่มี 1 ขั้นตอน หลายช่องให้บริการ-หลายแถวคอย หรือ m M/G/1 ซึ่งจะเก็บรวบรวม
ข้อมูลโดยการนับจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการทุกๆ 3 นาที และบันทึกเวลาที่เจ้าหน้าที่ให้
บริการแก่ผู้โดยสาร 1 ราย รวมทั้งเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามเพื่อใช้ในการประเมินต้นทุนค่าเสีย
โอกาสจากการรอรับบริการ ซึ่งขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้มีจำนวนเท่ากับ 380 ตัวอย่าง

จากการศึกษาระบบแถวคอยที่ห้องแลกเหรียญพบว่า อัตราการเข้ารับบริการของผู้โดยสาร
สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน (07.00-09.00น.) มีค่าเท่ากับ 681.85 คน/ชั่วโมง เวลาในการให้บริการ
มีค่าเท่ากับ 8 วินาที/คน ส่วนระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร อัตราการเข้ารับบริการ
ของผู้โดยสารสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน (07.00-09.00น.) และนอกชั่วโมงเร่งด่วน (13.00-15.00น.)
มีค่าเท่ากับ 414.77 และ 272.20 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ เวลาในการให้บริการสำหรับทั้งสองช่วง
เวลามีค่าเท่ากับ 25 และ 20 วินาที/คน ตามลำดับ โดยค่าสถิติที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง
แถวคอยจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับต้นทุนในการให้บริการ และต้นทุนค่าเสียโอกาสจาก
การรอ เพื่อคำนวณต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอย โดยผลจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่า
จำนวนช่องให้บริการที่เหมาะสมของห้องแลกเหรียญสำหรับชั่วโมงเร่งด่วนควรมี 2 ช่องให้
บริการ ส่วนห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน และนอกชั่วโมงเร่งด่วนควรมี 3
และ 2 ช่องให้บริการ ตามลำดับ

Kwanta Leelakitrungruang 2011: Queuing Analysis of Ticket Selling Service System at Mo Chit BTS Skytrain Station. Master of Economics, Major Field: Economics, Department of Economics. Thesis Advisor: Associate Professor Darawan Virunhaphol, Ph.D. 100 pages.

The purpose of this study was to analyze the service cost and opportunity cost of waiting that passengers lost for waiting to exchange coin and buy the ticket. Moreover that analyzed the total cost of queuing system for two service points (exchange coin and ticket selling service point e.g.) and adjusted the amount of service channel to minimize the total cost. The analysis used the single-stage queuing model with multiple servers multiple queues or m M/G/1 queuing model. The study collected the amount of arrival passengers per three minutes, service time per passenger and used the questionnaires to evaluate the opportunity cost of waiting, sample size is 380.

From the study, the arrival rate at exchange coin service point per hour during rush hours (07.00-09.00 am.) was 681.85 passengers and service time per passenger was 8 seconds. The arrival rate at ticket selling service point per hour during rush hours (07.00-09.00 am.) and outside rush hours (13.00-15.00 am.) were 414.77 and 272.20 passengers and service time per passenger were 25 and 20 seconds respectively. The analysis used statistical value, service cost and opportunity cost of waiting to calculate the total cost of queuing system. The study concluded that the amount of exchange coin channel during rush hours should be at least 2 channels and the amount of ticket selling channel during rush hours and outside rush hours should be three and two channels respectively

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงยิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาราวรรณ วิรุพผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ชนารักษ์ เหล่าสุทธิ กรรมการ วิชาการ อาจารย์ ดร.สันหะ เหมวนิช ประธานการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.อ้อทิพย์ ราษฎร์นิยม ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ สำหรับการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกเหนือจากคณาจารย์ทั้ง 4 ท่านแล้ว การวิจัยครั้งนี้จะประสบผลสำเร็จไม่ได้ หากไม่ได้รับคำแนะนำ และความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก คุณทิพย์วรินทร์ บริสุทธิพันธุ์ และการอนุญาตให้เข้าพื้นที่เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลของ บริษัท ระบบขนส่งมวลชน กรุงเทพมหานคร จำกัด (มหาชน) ตลอดจนการให้ความอนุเคราะห์และเสียสละเวลาในการตอบ แบบสอบถามของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา รวมถึงผู้เขียนตำรา เอกสาร บทความต่างๆที่ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและนำมาอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ขวัญตา ลีลาภิรุ่งเรือง
พฤษภาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
ขอบเขตของการวิจัย	8
ประโยชน์ที่ได้รับ	8
ข้อสมมติ	9
นิยามศัพท์	9
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	11
ทฤษฎีแถวคอย	11
แนวคิดเรื่องมูลค่าของเวลา	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	36
ศึกษาระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการ	36
ประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอย	39
ปรับปรุงระบบการให้บริการ	43
กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	43
บทที่ 4 ข้อมูลทั่วไปของรถไฟฟ้าบีทีเอส	44
ประวัติรถไฟฟ้าบีทีเอส	44
โครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้า	45
ระบบรางรถไฟฟ้า	45
ระบบตัวรถไฟฟ้า	45
สิ่งอำนวยความสะดวก	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ข้อมูลความปลอดภัย	47
ระบบขบวนการไฟฟ้า	47
สถานีรถไฟ	48
ระบบและการเตรียมการด้านความปลอดภัย	48
บทที่ 5 ผลและวิจารณ์	49
การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการและต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการรอ	49
การคำนวณค่าสถิติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบแถวคอย	56
การประเมินต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอย	64
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	70
สรุปผลการวิจัย	70
ข้อเสนอแนะ	73
ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้างต่อไป	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก ตัวอย่างตารางบันทึกจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการ	79
ภาคผนวก ข ตัวอย่างตารางบันทึกเวลาในการให้บริการผู้โดยสาร	86
ภาคผนวก ค แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส	93
ภาคผนวก ง ค่าจ้างเฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร	95
ภาคผนวก จ จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส	97
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	100

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเดินทางในเขตกรุงเทพมหานคร จำแนกตามวัตถุประสงค์การเดินทาง ปี 2552	2
2	ความเร็วเฉลี่ยของการเดินทางในช่วงเวลาเร่งด่วนบนถนนสายหลัก ในเขตกรุงเทพมหานคร ปีพ.ศ.2548-2552	2
3	จำนวนผู้โดยสารและอัตราการเติบโตของผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันในเขต กรุงเทพมหานคร ในปี 2547-2552	4
4	จำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2545-2552	5
5	มูลค่าเวลาจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการเดินทาง	25
6	ร้อยละการหักค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ภายในห้องแลกทรีอู และห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อปี	50
7	จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ	52
8	จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามอายุ	52
9	จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามประเภทบัตรโดยสาร	53
10	จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามรายได้เฉลี่ยต่อเดือน	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอที่ประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส	54
12	การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอที่ประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร	56
13	จำนวนผู้โดยสารที่เข้ารับบริการที่ห้องแลกเหรียญต่อชั่วโมงสำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น.	56
14	เวลาในการให้บริการผู้โดยสาร 1 คนของพนักงานที่ห้องแลกเหรียญสำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น.	57
15	ค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องแลกเหรียญจำแนกตามจำนวนช่องให้บริการ	58
16	จำนวนผู้โดยสารที่เข้ารับบริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อชั่วโมงสำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น.	59
17	เวลาในการให้บริการผู้โดยสาร 1 คนของพนักงานที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น.	60
18	ค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารจำแนกตามจำนวนช่องให้บริการ สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น.	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารจำแนกตามจำนวนช่องให้บริการ สำหรับช่วงเวลา 13.00-15.00 น.	63
20	ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องแลกเหรียญสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส	64
21	ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตร สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน และนอกชั่วโมงเร่งด่วน กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้า บีทีเอส	66
22	ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องแลกเหรียญ สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร	67
23	ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนและนอกชั่วโมงเร่งด่วน กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร	68
24	การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอที่ประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสและประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	แสดงจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องแลกหรือทุทุกๆ 3 นาที สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2554	80
2	แสดงจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร ทุกๆ 3 นาที สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2554	82
3	แสดงจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร ทุกๆ 3 นาที สำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2554	84
4	แสดงเวลาในการให้บริการผู้โดยสารแต่ละรายที่ห้องแลกหรือทุ สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2554	87
5	แสดงเวลาในการให้บริการผู้โดยสารแต่ละรายที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2554	89
6	แสดงเวลาในการให้บริการผู้โดยสารแต่ละรายที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2554	91
7	แสดงจำนวนลูกจ้าง ค่าจ้างเฉลี่ย จำแนกตามเพศในเขตกรุงเทพมหานคร	96
8	แสดงจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส แยกตามรายสถานี พ.ศ. 2552	98

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดของการศึกษา	7
2	กระบวนการแถวคอยพื้นฐาน	12
3	ระบบแถวคอยที่มีหนึ่งแถวคอย-หนึ่งช่องให้บริการ	14
4	ระบบหนึ่งขั้นตอน-หลายแถวคอย-หลายช่องทาง	15
5	แสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เกี่ยวกับระบบแถวคอย	20

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีในด้านต่างๆ ได้เติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การดำเนินชีวิตของผู้คนเปลี่ยนแปลงไป การติดต่อสื่อสาร การเดินทางคมนาคมมีความสะดวกสบายมากขึ้น อันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของสิ่งอำนวยความสะดวกและสาธารณูปโภคต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศไทยและเป็นศูนย์กลางการปกครอง เศรษฐกิจ การศึกษา การคมนาคมขนส่ง ตลอดจนความเจริญก้าวหน้าด้านอื่นๆ ของประเทศ อันเป็นสาเหตุสำคัญที่มุ่งใจให้ประชากรจากทั่วทุกภูมิภาคของประเทศตัดสินใจย้ายมาตั้งถิ่นฐานหรือเดินทางมาเพื่อแสวงหาความเจริญ

กรุงเทพมหานครมีพื้นที่รวมทั้งหมด 1,562.2 ตารางกิโลเมตร และมีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ณ สิ้นปี 2551 จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครเฉพาะตามสำมะโนประชากรมีจำนวน 5.7 ล้านคน และอาจสูงถึงประมาณ 7 ล้านคน หากนับรวมจำนวนประชากรแฝง (ประชากรที่อาศัยอยู่โดยมิได้มีรายชื่อในทะเบียนบ้าน) ประกอบกับการที่กรุงเทพมหานครมีอัตราการอพยพของแรงงานเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดความต้องการเดินทางในเขตกรุงเทพมหานครเพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจรพบว่า ประชาชนมีปริมาณความต้องการเดินทางในเขตกรุงเทพมหานครมากถึง 18 ล้านเที่ยวต่อวัน โดยมีวัตถุประสงค์ในการเดินทางที่แตกต่างกัน โดยเดินทางจากบ้านไปยังที่ทำงานมากที่สุดจำนวน 6,739 พันคน-เที่ยว/วัน รองลงมาคือเดินทางไปสถานศึกษาจำนวน 3,155 พันคน-เที่ยว/วัน ดังแสดงในตารางที่ 1

หากพิจารณาตามรูปแบบในการเดินทาง นอกจากการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลแล้ว ประชาชนในเขตกรุงเทพมหานครจะเดินทางโดยระบบขนส่งสาธารณะเป็นหลัก ได้แก่ รถโดยสารประจำทาง รถไฟ รถไฟฟ้า และรถไฟฟ้าใต้ดิน อย่างไรก็ตาม ระบบขนส่งสาธารณะประเภทรถประจำทาง ขสมก. ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินทางหลักของประชาชนในเขตกรุงเทพมหานครยังไม่สามารถอำนวยความสะดวกได้มากนัก เนื่องจากยังคงต้องใช้เส้นทางร่วมกับรถยนต์โดยสารส่วน

บุคคล ส่งผลให้การเดินทางต้องเผชิญกับสภาพการจราจรที่ติดขัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงโมงเร่งด่วน จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ส่วนบุคคลจากการสำรวจและจากแบบจำลอง eBUM ของการเดินทางในช่วงโมงเร่งด่วนช่วงเช้ามีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ปี 2548 จนถึงปี 2550 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในปี 2551-2552 ในขณะที่ความเร็วเฉลี่ยของการเดินทางในช่วงโมงเร่งด่วนช่วงเย็นไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การเดินทางในเขตกรุงเทพมหานคร จำแนกตามวัตถุประสงค์การเดินทางปี 2552
(หน่วย: พันคน-เที่ยว/วัน)

การครอบครองยานพาหนะ	วัตถุประสงค์การเดินทาง				รวม
	เดินทางจากบ้านไปที่ทำงาน	เดินทางจากบ้านไปสถานศึกษา	เดินทางจากบ้านไปยังที่อื่นๆ	เดินทางอื่นๆ	
ไม่มียานพาหนะ	1,283	966	774	350	3,373
รถจักรยานยนต์ 1 คัน	1,603	598	743	634	3,578
รถยนต์ส่วนบุคคล 1 คัน	1,547	712	865	718	3,841
ยานพาหนะมากกว่า 1 คัน	2,306	879	1,299	1,096	5,580
รวม	6,739	3,155	3,681	2,798	16,372

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

ตารางที่ 2 ความเร็วเฉลี่ยของการเดินทางในช่วงเวลาเร่งด่วนบนถนนสายหลักในเขตกรุงเทพมหานคร ปีพ.ศ.2548-2552
(หน่วย: กม./ชม.)

ความเร็ว	2548		2549		2550		2551		2552	
	เช้า	เย็น	เช้า	เย็น	เช้า	เย็น	เช้า	เย็น	เช้า	เย็น
- การสำรวจความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล	17.8	24.8	20.8	26.6	18.8	26	19.4	23.4	19.4	23.9
- แบบจำลองระดับกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (eBUM)	24.7	26.9	18.6	21.2	17.6	20.2	19.9	23.3	21.8	23.2

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

ด้วยเหตุนี้การเดินทางโดยอาศัยรถขนส่งสาธารณะหรือรถโดยสารประจำทางจึงมีอัตราความเร็วเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางรวมลดลงจาก 2.0 ล้านคนต่อวันในปี 2547 เป็น 1.6 ล้านคนต่อวันในปี 2551 หรือลดลงกว่าร้อยละ 22.6 ทั้งนี้ทางเลือกอื่น เช่น รถไฟฟ้าบีทีเอสนั้นมีจำนวนผู้ใช้บริการลดลงเช่นเดียวกัน โดยในปี 2547, 2548, 2549, 2550 และปี 2551 การรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทยมีจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการประมาณ 137,611 คน 134,457 คน 121,144 คน 123,656 คน และ 131,055 คน ตามลำดับ หรือลดลงร้อยละ 4.8 ในปี 2551 เมื่อเทียบกับปี 2547 ในขณะที่จำนวนผู้โดยสารของรถโดยสารประจำทางและรถไฟฟ้าลดลงนั้น ระบบการให้บริการในการเดินทางที่ใหม่กว่า และมีความสะดวกสบายมากกว่า เช่น ระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน และระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสกลับมีผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในปี 2548 และปี 2549 ที่จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันของรถไฟฟ้าบีทีเอสเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้ากว่าร้อยละ 10 ดังแสดงในตารางที่ 3

โครงการรถไฟฟ้าเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบพระชนมพรรษา หรือชื่อที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า รถไฟฟ้าบีทีเอส (BTS sky train) เป็นระบบขนส่งมวลชนแบบรางในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่ช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรในเขตเมืองและเพิ่มทางเลือกในการเดินทางให้มีประสิทธิภาพ ตรงเวลา สะดวกรวดเร็ว และปลอดภัยที่สุดให้กับประชาชน ดำเนินการโดย บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือบีทีเอสซี (BTSC) ภายใต้การให้สัมปทานของกรุงเทพมหานคร มีอายุสัมปทาน 30 ปี โดยมีเส้นทางสายสีเขียวเดินรถไฟฟ้า 2 สายคือ สายสีลมและสายสุขุมวิท ระยะทาง 23.5 กิโลเมตร รวม 23 สถานี

ตารางที่ 3 จำนวนผู้โดยสารและอัตราการเติบโตของผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันในเขตกรุงเทพมหานคร
ในปี 2547-2552

(หน่วย: คนต่อวัน)

ประเภทการเดินทาง	2547	2548	2549	2550	2551
รถโดยสาร ขสมก. ธรรมดา	1,168,055	830,792	766,545	932,947	894,937
รถโดยสาร ขสมก. ปรับอากาศ	902,926	1,124,345	999,846	747,805	708,241
รวมรถโดยสารประจำทาง	2,070,981	1,955,137	1,766,391	1,680,752	1,603,178
อัตราการเจริญเติบโต (ร้อยละ)		(6.0)	(10.0)	(5.0)	(4.6)
รถไฟฟ้า	137,611	134,457	121,144	123,656	131,055
อัตราการเจริญเติบโต (ร้อยละ)		(2.0)	(10.0)	2.0	6.0
รถไฟฟ้าใต้ดิน	73,263	156,720	158,428	163,523	162,099
อัตราการเจริญเติบโต ⁽¹⁾ (ร้อยละ)		n.m.	1.1	3.2	(0.9)
รถไฟฟ้า บีทีเอส ⁽²⁾	316,070	348,904	383,695	361,837	373,562
อัตราการเจริญเติบโต (ร้อยละ)		10.4	10.0	5.7	3.2

หมายเหตุ: (1) เปิดดำเนินการเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2547

(2) สำหรับเดือนมกราคมถึงธันวาคม

ที่มา: กระทรวงคมนาคม โดยนำข้อมูลมาเฉลี่ยตามจำนวนวันปฏิทินซึ่งเท่ากับ 365 วันต่อปี

ในปีพ.ศ. 2552 ระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสได้ให้บริการผู้โดยสารถึง 135.9 ล้านคน คิดเป็นจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันทำงานถึง 425,076 คนต่อวัน นับตั้งแต่ระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสเริ่มเปิดให้บริการ จำนวนผู้โดยสารในระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้จะพบว่าในปี 2551 จะเป็นปีแรกที่จำนวนผู้โดยสารมีการปรับตัวลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากสถานการณ์ความไม่แน่นอนทางการเมือง รวมถึงการทำรัฐประหารในเดือนกันยายน 2549 และเหตุการณ์ระเบิดในกรุงเทพมหานครช่วงปลายปี 2549 เป็นผลให้จำนวนผู้โดยสารในช่วงปี 2551 ลดลงจากช่วงเวลาเดียวกันในปีก่อนหน้า หรือลดลงร้อยละ 3.9 อย่างไรก็ตาม ในปี 2552 จำนวนผู้โดยสารได้เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง โดยจำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.1 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันในปี 2551 ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการคลายความกังวลของประชาชนต่อสถานการณ์ความไม่สงบที่เกิดขึ้นในช่วงก่อนหน้านี้ ประกอบกับตลอดแนวเส้นทางเดินรถไฟฟ้าบีทีเอสยังคงมีการพัฒนาโครงการก่อสร้างหิรัญพัทธ์อย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 4 จำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2545-2552

(หน่วย: พันคน)

จำนวนผู้โดยสาร	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552
จำนวนผู้โดยสาร	79,253	96,491	105,093	118,465	131,887	138,558	133,128	135,939
อัตราการเติบโต (ร้อยละ)	34.7	21.8	8.9	12.7	11.3	5.1	(3.9)	2.1
จำนวนวันที่ให้บริการ	365	365	365	365	365	365	365	365
จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวัน	217.13	264.36	287.14	324.56	361.34	379.61	363.74	372.44
อัตราการเติบโต (ร้อยละ)	34.7	21.8	8.6	13.0	11.3	5.1	(4.2)	2.4
จำนวนผู้โดยสารในวันทำงาน	59,172	73,367	81,226	91,155	101,214	104,790	101,990	104,143
อัตราการเติบโต (ร้อยละ)	37.6	24.0	10.7	12.2	11.0	3.5	(2.7)	2.1
จำนวนวันทำงาน	243	244	247	246	246	241	246	245
จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันทำงาน	243.51	300.68	328.85	370.55	411.44	434.81	414.60	425.08
อัตราการเติบโต (ร้อยละ)	38.2	23.5	9.4	12.7	11.0	5.7	(4.6)	2.5

ที่มา: รายงานประจำปี บริษัท รถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) (2552)

เนื่องจากในแต่ละวันระบบรถไฟฟ้าจะมีผู้โดยสารเข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก ดังนั้นความสะดวกสบายของผู้โดยสารเมื่อมาใช้บริการจึงถือเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่บริษัทให้ความสำคัญ และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆที่จะพาผู้โดยสารเข้าสู่ระบบรถไฟฟ้า หรือแม้แต่พาไปยังอาคารใกล้เคียงสถานี หากพิจารณาโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าจะพบว่าแต่ละสถานีจะแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นพื้นถนนซึ่งเป็นทางเข้าสู่บริเวณสำหรับผู้โดยสาร โดยมีทั้งบันได บันไดเลื่อน และลิฟต์ (บางสถานี) ที่จะนำผู้โดยสารไปยังชั้นจำหน่ายบัตรโดยสาร ชั้นจำหน่ายบัตรโดยสารซึ่งจะเป็นส่วนที่จะนำผู้โดยสารไปยังชานชาลา โดยพื้นที่ส่วนนี้จะประกอบไปด้วย จุดติดต่อสอบถาม ห้องแลกเหรียญ ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติ ร้านค้า ตู้เอทีเอ็ม และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ รวมทั้งชั้นชานชาลาซึ่งเป็นชั้นที่อยู่สูงสุด ซึ่งสถานีโดยทั่วไปจะมีชานชาลาอยู่ 2 ข้าง และมีรางรถไฟฟ้าอยู่ตรงกลาง

สิ่งอำนวยความสะดวกที่ครบครันและระบบการให้บริการที่มีประสิทธิภาพในการจำหน่ายบัตรโดยสารถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำพาผู้โดยสารเข้าสู่ระบบรถไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว หากพิจารณาระบบการจำหน่ายบัตรโดยสารในปัจจุบัน จะพบว่ามีเพียงบางช่วงเวลาของวันเท่านั้นที่จะมีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก เช่น ในช่วงโมงเร่งด่วน ส่งผลให้มีผู้รอรับบริการเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะบริเวณห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร แต่สำหรับนอกช่วงโมงเร่งด่วนกลับมีผู้เข้ามาใช้บริการน้อย ปัญหาการรอคอยของผู้โดยสารจึงไม่เกิดขึ้น ส่งผลให้มีบางช่องให้บริการว่าง และไม่ได้ให้บริการ

ดังนั้นเพื่อให้การตัดสินใจเกี่ยวกับระบบแถวคอยนำมาซึ่งความสมดุลระหว่างต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการและต้นทุนที่เกิดจากการรอคอย งานวิจัยในครั้งนี้จึงทำการวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและจำหน่ายบัตรโดยสารในแต่ละช่วงเวลา เพื่อพิจารณาระบบการให้บริการในปัจจุบัน และพิจารณาจำนวนผู้ให้บริการที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำสุด เพื่อให้ระบบการให้บริการและการจัดการทรัพยากรบุคคลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ตลอดจนสามารถตอบสนองความพึงพอใจแก่ผู้ให้บริการได้สูงสุด



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการให้บริการ และต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการรอแลกเหรียญและซื้อโดยสารของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส
2. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอยที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสารของระบบการให้บริการในปัจจุบัน รวมทั้งปรับปรุงระบบการให้บริการโดยพิจารณาจำนวนช่องให้บริการที่ก่อให้เกิดต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำที่สุด

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการศึกษาระบบแถวคอยที่ 2 จุดให้บริการ คือ ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร ณ สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต
2. ทำการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 07.00-09.00 น. และนอกช่วงเวลาที่ 13.00-15.00 น. ของวันทำงาน ในช่วงวันที่ 4-17 มกราคม พ.ศ. 2554

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการให้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร โดยจะพิจารณาว่าระบบควรมีช่องให้บริการจำนวนเท่าใดที่จะทำให้เกิดต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอยต่ำสุด
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการให้บริการของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสอื่นๆต่อไป

ข้อสมมติ

1. ในการวิเคราะห์ระบบแถวคอยที่ห้องแลกเปลี่ยนและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร จะตั้งข้อสมมติไว้ว่า อัตราการเข้ารับบริการมีการแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson Distribution) และอัตราการให้บริการมีการแจกแจงแบบทั่วไป (General Distribution)
2. กำหนดให้ช่องให้บริการที่ห้องแลกเปลี่ยนมีลักษณะเหมือนกัน (Identical Service Facility)
3. กำหนดให้ช่องให้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารมีลักษณะเหมือนกัน (Identical Service Facility)
4. กำหนดให้ผู้รับบริการไม่มีการสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งการรอคอยกับแถวคอยอื่น

นิยามศัพท์

รถไฟฟ้าบีทีเอส (BTS Skytrain) หมายถึง รถไฟฟ้าของบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ที่ใช้ในการให้บริการแก่ประชาชนทั่วไป

ชั่วโมงเร่งด่วน (Rush Hours) หมายถึง ช่วงเวลาที่คนใช้ในการเดินทางเป็นจำนวนมาก เพื่อไปทำกิจกรรมต่างๆ อาทิเช่น เดินทางไปทำงาน เดินทางไปเรียน เป็นต้น ช่วงเวลาดังกล่าวสามารถแบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงเช้า 07.00-09.00 น. และช่วงเย็น 17.00-19.00 น.

นอกชั่วโมงเร่งด่วน (Outside Rush Hours) หมายถึง ช่วงเวลาที่คนใช้ในการเดินทางเป็นจำนวนน้อยกว่าในชั่วโมงเร่งด่วน หรือนอกช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 17.00-19.00 น.

วันทำงาน (Office Day) หมายถึง วันทำงานปกติตามกำหนดของราชการ คือ ตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์

บัตรโดยสาร (Ticket) หมายถึง บัตรที่ผู้ให้บริการรถไฟฟ้าใช้สำหรับผ่านเข้า-ออกระบบประตูอัตโนมัติทุกครั้ง

บัตรโดยสารแบบเที่ยวเดียว (Single Journey Ticket) หมายถึง บัตรโดยสารชนิดแถบแม่เหล็กที่ผู้ให้บริการสามารถซื้อได้จากเครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญและเครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารอัตโนมัติชนิดรับธนบัตร สามารถใช้เดินทางได้ในระยะทางตามมูลค่าบัตร (15-40 บาท) เพียง 1 เที่ยวการเดินทาง โดยบัตรจะถูกเก็บคืนที่ประตูอัตโนมัติฝั่งขาออก และต้องใช้ภายในวันที่ซื้อเท่านั้น

บัตรโดยสารแบบ 1 วัน (One Day Pass) หมายถึง บัตรโดยสารชนิดแถบแม่เหล็กมูลค่า 120 บาท เป็นบัตรโดยสารที่จำหน่ายโดยพนักงานจำหน่ายบัตรโดยสารประจำสถานี ใช้เดินทางภายในวันที่ซื้อหรือลงทะเบียน โดยไม่จำกัดจำนวนเที่ยวและระยะทาง และไม่สามารถแลกคืนมูลค่าคงเหลือในบัตรได้

บัตรโดยสารแบบเติมเงิน (BTS Sky Smart Pass) หมายถึง บัตรโดยสารชนิดที่ใช้ชิพอิเล็กทรอนิกส์ในการจัดเก็บข้อมูล สามารถนำไปเติมมูลค่าได้ขั้นต่ำ 100 บาทและสูงสุดไม่เกิน 2,000 บาท โดยบัตรมีอายุการใช้งาน 5 ปี จำหน่ายโดยพนักงานจำหน่ายบัตรโดยสารประจำสถานี และผู้โดยสารสามารถผ่านเข้าออกประตูอัตโนมัติได้ด้วยเครื่องอ่านบัตร

บัตรโดยสารแบบ 30 วัน (30-Day Smart Passes) หมายถึง บัตรโดยสารชนิดที่ใช้ชิพอิเล็กทรอนิกส์ในการจัดเก็บข้อมูล สามารถใช้เดินทางได้ภายใน 30 วัน นับตั้งแต่วันที่ซื้อ โดยมีส่วนลดให้ตามประเภทของบัตร คือ บัตรโดยสารแบบ 30 วันสำหรับนักเรียน นักศึกษา (Student Smart Passes) และบัตรโดยสารแบบ 30 วันสำหรับบุคคลทั่วไป (Adult Smart Passes) จำหน่ายโดยพนักงานจำหน่ายบัตรโดยสารประจำสถานีและผู้โดยสารสามารถผ่านเข้าออกประตูอัตโนมัติได้ด้วยเครื่องอ่านบัตร

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

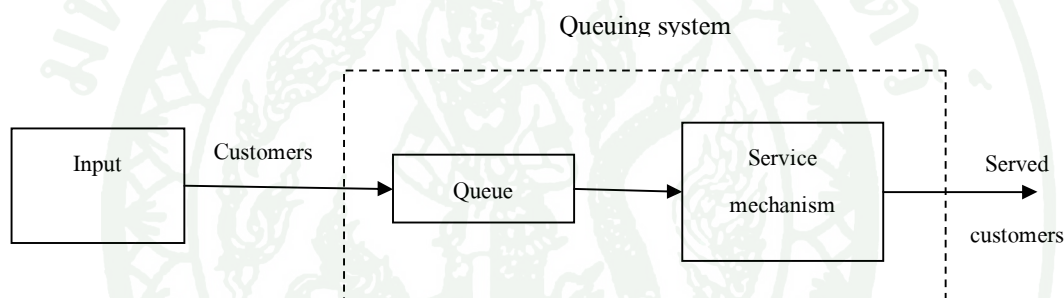
ทฤษฎีแถวคอย

คิว (Queues) หรือแถวคอย (Waiting Line) เป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวันในขณะที่ต้องแถวเพื่อซื้อบัตรชมภาพยนตร์ การทำธุรกรรมทางการเงินกับธนาคาร การซื้อของตามร้านค้าต่างๆ การส่งพัสดุ การซื้ออาหาร หรืออื่นๆ ล้วนเป็นสิ่งที่ทุกคนมีความเคยชินและตอบรับสภาพการรอในแถวคอยเสมอ ถึงแม้ว่าจะมีความไม่สะดวกเกิดขึ้นสำหรับการรอคอยที่ใช้เวลานานจนเกินไปก็ตาม หากทำการพิจารณาให้ถี่ถ้วนสำหรับการรอคอยที่เกิดขึ้นจะพบว่าการรอคอยไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดความรำคาญต่อบุคคลใดบุคคลหนึ่ง แต่เวลาที่สูญเสียไปจากการรอในแถวคอยเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพชีวิตและประสิทธิภาพของการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอีกด้วย เนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์จากการทำกิจกรรมอย่างอื่นได้นั่นเอง (Hillier and Lieberman, 2005)

ผลเสียต่างๆที่เกิดขึ้นจากการรอคอย เช่น เวลาที่เครื่องจักรจะต้องรอคอยการซ่อม ซึ่งโดยแท้จริงแล้วเวลาที่รอคอยสำหรับการซ่อมนั้นสามารถก่อให้เกิดการผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ หากทำการลดเวลารอคอยลงได้ หรือยานพาหนะต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเรือหรือรถบรรทุกที่ต้องรอคอยการขนถ่ายสัมภาระ อันอาจทำให้การขนส่งอีกขั้นตอนหนึ่งล่าช้าได้ หรือกรณีเครื่องบินที่รอการขึ้นหรือลงจอด อาจก่อให้เกิดความล่าช้าต่อตารางการบินอื่นๆได้ รวมทั้งความล่าช้าที่เกิดจากการสื่อสารผ่านดาวเทียม อาจก่อให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลที่ได้รับ เป็นต้น ดังนั้นหากทำการปรับปรุงหรือดำเนินการใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลดเวลาในการรอในแถวคอยลงได้ จะก่อให้เกิดผลดีขึ้นเสมอต่อระบบที่กำลังพิจารณา

1. โครงสร้างพื้นฐานของระบบแถวคอย

กระบวนการของแถวคอยพื้นฐานจะเริ่มต้นจากมีลูกค้าจากกลุ่มประชากร (Input Source or Calling Population) เข้ามาในระบบแถวคอยเพื่อรับบริการ หลังจากนั้นลูกค้าในระบบแถวคอย (Queuing System) จะเข้าสู่กระบวนการโดยผ่านการเข้าแถว (Waiting Line) หรือคิว (Queue) เมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง ลูกค้าคนใดคนหนึ่งจะถูกเลือกเพื่อให้บริการผ่านเงื่อนไขหรือกฎของแถวคอย (Queue Discipline) โดยการให้บริการนั้นลูกค้าจะถูกกระทำผ่านกลไกของการบริการ (Service Mechanism) หลังจากนั้นลูกค้าที่ถูกให้บริการจนเสร็จจะออกจากระบบแถวคอยดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการแถวคอยพื้นฐาน

1.1 ลักษณะของผู้ใช้บริการ

1.1.1 ขนาดของกลุ่มประชากรผู้รับบริการ (Calling Population/Input Source) กลุ่มประชากรคือ จำนวนลูกค้าทั้งหมดที่ต้องการรับบริการจากกระบวนการแถวคอย ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยประชากรทั้งหมดที่เข้ามาในระบบจะเรียกว่า ประชากรที่เข้าสู่กระบวนการ (Calling Population) และลักษณะของกลุ่มประชากรผู้รับบริการสามารถจำแนกตามขนาดได้ 2 ลักษณะ

- 1) กลุ่มประชากรจำนวนจำกัด คือกลุ่มประชากรที่มีจำนวนสมาชิกคงที่จำนวนหนึ่ง
- 2) กลุ่มประชากรจำนวนไม่จำกัด คือกลุ่มประชากรที่มีจำนวนสมาชิกนับไม่ถ้วน

อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพต่างๆที่เกี่ยวข้องกับขนาดของประชากรที่มีจำนวนไม่จำกัด จะมีความสะดวกและง่ายกว่ากรณีที่ขนาดของประชากรมีจำนวนจำกัด ดังนั้นจึงมีการสมมติให้ขนาดของประชากรมีจำนวนไม่จำกัดสำหรับกรณีศึกษาทั่วไป

1.1.2 กระบวนการมาถึง หมายถึงลักษณะการเข้ารับบริการ โดยทั่วไปกระบวนการมาถึงจะไม่แน่นอน กล่าวคือลักษณะการเข้ามาใช้บริการของลูกค้าจะเป็นแบบสุ่ม ซึ่งอธิบายโดยใช้รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็น ข้อสมมติโดยทั่วไปและเป็นที่ยอมรับสำหรับปัญหาแถวคอยจะกำหนดให้รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของการมาถึงมีลักษณะเป็นแบบปัวส์ซอง

ข้อสมมติที่มีความสอดคล้องกับการแจกแจงแบบปัวส์ซองอีกประการหนึ่งคือ ช่วงระยะเวลาห่างของการเข้ามาของลูกค้าแต่ละคนที่ต่อเนื่องกันจะมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution) ทั้งนี้สามารถเรียก ช่วงระยะเวลาห่างของการเข้ามาของลูกค้าแต่ละคนที่ต่อเนื่องกันได้ชื่ออย่างหนึ่งว่า Interarrival Time

1.1.3 พฤติกรรมของผู้รับบริการที่จะเข้าสู่ระบบแถวคอย มีดังนี้

1) การยกเลิกการเข้าแถว (Balking) หมายถึง การที่ผู้เข้ารับบริการพบว่าระบบให้บริการไม่ว่าง และไม่มีความเป็นไปได้ที่จะเข้าแถวคอยให้รอ จึงตัดสินใจไม่รอรับบริการ

2) การสลับตำแหน่ง (Jockeying) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ผู้รับบริการในแถวคอยหนึ่งสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของการรอคอยกับแถวคอยอื่น

3) การยกเลิกการเข้ารับบริการ (Reneging) หมายถึง การที่ผู้เข้ารับบริการรอคอยอยู่ในแถวคอยเป็นระยะเวลาหนึ่งและยังไม่ได้รับบริการ จึงตัดสินใจล้มเลิกความต้องการในการรับบริการและออกจากแถวคอยไป

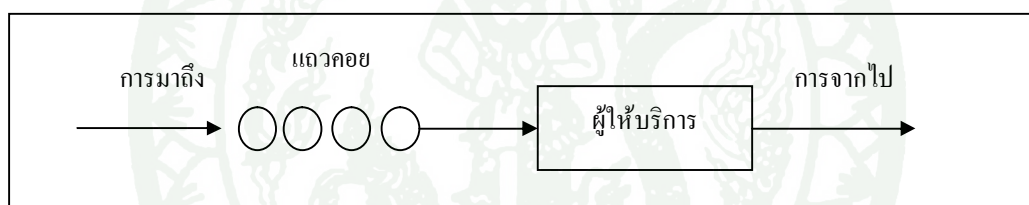
1.2 ลักษณะของระบบแถวคอย

1.2.1 คิว (Queue) หรือแถวคอย (Waiting Line) หมายถึงสถานที่ที่ลูกค้าทำการรอคอยก่อนได้รับบริการ โดยแถวคอยจะถูกกำหนดลักษณะที่สำคัญ นั่นคือ แถวคอยนั้นมีจำนวน

ลูกค้าที่ระบบสามารถรองรับได้สูงสุดเท่าใด โดยทั่วไปแล้วปัญหาตัวแบบแถวคอยมักกำหนดให้มีจำนวนลูกค้าในแถวคอยไม่จำกัด เนื่องจากการวิเคราะห์ปัญหากรณีมีจำนวนลูกค้าในระบบแถวคอยไม่จำกัดสามารถกระทำได้ง่ายกว่านั่นเอง

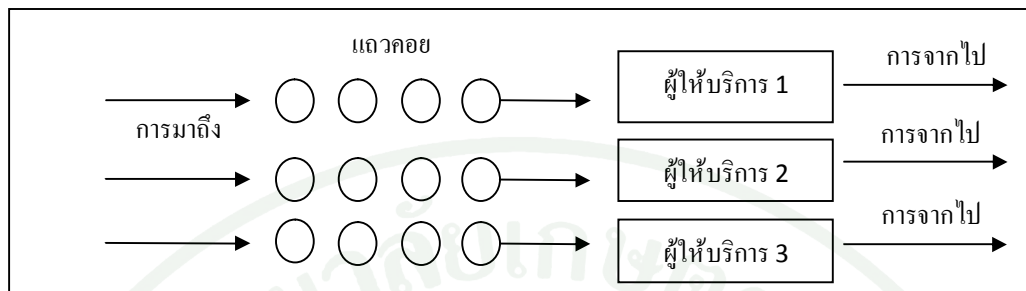
1.2.2 รูปแบบของระบบแถวคอย จะกล่าวถึงเพียง 2 รูปแบบที่สอดคล้องกับกรณีศึกษา โดยแบ่งตามลักษณะขั้นตอนการให้บริการ และจำนวนหน่วยให้บริการ ดังนี้ (Babbar and Sueu, 1995: 691)

1) ระบบแถวคอยที่มี 1 ขั้นตอน เป็นรูปแบบแถวคอยที่มักพบเห็นโดยทั่วไปที่มีแถวคอยเพียงแถวเดียว และผู้ให้บริการหรือช่องให้บริการมีเพียงช่องเดียว ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระบบแถวคอยที่มีหนึ่งแถวคอย-หนึ่งช่องให้บริการ (Queuing Model with Single Queue and Single Server)

2) ระบบแถวคอยที่มีหนึ่งขั้นตอน-หลายแถวคอย-หลายช่องให้บริการ เป็นระบบที่มีผู้ให้บริการหลายช่องทางและมีแถวคอยหลายแถวตามจำนวนผู้ให้บริการ เมื่อผู้ให้บริการคนใดว่าง ลูกค้าลำดับถัดไปในแถวนั้นจะเข้าไปรับบริการ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ระบบแถวคอยที่มีหนึ่งขั้นตอน-หลายแถวคอย-หลายช่องทาง (Single-Stage Queuing Model with Multiple Queues and Multiple Servers)

1.3 ลักษณะของส่วนให้บริการ

1.3.1 ระเบียบการให้บริการ (Queue Discipline) จะเป็นหลักเกณฑ์ของลำดับการเลือกให้บริการสำหรับลูกค้า (Customers) ของผู้ให้บริการ (Server) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลไกการบริการที่มีได้หลากหลายกรณี เช่น การมาก่อนได้รับบริการก่อน ซึ่งเป็นลักษณะของพฤติกรรมบริการให้บริการที่ถูกใช้งานมากที่สุดของตัวแบบแถวคอย

1) การมาก่อนได้รับบริการก่อน (FCFS : First Come First Served หรือ FIFO : First In First Out) กล่าวคือ ลูกค้าที่เข้าสู่ระบบแถวคอยก่อนจะได้รับบริการก่อน ซึ่งเป็นลักษณะของพฤติกรรมบริการให้บริการโดยทั่วไป เช่น การเข้าแถวคอยเพื่อซื้อบัตรชมภาพยนตร์ ละครคอนเสิร์ต รวมทั้งการเข้าแถวคอยที่ห้องขายบัตรโดยสารรถไฟ เป็นต้น

2) การมาหลังได้รับบริการก่อน (LCFS : Last Come First Served หรือ LIFO : Last In First Out) กล่าวคือ ลูกค้าที่เข้าสู่ระบบแถวคอยหลังสุดจะได้รับบริการก่อน เช่น สินค้าที่ลำเลียงเข้ารถบรรทุกเพื่อส่งไปยังร้านค้าต่างๆ โดยสินค้าที่ถูกนำขึ้นไปหลังสุดจะถูกขนลงมาก่อน เนื่องจากความสะดวกในด้านตำแหน่งของสินค้า หรือการเข้า-ออกจากลิฟต์โดยสาร ซึ่งพบว่าคนที่เข้าหลังสุดจะต้องออกจากลิฟต์ก่อน เป็นต้น

3) การให้บริการอย่างสุ่ม (SIRO : Service In Random Order) กล่าวคือ ลูกค้าจะได้รับบริการอย่างสุ่ม เช่น การแจกตัวอย่างสินค้า การขึ้นรถเมล์ของผู้โดยสารบางประเทศ

4) การให้บริการแบบให้อภิสิทธิ์ (PRI : Priority) กล่าวคือ จะเป็นการให้บริการลูกค้าโดยให้ความสำคัญไม่เท่ากัน เช่น การให้บริการที่ห้องฉุกเฉินของโรงพยาบาล

5) การให้บริการแบบทั่วไป (GD : General Discipline) ได้แก่ รูปแบบการให้บริการอื่นๆ ที่ผู้ให้บริการกำหนดหากไม่เข้าเงื่อนไขตามที่ได้อธิบายมา

1.3.2 กลไกของการให้บริการ (Service Mechanism) เวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการดำเนิน การใดๆของผู้ให้บริการที่มีต่อลูกค้า เรียกว่า เวลาในการให้บริการ (Service Time or Holding Time) โดยตัวแบบแถวคอยจะต้องมีการกำหนดการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในการให้บริการดังกล่าวในแต่ละผู้ให้บริการด้วย (ซึ่งอาจแตกต่างกันตามประเภทของลูกค้า) อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปมักมีการสมมติให้มีการแจกแจงความน่าจะเป็นสำหรับเวลาในการให้บริการเป็นรูปแบบเดียวกันในทุกๆผู้ให้บริการ และการแจกแจงที่มีการใช้โดยทั่วไปสำหรับตัวแบบแถวคอย คือ การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

2. การวิเคราะห์ระบบแถวคอย

การศึกษาเกี่ยวกับแถวคอยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เรียนรู้และวิเคราะห์พฤติกรรมการตอบสนองของระบบแถวคอยที่มีต่อผู้เข้ารับบริการ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการให้บริการ (จำนวนผู้ให้บริการ) ค่าใช้จ่าย (Cost) เวลารอคอย (Waiting Time) คาบเวลาทำงาน (Busy Period) เวลาว่าง (Idle Time) และความยาวของแถวคอย (Queue Length) ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบแถวคอย

3. แบบจำลองแถวคอย (Queuing Models)

โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองระบบแถวคอยนิยมแสดงโครงสร้างของแถวคอยด้วยสัญลักษณ์ที่เรียกว่า Kendall's Notation ดังนี้ $1/2/3/4/5/6$ (Claus, 1996: 509)

หมายเลข 1 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาห่างในการเข้ามาของลูกค้าแต่ละรายที่ต่อเนื่องกัน หรือการแจกแจงความน่าจะเป็นของการเข้ามารับบริการ (จำนวนผู้เข้ารับบริการต่อหน่วยเวลา) โดยใช้ตัวย่อ ดังนี้

1) M : ระยะเวลาห่างในการเข้ามาของลูกค้าแต่ละรายที่มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล หรือการเข้ามารับบริการที่มีการแจกแจงแบบปัวซอง

2) D : ระยะเวลาห่างในการเข้ามาของลูกค้าแต่ละรายหรือการเข้ามารับบริการที่มีการแจกแจงแบบตายตัว

3) E_k : ระยะเวลาห่างในการเข้ามาของลูกค้าแต่ละรายหรือการเข้ามารับบริการที่มีการแจกแจงเป็นแบบเออร์แลงที่มี k ขั้นตอน

4) G : ระยะเวลาห่างในการเข้ามาของลูกค้าแต่ละรายหรือการเข้ามารับบริการที่มีการแจกแจงเป็นแบบทั่วไป

หมายเลข 2 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในการให้บริการ โดยใช้ตัวอักษรย่อ ดังนี้

1) M : เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

2) D : เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงเป็นแบบตายตัว

3) E_k : เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงเป็นแบบเออร์แลงที่มี k ขั้นตอน

4) G : เวลาการให้บริการเป็นอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงเป็นแบบทั่วไป

หมายเลข 3 แสดงจำนวนผู้ให้บริการ

หมายเลข 4 แสดงระเบียบหรือเกณฑ์การให้บริการ

1) การมาก่อนได้รับบริการก่อน (FCFS : First Come First Served)

2) การมาหลังได้รับบริการก่อน (LCFS : Last Come First Served)

3) การให้บริการอย่างสุ่ม (SIRO : Service In Random Order)

4) การให้บริการแบบให้อำนาจ (PRI : Priority)

5) การให้บริการแบบทั่วไป (GD : General Discipline)

หมายเลข 5 แสดงจำนวนผู้รับบริการสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้

หมายเลข 6 แสดงขนาดของกลุ่มประชากรที่มีจำนวนจำกัดหรือไม่จำกัด

ตัวอย่างเช่น รูปแบบแถวคอย M/G/1/FCFS/∞/∞ หมายถึง ระบบแถวคอยที่การเข้ามารับบริการของลูกค้ามีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซอง การแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในการให้บริการเป็นแบบทั่วไป และมีหน่วยให้บริการ 1 หน่วย ใช้หลักเกณฑ์การให้บริการลูกค้าในลักษณะมาก่อนได้รับบริการก่อน โดยจำนวนผู้รับบริการสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้ และขนาดของประชากรมีไม่จำกัด

อย่างไรก็ตาม ระบบแถวคอยส่วนใหญ่จะมีระเบียบการให้บริการแบบมาก่อนได้รับบริการก่อน (FCFS) และจำนวนผู้รับบริการสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้มีไม่จำกัด (∞) รวมทั้งขนาดของประชากรมีไม่จำกัด (∞) การแสดงข้อมูลแบบจำลองจะกระชับมากขึ้นเป็น 1/2/3 โดยแสดงลักษณะ 3 ประการของระบบ ได้แก่ การแจกแจงความน่าจะเป็นของการเข้ามารับบริการ การแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาการให้บริการ และจำนวนช่องให้บริการเท่านั้น ตัวอย่างเช่น รูปแบบแถวคอย M/G/1 ซึ่งมีลักษณะเหมือนรูปแบบแถวคอยที่กล่าวมาข้างต้น

4. การคำนวณค่าสถิติต่างๆของระบบแถวคอยแบบ M/G/1 (Gross and Harris, 2008)

โดย λ คือ อัตราการเข้ารับบริการ (จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยที่เข้ามารับบริการใน 1 หน่วยเวลา)

μ คือ อัตราการให้บริการ (จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยที่หน่วยให้บริการแต่ละหน่วยให้บริการใน 1 หน่วยเวลา)

$1/\mu$ คือ เวลาโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการให้บริการลูกค้า 1 ราย

สูตรในการคำนวณค่าสถิติต่างๆในระบบแถวคอย มีดังนี้

- 1) ค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่มีลูกค้าอยู่ในระบบ

$$p_0 = 1 - \rho; \rho = \lambda / \mu$$

- 2) ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีลูกค้า n คนอยู่ในระบบ

$$p_n = (1 - \rho) \rho^n; n = 1, 2, 3, \dots, n$$

- 3) จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยที่อยู่ในแถวคอย

$$L_q = \frac{\rho^2 + \lambda^2 \sigma_B^2}{2(1 - \rho)}$$

- 4) จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ

$$L = \frac{\rho^2 + \lambda^2 \sigma_B^2}{2(1 - \rho)} + \rho$$

- 5) เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าแต่ละรายใช้ในแถวคอย

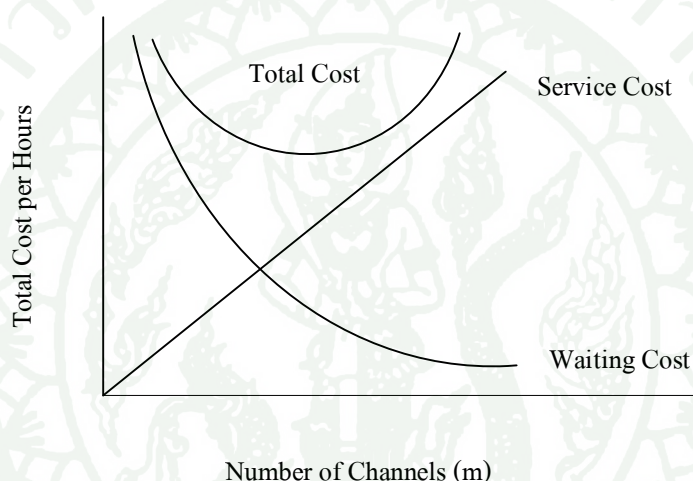
$$W_q = \frac{\rho^2 / \lambda + \lambda \sigma_B^2}{2(1 - \rho)}$$

- 6) เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าแต่ละรายใช้ในระบบ

$$W = \frac{\rho^2 / \lambda + \lambda \sigma_B^2}{2(1 - \rho)} + \frac{1}{\mu}$$

5. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบแถวคอย

การตัดสินใจเกี่ยวกับระบบแถวคอยจะต้องนำมาซึ่งความสมดุลของต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการและปริมาณแถวคอยที่เกิดขึ้น เนื่องจากความสามารถของระบบ (จำนวนผู้ให้บริการ) ที่มีมากจนเกินไปจะทำให้ต้นทุนในระบบแถวคอยเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ความสามารถของระบบที่น้อยจนเกินไปจะก่อให้เกิดแถวคอยที่มีปริมาณมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เกี่ยวกับระบบแถวคอย

จากภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของต้นทุนทั้ง 2 ประเภท คือต้นทุนในการให้บริการ และต้นทุนในการรอของผู้ใช้บริการจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ถ้าต้องการลดต้นทุนในการรอคอยลง จะต้องเพิ่มจำนวนผู้ให้บริการให้มากขึ้น เพื่อให้ลูกค้าได้รับการบริการอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนในด้านการให้บริการ หรือในทางตรงกันข้าม ถ้าลดจำนวนผู้ให้บริการลงก็จะช่วยให้ต้นทุนในการให้บริการลดลง แต่ลูกค้าจะต้องรอในแถวคอยนานขึ้น เนื่องจากหน่วยให้บริการมีน้อย และทำให้ต้นทุนในด้านการรอคอยเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นเป้าหมายของธุรกิจจึงเป็นการพยายามที่จะทำให้เกิดความสมดุลระหว่างต้นทุนในการให้บริการและต้นทุนในการรอ หรือต้องการให้มีต้นทุนรวมในระบบแถวคอยต่ำที่สุด และให้มีจำนวนผู้ให้บริการที่เหมาะสม โดยสามารถแสดงสมการต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องแล็บเครือข่ายและจำหน่ายบัตรโดยสารได้ดังนี้

ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องแลกหรือยูนิตต่อหน่วยเวลา (สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน)

$$TC_1 = m(C_{SE} + C_W \cdot L_1)$$

ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยเวลา (สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน)

$$TC_2 = m(C_{ST} + C_W \cdot L_2)$$

ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยเวลา (สำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วน)

$$TC_3 = m(C_{ST} + C_W \cdot L_3)$$

โดย TC_1 : ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องแลกหรือยูนิตต่อหน่วยของเวลา (สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน)

TC_2 : ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยของเวลา (สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน)

TC_3 : ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยของเวลา (สำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วน)

m : จำนวนหน่วยให้บริการ (ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนแถวคอย)

C_{SE} : ต้นทุนในการให้บริการที่ห้องแลกหรือยูนิตต่อหน่วยเวลา

C_{ST} : ต้นทุนในการให้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยเวลา

C_W : ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอของผู้โดยสารต่อหน่วยของเวลา

L_1 : จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ (ห้องแลกหรือยูนิตสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน)

L_2 : จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ (ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน)

L_3 : จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ (ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วน)

ต้นทุนที่เกี่ยวกับระบบแถวคอยมี 2 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนในการให้บริการและต้นทุนในการรอ

5.1 ต้นทุนในการให้บริการ (Service Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการ ตั้งแต่ค่าจ้างพนักงานให้บริการ เครื่องมือ อุปกรณ์ ค่าสถานที่ ค่าดูแลรักษาเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ฯลฯ ซึ่งจะพบว่าค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะมากขึ้น ถ้าจำนวนหน่วยให้บริการหรือผู้ให้บริการมากขึ้น โดยต้นทุนในการให้บริการที่ห้องแล็บเหรียญและจำหน่ายบัตรสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

1) ต้นทุนในการให้บริการที่ห้องแล็บเหรียญ

$$C_{SE} = S_w + A_M + A_S + A_O + A_{CSH} + F$$

2) ต้นทุนในการให้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

$$C_{ST} = S_w + A_P + A_M + A_S + A_C + A_{CLS} + A_R + A_O + A_{CSH} + F$$

โดยกำหนดให้

S_w คือ ค่าจ้างพนักงานต่อหน่วยเวลา

A_P คือ ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ Point of Sale Terminal (POS) ต่อหน่วยเวลา ซึ่งใช้สำหรับการออกบัตร เติมมูลค่า เติมเที่ยวการเดินทาง และวิเคราะห์สถานะของบัตรโดยสาร

A_M คือ ค่าเสื่อมราคาของไมโคร โฟนต่อหน่วยเวลา

A_S คือ ค่าเสื่อมราคาของลิ้นชักเก็บเงินสดต่อหน่วยเวลา

A_C คือ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องรับชำระบัตรเครดิตต่อหน่วยเวลา

A_{CLS} คือ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องออกบัตรโดยสารประเภทบัตรไร้สัมผัส

(Contactless Smart Card) ต่อหน่วยเวลา

A_R คือ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องวิเคราะห์ออกบัตรโดยสารประเภทแถบแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา

A_O คือ ค่าเสื่อมราคาของเก้าอี้สำนักงานต่อหน่วยเวลา

A_{CSH} คือ ค่าเสื่อมราคาของชั้นวางเหรียญต่อหน่วยเวลา

F คือ ต้นทุนอื่นๆ (กำหนดให้คิดเป็นร้อยละ 5 จากต้นทุนทั้งหมด)

5.2 ต้นทุนในการรอ (Waiting Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการเสียโอกาสในการทำกำไรจากการให้บริการหรือการเสียโอกาสในการทำประโยชน์อื่นๆของลูกค้า ในกรณีที่หน่วยให้บริการไม่สามารถให้บริการลูกค้าได้ทันที ทำให้ลูกค้าต้องเสียเวลาอยู่ในระบบเพื่อรอรับบริการ เช่น บริษัทแห่งหนึ่งมีรถแท็กซี่ให้เช่า ถ้ารถคันใดเสียจะส่งไปให้ช่างซ่อม ในกรณีที่ช่างไม่ว่างเนื่องจากกำลังซ่อมรถคันอื่น จะต้องรอนานกว่าจะได้รับการซ่อมรวมเวลาที่รอและรับบริการซ่อมตั้งแต่ 8.00-16.00 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำให้บริษัทขาดรายได้ค่าเช่าที่ควรจะได้รับเป็นเงิน 1,600 บาท หรือคิดเป็นชั่วโมงละ 200 บาท หรือนั่นคือค่าใช้จ่ายในการรอทั้งหมดเป็น 1,600 บาท และค่าใช้จ่ายในการรอต่อชั่วโมงเป็น 200 บาท เป็นต้น

แนวคิดเรื่องมูลค่าของเวลา

การประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะใช้แนวคิดจากการศึกษาเรื่องมูลค่าของเวลาที่พิจารณารูปแบบการเดินทางของ Munizaga, Correia, Jara-Diaz and Ortuzar (2006) และการศึกษาเรื่องมูลค่าของเวลา (Value of Time) เพื่อใช้ในการประเมินโครงการทางด้านการขนส่งของ Gwilliam (1997) ซึ่งถูกใช้เป็นหลักการพื้นฐานในการกำหนดมูลค่าเวลาของธนาคารโลก (World Bank) รวมทั้งการศึกษามูลค่าของเวลาในการเดินและรอคอยของ Small and Verhoef (2007) ดังต่อไปนี้

จากการศึกษาของ DeSarpa (1997) และ Jara-Diaz and Guevara (2003) ได้กล่าวไว้ว่าอัตราประโยชน์ด้านเวลาของบุคคลจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ ได้แก่ เวลาที่มีอยู่อย่างจำกัดงบประมาณที่มีจำกัด และเทคโนโลยีซึ่งมีผลต่อเวลาขั้นต่ำที่ใช้สำหรับการเดินทางในแต่ละรูปแบบ (Mode) โดยแบบจำลองของเวลาที่ใช้เพื่อการทำงาน (T_{wq}^j) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$T_{wq}^j = \beta(\tau - T_q^j) + \alpha \frac{C_q^j}{w_q} + \sqrt{\left[\beta(\tau - T_q^j) + \alpha \left(\frac{C_q^j}{w_q} \right) \right]^2 - [2(\alpha + \beta) - 1] \frac{C_q^j}{w_q} (\tau - T_q^j) + \eta_q^j}$$

โดย

q = individual q

j = choice of mode j

T_q^j = total travel time

C_q^j = travel cost

τ = total time available

W_q = wage rate for person q

η_q^j = random error term associated to work time

โดยอรรถประโยชน์ด้านเวลาที่ได้รับจะเป็นอรรถประโยชน์ทางอ้อม (indirect utility) ดังนั้นอรรถประโยชน์ทางอ้อมของแต่ละบุคคลจำแนกตามรูปแบบการเดินทาง จะแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$U_q^j \approx \gamma^j + \gamma^t T_q^j + \gamma^c C_q^j + \varepsilon_q^j$$

โดยที่

γ^j = mode specific constant for alternative j

γ^t = marginal utilities of travel time

γ^c = marginal utility of cost

ε_q^j = randomly distributed error term

จากการทำ First order condition of maximum utility problem ได้ค่า value of travel time saving : VTTS (Jara-Diaz and Guevara, 2003) ดังนี้

$$\frac{K}{\lambda} = \frac{\mu}{\lambda} - \frac{\partial U / \partial T_t}{\lambda} = W + \frac{\partial U / \partial T_w}{\lambda} - \frac{\partial U / \partial T_t}{\lambda}$$

โดยที่

$\frac{\mu}{\lambda}$: value of leisure , or value of time as a resource

$\frac{K}{\lambda}$: willingness to pay to reduce the time assigned to travel

$\frac{\partial U / \partial T_i}{\lambda}$: value of assigning time to a particular activity i, such as

work or travel

โดยค่า willingness to pay to reduce the time assigned to travel ($\frac{K}{\lambda}$), value of leisure (μ/λ), value of time assigned to work ($\frac{\partial U / \partial T_w}{\lambda}$) ที่ใช้ในการในการคำนวณหา value of travel time saving : VTTS จะคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{K}{\lambda} = \frac{\gamma^t}{\gamma^c}$$

$$\frac{\mu}{\lambda} = \left(\frac{1-2\beta}{1-2\alpha} \right) \cdot \left(\frac{wT_w - C_t}{\tau - T_w - T_t} \right)$$

$$\frac{\partial U / \partial T_w}{\lambda} = \frac{2\alpha + 2\beta - 1}{1 - 2\alpha} \cdot \frac{(wT_w - C_t)}{T_w}$$

การศึกษาเรื่องมูลค่าของเวลา (Value of Time) เพื่อใช้ในการประเมินโครงการด้านการขนส่งของ Gwilliam (1997) ซึ่งถูกใช้เป็นหลักการพื้นฐานในการกำหนดมูลค่าเวลาของธนาคารโลก (World Bank) ได้นำเสนอการคำนวณมูลค่าเวลาที่จำแนกตามวัตถุประสงค์ของการเดินทางไว้ดังนี้

ตารางที่ 5 มูลค่าเวลาจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการเดินทาง

Trip Purpose	Rationale for Valuing	Default Value	Default Value (%)
Business and work trips	Cost to employer	(1+d)w	133%w
Commuting and non-work	Empirically observed value	0.30w	30% w
Walking/waiting	Empirically observed value	1.5 x value for trip purpose	
for work trip		1.5(1+d)w	199.5% w
for commuting and non-work trip		1.5 x 0.3w	45% w

d = proportion of wages represented by social security, etc., w = wage rate per hour, plus benefit

โดยการเดินทางของผู้โดยสารส่วนใหญ่จะมีวัตถุประสงค์เพื่อเดินทางจากบ้านไปทำงาน เดินทางกลับบ้าน หรือการเดินทางเพื่อเหตุผลส่วนตัว ดังนั้นการเดินทางของผู้โดยสารจะเป็นแบบ commuting and non-work trip ซึ่งมูลค่าของเวลาสำหรับการรอจะเท่ากับ 45% w

และจากการศึกษาเชิงประจักษ์ของ Small and Verhoef (2007) ที่สรุปไว้ว่ามูลค่าของเวลาในการเดินและรอคอยจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.6-2.0 เท่าของเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอคอยอีก 2 ระดับ คือ ร้อยละ 54 ($1.8 \times 0.3w$) และ ร้อยละ 60 ($2.0 \times 0.3w$) ของอัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง โดยอัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมงจะคำนวณจากรายได้เฉลี่ยต่อเดือน/จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อเดือน

โดยการคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี ดังนี้

1) ประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอ โดยคำนวณจากรายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

$C_w = 45\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}]$ หรือ
 $= 45\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$

$C_w = 54\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}]$ หรือ
 $= 54\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$

$C_w = 60\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}]$ หรือ
 $= 60\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$

2) ประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอ โดยคำนวณจากรายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

$C_w = 45\% \times [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}]$ หรือ
 $= 45\% \times [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$

$C_w = 54\% \times [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}]$ หรือ
 $= 54\% \times [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$

$C_w = 60\% \times [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}]$ หรือ
 $= 60\% \times [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรชนก สุวรรณมาโจ (2548) ได้ศึกษาระบบการให้บริการผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลภูมิพล อดุลยเดช ซึ่งประสบกับปัญหาอัตราการให้บริการไม่เพียงพอ โดยการสร้างแบบจำลองระบบการให้บริการผู้ป่วยด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) เพื่อศึกษาจุดที่เกิดปัญหาการรอคอยนานกว่า 2 ชั่วโมง จากนั้นหาแนวทางในการลดเวลาในการรอคอยของผู้ป่วยให้เหลือน้อยกว่า 1.5 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าจุดที่ผู้ป่วยรอคอยนานเกินกว่า 2 ชั่วโมง ได้แก่ ที่ห้องตรวจอายุรกรรม และห้องตรวจจักษุกรรม โดยผู้ศึกษาได้เสนอให้เพิ่มจำนวนแพทย์ที่ห้องตรวจทั้งสองเพื่อลดเวลาในการรอคอย ผลที่ได้จากแบบจำลองพบว่า ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับห้องตรวจอายุรกรรมคือ เพิ่มจำนวนอายุรแพทย์อีก 1 คน สำหรับห้องตรวจจักษุกรรมคือ เพิ่มจำนวนจักษุแพทย์อีก 1 คน และขยายเวลาการออกตรวจจากเดิม 3 ชั่วโมง เป็น 7 ชั่วโมง (08.00-16.00 พักกลางวัน 1 ชั่วโมง)

ดำรงฤทธิ์ พลสุวดี (2551) ได้ศึกษาระบบแถวคอยการรับสมัครนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550 และ 2551 โดยเก็บข้อมูลการเข้ามาสมัครทุกๆ 10 นาที ในแต่ละช่วงเวลาละ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09.00 - 16.00 น. รวม 6 ช่วงเวลา จำนวน 6 วัน โดยการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ตัวแบบแถวคอยแบบโครงข่าย (Queuing Network) ที่เป็นอนุกรมในการวิเคราะห์ ซึ่งมีจุดให้บริการ 3 จุด ได้แก่ จุดตรวจเอกสาร (แบบจำลองแถวคอยคือ M/M/1) จุดบันทึกข้อมูลนักศึกษาลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (แบบจำลองแถวคอยคือ M/M/C) จุดชำระเงินค่าสมัครและออกใบเสร็จ (แบบจำลองแถวคอยคือ M/M/1)

โดยแบบจำลองแถวคอย M/M/1 จะคำนวณค่าสถิติโดยใช้สูตรดังนี้

$$P_0 = 1 - \rho \quad P_n = \rho^n (1 - \rho)$$

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad W = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

แบบจำลองแถวคอย M/M/C จะคำนวณค่าสถิติโดยใช้สูตร

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} (\lambda / \mu)^n + \frac{1}{c!} (\lambda / \mu)^c \frac{(c\mu)}{c\mu - \lambda} \right]^{-1}, \frac{\lambda}{c\mu} < 1$$

$$P_n = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{n! \mu} P_0, 1 \leq n \leq c \\ \frac{\lambda^n}{c^{n-c} c! \mu^n} P_0, n > c \end{cases}$$

$$L_q = \frac{(\lambda / \mu)^c}{(c-1)!} \frac{\lambda \mu}{(c\mu - \lambda)^2} P_0$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

$$L = \lambda W$$

จากการศึกษาพบว่า จุดตรวจเอกสารในช่วงเวลาที่ 2 ที่ 3 และ 4 ควรเพิ่มจำนวนผู้ให้บริการอีก 1 คน และในช่วงเวลาที่ 6 ควรลดจำนวนผู้ให้บริการลง 1 คน โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าจำนวนผู้มารับบริการในระบบโดยเฉลี่ยที่เหมาะสมไว้ไม่เกิน 60 คน/ชั่วโมง และไม่ต่ำกว่า 30 คน/ชั่วโมง และเวลารอคอยของผู้มารับบริการในระบบโดยเฉลี่ยไม่ควรเกิน 1 นาที/คน และไม่ควรมากกว่า 0.5 นาที/คน

Landauer and Becker (1989) ได้ศึกษาแนวทางในการลดเวลารอคอยของผู้โดยสาร ณ จุดตรวจความปลอดภัยของรถที่ผ่านเข้าออก โดยในช่วงเช้าของแต่ละวันจะมีรถส่วนบุคคลผ่านเข้ามาโดยเฉลี่ยเท่ากับ 285 คัน ซึ่งมีเพียง 1 แลวกคอยที่ใช้สำหรับรอเข้ารับบริการที่จุดตรวจ และมีพนักงาน ณ จุดตรวจจำนวน 2 คน นอกจากนี้พื้นที่ในแลวกคอยสามารถรองรับรถได้ประมาณ 40 คัน จึงมีผลให้รถล้นออกมาจากระบบ และส่งผลให้แลวกคอยยาวมาก จนกลายเป็นปัญหาหลักของระบบให้บริการ ผู้วิจัยได้ใช้การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อเปรียบเทียบทางเลือกต่างๆว่า ทางเลือกใดที่ทำให้จำนวนรถโดยเฉลี่ยในระบบแลวกคอยน้อยที่สุด จากการศึกษพบว่า ทางเลือกแรกที่มีการเพิ่มจำนวนพนักงานที่จุดตรวจจาก 2 คน เป็น 3 คน และยังคงมีเพียง 1 แลวกคอย จะช่วยให้จำนวนรถโดยเฉลี่ยที่อยู่ในระบบลดลงจาก 45.5 เป็น 28 คัน อย่างไรก็ตามทางเลือกนี้จะส่งผลให้ต้นทุนในระบบแลวกคอยเพิ่มขึ้น ส่วนทางเลือกที่สองที่มีการเพิ่มแลวกคอยเป็น 2 แลวก และให้พนักงานทั้ง 2 คนอยู่ประจำที่แต่ละแลวกคอย จะช่วยให้จำนวนรถโดยเฉลี่ยที่อยู่ในระบบแลวกคอยลดลงเหลือ 14 คัน และส่งผลให้เวลาในการรอกอยลดลงจากเดิม 30 นาที เหลือ 12 นาที สรุปได้ว่าทางเลือกที่สองจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสม โดยไม่ก่อให้เกิดต้นทุนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้จำนวนรถส่วนบุคคลผ่านเข้ามาในระบบให้บริการเพิ่มขึ้นจาก 285 เป็น 345 คัน

Yun, Huang and Tang (2007) ได้ทำการวิเคราะห์ระบบแถวคอยในการจำหน่ายตั๋วโดยสารของสถานีรถไฟเฉิงตู (Chengdu) โดยใช้ทฤษฎีแถวคอยพื้นฐาน m M/M/1 เปรียบเทียบกับการปรับโครงสร้างของระบบแถวคอยโดยใช้ M/M/m และ การรวมแถวคอย M/M/1 (Merged M/M/1)

โดยแบบจำลองแถวคอย m M/M/1 คือแบบจำลองที่มี m แถวคอย ดังนั้นอัตราการเข้ารับบริการของแต่ละแถวคอยจะเท่ากับ λ/m และ $\rho = \lambda/m\mu$ สูตรในการคำนวณค่าสถิติต่างๆจะเป็นดังนี้

$$P_n = \rho^n (1 - \rho)$$

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$$

$$W = \frac{1}{\mu(1 - \rho)}$$

แบบจำลองแถวคอย M/M/m จะคำนวณค่าสถิติต่างๆ โดยใช้สูตรดังนี้

$$P_n = \begin{cases} \frac{\rho_m^n P_0}{n!}; 1 \leq n \leq m-1 \\ \frac{\rho_m^n P_0}{m^{n-m} m!}; n \geq m \end{cases}$$

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{m-1} \frac{\rho_m^n}{n!} + \frac{m \rho_m^m}{m!(m - \rho_m)} \right]^{-1}$$

$$L = \rho_m + \frac{1 - \rho}{(1 - \rho)^2} P_m$$

$$W = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)^2} P_m + \frac{1}{\mu}$$

$$\text{โดยที่ } \rho_m = \lambda/\mu$$

แบบจำลองแถวคอย Merged M/M/1 จะมีอัตราการให้บริการรวม (total service rate) เท่ากับ $m\mu$ โดยที่ $m=1$ และสามารถคำนวณเวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าอยู่ในระบบได้ดังนี้

$$W = \frac{1}{m\mu(1-\rho)}$$

ในทางทฤษฎีเวลาในการรอคอยเฉลี่ยเมื่อรวมแถวคอย M/M/1 (Merged M/M/1) จะต่ำที่สุด รองลงมาคือ ระบบแถวคอยแบบ M/M/m และท้ายสุดคือระบบแถวคอยแบบ m M/M/1 โดยการรวมแถวคอย M/M/1 จะมีความเหมาะสมเมื่อมีช่องให้บริการบางช่องว่างหรือไม่ได้ให้บริการ อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้จะทำได้ยากในความเป็นจริง เนื่องจากในช่วงเวลาที่มีผู้โดยสารจำนวนมาก เข้ามาใช้บริการ การปรับให้การเข้าคิวเป็นแถวเดียวจะทำให้แถวคอยยาวมาก และยากต่อการควบคุม อย่างไรก็ตามทางเลือกที่เหมาะสมคือ การรวมแถวคอยของช่องให้บริการที่อยู่ใกล้กันแทน ผลจากการศึกษาในส่วนแรกพบว่า ระบบแถวคอยแบบ 2 M/M/1 จะทำให้เวลาในการรอคอยโดยเฉลี่ยของลูกค้าเท่ากับ 10.05 นาที เวลาในการให้บริการเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 นาที อัตราการเข้ารับบริการ 1.12 คนต่อนาที ในขณะที่ระบบแถวคอยแบบ M/M/2 เวลาในการรอคอยเฉลี่ยของลูกค้าเท่ากับ 5.24 นาที อัตราการเข้ารับบริการเท่ากับ 2.24 คนต่อนาที ในขณะที่ Merged M/M/1 จะทำให้เวลาในการรอคอยเฉลี่ยเท่ากับ 5.02 อัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยเท่ากับ 2.24 คนต่อนาที เวลาในการให้บริการเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 นาที ส่วนการศึกษาในส่วนที่สองจะเกี่ยวข้องกับนโยบายในการปิดช่องให้บริการที่มีการใช้งานน้อย เพื่อลดต้นทุนของสถานีรถไฟฟาง ในขณะที่ยังคงรักษาระดับการให้บริการที่เหมาะสมไว้ได้

Mehri, Djemel and Kammou (2008) ได้วิเคราะห์ระบบแถวคอยของสนามบิน โดยใช้ ทฤษฎีแถวคอยและโปรแกรมเชิงเส้นตรง กรณีศึกษา A.I.M.H.B โดยในส่วนแรกจะศึกษาระบบแถวคอยในการให้บริการลงทะเบียนตัวโดยสารของบริษัท Tunisair ที่สนามบิน A.I.M.H.B โดยรูปแบบของระบบแถวคอยจะมีลักษณะเป็น M/M/S หรือระบบแถวคอย 1 ขั้นตอน หลายช่องให้บริการ โดยเวลาในการเข้ามารับบริการมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson) และเวลาในการ

ให้บริการมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential) สูตรในการคำนวณค่าสถิติต่างๆในระบบแถวคอยมีดังนี้

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\rho)^n}{n!} + \frac{(\rho)^s}{s!(1-\frac{\rho}{s})}}$$

$$L = \left[\frac{\rho^s}{\mu s! s(1-\frac{\rho}{s})^2} P_0 + \frac{1}{\mu} \lambda \right]$$

$$W = L / \lambda$$

$$L_q = L - \rho$$

$$W_q = W - \frac{1}{\mu}$$

โดยที่ $\rho = \lambda / \mu$

S คือ จำนวนช่องที่เปิดให้บริการ

จากนั้นคำนวณหาต้นทุนทั้งหมดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระบบแถวคอย ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนในการให้บริการและต้นทุนที่เกิดจากการรอคอย แสดงโดยฟังก์ชันต้นทุน ดังนี้

$$\text{Min } E(\text{TC}) = E(\text{SC}) + E(\text{WC})$$

โดยที่ TC คือ ต้นทุนทั้งหมดที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

SC คือ ต้นทุนในการให้บริการ

WC คือ ต้นทุนในการรอ

$$E(TC) = C_0 + S.C_s + C_a.L_s$$

โดยที่ C_0 คือ ต้นทุนคงที่ของระบบดำเนินงานต่อหน่วยของเวลา

C_s คือ ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการให้บริการลงทะเบียนต่อหน่วยของเวลา

C_a คือ ต้นทุนที่เกิดจากการรอต่อหน่วยเวลา

โดยต้นทุนของผู้ให้บริการที่ใช้ในการคำนวณคือ ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการให้บริการลงทะเบียนต่อชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ค่าจ้างพนักงานที่เคาน์เตอร์ ค่าจ้างพนักงานในการตรวจสอบสัมภาระของผู้โดยสาร ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ในการชั่งน้ำหนัก ค่าเสื่อมราคาของระบบลงทะเบียนตัวโดยสาร ส่วนต้นทุนในการรอของผู้โดยสารจะคำนวณจากค่าจ้างของผู้โดยสารเฉลี่ยต่อชั่วโมงถ่วงน้ำหนักด้วยสัดส่วนของผู้โดยสารในแต่ละระดับรายได้ โดยจำนวนช่องให้บริการที่เหมาะสมจะทำให้ต้นทุนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระบบแถวคอยต่ำที่สุด ในส่วนที่สองจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการการลงจอดของเครื่องบินบริษัท Tunisair ที่ก่อให้เกิดปัญหาในการรอกอย โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ในการแก้ปัญหา จากการศึกษาพบว่า ในส่วนของการให้บริการลงทะเบียนตัวโดยสาร จำนวนช่องให้บริการที่มีอยู่ 10 ช่องถือเป็นจำนวนที่เหมาะสมแล้ว ดังนั้นบริษัทจึงอาจจะใช้วิธีการอื่นในการทำระบบการให้บริการมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น มีวารสารในบริเวณห้องโดยสาร ติดตั้งโทรทัศน์ หรือ จอทีวี เพื่อให้ผู้ใช้บริการมีกิจกรรมระหว่างรอรับบริการและสามารถรอกอยได้นานขึ้น ส่วนการวิเคราะห์แถวคอยในส่วนที่สอง พบว่าจากการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง บริษัทสามารถลดเวลารวมในการลงจอดของเครื่องบิน 46 เที่ยวบินได้ 790 นาที (13 ชั่วโมง 10 นาที) แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนในการบริหารจัดการดังกล่าวจะสูงมาก ผู้ศึกษาจึงได้แนะนำให้ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง

Mital (2010) ได้วิเคราะห์ระบบแถวคอยการให้บริการผู้ป่วยนอกและผู้ป่วยในของโรงพยาบาล เพื่อหาจำนวนบุคลากรทางการแพทย์และจำนวนเตียงผู้ป่วยที่เหมาะสม โดยใช้แบบจำลองแถวคอยหลายช่องทาง (Multi-Channel Queuing Models) เพื่อคำนวณหาเวลาในการรอกอยเฉลี่ย ความยาวของแถวคอย ความน่าจะเป็นที่ทุกหน่วยให้บริการจะไม่ว่าง ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

กำหนดให้ S คือ จำนวนผู้ให้บริการ (จำนวนแพทย์ หรือ จำนวนเตียงผู้ป่วย)
 n คือ จำนวนผู้ป่วยที่รออยู่ในระบบ

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\mu}{\lambda} \right)^n + \frac{1}{s!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right]^{-1}$$

$$P_n = \frac{\frac{1}{s!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s}{\left[1 + \sum_{n=1}^s \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \right]}$$

$$W_q = \frac{\mu(\lambda / \mu)^s}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0$$

$$W = \frac{\mu(\lambda / \mu)^s}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{1}{\mu}$$

$$L_q = \frac{\lambda\mu(\lambda / \mu)^s}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0$$

$$L = \frac{\lambda\mu(\lambda / \mu)^s}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{\lambda}{\mu}$$

จากการศึกษาพบว่า จำนวนบุคลากรทางการแพทย์ที่เหมาะสมควรจะเป็นดังนี้ แพทย์
 จำนวน 14 ราย จักษุแพทย์ ทันตแพทย์ กุมารแพทย์ รังสีแพทย์ พยาธิวิทยาแพทย์ ศัลยแพทย์ อย่าง
 ละ 2 ราย ส่วนการวิเคราะห์จำนวนเตียงผู้ป่วยที่เหมาะสม พบว่าจำนวนเตียงสำหรับผู้ป่วยชาย
 ผู้ป่วยผู้หญิง และสตรีที่เพิ่งคลอด ควรจะมีเท่ากับ 30, 34, 32 เตียง ตามลำดับ

จากการตรวจเอกสารข้างต้นได้นำแนวคิดเกี่ยวกับระบบแถวคอยแบบ m M/M/1 ที่ใช้ในการ
 การวิเคราะห์ระบบการจำหน่ายตั๋วโดยสารที่สถานีรถไฟของ Yun et al. (2007) มาใช้เป็นแนวทาง
 ในการวิเคราะห์ระบบแถวคอย เนื่องจากลักษณะของระบบให้บริการมีลักษณะใกล้เคียงกัน
 กล่าวคือ ระบบจะมีจำนวนผู้ให้บริการมากกว่า 1 ช่อง และแต่ละช่องจะมีแถวคอยเป็นของตนเอง
 (Single-Stage Queuing Model with Multiple Queues and Multiple Servers) และได้้นำแนวคิด

เกี่ยวกับการคำนวณต้นทุนของผู้ให้บริการ ซึ่งประกอบด้วยค่าจ้างพนักงาน และค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้บริการของ Mehri et al. (2008) มาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดจากการให้บริการที่ห้องแล็บเหรียญและจำหน่ายบัตรโดยสาร

ส่วนการประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะใช้แนวคิดจากการศึกษาเรื่องมูลค่าของเวลาที่พิจารณาแบบการเดินทางของ Munizaga et al. (2006) และการศึกษาเรื่องมูลค่าของเวลาเพื่อใช้ในการประเมินโครงการทางด้านการขนส่งของ Gwilliam (1997) รวมทั้งการศึกษามูลค่าของเวลาในการเดินและรอคอยของ Small and Verhoef (2007)

นอกจากนี้ได้นำแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์จำนวนผู้ให้บริการที่เหมาะสมโดยการเพิ่มหรือลดจำนวนผู้ให้บริการของ กรชนก สุวรรณมาโจ (2548); คำรงฤทธิ์ พลสุวดี (2551); Landauer and Becker (1989); Mehri et al. (2008); Mital (2010) มาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบการให้บริการผู้โดยสาร และนำแนวคิดในการแบ่งช่วงเวลาในการศึกษาระบบแถวคอยของ คำรงฤทธิ์ พลสุวดี (2551) มาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดช่วงเวลาและแบ่งช่วงเวลาในการศึกษาเนื่องจากในบางช่วงเวลาระบบจะมีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดปัญหาการรอคอย แต่ในบางช่วงเวลากลับมีผู้เข้ามาใช้บริการน้อย ระบบการให้บริการจึงว่าง

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในการวิเคราะห์ระบบแถวคอยที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต จะประกอบไปด้วย 1) การศึกษาระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร 2) ประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอย 3) ปรับปรุงระบบการให้บริการ โดยการวิเคราะห์จำนวนผู้ให้บริการที่ทำให้ต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำที่สุด 4) กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ศึกษาระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างจากผู้เข้ามาใช้บริการทั้งสองจุดให้บริการ และจะเก็บข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการทุกๆ 3 นาที โดยการใช้การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ และเก็บข้อมูลด้านเวลาในการให้บริการแก่ผู้โดยสาร โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน 07.00-09.00 น. และนอกชั่วโมงเร่งด่วน 13.00 -15.00 น. เฉพาะวันทำงาน ในช่วงวันที่ 4-17 มกราคม พ.ศ. 2554

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร ในช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น. เฉพาะวันทำงาน ในช่วงวันที่ 4-17 มกราคม พ.ศ.2554

2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลที่ห้องแลกหริยญ ในช่วงวันที่ 11-17 มกราคม พ.ศ. 2554 สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. (ซึ่งให้บริการแลกหริยญเฉพาะสถานีที่ราคาค่าโดยสาร 40 บาท)

1) นับจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการทุกๆ 3 นาที เพื่อนำไปใช้คำนวณอัตราการเข้ารับบริการ

2) บันทึกเวลาที่พนักงานให้บริการแลกหริยญต่อผู้โดยสาร 1 ราย เพื่อใช้คำนวณอัตราการให้บริการ

2.2 เก็บรวบรวมข้อมูลที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร ในช่วงวันที่ 4-10 มกราคม พ.ศ. 2554 สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น. (ซึ่งให้บริการแลกหริยญและจำหน่ายบัตรโดยสาร)

1) นับจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการทุกๆ 3 นาที เพื่อนำไปใช้คำนวณอัตราการเข้ารับบริการ

2) บันทึกเวลาที่พนักงานให้บริการแลกหริยญ หรือจำหน่ายบัตรโดยสารให้แก่ผู้โดยสาร 1 ราย เพื่อใช้คำนวณอัตราการให้บริการ

3. การจัดเตรียมข้อมูลและคำนวณหาอัตราการเข้ารับบริการและอัตราการให้บริการ

3.1 กรอกข้อมูลที่จัดเก็บมาลงในโปรแกรมสำเร็จรูป แยกตามจุดให้บริการในแต่ละช่วงเวลา พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูล

3.2 นำข้อมูลจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการต่อหน่วยเวลาและระยะเวลาในการให้บริการต่อผู้โดยสาร 1 ราย มาคำนวณอัตราการเข้ารับบริการ (Arrival Rate) อัตราการให้บริการ (Service Rate) และค่าความแปรปรวนของเวลาในการให้บริการ (Variance of Service Time)

4. วิเคราะห์ระบบแถวคอยและคำนวณค่าสถิติในระบบแถวคอย

ระบบแถวคอยที่ห้องแลกเปลี่ยนเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสารคือ ระบบที่มี 1 ขั้นตอนหลายช่องให้บริการ-หลายแถวคอย (Single-Stage Queuing Model with Multiple Queues and Multiple Servers) และแบบจำลองแถวคอยคือ m M/G/1 parallel and independent models (namely $[M/G/1]^m$) โดยกำหนดให้ m คือ จำนวนช่องให้บริการ (ซึ่งมีจำนวนเท่ากับแถวคอย) ดังนั้นอัตราการเข้ารับบริการของแต่ละแถวคอยคือ λ/m และอัตราการให้บริการคือ μ โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า อัตราการเข้ารับบริการมีการแจกแจงแบบปัวซองส์ (Poisson Distribution) และอัตราการให้บริการมีการแจกแจงแบบทั่วไป (General Distribution) โดยสูตรในการคำนวณค่าสถิติในระบบแถวคอยจะเป็นดังนี้ (Gross and Harris, 2008)

- 1) ค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่มีลูกค้าอยู่ในระบบ

$$p_0 = 1 - \rho; \rho = \lambda / m\mu$$

- 2) จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยที่อยู่ในแถวคอย

$$L_q = \frac{\rho^2 + \lambda^2 \sigma_B^2}{2(1-\rho)}$$

- 3) จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ

$$L = \frac{\rho^2 + \lambda^2 \sigma_B^2}{2(1-\rho)} + \rho$$

- 4) เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าแต่ละรายใช้ในแถวคอย

$$W_q = \frac{\rho^2 / \lambda + \lambda \sigma_B^2}{2(1-\rho)}$$

5) เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าแต่ละรายใช้ในระบบ

$$W = \frac{\rho^2 / \lambda + \lambda \sigma_B^2}{2(1-\rho)} + \frac{1}{\mu}$$

เนื่องจากห้องแลกเทรียมีช่องให้บริการ 2 ช่อง และ 2 แถวคอย ดังนั้นแบบจำลองแถวคอยคือ 2 M/G/1 และห้องจำหน่ายบัตรโดยสารมีช่องให้บริการ 3 ช่อง และ 3 แถวคอย ดังนั้นแบบจำลองแถวคอยคือ 3 M/G/1 จากนั้นคำนวณค่าสถิติต่างๆที่เกี่ยวกับระบบแถวคอยตามที่กล่าวมาข้างต้น และนำจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยของระบบที่ห้องแลกเทรียสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน (L_1) จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยของระบบที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน (L_2) และจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยของระบบที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วน (L_3) ไปใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนรวมของระบบแถวคอย

ประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอย

1. ประเมินต้นทุนในการให้บริการ

โดยพิจารณาจากค่าจ้างพนักงานเฉลี่ยต่อชั่วโมง ค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เฉลี่ยต่อชั่วโมง ดังสมการต่อไปนี้

1) ต้นทุนในการให้บริการที่ห้องแลกเทรีย

$$C_{SE} = S_W + A_M + A_S + A_O + A_{CSH} + F$$

2) ต้นทุนในการให้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

$$C_{ST} = S_W + A_P + A_M + A_S + A_C + A_{CLS} + A_R + A_O + A_{CSH} + F$$

โดยกำหนดให้

S_w คือ ค่าจ้างพนักงานต่อหน่วยเวลา

A_p คือ ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ Point of Sale Terminal (POS) ต่อหน่วยเวลา

A_M คือ ค่าเสื่อมราคาของไมโครโฟนต่อหน่วยเวลา

A_S คือ ค่าเสื่อมราคาของลิ้นชักเก็บเงินสดต่อหน่วยเวลา

A_C คือ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องรับชำระบัตรเครดิตต่อหน่วยเวลา

A_{CLS} คือ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องออกบัตรโดยสารประเภทบัตรไร้สัมผัส (Contactless Smart Card) ต่อหน่วยเวลา

A_R คือ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องวิเคราะห์/ออกบัตรโดยสารประเภทแถบแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา

A_O คือ ค่าเสื่อมราคาของเก้าอี้สำนักงานต่อหน่วยเวลา

A_{CSH} คือ ค่าเสื่อมราคาของชั้นวางเหรียญต่อหน่วยเวลา

F คือ ต้นทุนอื่นๆ (กำหนดให้คิดเป็นร้อยละ 5 จากต้นทุนทั้งหมด)

โดยการคำนวณค่าเสื่อมราคาจะใช้หลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลางที่หักค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ครุภัณฑ์สำนักงานและครุภัณฑ์ไฟฟ้าร้อยละ 33.3 , 12.50 และ 20 ต่อปีตามลำดับ และใช้หลักเกณฑ์การหักค่าเสื่อมราคาสำหรับอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ ตามพระราชกฤษฎีกา ออกตามความในประมวลรัษฎากร ว่าด้วยหักค่าสึกหรอ และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน (ฉบับที่ 145) พ.ศ. 2527 ตามมาตราที่ 4 ซึ่งกล่าวว่าทรัพย์สินอย่างอื่น ซึ่งโดยสภาพของทรัพย์สินนั้นสึกหรอหรือเสื่อมราคาได้นอกจากที่ดินและสินค้าให้หักค่าเสื่อมราคาไม่เกินร้อยละ 20 ต่อปี ซึ่งจะคำนวณจาก [อัตราร้อยละของค่าเสื่อมราคาต่อปีตามประเภททรัพย์สิน * มูลค่าต้นทุนของทรัพย์สิน] จากนั้นนำค่าเสื่อมราคาต่อปีที่คำนวณได้มาคำนวณหาค่าเสื่อมราคาเฉลี่ยต่อชั่วโมง

2. ประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการรอของผู้โดยสาร

การประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการรอของผู้โดยสารสามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

2.1 ประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอ โดยคำนวณจากรายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะใช้วิธีการออกแบบสอบถามรายได้ของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

โดยการประมาณรายได้เฉลี่ยต่อชั่วโมงของผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส กลุ่มประชากรเป้าหมายก็คือ ผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต ส่วนกลุ่มตัวอย่างคือ ผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมีเป้าหมาย เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้จะประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอเฉพาะกลุ่มคนทำงานเท่านั้น ซึ่งผู้ศึกษาได้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากจำนวนประชากรที่เข้าใช้บริการเฉลี่ยในแต่ละวันของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30,122 คนต่อวัน (สำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2552) โดยใช้ตารางการคำนวณกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan ที่กำหนดให้ระดับความเชื่อมั่นมีค่าเท่ากับร้อยละ 95 ทำให้ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 380 คน และจะทำการเก็บข้อมูลในช่วงวันที่ 4-17 มกราคม พ.ศ. 2554 เฉพาะวันทำงาน โดยแสดงการคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอของผู้โดยสารได้ดังนี้

$$C_w = 45\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}] \text{ หรือ}$$

$$= 45\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$$

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น ควรจะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เพื่อช่วยให้การประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอมีความน่าเชื่อถือ และลดความเสี่ยงจากการประเมินผิดพลาด โดยจะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรออีก 2 ระดับ คือ 54% และ 60% ของอัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง ซึ่งแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$C_w = 54\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}] \text{ หรือ}$$

$$= 54\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$$

$$C_w = 60\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}] \text{ หรือ}$$

$$= 60\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$$

2.2 ประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอ โดยคำนวณจากรายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งแสดงสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$C_w = 45\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}] \text{ หรือ } \\ = 45\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$$

$$C_w = 54\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}] \text{ หรือ } \\ = 54\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$$

$$C_w = 60\% * [\text{อัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง}] \text{ หรือ } \\ = 60\% * [\text{รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร/จำนวนชั่วโมงการทำงานใน 1 เดือน}]$$

3. ประเมินต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องแลกรหัสและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

- 1) ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องแลกรหัสต่อหน่วยเวลา (สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน)

$$TC_1 = m(C_{SE} + C_w \cdot L_1)$$

- 2) ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยเวลา (สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน)

$$TC_2 = m(C_{ST} + C_w \cdot L_2)$$

- 3) ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยเวลา (สำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วน)

$$TC_3 = m(C_{ST} + C_w \cdot L_3)$$

โดย TC_1 : ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องแลกเทรียต่อหน่วยของเวลา (สำหรับ ชั่วโมงเร่งด่วน)

TC_2 : ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยของเวลา (สำหรับ ชั่วโมงเร่งด่วน)

TC_3 : ต้นทุนรวมของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยของเวลา (สำหรับนอก ชั่วโมงเร่งด่วน)

m : จำนวนหน่วยให้บริการ (ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนแถวคอย)

C_{SE} : ต้นทุนในการให้บริการที่ห้องแลกเทรียต่อหน่วยเวลา

C_{ST} : ต้นทุนในการให้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อหน่วยเวลา

C_w : ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอของผู้รับบริการต่อหน่วยของเวลา

L_1 : จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ (ห้องแลกเทรียสำหรับ ชั่วโมงเร่งด่วน)

L_2 : จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ (ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับ ชั่วโมงเร่งด่วน)

L_3 : จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ (ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับนอก ชั่วโมงเร่งด่วน)

ปรับปรุงระบบการให้บริการ

เนื่องจากในบางช่วงเวลาระบบมีแถวคอยยาว บางช่วงเวลาไม่มีการรอคอยเกิดขึ้น ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบการให้บริการ จะพิจารณาว่าจำนวนผู้ให้บริการที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาควรจะเป็นเท่าใด เพื่อก่อให้เกิดต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำสุด

กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1) แบบจำลองแถวคอย m M/G/1 เพื่อใช้ในการคำนวณค่าสถิติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบแถวคอย

2) แบบสอบถามผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส สถานีหมอชิต เพื่อใช้ในการประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอรับบริการ

บทที่ 4

ข้อมูลทั่วไปของรถไฟฟ้าบีทีเอส

ประวัติรถไฟฟ้าบีทีเอส

รถไฟฟ้าบีทีเอส ดำเนินการโดยบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) โดยมีทุนจดทะเบียนทั้งสิ้น 21,036 ล้านบาท ทุนออกจำหน่ายและชำระเต็มมูลค่าแล้ว 10,058 ล้านบาท และเริ่มเปิดให้บริการวันที่ 5 ธันวาคม 2542 เป็นต้นมา โดยระบบขนส่งมวลชนมีขีดความสามารถในการให้บริการสูง ทั้งในด้านความเร็ว ความสะดวกสบาย และมีมาตรฐานความตรงต่อเวลาเกือบ 100% ช่วยให้ผู้โดยสารประหยัดเวลาในการเดินทาง และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีส่วนเพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับคนกรุงเทพมหานคร

รถไฟฟ้าบีทีเอสเป็นรถไฟฟ้าสายแรกของประเทศไทย เปิดให้บริการครั้งแรกเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2542 ใน 2 เส้นทาง คือสายสุขุมวิท ซึ่งได้รับชื่อพระราชทานว่า “รถไฟฟ้าเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบ พระชนมพรรษา สาย 1” และสายสีลม ซึ่งได้รับชื่อพระราชทานว่า “รถไฟฟ้าเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบ พระชนมพรรษา สาย 2” ให้บริการทุกวันระหว่างเวลา 06.00-24.00 น. โดยเก็บค่าโดยสารตามระยะการเดินทางจริงของผู้โดยสาร

ระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสเป็นระบบขนส่งมวลชนความจุสูงแบบมาตรฐานที่ใช้กันแพร่หลายในเมืองใหญ่ทั่วไป ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน วิ่งบนรางคู่ยกระดับ แยกทิศทางไปและกลับ โดยมีรางป้อนกระแสไฟฟ้าอยู่ด้านข้าง (Third System) สามารถให้บริการแก่ผู้โดยสารได้มากกว่า 1,000 คนต่อขบวน ในขณะที่การเดินทางโดยรถยนต์ต้องใช้รถยนต์จำนวนมากถึง 800 คัน เพื่อขนส่งผู้โดยสารในจำนวนที่เท่ากัน นับได้ว่าการให้บริการของรถไฟฟ้าบีทีเอส เป็นการพลิกโฉมรูปแบบการเดินทางและเป็นการปฏิวัติมาตรฐานการให้บริการของระบบขนส่งมวลชน

โครงสร้างของสถานีรถไฟ

ขบวนรถไฟ 1 ขบวน ประกอบด้วยตู้โดยสารจำนวน 3 ตู้ หรือ 3 ตู้พ่วงต่อกัน 2 ขบวน สามารถวิ่งกลับทิศทางได้ โดยรถที่ใช้มีอยู่ 2 ประเภทหลัก คือ รถชนิดที่มีห้องคนขับ และมีระบบขับเคลื่อน และรถที่ไม่มีห้องคนขับหรือรถพ่วง ซึ่งมีทั้งชนิดที่มีและไม่มีระบบขับเคลื่อน ตัวถังของรถไฟบีทีเอสผลิตจากเหล็กปลอดสนิม ติดตั้งระบบปรับอากาศ พร้อมหน้าต่างชนิดกันแสง รถแต่ละขบวนมีความกว้างประมาณ 21.8 เมตร จุผู้โดยสารได้กว่า 1,000 คน ในปัจจุบันมีรถอยู่ในระบบทั้งหมด 35 ขบวน และจัดให้มีการตรวจสอบ และบำรุงรักษาตามกำหนดทั้งตัวรถ อุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงรางรถไฟอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการให้บริการผู้โดยสาร และเพื่อให้การซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพ รถไฟบีทีเอสได้ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการบริหารงานซ่อมบำรุง โดยระบบดังกล่าวใช้สำหรับการแจ้งข้อบกพร่องของระบบรถไฟ ออกใบสั่งซ่อมตามกำหนดระยะเวลา หรือเมื่อมีเหตุขัดข้อง เก็บข้อมูลการซ่อมบำรุง เก็บรายการอะไหล่สำรอง และคอยตรวจสอบระดับของอะไหล่สำรอง

ระบบรางรถไฟ

รางรถไฟบีทีเอสมีความยาวประมาณ 60 กิโลเมตร (รวมส่วนต่อขยายสายสีส้มและภายในโรงจอดและซ่อมบำรุง) รองรับการใช้งานเฉลี่ย 477 เที่ยวต่อวัน คิดเป็นระยะทางประมาณ 13,350 กิโลเมตรต่อวัน จึงนับได้ว่ารางของรถไฟบีทีเอสเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยและความต่อเนื่องของการให้บริการ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงเพื่อให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัย และพร้อมสำหรับให้บริการเสมอ กรณีตรวจสอบพบความบกพร่องของรถไฟในส่วนของทางวิ่งหลัก หน่วยงานซ่อมบำรุงจะเร่งดำเนินการซ่อมให้เสร็จสิ้นภายใน 3 ชั่วโมงหลังจากปิดให้บริการ (01.00-04.00 น.) เพื่อให้ทันเวลาเปิดให้บริการ (06.00 น.) แต่หากตรวจสอบพบความบกพร่องที่รางรถไฟภายในโรงจอดและซ่อมบำรุง หน่วยงานซ่อมบำรุงจะดำเนินการแก้ไขในทันที

ระบบตัวรถไฟฟ้า

รถไฟบีทีเอสมีรถไฟอยู่ในระบบทั้งสิ้น 35 ขบวน ในการซ่อมบำรุงรถไฟเหล่านี้จะถูกเรียกเข้าตรวจสอบ และซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่กำหนด และจะทำการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่

ทุกๆ 6 ปี นอกจากนี้บริษัทยังได้เลือกใช้เทคโนโลยี และระบบรถไฟฟ้ายานที่ทันสมัย พร้อมทั้งได้ตรวจสอบแล้วว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- 1) ระบบรางปราศจากรอยต่อ โดยใช้วิธีเชื่อมแล้วปรับแต่งรางให้เรียบ ทำให้ไม่เกิดเสียงเมื่อรถไฟวิ่งผ่าน
- 2) ระบบรองรับรางใช้วัสดุซับเสียงและแรงสั่นสะเทือน
- 3) ระบบล้อใช้ล้อชนิดที่มีอุปกรณ์ช่วยลดเสียงอันเกิดจากการเสียดสีระหว่างล้อกับรางได้
- 4) ช่วงทางโค้ง มีการออกแบบให้รางล่างออกเล็กน้อยเพื่อลดการเสียดสีระหว่างรางกับล้อเหล็ก และที่ล้อมีระบบหล่อลื่นช่วยไม่ให้เกิดเสียงดัง
- 5) ระบบเบรก ใช้เบรกไฟฟ้าในการหยุดรถ ใช้หลักการเปลี่ยนสภาพมอเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งนอกจากจะช่วยหยุดรถไฟแล้วยังนำมาเป็นพลังงานกลับมาใช้ใหม่ โดยไฟฟ้าจะถูกป้อนกลับเข้าสู่ระบบ และเมื่อรถไฟมีความเร็วต่ำกว่า 8 กม./ชม. จึงจะใช้เบรกกล เพื่อให้รถหยุดสนิทตามตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งเบรกกลนี้จะเป็นเบรกชนิดจานที่มีประสิทธิภาพสูงและเงียบ รวมทั้งมีระบบป้องกันล้อล็อก และยังสามารถให้มีความแข็งแรงทนทานเสียง (Noise Barrier) เพื่อลดเสียงด้านข้าง และเพิ่มความสวยงามตลอดเส้นทางที่รถวิ่งอีกด้วย

สิ่งอำนวยความสะดวก

นอกจากการให้บริการที่รวดเร็วและตรงเวลาแล้ว ความสะดวกสบายของผู้โดยสารเมื่อมาใช้บริการถือเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่บริษัทให้ความสำคัญ และมีการพัฒนามาโดยตลอด ไม่ว่าจะเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ที่จะนำผู้โดยสารเข้าสู่ระบบรถไฟฟ้ายาน หรือแม้แต่สำหรับผู้โดยสารไปยังอาคารใกล้เคียงสถานี เช่น ลิฟต์โดยสารสำหรับผู้พิการ หรือผู้ที่มีปัญหาในการขึ้นลงบันไดของสถานี และทางเดินเชื่อมจากสถานีรถไฟฟ้ายานบีทีเอสเข้าสู่อาคาร หรือห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

ข้อมูลความปลอดภัย

รถไฟฟ้าบีทีเอสถือได้ว่าเป็นหนึ่งในระบบขนส่งมวลชนที่มีความปลอดภัยสูง โดยนับตั้งแต่วันแรกที่เปิดให้บริการจนถึงปัจจุบันยังไม่มีรายงานอุบัติเหตุร้ายแรงที่มีผลกระทบต่อผู้โดยสารแต่อย่างใด และเพื่อให้แน่ใจว่าระบบและตัวรถไฟฟ้ามีความปลอดภัยสูงอยู่เสมอ รถไฟฟ้าบีทีเอสได้เตรียมมาตรการตรวจสอบการบำรุงรักษาและมีการปรับปรุงพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง และยังได้จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับกรณีฉุกเฉินไว้ในรถไฟฟ้าทุกขบวนและในทุกสถานี นอกจากนี้ขั้นตอนการปฏิบัติขั้นต้นแล้วยังได้จัดทำคู่มือความปลอดภัยรวมถึงข้อห้าม ทั้งนี้เพื่อเป็นการเตรียมและรับทราบข้อควรปฏิบัติในภาวะปกติและภาวะฉุกเฉิน เพื่อความปลอดภัยของผู้โดยสารเมื่อใช้บริการรถไฟฟ้า นอกจากนั้นในปัจจุบันรถไฟฟ้าบีทีเอสได้พัฒนาเข้าสู่ระบบการจัดการความปลอดภัย (Safety Management System) ตามมาตรฐานของ Lloyd Register Rail ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับทั่วโลก

เนื่องจากระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสเป็นระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ และมีขีดความสามารถในการให้บริการสูง ดังนั้นในแต่ละวันจึงมีผู้โดยสารจำนวนมากเข้ามาใช้บริการ ด้วยเหตุนี้ทางรถไฟฟ้าบีทีเอสจึงได้ให้ความสำคัญในเรื่องของการรักษาความปลอดภัยอย่างเข้มงวด โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้โดยสารเป็นหลัก ด้วยการจัดเตรียมมาตรการรักษาความปลอดภัย รวมถึงเตรียมความพร้อมของบุคลากรและมาตรฐานของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้อยู่ในระบบรถไฟฟ้า

ระบบขบวนรถไฟฟ้า

ในการเดินรถปกติ รถทุกขบวนจะอยู่ภายใต้ระบบเดินรถไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic Train Protection) ซึ่งช่วยควบคุมระยะห่างระหว่างขบวนให้อยู่ในระยะเวลาที่ปลอดภัย รวมถึงการกำหนดความเร็วและควบคุมระบบเปิด-ปิดประตูในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน เช่น กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ ผู้โดยสารสามารถติดต่อกับพนักงานขับรถได้โดยผ่านระบบ Passenger Intercom เพื่อการแจ้งเหตุและแก้ไขปัญหาขั้นต้นและยังได้ติดตั้งถังดับเพลิงชนิดมือถือไว้ในรถไฟฟ้าทุกขบวน

ในส่วนของตัวรถไฟฟ้าได้รับการออกแบบโดยใช้วัสดุที่ช่วยควบคุมไม่ให้เกิดการลุกลามของเพลิงและไม่ก่อให้เกิดควันพิษจากการเผาไหม้ การโอนถ่ายผู้โดยสารสู่สถานีสามารถทำได้โดย

ใช้ประตูฉุกเฉินที่อยู่บริเวณส่วนหัวและส่วนท้ายของขบวน นอกจากนี้ยังมีระบบ Train Radio เพื่อให้พนักงานขับรถสามารถติดต่อกับศูนย์ควบคุมการเดินรถไฟฟ้าได้ตลอดเวลา

สถานีรถไฟฟ้า

โครงสร้างของสถานีได้รับการออกแบบภายใต้พระราชบัญญัติควบคุมอาคารและมีการจัดเส้นทางเพื่อใช้เป็นทางออกฉุกเฉินในทุกสถานี รวมถึงระบบแจ้งเตือนต่างๆ เช่น ระบบประกาศสาธารณะ ระบบเตือนป้องกันและระงับอัคคีภัยตามมาตรฐาน NFPA (National Fire Protection Association) ของประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้โทรทัศน์วงจรปิด ระบบสายดิน สายล่อฟ้าที่มีประจำอยู่ทุกสถานี ยังมีระบบควบคุมประตูอัตโนมัติ บันไดเลื่อน และปุ่มหยุดขบวนรถที่บริเวณชานชาลาเมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน

ระบบและการเตรียมการด้านความปลอดภัย

ในขั้นตอนก่อนการเปิดให้บริการได้มีการทดลองการเดินรถตลอดเส้นทางเป็นเวลา มากกว่า 6 เดือนและภายหลังจากเปิดให้บริการแล้ว ทางรถไฟฟ้าบีทีเอสยังได้จัดให้มีการฝึกฝน ทบทวนในส่วนของพนักงานอยู่เสมอ ซึ่งมีทั้งการฝึกซ้อมแผนการเดินรถแบบปกติ (Normal Operations) และแผนการเดินรถไม่เต็มรูปแบบ (Degraded Operation) รวมถึงแผนการเดินรถฉุกเฉิน (Emergency Operations) ที่ทำการฝึกซ้อมร่วมกับหน่วยงานภายนอกด้วย เช่น ตำรวจท้องที่ ตำรวจดับเพลิง และโรงพยาบาล เป็นต้น

บทที่ 5

ผลและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการที่ห้องแล็บเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้ามหานคร หอมชิด จะประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

1. การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการและต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการรอ
2. การคำนวณค่าสถิติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบแถวคอย
3. การประเมินต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอย

การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการและต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการรอ

1. ต้นทุนการให้บริการ

ต้นทุนการให้บริการจะประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้บริการต่อชั่วโมง และค่าจ้างพนักงานต่อชั่วโมง โดยการคำนวณค่าเสื่อมราคาจะใช้หลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลางที่หักค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ครุภัณฑ์สำนักงานและครุภัณฑ์ไฟฟ้า ร้อยละ 33.3 , 12.50 และ 20 ต่อปี ตามลำดับ และใช้หลักเกณฑ์การหักค่าเสื่อมราคาสำหรับอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ ตามพระราชกฤษฎีกา ออกตามความในประมวลรัษฎากรว่าด้วยหักค่าสึกหรอ และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน (ฉบับที่ 145) พ.ศ. 2527 ตามมาตราที่ 4 ซึ่งกล่าวว่าทรัพย์สินอย่างอื่น ซึ่งโดยสภาพของทรัพย์สินนั้นสึกหรอหรือเสื่อมราคาได้นอกจากที่ดินและสินค้านั้นหักค่าเสื่อมราคาไม่เกินร้อยละ 20 ต่อปี ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ร้อยละการหักค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ภายในห้องแล็บเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อปี

ประเภททรัพย์สิน	อายุการใช้งาน (ปี)	อัตราค่าเสื่อมราคาต่อปี (%)
1. อุปกรณ์ Point of Sale Terminal (POS)	3	33.33
2. ลิ้นชักเก็บเงินสด	5	20
3. ไมโครโฟน	5	20
4. เครื่องรับชำระบัตรเครดิต	5	20
5. เครื่องออกบัตรโดยสารประเภทบัตรไร้สัมผัส (Contactless Smart Card)	5	20
6. เครื่องวิเคราะห์/ออกบัตรโดยสารประเภทแถบแม่เหล็ก	5	20
7. ชั้นวางเหรียญ	5	20
8. เก้าอี้สำนักงาน	8	12.50

- 1) ต้นทุนการให้บริการที่ห้องแล็บเหรียญต่อ 1 ช่องให้บริการ (C_{SE}) จะประกอบไปด้วย
- ค่าเสื่อมราคาของลิ้นชักเก็บเงินสด (A_S) = 0.1130 บาท/ชั่วโมง
 - ค่าเสื่อมราคาของไมโครโฟน (A_M) = 0.1320 บาท/ชั่วโมง
 - ค่าเสื่อมราคาของชั้นวางเหรียญ (A_{CSH}) = 0.0228 บาท/ชั่วโมง
 - ค่าเสื่อมราคาของเก้าอี้สำนักงาน (A_O) = 0.0678 บาท/ชั่วโมง
 - ค่าจ้างพนักงาน (S_w) = 48.2955 บาท/ชั่วโมง
 - ต้นทุนอื่นๆ (F) กำหนดให้คิดเป็นร้อยละ 5 จากต้นทุนทั้งหมด = 2.4316 บาท/ชั่วโมง

ดังนั้นต้นทุนรวมในการให้บริการที่ห้องแล็บเหรียญ (C_{SE}) จะเท่ากับ 51.0627 บาท / ชั่วโมง

2) ต้นทุนการให้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อ 1 ช่องให้บริการ (C_{ST}) จะประกอบไปด้วย

- ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ Point of Sale Terminal (A_p) = 1.4896 บาท/ชั่วโมง
- ค่าเสื่อมราคาของลิ้นชักเก็บเงินสด (A_s) = 0.1130 บาท/ชั่วโมง
- ค่าเสื่อมราคาของไมโครโฟน (A_m) = 0.1320 บาท/ชั่วโมง
- ค่าเสื่อมราคาของเครื่องรับชำระบัตรเครดิต (A_c) = 0.3995 บาท/ชั่วโมง
- ค่าเสื่อมราคาของเครื่องออกบัตรโดยสารประเภทบัตรไร้สัมผัส (A_{CLS}) = 0.1905 บาท/ชั่วโมง
- ค่าเสื่อมราคาของเครื่องวิเคราะห์/ออกบัตรโดยสารประเภทแถบแม่เหล็ก (A_R) = 0.2169 บาท/ชั่วโมง
- ค่าเสื่อมราคาของชั้นวางเหรียญ (A_{CSH}) = 0.0228 บาท/ชั่วโมง
- ค่าเสื่อมราคาของเก้าอี้สำนักงาน (A_o) = 0.0678 บาท/ชั่วโมง
- ค่าจ้างพนักงาน (S_w) = 48.2955 บาท/ชั่วโมง
- ต้นทุนอื่นๆ (F) กำหนดให้คิดเป็นร้อยละ 5 จากต้นทุนทั้งหมด = 2.5464 บาท/ชั่วโมง

ดังนั้นต้นทุนรวมในการให้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารจะเท่ากับ (C_{ST}) จะเท่ากับ 53.4740 บาท / ชั่วโมง

2. ต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการรอรับบริการของผู้โดยสาร

การคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอรับบริการจะใช้แนวคิดจากการศึกษาเรื่องมูลค่าของเวลาของ Munizaga, Correia, Jara-Diaz, Dios Ortuzar (2006) และการศึกษาเรื่องมูลค่าของเวลาเพื่อใช้ในการประเมินโครงการทางด้านการขนส่งของ Kenneth M. Gwilliam (1997) ซึ่งถูกใช้เป็นหลักการพื้นฐานในการกำหนดมูลค่าเวลาของธนาคารโลก (World Bank) รวมทั้งการกำหนดมูลค่าของเวลาในการเดินและรอคอยของ Small, Verhoef (2007)

2.1 ประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอ โดยคำนวณจากรายได้เฉลี่ยต่อชั่วโมงของผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส โดยจากการเก็บแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 380 ตัวอย่างให้ผลดังนี้

ตารางที่ 7 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	ร้อยละ
ชาย	169	45
หญิง	211	55
รวม	380	100

จากตารางข้างต้นพบว่า การเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 211 คนจากทั้งหมด 380 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 55 และกลุ่มตัวอย่างอีกร้อยละ 45 หรือคิดเป็นจำนวน 169 คนจากทั้ง 380 คน เป็นเพศชาย

ตารางที่ 8 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามอายุ

อายุ	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	ร้อยละ
21-25	93	24.5
26-30	191	50.0
31-35	69	18.2
36-40	17	4.5
41-45	9	2.5
46 ปีขึ้นไป	1	0.3
รวม	380	100

จากตารางข้างต้นพบว่า การเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีอายุอยู่ระหว่าง 26-30 ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 50 จากทั้งหมด รองลงมาคือ กลุ่มตัวอย่างที่มีอายุอยู่ระหว่าง 21-25 ปี และ 31-35 ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 24.5 และ 18.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามประเภทบัตรโดยสาร

ประเภทบัตรโดยสาร	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	ร้อยละ
บัตรโดยสารแบบเที่ยวเดียว	72	19
บัตรโดยสารแบบ 1 วัน	2	0.5
บัตรโดยสารแบบเติมเงิน	95	25
บัตรโดยสารแบบ 30 วัน	211	55.5
รวม	380	100

จากตารางข้างต้นพบว่า กลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่ใช้บัตรโดยสารแบบ 30 วันกว่า ร้อยละ 55.5 รองลงมาคือบัตรโดยสารแบบเติมเงิน บัตรโดยสารแบบเที่ยวเดียว และบัตรโดยสารแบบ 1 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 25, 19 และ 0.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามรายได้เฉลี่ยต่อเดือน

รายได้เฉลี่ยต่อเดือน	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	ร้อยละ
ไม่เกิน 10,000	21	5.5
10,001-20,000	169	44.5
20,001-30,000	100	26.3
30,001-40,000	58	15.3
40,001-50,000	27	7.1
≥ 50,001	5	1.3
รวม	380	100

จากตารางข้างต้นพบว่า กลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่มีรายได้อยู่ระหว่าง 10,001-20,000 บาท/เดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 44.5 รองลงมาคือ มีรายได้อยู่ระหว่าง 20,001-30,000 และ 30,001-40,000 บาท/เดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 26.30 และ 15.30 ตามลำดับ ในขณะที่มีกลุ่มตัวอย่างเพียง ร้อยละ 1.30 ที่มีรายได้มากกว่า 50,001 บาท/เดือน และจากการเก็บแบบสอบถามพบว่ารายได้เฉลี่ย

ต่อเดือนของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสมีค่าเท่ากับ 23,700 บาท/เดือน จำนวนวันทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 5 วัน/สัปดาห์ จำนวนชั่วโมงทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 8 ชั่วโมง/วัน โดยข้อมูลดังกล่าวจะนำไปคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอของผู้โดยสารได้ผลดังต่อไปนี้

$$C_w = 45\% * \left[\frac{23,700}{8 * 22} \right]$$

ดังนั้นต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะมีค่าเท่ากับ 60.5966 บาท/ชั่วโมง

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรออีก 2 ระดับ คือ 54% และ 60% ของอัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง จะได้ผลดังนี้

$$C_w = 54\% * \left[\frac{23,700}{8 * 22} \right]$$

ดังนั้นต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะมีค่าเท่ากับ 72.7159 บาท/ชั่วโมง

$$C_w = 60\% * \left[\frac{23,700}{8 * 22} \right]$$

ดังนั้นต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะมีค่าเท่ากับ 80.7955 บาท/ชั่วโมง

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอที่ประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

(หน่วย: บาท/ชั่วโมง)

ร้อยละ	ต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอของผู้ใช้บริการ
45	60.5966
54	72.7159
60	80.7955

2.2 ประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอ โดยคำนวณจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

จากข้อมูลการสำรวจภาวะการทำงานของประชากรจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร พบว่ารายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานครอยู่ที่ 15,365.92 บาท / เดือน (ข้อมูล ณ ไตรมาสที่ 4 ปี 2552) ดังนั้นต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอของผู้ใช้บริการจะคำนวณได้ดังนี้

$$C_w = 45\% * \left[\frac{15,365.92}{8 * 22} \right]$$

ดังนั้นต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะมีค่าเท่ากับ 39.2879 บาท / ชั่วโมง

และทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรออีก 2 ระดับ คือ 54% และ 60% ของอัตราค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมง จะได้ผลดังนี้

$$C_w = 54\% * \left[\frac{15,365.92}{8 * 22} \right]$$

ดังนั้นต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะมีค่าเท่ากับ 47.1454 บาท / ชั่วโมง

$$C_w = 60\% * \left[\frac{15,365.92}{8 * 22} \right]$$

ดังนั้นต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะมีค่าเท่ากับ 52.3838 บาท/ชั่วโมง

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอที่ประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

(หน่วย: บาท/ชั่วโมง)

ร้อยละ	ต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอของผู้ใช้บริการ
45	39.2879
54	47.1454
60	52.3838

การคำนวณค่าสถิติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบแถวคอย

1. การคำนวณค่าสถิติต่างๆของระบบแถวคอยที่ห้องแลกหรียญ

1.1 การคำนวณหาอัตราการเข้ารับบริการที่ห้องแลกหรียญ

การศึกษาในครั้งนี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลที่ห้องแลกหรียญ ในช่วงวันที่ 11-17 มกราคม พ.ศ. 2554 สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. (ซึ่งให้บริการแลกหรียญเฉพาะสถานีที่ราคาค่าโดยสารมีมูลค่า 40 บาท) โดยแสดงข้อมูลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 13 จำนวนผู้โดยสารที่เข้ารับบริการที่ห้องแลกหรียญต่อชั่วโมง สำหรับช่วงเวลา 07.00 - 09.00 น.

(หน่วย: คน/ชั่วโมง)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนผู้โดยสารที่เข้ารับบริการต่อชั่วโมง
11/01/54	308.388
12/01/54	357.778
13/01/54	336.216
14/01/54	339.459
17/01/54	362.778
ค่าเฉลี่ย	340.924

จากตารางข้างต้น พบว่าตั้งแต่วันที่ 11-17 มกราคม 2554 อัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงต่อ 1 ช่องให้บริการ สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. มีค่าเท่ากับ 340.924 คน/ชั่วโมง แต่เนื่องจากในปัจจุบันที่ห้องแลกเทรียมี 2 ช่องให้บริการ ดังนั้นอัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยทั้งระบบ (λ) จะมีเท่ากับ 681.848 คน/ชั่วโมง

1.2 การคำนวณหาอัตราการให้บริการแก่ผู้โดยสารที่ห้องแลกเทรีย

ตารางที่ 14 เวลาในการให้บริการผู้โดยสาร 1 คนของพนักงานที่ห้องแลกเทรีย สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น.

(หน่วย: วินาที/คน)

วัน/เดือน/ปี	เวลาในการให้บริการเฉลี่ยต่อผู้โดยสาร 1 คน
11/01/54	9
12/01/54	10
13/01/54	7
14/01/54	7
17/01/54	7
ค่าเฉลี่ย	8
ค่าความแปรปรวน	$9.03506e^{-8}$

จากตารางที่ 15 จะเห็นได้ว่าเวลาในการให้บริการเฉลี่ยต่อผู้โดยสาร 1 คนสำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. จะเท่ากับ 8 วินาที/คน หรือกล่าวได้ว่าอัตราการให้บริการเท่ากับ 450 คน/ชั่วโมง โดยค่าความแปรปรวนของเวลาในการให้บริการเท่ากับ $9.03506e^{-8}$ ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้

8 วินาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 1 คน

60 วินาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 7.5 คน

1 นาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 7.5 คน

60 นาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 450 คน

1.3 จำนวนค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องแล็กเรียญ สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น.

จากข้อมูลข้างต้น อัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงของทั้งระบบ สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. เท่ากับ 681.848 คน/ชั่วโมง ($\lambda = 681.848$ คน/ชั่วโมง) และอัตราการให้บริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงสำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. เท่ากับ 450 คน/ชั่วโมง ($\mu = 450$ คน/ชั่วโมง) หรือสรุปได้ดังนี้

$$\lambda = 681.848 \text{ คน/ชั่วโมง}$$

$$\mu = 450 \text{ คน/ชั่วโมง}$$

ตารางที่ 15 ค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องแล็กเรียญจำแนกตามจำนวนช่องให้บริการ

ค่าสถิติ	จำนวนช่องให้บริการ		
	2	3	4
λ /m	340.92	227.28	170.46
μ	450	450	450
σ_B^2	$9.03506e^{-8}$	$9.03506e^{-8}$	$9.03506e^{-8}$
$\lambda < \mu$	$340.924 < 450$	$227.2827 < 450$	$170.462 < 450$
ρ	0.757608889	0.505072667	0.378804444
p_0	0.242391111	0.494927333	0.612295556
L_q	0.070835482	0.064282567	0.045383973
L_1	0.828444371	0.569355234	0.424188417
W_q	0.000207775	0.000282831	0.000266241
W	0.002429997	0.002505053	0.002488463

จากตารางข้างต้น แสดงให้เห็นถึงค่าสถิติที่คำนวณได้ของระบบแถวคอยที่มีจำนวนช่องให้บริการ 2, 3 และ 4 ช่องให้บริการ โดยอัตราการเข้ารับบริการของแต่ละช่องให้บริการ (λ/μ) จะคำนวณจากผลหารของอัตราการเข้ารับบริการของทั้งระบบกับจำนวนช่องให้บริการ โดยเงื่อนไขที่สำคัญที่ทำให้ระบบแถวคอยอยู่ในสภาวะคงตัวคือค่า $\lambda < \mu$

เมื่อระบบแถวคอยมีช่องให้บริการจำนวน 2 ช่อง (ระบบปัจจุบัน) จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบมีค่าเท่ากับ (L_p) 0.8284 คน/ชั่วโมง แต่ถ้าเพิ่มจำนวนช่องให้บริการเป็น 3 และ 4 ช่องจะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบมีค่าเท่ากับ (L_p) 0.5694 และ 0.4242 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยจำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนรวมในระบบแถวคอยต่อไป

2. การคำนวณค่าสถิติต่างๆของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

2.1 การคำนวณหาอัตราการเข้ารับบริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

การศึกษาในครั้งนี้จะรวบรวมข้อมูลที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร ในช่วงวันที่ 4-10 มกราคม พ.ศ. 2554 สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 (ซึ่งให้บริการแลกเหรียญและจำหน่ายบัตรโดยสาร) โดยแสดงผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 16 จำนวนผู้โดยสารที่เข้ารับบริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารต่อชั่วโมง สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น.

(หน่วย: คน/ชั่วโมง)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนผู้โดยสารที่เข้ารับบริการต่อชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลา	
	07.00-09.00 น.	13.00-15.00 น.
04/01/54	139.374	76.758
05/01/54	141.498	104.118
06/01/54	144.440	74.286
07/01/54	133.500	99.498
10/01/54	132.498	99.000
ค่าเฉลี่ย	138.262	90.732

จากตารางข้างต้นพบว่า ตั้งแต่วันที่ 4-10 มกราคม 2554 อัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อ ชั่วโมงต่อ 1 ช่องให้บริการ สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น. เท่ากับ 138.262 และ 90.732 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ แต่เนื่องจากในปัจจุบันที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารมี 3 ช่อง ให้บริการ ดังนั้น อัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยทั้งระบบ (λ) สำหรับช่วงเวลาทั้งสองจะเท่ากับ 414.786 และ 272.196 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ

2.2 การคำนวณหาอัตราการให้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร

ตารางที่ 17 เวลาในการให้บริการผู้โดยสาร 1 คนของพนักงานที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น.

(หน่วย: วินาที/คน)

วัน/เดือน/ปี	เวลาในการให้บริการเฉลี่ยต่อผู้โดยสาร 1 คนในแต่ละช่วงเวลา	
	07.00-09.00 น.	13.00-15.00 น.
04/01/54	26	22
05/01/54	23	18
06/01/54	27	21
07/01/54	27	18
10/01/54	23	19
ค่าเฉลี่ย	25	20
ค่าความแปรปรวน	$3.77858e^{-8}$	$1.89535e^{-7}$

จากตารางที่ 18 จะเห็นได้ว่าเวลาในการให้บริการเฉลี่ยต่อผู้โดยสาร 1 คนสำหรับ ช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น. เท่ากับ 25 และ 20 วินาที/คน หรือกล่าวได้ว่าอัตราการให้บริการสำหรับ 2 ช่วงเวลา เท่ากับ 144 คน และ 180 คน โดยค่าความแปรปรวนของเวลาในการให้บริการเท่ากับ $3.77858e^{-8}$ และ $1.89535e^{-7}$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้

1) สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น.

25 วินาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 1 คน

60 วินาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 2.4 คน

1 นาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 2.4 คน
60 นาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 144 คน

2) สำหรับช่วงเวลา 13.00-15.00 น.

20 วินาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 1 คน
60 วินาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 3 คน

1 นาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 3 คน
60 นาที ให้บริการผู้โดยสารได้ 180 คน

2.3 คำนวณค่าสถิติในระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. และ 13.00-15.00 น.

1) ค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น.

จากข้อมูลข้างต้น อัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงของทั้งระบบ สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. เท่ากับ 414.768 คน/ชั่วโมง ($\lambda = 414.768$ คน/ชั่วโมง) และอัตราการให้บริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงสำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น. เท่ากับ 144 คน/ชั่วโมง ($\mu = 144$ คน/ชั่วโมง) หรือสรุปได้ดังนี้

$$\lambda = 414.768 \text{ คน/ชั่วโมง}$$

$$\mu = 144 \text{ คน/ชั่วโมง}$$

เมื่อระบบแถวคอยมีช่องให้บริการจำนวน 3 ช่อง (ระบบปัจจุบัน) จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบมีค่าเท่ากับ (L_2) 0.9785 คน/ชั่วโมง แต่ถ้าเพิ่มจำนวนช่องให้บริการเป็น 4 และ 5 ช่อง จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบมีค่าเท่ากับ (L_2) 0.7927 และ 0.6465 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยจำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนในระบบแถวคอยต่อไป แสดงผลดังตารางที่ 19

ตารางที่ 18 ค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารจำแนกตามจำนวนช่องให้บริการ สำหรับช่วงเวลา 07.00-09.00 น.

ค่าสถิติ	จำนวนช่องให้บริการ		
	3	4	5
λ /m	138.256	103.692	82.9536
μ	144	144	144
σ_B^2	$3.77858e^{-8}$	$3.77858e^{-8}$	$3.77858e^{-8}$
$\lambda < \mu$	$138.256 < 144$	$103.692 < 144$	$82.9536 < 144$
ρ	0.960111111	0.720083333	0.576066667
p_0	0.03988888	0.279916667	0.423933333
L_q	0.01839946	0.072628057	0.070396847
L_2	0.978510571	0.792711391	0.646463514
W_q	0.000133083	0.000700421	0.000848629
W	0.007077527	0.007644865	0.007793074

2) ค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับช่วงเวลา 13.00-15.00 น.

จากข้อมูลข้างต้น อัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงของทั้งระบบ สำหรับช่วงเวลา 13.00-15.00 น. เท่ากับ 272.196 คน/ชั่วโมง ($\lambda = 272.196$ คน/ชั่วโมง) และอัตราการให้บริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงสำหรับช่วงเวลา 13.00-15.00 น. เท่ากับ 180 คน/ชั่วโมง ($\mu = 180$ คน/ชั่วโมง) หรือสรุปได้ดังนี้

$$\lambda = 272.196 \text{ คน/ชั่วโมง}$$

$$\mu = 180 \text{ คน/ชั่วโมง}$$

ตารางที่ 19 ค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารจำแนกตามจำนวนช่องให้บริการ สำหรับช่วงเวลา 13.00-15.00 น.

ค่าสถิติ	จำนวนช่องให้บริการ			
	2	3	4	5
λ /m	136.098	90.732	68.049	54.439
μ	180	180	180	180
σ_B^2	$1.89535e^{-7}$	$1.89535e^{-7}$	$1.89535e^{-7}$	$1.89535e^{-7}$
$\lambda < \mu$	$136.098 < 180$	$90.732 < 180$	$68.049 < 180$	$54.4392 < 180$
ρ	0.7561	0.504066667	0.37805	0.30244
p_0	0.2439	0.495933333	0.62195	0.69756
L_q	0.070145384	0.06339107	0.044718042	0.03298804
L_s	0.826245384	0.567457736	0.422768042	0.33453880
W_q	0.000515403	0.000698663	0.000657145	0.00058963
W	0.006070959	0.006254218	0.0062127	0.00614518

เมื่อระบบแถวคอยมีช่องให้บริการจำนวน 3 ช่อง (ระบบปัจจุบัน) จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบมีค่าเท่ากับ (L_s) 0.5675 คน/ชั่วโมง แต่ถาลดจำนวนช่องให้บริการเป็น 2 ช่อง จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบมีค่าเท่ากับ (L_s) 0.8262 คน/ชั่วโมง ในขณะที่การเพิ่มจำนวนช่องให้บริการเป็น 4 และ 5 ช่อง จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบลดลงเป็น (L_s) 0.4228 และ 0.3345 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ

การประเมินต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแกวคอย

1. ต้นทุนทั้งหมดของระบบแกวคอย กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

1.1 ต้นทุนทั้งหมดของระบบแกวคอยที่ห้องแลกเหรียญ สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน (TC_1) กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

ตารางที่ 20 ต้นทุนรวมของระบบแกวคอยที่ห้องแลกเหรียญสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส
(หน่วย: บาท/ชั่วโมง)

การวิเคราะห์ความ อ่อนไหวของต้นทุนค่า เสียโอกาสในการรอ	จำนวนช่อง ให้บริการ	ต้นทุนรวมของระบบแกวคอยที่ห้องแลกเหรียญ (TC_1)
45% W	2	202.5272243
	3	256.6910741
	4	307.0683033
54% W	2	222.6075561
	3	277.3916348
	4	327.6317700
60% W	2	235.9945544
	3	291.1921224
	4	341.3408610

จากตารางข้างต้นพบว่า ไม่ว่าจะใช้ต้นทุนค่าเสียโอกาส ร้อยละ 45, 54 หรือ 60 ในการคำนวณต้นทุนรวมของระบบแถวคอย ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะให้ผลที่สอดคล้องกันกล่าวคือ ระบบแถวคอยที่ห้องแลกหรือยูนิตสำหรับชั่วโมงเร่งด่วนจะมีต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำที่สุดเมื่อแบบจำลองมี 2 ช่องให้บริการ หรือมีต้นทุนรวมเท่ากับ 202.5272, 222.6076 และ 235.9946 บาท/ชั่วโมง ตามการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสร้อยละ 45, 54 และ 60 ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 21

1.2 ต้นทุนทั้งหมดของระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน (TC_2) และนอกชั่วโมงเร่งด่วน (TC_3) กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

ผลจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ไม่ว่าจะใช้ต้นทุนค่าเสียโอกาส ร้อยละ 45, 54 หรือ 60 ในการคำนวณต้นทุนรวมในระบบแถวคอย ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะให้ผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับชั่วโมงเร่งด่วนจะมีต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำที่สุดเมื่อแบบจำลองมี 3 ช่องให้บริการ หรือมีต้นทุนรวมเท่ากับ 338.3052, 373.8818 และ 397.5998 บาท/ชั่วโมง ตามการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสร้อยละ 45, 54 และ 60 ตามลำดับ และระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วนจะมีต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำที่สุดเมื่อแบบจำลองมี 2 ช่องให้บริการ หรือมีต้นทุนรวมเท่ากับ 207.0833221, 227.1103534 และ 240.4618178 บาท/ชั่วโมง ตามการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสร้อยละ 45, 54 และ 60 ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 22

ตารางที่ 21 ต้นทุนรวมของระบบแกวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตร สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนและนอก
ชั่วโมงเร่งด่วน กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของ
ผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

(หน่วย: บาท/ชั่วโมง)

การวิเคราะห์ ความอ่อนไหว ของต้นทุนค่าเสีย โอกาสในการรอ	จำนวนช่อง ให้บริการ	ต้นทุนรวมของระบบแกวคอย (TC)	
		TC ₂	TC ₃
45% W	2	-	207.0833221
	3	338.305241	263.5800283
	4	406.0384603	316.3692237
	5	463.2374549	368.7295705
54% W	2	-	227.1103534
	3	373.8818305	284.2116000
	4	444.4668889	336.8638347
	5	502.4108812	389.0014511
60% W	2	-	240.4618178
	3	397.5997525	297.9660945
	4	470.0860528	350.5270213
	5	528.5267142	402.5161497

2. ต้นทุนทั้งหมดของระบบแกวคอย กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ย ของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

2.1 ต้นทุนทั้งหมดของระบบแกวคอยที่ห้องแลกเหรียญ สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน (TC₁)
กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 22 ต้นทุนรวมของระบบแกวค้อยที่ห้องแลกเหรียญ สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร
(หน่วย: บาท/ชั่วโมง)

การวิเคราะห์ความ อ่อนไหวของต้นทุนค่า เสียโอกาสในการรอ	จำนวนช่อง ให้บริการ	ต้นทุนรวมของระบบแกวค้อยที่ห้องแลกเหรียญ (TC _p)
45% W	2	167.2210792
	3	220.2944145
	4	270.9126884
54% W	2	180.2400825
	3	233.7155407
	4	284.2449304
60% W	2	188.9195285
	3	242.6630721
	4	293.1332048

จากตารางข้างต้นพบว่า การคำนวณต้นทุนทั้งหมดของระบบแกวค้อยที่ห้องแลกเหรียญ กรณีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานครจะให้ผลที่สอดคล้องกับกับกรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส กล่าวคือต้นทุนในระบบแกวค้อยจะต่ำที่สุดเมื่อแบบจำลองมี 2 ช่องให้บริการ หรือมีต้นทุนเท่ากับ 167.2210792, 180.2400825 และ 188.9195285 บาท/ชั่วโมง ตามการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสร้อยละ 45, 54 และ 60 ตามลำดับ

2.2 ต้นทุนทั้งหมดของระบบแฉกคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับชั่วโมงเร่งด่วน (TC_2) และนอกชั่วโมงเร่งด่วน (TC_3) กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

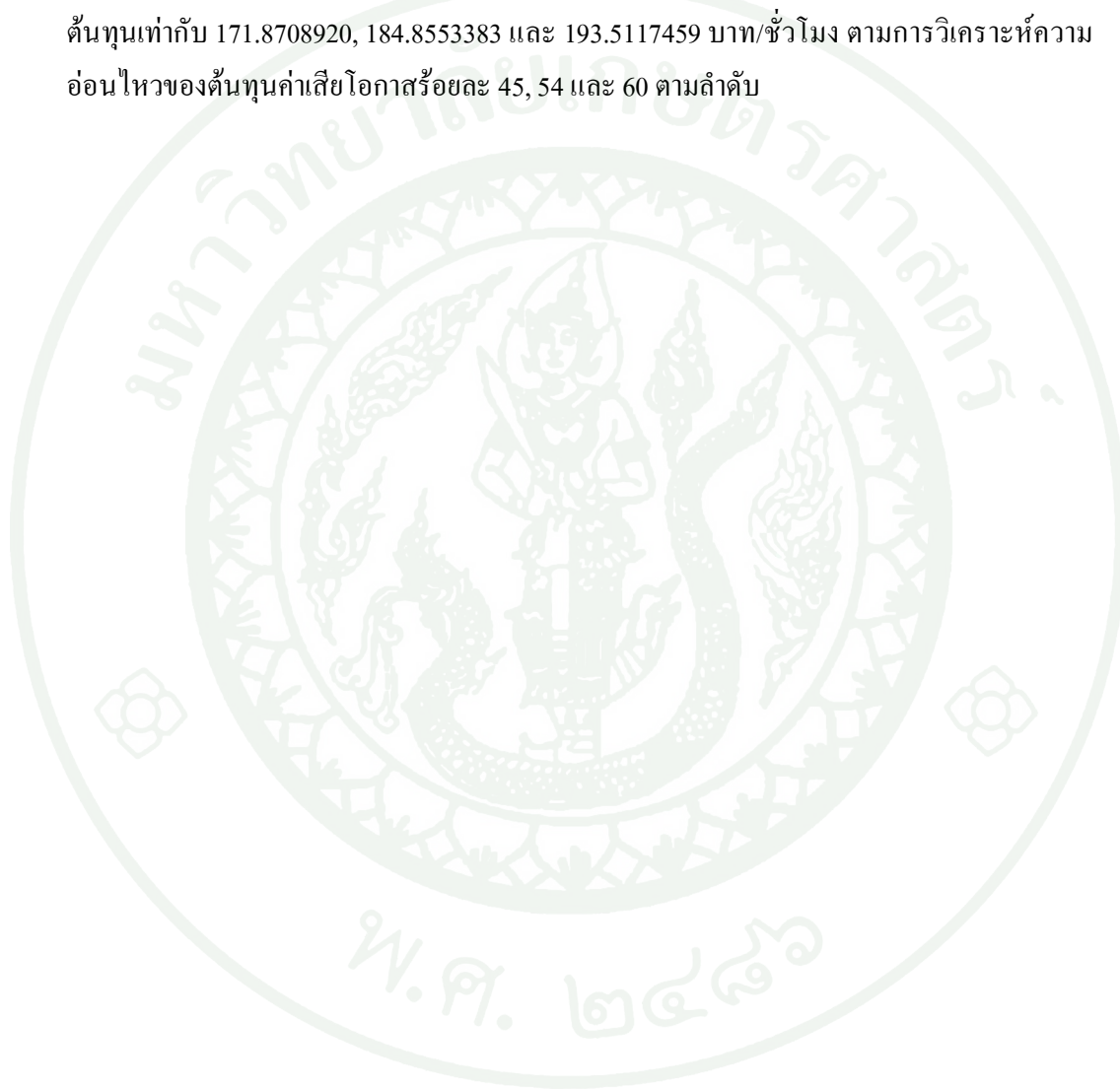
ตารางที่ 23 ต้นทุนรวมของระบบแฉกคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนและนอกชั่วโมงเร่งด่วน กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

(หน่วย: บาท/ชั่วโมง)

การวิเคราะห์ ความอ่อนไหว ของต้นทุนค่าเสีย โอกาสในการรอ	จำนวนช่อง ให้บริการ	ต้นทุนรวมของระบบแฉกคอย (TC)	
		TC_2	TC_3
45% W	2	-	171.8708920
	3	275.7528764	227.3046684
	4	338.4718634	280.3346742
	5	394.3609695	333.0866354
54% W	2	-	184.8553383
	3	298.8188168	240.6810658
	4	363.3867825	293.6222738
	5	419.7589048	346.2298287
60% W	2	-	193.5117459
	3	314.1963061	249.5987777
	4	379.9969399	302.4807862
	5	436.6910771	354.9920690

จากตารางข้างต้นพบว่า การคำนวณต้นทุนทั้งหมดของระบบแฉกคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร กรณีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานครจะให้ผลที่สอดคล้องกับกับกรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส กล่าวคือ ต้นทุนของระบบแฉกคอยสำหรับชั่วโมงเร่งด่วนจะต่ำที่สุดเมื่อแบบจำลองมี 3 ช่องให้บริการ หรือมีต้นทุน

เท่ากับ 275.7528764, 298.8188168 และ 314.1963061 บาท/ชั่วโมง ตามการวิเคราะห์ความ
อ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสร้อยละ 45, 54 และ 60 ตามลำดับ และต้นทุนของระบบแถวคอย
สำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วน (13.00-15.00 น.) จะต่ำที่สุดเมื่อแบบจำลองมี 2 ช่องให้บริการ หรือมี
ต้นทุนเท่ากับ 171.8708920, 184.8553383 และ 193.5117459 บาท/ชั่วโมง ตามการวิเคราะห์ความ
อ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสร้อยละ 45, 54 และ 60 ตามลำดับ



บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ในแต่ละวันระบบรถไฟฟ้าบีทีเอสจะมีผู้โดยสารเข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการมีสิ่งอำนวยความสะดวกที่ครบครันและระบบการจำหน่ายบัตรโดยสารที่มีประสิทธิภาพจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำผู้โดยสารเข้าสู่ระบบรถไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว หากพิจารณาระบบการจำหน่ายบัตรโดยสารในปัจจุบันจะพบว่า มีเพียงบางช่วงเวลาเท่านั้นที่จะมีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก เช่น ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ส่งผลให้ผู้โดยสารต้องรอคอยเพื่อเข้ารับบริการนานขึ้น โดยเฉพาะบริเวณห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร แต่นอกชั่วโมงเร่งด่วนกลับมีผู้เข้ามาใช้บริการน้อย ปัญหาการรอคอยของผู้โดยสารจึงไม่เกิดขึ้น ส่งผลให้มีบางช่องให้บริการว่าง ดังนั้นเพื่อให้ระบบการให้บริการและการจัดการทรัพยากรมนุษย์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การศึกษาในครั้งนี้จะทำการคำนวณค่าสถิติของระบบแถวคอยที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสารในแต่ละช่วงเวลา รวมทั้งประเมินต้นทุนในการให้บริการและต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอของผู้โดยสารเพื่อประเมินต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอย และพิจารณาจำนวนช่องให้บริการที่ทำให้ต้นทุนในระบบแถวคอยต่ำที่สุด

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ ผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน (07.00- 09.00 น.) และผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน (07.00-09.00 น.) และนอกชั่วโมงเร่งด่วน (13.00-15.00 น.) ณ สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสหมอชิต ในช่วงวันที่ 4-17 มกราคม พ.ศ. 2554 โดยใช้ระบบแถวคอยที่มี 1 ขั้นตอน หลายช่องให้บริการ-หลายแถวคอย หรือ $m M/G/1$ parallel and independent models, namely $[M/G/1]^m$ โดยผลการวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสหมอชิต จะประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

วิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการและต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการรอ

จากการวิเคราะห์พบว่า ต้นทุนรวมในการให้บริการที่ห้องแล็กเหรียญ (C_{SE}) และห้องจำหน่ายบัตรโดยสารมีค่า (C_{ST}) เท่ากับ 51.0627 และ 53.4740 บาท/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยต้นทุนในการให้บริการจะประกอบไปด้วย ค่าจ้างพนักงานและค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ต่างๆ ส่วนการวิเคราะห์ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะใช้วิธีการประเมินเปรียบเทียบกัน 2 วิธี ได้แก่ 1) ประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส ซึ่งจากการเก็บแบบสอบถามพบว่ารายได้เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสมีค่าเท่ากับ 23,700 บาท/เดือน จำนวนวันทำงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5 วัน/สัปดาห์ จำนวนชั่วโมงทำงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8 ชั่วโมง/วัน ดังนั้นค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมงของผู้ให้บริการจะมีค่าเท่ากับ 134.6591 บาท/ชั่วโมง 2) ประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งจากการสำรวจภาวะการทำงานของประชากรของสำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร พบว่ารายได้เฉลี่ยต่อเดือนของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานครอยู่ที่ 15,365.92 บาท /เดือน และกำหนดให้โดยทั่วไปจำนวนวันทำงานโดยเฉลี่ยของแรงงานเท่ากับ 5 วัน/สัปดาห์ จำนวนชั่วโมงทำงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8 ชั่วโมง/วัน ดังนั้นค่าจ้างเฉลี่ยต่อชั่วโมงของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานครจะมีค่าเท่ากับ 87.3064 บาท/ชั่วโมง และผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอจะแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 24 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอที่ประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอสและประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

(หน่วย: บาท/ชั่วโมง)

ร้อยละ	ต้นทุนค่าเสียโอกาสในการรอของผู้ให้บริการ (C_w)	
	ประเมินจากรายได้เฉลี่ย ของผู้ให้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส สถานีหมอชิต	ประเมินจากรายได้เฉลี่ย ของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร
45	60.5966	39.2879
54	72.7159	47.1454
60	80.7955	52.3838

คำนวณค่าสถิติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบแถวคอย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ห้องแลกเทรียสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน พบว่าอัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงของทั้งระบบเท่ากับ 681.848 คน/ชั่วโมง ($\lambda = 681.848$ คน/ชั่วโมง) และอัตราการให้บริการเฉลี่ยต่อชั่วโมง เท่ากับ 450 คน/ชั่วโมง ($\mu = 450$ คน/ชั่วโมง) และเมื่อคำนวณค่าสถิติของระบบแถวคอยพบว่า ถ้าห้องแลกเทรียมีช่องให้บริการจำนวน 2 ช่อง (ระบบปัจจุบัน) จะทำให้จำนวนผู้โดยสารที่อยู่ในระบบ (L_1) มีค่าเท่ากับ 0.8284 คน/ชั่วโมง แต่ถ้าเพิ่มจำนวนช่องให้บริการเป็น 3 และ 4 ช่อง จะทำให้จำนวนผู้โดยสารที่อยู่ในระบบ (L_1) มีค่าเท่ากับ 0.5694 และ 0.4242 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ

ระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับชั่วโมงเร่งด่วน พบว่าอัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงของทั้งระบบเท่ากับ 414.768 คน/ชั่วโมง ($\lambda = 414.768$ คน/ชั่วโมง) และอัตราการให้บริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงเท่ากับ 144 คน/ชั่วโมง ($\mu = 144$ คน/ชั่วโมง) และเมื่อคำนวณค่าสถิติของระบบแถวคอยพบว่า ถ้าห้องจำหน่ายบัตรโดยสารมีช่องให้บริการจำนวน 3 ช่อง (ระบบปัจจุบัน) จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบ (L_2) มีค่าเท่ากับ 0.9785 คน/ชั่วโมง แต่ถ้าเพิ่มจำนวนช่องให้บริการเป็น 4 และ 5 ช่อง จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบ (L_2) มีค่าเท่ากับ 0.7927 และ 0.6465 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ

ส่วนระบบแถวคอยที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วนพบว่า อัตราการเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงของทั้งระบบเท่ากับ 272.196 คน/ชั่วโมง ($\lambda = 272.196$ คน/ชั่วโมง) และอัตราการให้บริการเฉลี่ยต่อชั่วโมงเท่ากับ 180 คน/ชั่วโมง ($\mu = 180$ คน/ชั่วโมง) และเมื่อคำนวณค่าสถิติของระบบแถวคอยพบว่า ถ้าห้องจำหน่ายบัตรโดยสารมีช่องให้บริการจำนวน 3 ช่อง (ระบบปัจจุบัน) จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบ (L_3) มีค่าเท่ากับ 0.5675 คน/ชั่วโมง แต่ถ้าลดจำนวนช่องให้บริการเป็น 2 ช่อง จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบ (L_3) มีค่าเท่ากับ 0.8262 คน/ชั่วโมง และถ้าเพิ่มจำนวนช่องให้บริการเป็น 4 และ 5 ช่อง จะทำให้จำนวนลูกค้าที่อยู่ในระบบ (L_3) มีค่าเท่ากับ 0.4228 และ 0.3345 คน/ชั่วโมง ตามลำดับ

ประเมินต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแถวคอย

โดยการประเมินต้นทุนทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี กรณีที่ 1 ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส สถานีหมอชิต กรณีที่ 2 ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร

จากการประเมินต้นทุนทั้งหมดของระบบแถวคอย กรณีต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส และกรณีที่ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอประเมินจากรายได้เฉลี่ยของแรงงานในเขตกรุงเทพมหานครพบว่า ไม่ว่าจะใช้ต้นทุนค่าเสียโอกาสร้อยละ 45, 54 หรือ 60 ในการคำนวณต้นทุนรวมของระบบแถวคอย ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะให้ผลที่สอดคล้องกันกล่าวคือ แม้ในชั่วโมงเร่งด่วนที่ห้องแลกเหรียญจะมีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก แต่เนื่องจากพนักงานให้บริการแลกเหรียญเฉพาะสถานีปลายทางที่มีมูลค่า 40 บาท จึงทำให้เวลาในการให้บริการต่อผู้โดยสาร 1 รายค่อนข้างต่ำ โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่าจำนวนช่องให้บริการที่มีอยู่จำนวน 2 ช่องถือว่ามีความเหมาะสมแล้ว ส่วนห้องจำหน่ายบัตรโดยสารสำหรับในชั่วโมงเร่งด่วน จำนวนช่องให้บริการที่มีอยู่จำนวน 3 ช่องถือว่าเป็นจำนวนที่มีความเหมาะสมแล้ว แต่นอกชั่วโมงเร่งด่วนควรจะลดจำนวนช่องให้บริการลง 1 ช่อง หรือเปิดให้บริการเพียง 2 ช่อง เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีผู้เข้ามาใช้บริการน้อย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจัดตารางเวลาการทำงานของพนักงานให้สอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสารในแต่ละช่วงเวลา เพื่อช่วยให้พนักงานมีช่วงเวลาในการพักผ่อนที่เหมาะสม และช่วยลดภาระในการจ้างพนักงานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากรถไฟฟ้าบีทีเอสเปิดให้บริการผู้โดยสารถึงวันละ 12 ชั่วโมง (ตั้งแต่เวลา 06.00-24.00 น.)

2. เนื่องจากผลจากการศึกษาสรุปไว้ว่า ในชั่วโมงเร่งด่วนทั้งห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสารควรมีช่องให้บริการจำนวนเท่าเดิม อย่างไรก็ตามแนวทางในการเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการโดยไม่ทำให้ต้นทุนในการให้บริการเพิ่มขึ้นก็คือ การประชาสัมพันธ์ให้ผู้โดยสารหันไปใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสารซึ่งอยู่อีกด้านของสถานี เนื่องจากอีกด้านของสถานีจะมีผู้โดยสารเข้ามาใช้บริการน้อยกว่า

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษารั้งต่อไป

1. การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ระบบแถวคอยเฉพาะบางช่วงเวลาและเลือกศึกษาเฉพาะสถานีรถไฟฟ้ามหานครเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาในอนาคตควรจะศึกษาช่วงเวลาอื่นๆ เพิ่มเติม และศึกษาสถานีรถไฟฟ้ามหานครอื่นๆ ที่มีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ผลการวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
2. ควรเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดและช่วยให้การคำนวณค่าสถิติต่างๆ ในระบบแถวคอยมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรชนก สุวรรณมาโจ, เรืออากาศโท. 2548. แบบจำลองระบบบริการผู้ป่วยนอกโรงพยาบาล

ภูมิพลอดุลยเดช. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

กรมบัญชีกลาง. 2546. ตารางการกำหนดอายุการใช้งานและอัตราค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวร (Online). www.library.dip.go.th, 18 ตุลาคม 2553.

กระทรวงคมนาคม. 2551. จำนวนและร้อยละอัตราการเดินทางโดยจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อวันในเขตกรุงเทพมหานคร (Online). www.mot.go.th, 30 ตุลาคม 2553.

ดำรงฤทธิ์ พลสุวดี. 2551. รายงานการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ระบบแถวคอย กรณีศึกษาการรับสมัครนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ.

บริษัท บีทีเอส กรุ๊ป โฮลดิ้งส์ จำกัด (มหาชน). 2553. รายงานประจำปีฉบับล่าสุด (Online). www.set.or.th/set/companyprofile.do?symbol=BTS&language=th&country=TH, 14 ตุลาคม 2553.

พระราชกฤษฎีกา. 2527. เล่มที่ 101 ตอนที่ 24, หน้า 6.

สำนักงานจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร. 2552. สถิติด้านการจราจร (Online). <http://203.155.220.217/dotat>, 25 ตุลาคม 2553.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2552. จำนวนลูกจ้าง ค่าจ้างเฉลี่ย จำแนกตามเพศ กรุงเทพมหานคร (Online). www.nso.go.th, 22 ตุลาคม 2553.

สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. 2552. การเดินทางในเขตกรุงเทพมหานครและ
ปริมณฑล จำแนกตามการครอบครองยานพาหนะ และวัตถุประสงค์การเดินทาง (Online).
www.otp.go.th, 14 ตุลาคม 2553.

สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. 2552. ความเร็วเฉลี่ยของการเดินทางในช่วงเวลา
เร่งด่วนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (Online). www.otp.go.th, 14 ตุลาคม 2553.

Babbar and Sueu, 1995. “A managerial Assessment of the Waiting – time Performance for
Alternative Service Process Designs.” **Management Science** Vol. 24, No. 6: 691.

Clauss. 1996. **Applied management science and spreadsheet modeling**. Belmont, California:
Duxbury Press.

Gross and Harris. 2008. **Fundamentals of Queueing Theory**. New Jersey: Wiley & Son, Inc.

Hillier and Lieberman. 2005. **Introduction to Operations Research**. New York:
McGraw-Hill, Inc.

Gwilliam. 1997. **The Value of Time in Economic Evaluation of Transport projects lesson
from recent research**.

Landauer and Becker. 1989. “Reducing Waiting Time at Security Checkpoints.”
Interfaces 19: 57-65.

Mehri, Djemel and Kammoun. 2008. **Solving of Waiting Lines Models in the Airport Using
Queueing Theory Model and Linear Programming The practice Case : A.I.M.B.**

Mital. 2010. “Queueing Analysis for Outpatient and inpatient services.” **Management Decision**
Vol. 48, No.3: 419-439.

Munizaga, Correia, Jara-Diaz, and Ortuzar. 2006. "Valuing Time With a Joint Mode Choice-Activity Model." **International Journal of Transportation Economics**. Vol. XXXIII, No.2

Small and Verhoef. 2007. **The Economics of Urban Transportation**. London & Newyork: Routledge.

Yun, Huang and Tang. 2007. **Analysis and Optimization of Ticket Selling Service System of the Chengdu Railway Station**. International Conference on Service Systems and Service Management.





ภาคผนวก ก
ตัวอย่างตารางบันทึกจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการ

ตารางผนวกที่ 1 แสดงจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องแลกหรือยทุกๆ 3 นาที สำหรับ
ชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2554

เวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
07.00-07.03 น.	0
07.03-07.06 น.	0
07.06-07.09 น.	0
07.09-07.12 น.	1
07.12-07.15 น.	8
07.15-07.18 น.	6
07.18-07.21 น.	16
07.21-07.24 น.	11
07.24-07.27 น.	7
07.27-07.30 น.	14
07.30-07.33 น.	15
07.33-07.36 น.	13
07.36-07.39 น.	8
07.39-07.42 น.	15
07.42-07.45 น.	24
07.45-07.48 น.	17
07.48-07.51 น.	20
07.51-07.54 น.	17
07.54-07.57 น.	25
07.57-08.00 น.	20

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

เวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
08.00-08.03 น.	23
08.03-08.06 น.	23
08.06-08.09 น.	16
08.09-08.12 น.	20
08.12-08.15 น.	25
08.15-08.18 น.	25
08.18-08.21 น.	20
08.21-08.24 น.	22
08.24-08.27 น.	29
08.27-08.30 น.	17
08.30-08.33 น.	19
08.33-08.36 น.	19
08.36-08.39 น.	17
08.39-08.42 น.	22
08.42-08.45 น.	17
08.45-08.48 น.	18
08.48-08.51 น.	23
08.51-08.54 น.	8
08.54-08.57 น.	9
08.57-09.00 น.	13

ตารางผนวกที่ 2 แสดงจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามารับบริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารทุกๆ 3 นาที
สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2554

เวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
07.00-07.03 น.	5
07.03-07.06 น.	15
07.06-07.09 น.	9
07.09-07.12 น.	10
07.12-07.15 น.	8
07.15-07.18 น.	3
07.18-07.21 น.	3
07.21-07.24 น.	8
07.24-07.27 น.	8
07.27-07.30 น.	5
07.30-07.33 น.	4
07.33-07.36 น.	5
07.36-07.39 น.	8
07.39-07.42 น.	10
07.42-07.45 น.	8
07.45-07.48 น.	8
07.48-07.51 น.	10
07.51-07.54 น.	9
07.54-07.57 น.	11
07.57-08.00 น.	5
08.00-08.03 น.	6
08.03-08.06 น.	7
08.06-08.09 น.	6
08.09-08.12 น.	7

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

เวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
08.12-08.15 น.	9
08.21-08.24 น.	5
08.24-08.27 น.	8
08.27-08.30 น.	9
08.30-08.33 น.	7
08.33-08.36 น.	6
08.36-08.39 น.	3
08.39-08.42 น.	8
08.42-08.45 น.	7
08.45-08.48 น.	6
08.48-08.51 น.	6
08.51-08.54 น.	8
08.54-08.57 น.	6
08.57-09.00 น.	9

ตารางผนวกที่ 3 แสดงจำนวนผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสารทุกๆ 3 นาที
สำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2554

เวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
13.00-13.03	7
13.03-13.06	3
13.06-13.09	6
13.09-13.12	3
13.12-13.15	12
13.15-13.18	7
13.18-13.21	0
13.21-13.24	0
13.24-13.27	0
13.27-13.30	0
13.30-13.33	0
13.33-13.36	0
13.36-13.39	6
13.39-13.42	3
13.42-13.45	4
13.45-13.48	1
13.48-13.51	8
13.51-13.54	8
13.54-13.57	3
13.57-14.00	3
14.00-14.03	5
14.03-14.06	6
14.06-14.09	3

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

เวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
14.09-14.12	6
14.15-14.18	3
14.18-14.21	2
14.21-14.24	6
14.24-14.27	5
14.27-14.30	3
14.30-14.33	6
14.33-14.36	5
14.36-14.39	3
14.39-14.42	8
14.42-14.45	9
14.45-14.48	7
14.48-14.51	5
14.51-14.54	2



ภาคผนวก ข
ตัวอย่างตารางบันทึกเวลาในการให้บริการผู้โดยสาร

ตารางผนวกที่ 4 แสดงเวลาในการให้บริการผู้โดยสารแต่ละรายที่ห้องแลกเหรียญ
สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2554

วัน/เดือน/ปี	ช่องบริการที่	ลูกค้าคนที่	เวลาที่ลูกค้าเริ่ม รับบริการ	เวลาที่ลูกค้า ออกจากระบบ	Service Time
13 ม.ค. 54	4	1	7:11:33	7:11:42	0:00:09
13 ม.ค. 54	4	2	7:11:53	7:12:07	0:00:14
13 ม.ค. 54	4	3	7:12:08	7:12:13	0:00:05
13 ม.ค. 54	4	4	7:12:45	7:12:50	0:00:05
13 ม.ค. 54	4	5	7:12:58	7:13:07	0:00:09
13 ม.ค. 54	4	6	7:13:39	7:13:42	0:00:03
13 ม.ค. 54	4	7	7:14:13	7:14:24	0:00:11
13 ม.ค. 54	4	8	7:14:32	7:14:39	0:00:07
13 ม.ค. 54	4	9	7:14:42	7:14:46	0:00:04
13 ม.ค. 54	4	10	7:15:15	7:15:22	0:00:07
13 ม.ค. 54	4	11	7:15:30	7:15:41	0:00:11
13 ม.ค. 54	4	12	7:15:42	7:15:47	0:00:05
13 ม.ค. 54	4	13	7:16:39	7:16:43	0:00:04
13 ม.ค. 54	4	14	7:17:36	7:17:41	0:00:05
13 ม.ค. 54	4	15	7:17:42	7:17:48	0:00:06
13 ม.ค. 54	4	16	7:17:54	7:18:00	0:00:06
13 ม.ค. 54	4	17	7:18:07	7:18:12	0:00:05
13 ม.ค. 54	4	18	7:18:18	7:18:24	0:00:06
13 ม.ค. 54	4	19	7:18:25	7:18:32	0:00:07
13 ม.ค. 54	4	20	7:18:33	7:18:59	0:00:26
13 ม.ค. 54	4	21	7:19:13	7:19:31	0:00:18
13 ม.ค. 54	4	22	7:19:40	7:19:43	0:00:03

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ช่องบริการที่	ลูกค้าคนที่	เวลาที่ลูกค้าเริ่ม		เวลาที่ลูกค้า
			รับบริการ	ออกจากระบบ	Service Time
13 ม.ค. 54	4	23	7:19:44	7:19:48	0:00:04
13 ม.ค. 54	4	24	7:19:49	7:20:06	0:00:17
13 ม.ค. 54	4	27	7:20:42	7:20:47	0:00:05
13 ม.ค. 54	4	28	7:20:48	7:20:59	0:00:11
13 ม.ค. 54	4	29	7:21:00	7:21:07	0:00:07
13 ม.ค. 54	4	30	7:21:08	7:21:17	0:00:09
13 ม.ค. 54	4	31	7:21:18	7:21:28	0:00:10
13 ม.ค. 54	4	32	7:21:29	7:21:32	0:00:03
13 ม.ค. 54	4	33	7:21:33	7:21:39	0:00:06
13 ม.ค. 54	4	34	7:21:40	7:21:52	0:00:12
13 ม.ค. 54	4	35	7:22:13	7:22:17	0:00:04
13 ม.ค. 54	4	36	7:22:18	7:22:22	0:00:04
13 ม.ค. 54	4	37	7:22:30	7:22:39	0:00:09
13 ม.ค. 54	4	38	7:23:05	7:23:10	0:00:05
13 ม.ค. 54	4	39	7:23:35	7:23:40	0:00:05
13 ม.ค. 54	4	40	7:23:51	7:23:57	0:00:06
13 ม.ค. 54	4	41	7:24:23	7:24:29	0:00:06
13 ม.ค. 54	4	42	7:24:30	7:24:39	0:00:09
13 ม.ค. 54	4	43	7:24:40	7:24:46	0:00:06
13 ม.ค. 54	4	44	7:24:58	7:25:10	0:00:12
13 ม.ค. 54	4	45	7:25:49	7:25:53	0:00:04
13 ม.ค. 54	4	46	7:26:18	7:26:25	0:00:07
13 ม.ค. 54	4	47	7:27:07	7:27:17	0:00:10
13 ม.ค. 54	4	48	7:27:18	7:27:28	0:00:10

ตารางผนวกที่ 5 แสดงเวลาในการให้บริการผู้โดยสารแต่ละรายที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร
สำหรับชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2554

วัน/เดือน/ปี	ช่องบริการที่	ลูกค้าคนที่	เวลาที่ลูกค้าเริ่มรับ	เวลาที่ลูกค้าออก Service	Time
			บริการ	จากระบบ	
5 ม.ค. 54	1	2	7:00:23	7:00:29	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	3	7:00:30	7:00:37	0:00:07
5 ม.ค. 54	1	4	7:00:38	7:00:44	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	5	7:00:45	7:00:47	0:00:02
5 ม.ค. 54	1	6	7:00:48	7:00:51	0:00:03
5 ม.ค. 54	1	7	7:00:52	7:00:58	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	8	7:00:59	7:01:13	0:00:14
5 ม.ค. 54	1	9	7:01:14	7:01:17	0:00:03
5 ม.ค. 54	1	10	7:01:18	7:01:25	0:00:07
5 ม.ค. 54	1	11	7:01:26	7:01:32	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	12	7:01:33	7:01:37	0:00:04
5 ม.ค. 54	1	13	7:01:38	7:01:43	0:00:05
5 ม.ค. 54	1	14	7:01:44	7:02:14	0:00:30
5 ม.ค. 54	1	15	7:02:15	7:02:22	0:00:07
5 ม.ค. 54	1	16	7:02:23	7:02:41	0:00:18
5 ม.ค. 54	1	17	7:02:42	7:02:51	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	18	7:02:52	7:03:14	0:00:22
5 ม.ค. 54	1	19	7:03:15	7:03:23	0:00:08
5 ม.ค. 54	1	20	7:03:24	7:03:31	0:00:07
5 ม.ค. 54	1	21	7:03:32	7:03:41	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	22	7:03:42	7:03:49	0:00:07

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ช่องบริการที่	ลูกค้าคนที่	เวลาที่ลูกค้าเริ่มรับ บริการ	เวลาที่ลูกค้า ออกจากระบบ	Service Time
5 ม.ค. 54	1	23	7:03:50	7:03:53	0:00:03
5 ม.ค. 54	1	26	7:04:30	7:04:39	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	27	7:04:40	7:05:21	0:00:41
5 ม.ค. 54	1	28	7:05:22	7:05:29	0:00:07
5 ม.ค. 54	1	29	7:05:30	7:05:34	0:00:04
5 ม.ค. 54	1	30	7:05:35	7:05:58	0:00:23
5 ม.ค. 54	1	31	7:05:59	7:06:52	0:00:53
5 ม.ค. 54	1	32	7:06:53	7:06:58	0:00:05
5 ม.ค. 54	1	33	7:06:59	7:07:21	0:00:22
5 ม.ค. 54	1	34	7:07:22	7:08:09	0:00:47
5 ม.ค. 54	1	35	7:08:10	7:08:25	0:00:15
5 ม.ค. 54	1	36	7:08:26	7:08:55	0:00:29
5 ม.ค. 54	1	37	7:08:56	7:09:22	0:00:26
5 ม.ค. 54	1	38	7:09:23	7:09:36	0:00:13
5 ม.ค. 54	1	39	7:09:37	7:09:42	0:00:05
5 ม.ค. 54	1	40	7:09:43	7:10:11	0:00:28
5 ม.ค. 54	1	41	7:10:12	7:10:21	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	42	7:10:22	7:10:26	0:00:04
5 ม.ค. 54	1	44	7:11:30	7:11:34	0:00:04
5 ม.ค. 54	1	45	7:11:35	7:11:41	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	46	7:11:42	7:11:51	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	47	7:11:52	7:12:00	0:00:08
5 ม.ค. 54	1	48	7:12:01	7:12:50	0:00:49

ตารางผนวกที่ 6 แสดงเวลาในการให้บริการผู้โดยสารแต่ละรายที่ห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร
สำหรับนอกชั่วโมงเร่งด่วนของวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2554

วัน/เดือน/ปี	ช่องบริการที่	ลูกค้าคนที่	เวลาที่ลูกค้าเริ่มรับ บริการ	เวลาที่ลูกค้า ออกจากระบบ	Service Time
5 ม.ค. 54	1	49	7:12:51	7:13:05	0:00:14
5 ม.ค. 54	1	282	13:00:25	13:00:32	0:00:07
5 ม.ค. 54	1	283	13:00:33	13:00:42	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	284	13:00:43	13:00:55	0:00:12
5 ม.ค. 54	1	285	13:00:56	13:01:04	0:00:08
5 ม.ค. 54	1	286	13:01:05	13:02:04	0:00:59
5 ม.ค. 54	1	287	13:02:05	13:02:23	0:00:18
5 ม.ค. 54	1	288	13:02:35	13:03:16	0:00:41
5 ม.ค. 54	1	289	13:03:17	13:03:25	0:00:08
5 ม.ค. 54	1	290	13:04:08	13:04:21	0:00:13
5 ม.ค. 54	1	291	13:04:22	13:04:46	0:00:24
5 ม.ค. 54	1	292	13:04:47	13:04:54	0:00:07
5 ม.ค. 54	1	293	13:04:55	13:05:02	0:00:07
5 ม.ค. 54	1	294	13:05:03	13:05:20	0:00:17
5 ม.ค. 54	1	295	13:05:21	13:05:27	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	296	13:05:28	13:05:34	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	297	13:05:35	13:05:40	0:00:05
5 ม.ค. 54	1	298	13:05:48	13:05:54	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	299	13:06:24	13:06:32	0:00:08
5 ม.ค. 54	1	300	13:06:33	13:06:41	0:00:08
5 ม.ค. 54	1	301	13:06:42	13:06:51	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	302	13:06:52	13:07:00	0:00:08

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ช่องบริการที่	ลูกค้าคนที่	เวลาที่ลูกค้าเริ่มรับ	เวลาที่ลูกค้าออก	Service Time
			บริการ	จากระบบ	
5 ม.ค. 54	1	303	13:07:01	13:07:20	0:00:19
5 ม.ค. 54	1	304	13:07:21	13:07:24	0:00:03
5 ม.ค. 54	1	307	13:07:51	13:07:56	0:00:05
5 ม.ค. 54	1	308	13:07:57	13:08:01	0:00:04
5 ม.ค. 54	1	309	13:08:02	13:08:08	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	310	13:08:28	13:08:56	0:00:28
5 ม.ค. 54	1	311	13:08:57	13:09:14	0:00:17
5 ม.ค. 54	1	312	13:09:35	13:09:54	0:00:19
5 ม.ค. 54	1	313	13:10:02	13:10:13	0:00:11
5 ม.ค. 54	1	314	13:10:24	13:10:33	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	315	13:11:03	13:11:08	0:00:05
5 ม.ค. 54	1	316	13:11:09	13:11:18	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	317	13:11:19	13:11:29	0:00:10
5 ม.ค. 54	1	318	13:12:04	13:12:57	0:00:53
5 ม.ค. 54	1	319	13:12:58	13:13:39	0:00:41
5 ม.ค. 54	1	320	13:13:40	13:13:44	0:00:04
5 ม.ค. 54	1	321	13:13:45	13:13:51	0:00:06
5 ม.ค. 54	1	322	13:13:52	13:14:05	0:00:13
5 ม.ค. 54	1	323	13:14:06	13:14:15	0:00:09
5 ม.ค. 54	1	324	13:14:16	13:14:24	0:00:08
5 ม.ค. 54	1	325	13:15:01	13:15:17	0:00:16
5 ม.ค. 54	1	326	13:15:42	13:16:51	0:01:09
5 ม.ค. 54	1	327	13:16:52	13:17:00	0:00:08
5 ม.ค. 54	1	328	13:17:01	13:17:20	0:00:19



ภาคผนวก ก
แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส

แบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส สถานีหมอชิต

แบบสอบถามฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการทำวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ระบบแถวคอยของผู้ใช้บริการที่ห้องแลกเหรียญและห้องจำหน่ายบัตรโดยสาร กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส หมอชิต ซึ่งจัดทำโดยนิสิตปริญญาโท คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการรอแลกเหรียญและเติมเงินบัตรโดยสาร และใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบการวิจัยต่อไป

ข้อมูลของท่านจะถูกเก็บเป็นความลับและนำมาใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น จึงใคร่ขอความกรุณาตอบแบบสอบถามให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านที่ได้เสียสละเวลาตอบแบบสอบถามฉบับนี้

คำชี้แจง : กรุณาอ่านข้อความด้านล่างและทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน [] หรือเติมข้อความลงในช่องว่างให้สมบูรณ์

1. เพศ

[] ชาย

[] หญิง

2. อายุ.....ปี

3. ประเภทของบัตรโดยสารรถไฟฟ้าที่ใช้

[] บัตรโดยสารแบบเที่ยวเดียว

[] บัตรโดยสารแบบ 1 วัน

[] บัตรโดยสารแบบเติมเงิน

[] บัตรโดยสารแบบ 30 วัน

[] อื่น ๆ โปรดระบุ

4. จำนวนวันทำงานโดยเฉลี่ยต่อ 1 สัปดาห์วัน

5. จำนวนชั่วโมงทำงานโดยเฉลี่ยต่อ 1 วันชั่วโมง

6. รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (จากทุกแหล่ง)บาท



ตารางผนวกที่ 7 แสดงจำนวนลูกจ้าง ค่าจ้างเฉลี่ย จำแนกตามเพศในเขตกรุงเทพมหานคร

เพศ	2549				2550				2551				2552			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
จำนวนลูกจ้าง	2,635	2,506	2,611	2,566	2,555	2,620	2,648	2,634	2,663	2,739	2,599	2,568	2,558	2,522	2,556	2,584
ชาย	1,326	1,324	1,308	1,300	1,291	1,319	1,327	1,313	1,328	1,380	1,284	1,274	1,255	1,233	1,238	1,252
หญิง	1,309	1,282	1,303	1,266	1,264	1,301	1,321	1,320	1,334	1,360	1,315	1,294	1,302	1,289	1,318	1,332
ค่าจ้างเฉลี่ย	12,944	13,195	12,521	13,134	12,800	12,962	13,456	14,109	15,245	14,670	14,821	15,120	14,826	14,767	14,630	15,366
ชาย	13,724	13,603	13,087	14,224	13,610	13,389	14,526	15,453	16,219	15,854	15,794	16,366	15,937	15,564	15,463	16,580
หญิง	12,153	12,775	11,953	12,014	11,972	12,529	12,380	12,773	14,275	13,469	13,871	13,894	13,756	14,004	13,849	14,225

ที่มา: การสำรวจภาวะการทำงานของประชากร สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร



ตารางผนวกที่ 8 แสดงจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบีทีเอส แยกตามรายสถานี พ.ศ. 2552

หน่วย : เที่ยวคน

ชื่อสถานี	เดือน												รวม
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
หมอชิต	838,000	792,000	957,000	881,000	861,000	933,000	886,000	930,000	900,000	964,000	950,000	952,000	10,844,000
สะพานควาย	193,000	182,000	221,000	201,000	201,000	218,000	196,000	207,000	208,000	213,000	209,000	207,000	2,456,000
อารีย์	265,000	259,000	300,000	254,000	263,000	292,000	268,000	283,000	285,000	281,000	284,000	272,000	3,306,000
สนามเป้า	77,000	74,000	87,000	75,000	110,000	89,000	83,000	85,000	86,000	89,000	95,000	83,000	1,033,000
อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ	898,000	877,000	1,052,000	842,000	941,000	1,057,000	959,000	1,021,000	1,001,000	1,076,000	1,085,000	1,063,000	11,872,000
พญาไท	294,000	276,000	496,000	418,000	356,000	364,000	290,000	360,000	325,000	479,000	345,000	326,000	4,329,000
ราชเทวี	236,000	229,000	269,000	226,000	239,000	265,000	248,000	263,000	252,000	263,000	263,000	271,000	3,024,000
สยาม	1,238,000	1,169,000	1,462,000	1,171,000	1,267,000	1,385,000	1,292,000	1,410,000	1,307,000	1,560,000	1,503,000	1,572,000	16,336,000
ชิดลม	608,000	581,000	674,000	554,000	590,000	647,000	622,000	649,000	640,000	686,000	727,000	794,000	7,772,000
เพลินจิต	448,000	343,000	391,000	316,000	337,000	387,000	372,000	381,000	392,000	392,000	411,000	404,000	4,574,000
นานา	394,000	370,000	423,000	351,000	371,000	385,000	394,000	398,000	388,000	414,000	436,000	445,000	4,769,000
อโศก	751,000	739,000	872,000	705,000	748,000	834,000	807,000	181,000	864,000	889,000	909,000	883,000	9,182,000

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

หน่วย : ล้านบาท

ชื่อสถานี	เดือน												รวม
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
พร้อมพงษ์	524,000	501,000	555,000	456,000	492,000	536,000	520,000	549,000	545,000	555,000	579,000	589,000	6,401,000
ทองหล่อ	250,000	243,000	274,000	228,000	246,000	271,000	247,000	266,000	274,000	273,000	286,000	279,000	3,137,000
เอกมัย	290,000	275,000	309,000	274,000	291,000	315,000	298,000	308,000	302,000	306,000	317,000	305,000	3,590,000
พระโขนง	240,000	205,000	232,000	209,000	217,000	245,000	231,000	232,000	242,000	237,000	247,000	241,000	2,778,000
อ่อนนุช	945,000	907,000	1,076,000	963,000	981,000	1,095,000	993,000	1,067,000	1,066,000	1,102,000	1,111,000	1,080,000	12,386,000
สนามกีฬาแห่งชาติ	438,000	394,000	490,000	432,000	427,000	445,000	445,000	460,000	436,000	476,000	486,000	501,000	5,430,000
ราชดำริ	115,000	110,000	130,000	104,000	117,000	120,000	117,000	118,000	119,000	123,000	130,000	128,000	1,431,000
ศาลาแดง	679,000	645,000	733,000	659,000	664,000	742,000	700,000	723,000	727,000	733,000	765,000	749,000	8,519,000
ช่องนนทรี	388,000	370,000	445,000	373,000	399,000	452,000	141,000	423,000	427,000	437,000	438,000	415,000	4,708,000
สุรศักดิ์	301,000	289,000	317,000	276,000	284,000	302,000	282,000	297,000	292,000	257,000	304,000	278,000	3,479,000
สะพานตากสิน	580,000	543,000	608,000	531,000	486,000	503,000	481,000	490,000	410,000	401,000	452,000	430,000	5,915,000
กรุงธนบุรี	-	-	-	-	54,000	106,000	106,000	120,000	105,000	107,000	116,000	113,000	827,000
วงเวียนใหญ่	-	-	-	-	170,000	281,000	250,000	257,000	239,000	248,000	255,000	256,000	1,956,000
รวม	10,990,000	10,373,000	12,373,000	10,499,000	11,112,000	12,269,000	11,228,000	11,478,000	11,832,000	12,561,000	12,703,000	12,636,000	140,054,000

ที่มา: สำนักงานการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร (2552)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล

นางสาวขวัญตา ลีลาภิรุ้งเรือง

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2530

สถานที่เกิด

จังหวัดภูเก็ต

ประวัติการศึกษา

เศรษฐศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง)

สาขาเศรษฐศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์