สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การจำลองแบบปัญหาระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ใช้บริการบนทางด่วนพิเศษสายดาวคะนอง-ท่าเรือ ณ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์

โดย

นายกฤษฎา บุศรา

นางสาววนาลัย คทาวัชรกุล

นายวีระ ธนาเลิศกุล

วพ.
ก2794
2532
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....
b1252733

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง การจำลองแบบปัญหาระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ใช้บริการบนทางด่วนพิเศษสายดาวคะนอง-ท่าเรือ ณ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์

โดย 1. นายกฤษฎา บุศรา
2. นางสาววนาลัย คทาวัชรกุล
3. นายวีระ ธนาเลิศกุล

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติประยุกต์)

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สมศรี บัณฑิตวิไล

กรรมการสอบปัญหาพิเศษ 1. อาจารย์สมศรี บัณฑิตวิไล
2. อาจารย์ชูใจ คูหารัตนไชย
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์หัทยา เชี่ยววัฒกี

ปัญหาการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานครนั้น ได้มีการดำเนินการแก้ไขในหลายรูปแบบ เช่น การสร้างสะพานลอยตามทางแยกต่าง ๆ การจัดระบบรถเดินทางเดียว หรือการสร้างระบบทางด่วนขึ้นใช้ เป็นต้น ซึ่งระบบทางด่วนนั้นนับได้ว่าเป็นวิธีที่บรรเทาความแออัดของยวดยานบนท้องถนนลงไปได้มาก

เนื่องจากความต้องการใช้บริการทางด่วนพิเศษนั้น ผันแปรไปตามคาบของวันในสัปดาห์ (วันธรรมดา และวันหยุด) และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ซึ่งในช่วงเวลารีบเร่ง (Rush Hours) จะเกิดปัญหาการจราจรติดขัดขึ้นที่จุดขึ้นและลงทางด่วน ทำให้ผู้รับบริการไม่ได้รับความสะดวกเท่าที่ควร ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ จะสามารถแก้ไขได้ด้วยการจัดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษให้เหมาะสมกับจำนวนรถยนต์ที่เข้ามารับบริการในช่วงเวลานั้น ๆ โดยการใช้ทฤษฎีแถวคอย (Queueing Theory) และเทคนิคการจำลองแบบปัญหา (Simulation Technique) เข้าช่วย เพื่อนำคำตอบที่ได้มาเสนอแนะ และเปรียบเทียบจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่มีรถยนต์เข้ารับบริการมากที่สุด การเก็บรวบรวมข้อมูลจะทำในวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์) ช่วงเวลา 8.00-10.00 น. ซึ่งเป็นช่วงวันและเวลาที่มีรถยนต์เข้ารับบริการมากที่สุด ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาคือ เวลาที่รถยนต์เข้าระบบ และเวลาที่ใช้ในการให้บริการของพนักงานประจำช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษแต่ละช่องทาง ซึ่งจะนำมาทดสอบหารูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบการแจกแจงความน่าจะเป็น เพื่อนำไปแทนระบบจริงในการจำลองแบบปัญหา โดยการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาปาสคาล (Pascal) ขึ้น

การวิเคราะห์แบบจำลอง จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลการดำเนินงานต่าง ๆ เช่น เวลาเฉลี่ยที่พนักงานว่าง เวลาเฉลี่ยในการคอย โอกาสที่พนักงานจะว่าง โอกาสที่รถยนต์จะคอย เป็นต้น เมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษจากปัจจุบันคือ 4 ช่องทาง เป็น 3 และ 5 ช่องทาง เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้บริหารประกอบการตัดสินใจจัดสรรจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษให้เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์สมศรี บัณฑิตวิไล โดยช่วยให้คำปรึกษาแนะนำในการค้นคว้า ให้แนวคิด ข้อคิดเห็น แนะแนวทางในการดำเนินงาน และตรวจทานแก้ไข ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และเจ้าหน้าที่ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ ทุกท่านที่ช่วยเหลือให้ข้อมูล และอำนวยความสะดวกทุกอย่างในการเก็บรวบรวมข้อมูล ขอบคุณ คุณจิรายุ พู่มนตรี บัณฑิตสถิติประยุกต์รุ่น 3 ที่ช่วยให้คำแนะนำ อธิบายแนวทางการดำเนินงาน และเพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่ให้ยืมอุปกรณ์ และช่วยเก็บรวบรวมข้อมูล

ท้ายสุดนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณครู อาจารย์ ที่ได้ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้จัดทำ คุณพ่อ คุณแม่ และผู้อุปการะของคณะผู้จัดทำที่ให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..... ช

กิตติกรรมประกาศ..... ง

สารบัญ..... จ

สารบัญตาราง..... ซ

สารบัญภาพ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 ระบบการให้บริการ..... 2

1.3 วัตถุประสงค์..... 4

1.4 ขอบเขตของปัญหา..... 5

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 ทฤษฎีแถวคอย..... 7

2.1.1 ความหมายของแถวคอย..... 7

2.1.2 ส่วนประกอบของแถวคอย..... 7

2.1.3 ลักษณะที่สำคัญของระบบแถวคอย..... 8

2.1.4 สถานะถ่ายทอดและสถานะอยู่ตัว..... 11

2.1.5 สัญญลักษณ์ที่ใช้ในรูปแบบการรอคอย..... 12

2.1.6 การแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในทฤษฎีแถวคอย..... 13

2.1.7 การทดสอบภาวะรูปสนิทดี..... 14

2.1.8 การหาค่าคำตอบจากทฤษฎีแถวคอย..... 15

2.2 เทคนิคการจำลองแบบ..... 16

2.2.1 ความหมายของการจำลองแบบ..... 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สาเหตุที่ต้องใช้เทคนิคการจำลองแบบ..... 16
2.2.3 ประเภทของแบบจำลอง..... 17
2.2.4 เทคนิคมอนติคาร์โล..... 19
2.2.4.1 การผลิตเลขสุ่ม..... 21
2.2.4.2 การผลิตตัวแปรสุ่ม..... 22
2.2.5 ตัวอย่างการจำลองแบบระบบแถวคอยเดี่ยว..... 24
3. การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล..... 27
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 27
3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 27
3.1.2 ลักษณะของข้อมูลดิบ..... 28
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 29
3.2.1 อัตราการเข้ารับบริการของรถยนต์..... 29
3.2.2 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงการเข้ารับบริการของรถยนต์..... 35
3.2.3 อัตราการให้บริการของพนักงาน..... 39
3.2.4 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ... 53
3.2.4.1 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ Booth 6..... 53
3.2.4.2 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ Booth 7..... 60
3.2.4.3 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ Booth 8..... 62
3.2.4.4 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ Booth 9..... 63
4. ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง..... 65
4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบแถวคอยของรถยนต์ ณ ด่านเก็บค่าผ่านทาง-พิเศษ สุขสวัสดิ์..... 65
4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองระบบแถวคอยของรถยนต์ ณ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์..... 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความเชื่อถือได้ของการจำลองแบบ..... 67
4.4 การวิเคราะห์งานและการใช้ประโยชน์จากการจำลอง..... 68
4.5 ผลการจำลอง..... 69
5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 79
5.1 สรุปผล..... 79
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม..... 80
5.3 ปัญหาและอุปสรรค..... 81
บรรณานุกรม..... 83
ภาคผนวก 84
ก แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูล..... 85
ข คู่มือการใช้โปรแกรมการจำลองแบบปัญหา..... 88
ค รายละเอียดเกี่ยวกับตัวแปร ผังงาน และโปรแกรมการจำลองแบบปัญหา 91
ง โปรแกรมการจำลองปัญหา..... 99
ประวัตินักศึกษา..... 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	จำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที.....	30
3.2	การแจกแจงความถี่ของรถยนต์ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที.....	33
3.3	ค่าความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์และค่าความถี่คาดหวังของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการ.....	36
3.4	ค่าความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์ของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการและค่าไคสแควร์.....	38
3.5	การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 6.....	39
3.6	การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 7.....	43
3.7	การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 8.....	46
3.8	การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 9.....	50
3.9	ค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลของเวลาให้บริการ Booth 6	53
3.10	ค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลของเวลาให้บริการ Booth 6 และค่าไคสแควร์.....	54
3.11	ค่าความน่าจะเป็นแบบแกมม่าของเวลาให้บริการ Booth 6.....	57
3.12	ค่าความน่าจะเป็นแบบแกมม่าของเวลาให้บริการ Booth 6 และค่าไคสแควร์.....	58
3.13	ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 6.....	59
3.14	ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 7.....	61
3.15	ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 8.....	62
3.16	ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 9.....	64
4.1	ผลการจำลองแบบเมื่อจำนวน Booth เป็น 3,4 และ 5.....	73
4.2	ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซนต์ความแตกต่างของการจำลองแบบเมื่อจำนวน Booth เป็น 3 และ 5 เทียบกับจำนวน Booth = 4.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ลักษณะของด่านฯ สุขสวัสดิ์.....	2
1.2	ช่วงเวลาการเปิด-ปิดช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ.....	4
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของแถวคอย.....	8
2.2	ระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์.....	10
3.1	กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที.....	34
3.2	กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที.....	35
3.3	กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 6.....	41
3.4	กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการ Booth 6.	42
3.5	กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 7.....	44
3.6	กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการ Booth 7.	45
3.7	กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 8.....	48
3.8	กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการ Booth 8.	49
3.9	กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 9.....	51
3.10	กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการ Booth 9.	52
4.1	กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยในการคอยของรถยนต์ในการจำลอง เมื่อจำนวน Booth ต่างกัน.....	75
4.2	กราฟแสดงโอกาสที่รถยนต์จะคอยในการจำลอง เมื่อจำนวน Booth ต่างกัน.....	76
4.3	กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยที่พนักงานว่างในการจำลอง เมื่อจำนวน Booth ต่างกัน.....	77
4.4	กราฟแสดงโอกาสที่พนักงานจะว่างในการจำลอง เมื่อจำนวน Booth ต่างกัน.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

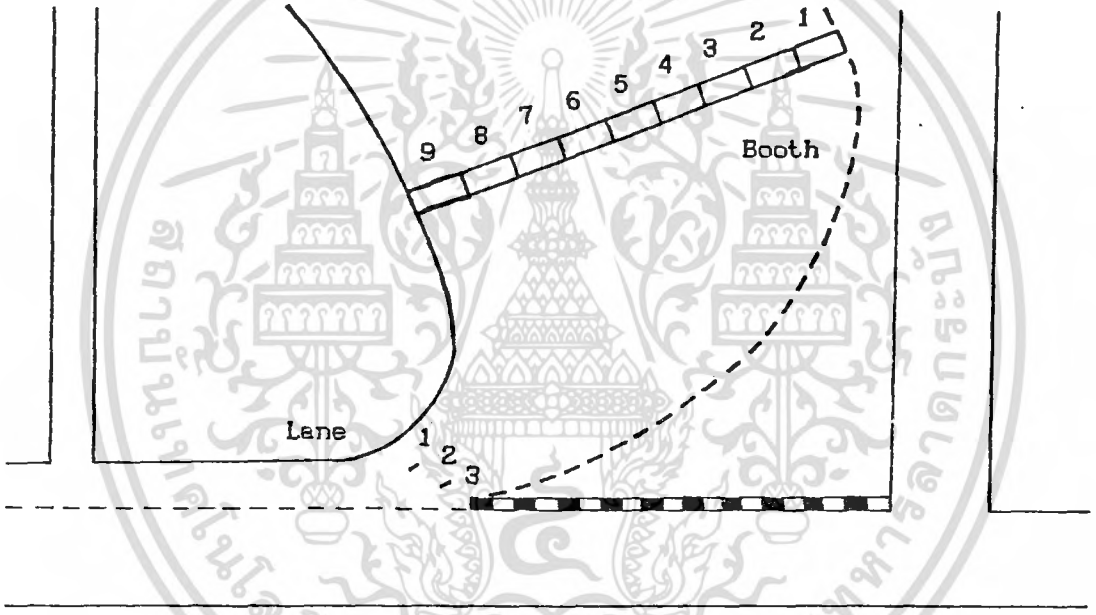
ปัญหาการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานครนั้น เป็นเรื่องที่สั่งสมมานานนับสิบปีและได้มีการพยายามดำเนินการแก้ไขในหลายรูปแบบ เช่น สร้างสะพานลอยตามทางแยกต่าง ๆ จัดระบบรถเดินทางเดียว หรือสร้างระบบทางด่วนขึ้นใช้ เป็นต้น วิธีการซึ่งนับได้ว่าสามารถบรรเทาความแออัดของยวดยานบนท้องถนนลงไปได้มากก็คือการก่อสร้างระบบทางด่วน จากสถิติที่ได้จากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ปัจจุบันการเดินทางในกรุงเทพมหานคร 1 ครั้ง จะใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง แต่ถ้าเป็นการเดินทางที่สามารถขึ้นใช้ทางด่วนได้ จะใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 40 นาทีเท่านั้น แสดงว่าทางด่วนสามารถช่วยประหยัดเวลาได้ครั้งละไม่ต่ำกว่า 20 นาที นับเป็นการช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และช่วยเศรษฐกิจของชาติได้มาก

ปัจจุบันทางด่วนที่เปิดให้บริการ คือทางด่วนเฉลิมมหานคร ซึ่งประกอบด้วยทางด่วน 3 สายคือ สายดินแดง-ท่าเรือ สายบางนา-ท่าเรือ และสายดาวคะนอง-ท่าเรือ ซึ่งแม้ว่าจะช่วยลดปัญหาลงไปได้มาก แต่จะพบว่าที่จุดขึ้นและลงทางด่วนทุก ๆ จุดในทางด่วนแต่ละสายนั้นเกิดปัญหารถติดขึ้นในช่วงเวลารีบเร่ง (Rush Hours) เป็นผลให้การจราจรในท้องถนนบริเวณใกล้เคียงกับจุดขึ้นและลงทางด่วนติดขัดไปด้วย สำหรับที่จุดขึ้นทางด่วนนั้น รถยนต์ที่จะผ่านขึ้นใช้ทางด่วน จะต้องชำระค่าผ่านทางพิเศษที่ช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ การที่จะลดปริมาณการจราจรติดขัดที่จุดขึ้นทางด่วนลงได้นั้น อาจทำได้โดย การจัดสรรจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษให้เหมาะสมกับปริมาณรถยนต์ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ จึงได้นำเอาทฤษฎีแถวคอยและการจำลองแบบปัญหามาวิเคราะห์และหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือกด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์ ซึ่งเป็นด่านเก็บค่าผ่านทางฯ ของรถยนต์ที่ต้องการขึ้นใช้ทางด่วนสายดาวคะนอง-ท่าเรือ เป็นกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ระบบการให้บริการ

ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์ นับเป็นด่านเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ใหญ่ด่านหนึ่ง สังเกตได้จากปริมาณรถที่เข้า-ออกในแต่ละวัน และจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ซึ่งมีถึง 9 ช่องทาง แต่ในปัจจุบันเปิดให้บริการสูงสุดได้เพียง 4 ช่องทางเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนช่องทาง (Lane) สำหรับให้รถยนต์วิ่งเข้าสู่ด่าน ซึ่งมีเพียง 3 ช่องทาง เนื่องจากปัญหาเรื่องที่ตั้งของด่าน ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ลักษณะของด่านฯ สุขสวัสดิ์

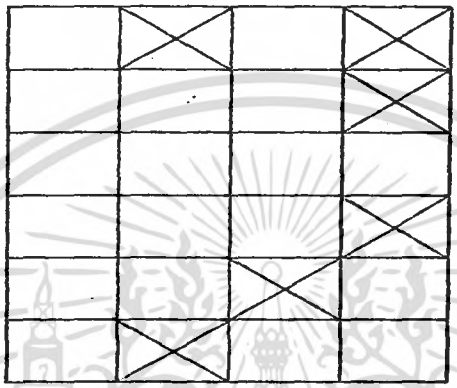
ด่านฯ สุขสวัสดิ์ เป็นด่านที่ตั้งในแนวขนานกับถนน ดังนั้นรถยนต์ที่จะวิ่งเข้าสู่ด่าน จะต้องเลี้ยวจากแนวถนนเข้าสู่ด่าน แต่ทางสำหรับเลี้ยวเข้าสู่ด่านนั้นมีความกว้างจำกัด คือมีความกว้างเพียง 3 ช่องทาง โดยมีการสร้างฟุตบาทกั้นทางเข้าไว้ สาเหตุเนื่องมาจากด่านฯ สุขสวัสดิ์ ตั้งอยู่ใกล้กับแยกจราจร ถ้าเปิดทางเข้าด่านให้รับรถยนต์ได้เต็มที่ จุดที่รถยนต์เลี้ยวเข้าด่านจะใกล้กับแยกจราจรเกินไป ซึ่งกรมทางหลวงไม่อนุญาตให้ทำได้ ปัญหาในเรื่องนี้การทางพิเศษกำลังดำเนินการแก้ไข และคาดว่าจะสามารถขยายช่องทางเข้าออกไปได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในปัจจุบัน การเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ เพื่อให้บริการได้มีการกำหนดจำนวนช่องทางที่จะเปิดให้บริการ โดยดูจากปริมาณรถยนต์ที่ต้องการขึ้นใช้ทางด่วนดังนี้

วันจันทร์-ศุกร์

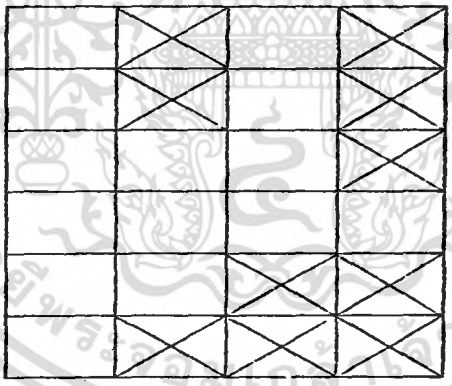
Booth 9 8 7 6 ช่วงเวลา



6.00- 6.30 น.
6.30- 6.40 น.
6.40-14.40 น.
14.40-21.30 น.
21.30-22.30 น.
22.30- 6.00 น.

วันเสาร์

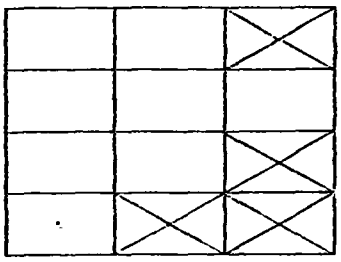
Booth 9 8 7 6 ช่วงเวลา



6.00- 6.30 น.
6.30- 7.00 น.
7.00-15.00 น.
15.00-21.30 น.
21.30-22.00 น.
22.00- 6.00 น.

วันอาทิตย์

Booth 9 8 7 ช่วงเวลา

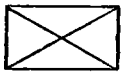


6.30- 7.00 น.
7.00-21.00 น.
21.00-22.00 น.
22.00- 6.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Booth หมายถึง ช่องเก็บเงินค่าผ่านทางพิเศษ

หมายถึง Booth ที่เปิดให้บริการ

 หมายถึง Booth ที่ปิดการให้บริการ

รูปที่ 1.2 ช่วงเวลาการเปิด-ปิดช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

การทำงานของพนักงานประจำ Booth

แบ่งเป็น 3 ผลัดคือ

ผลัด 1 : 6.00-14.00 น.

ผลัด 2 : 14.00-22.00 น.

ผลัด 3 : 22.00- 6.00 น.

จากการสังเกตและสอบถามเจ้าหน้าที่ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ พบว่าจำนวนรถยนต์ที่ต้องการผ่านเข้าด่านฯ สุขสวัสดิ์ จะเปลี่ยนแปลงไปตามคาบของวันในสัปดาห์ คือจะมีรถยนต์เข้ารับบริการมากในช่วงวันธรรมดา คือวันจันทร์-ศุกร์ และน้อยลงในวันหยุด คือวันเสาร์และอาทิตย์ โดยช่วงเวลาที่มีรถยนต์เข้ารับบริการมากที่สุดคือ ในช่วงเช้า ประมาณ 9.00 น. และในช่วงเย็น ประมาณ 17.00 น.

1.3 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในการทำปัญหาพิเศษนี้ จะมุ่งศึกษาเพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับการรอคอยของรถยนต์ที่ต้องการขึ้นใช้ทางด่วนนานเกินไป หรือพนักงานประจำช่องเก็บค่าผ่านทางฯ มีเวลาว่างมากเกินไป โดยนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยทฤษฎีแถวคอย และการจำลองแบบปัญหา มาเสนอแนะและเปรียบเทียบจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เหมาะสม ในช่วงเวลาที่มีรถยนต์เข้ารับบริการมากที่สุด เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเพิ่มหรือลดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เปิดให้บริการในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของปัญหา

1. การศึกษาปัญหาพิเศษ จะทำเฉพาะที่จุดขึ้นทางด่วน ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสุขสวัสดิ์

2. พิจารณาถึงปัญหาแถวคอยที่เกิดขึ้นในช่วงวัน และเวลาที่มีรถยนต์เข้ารับบริการมากที่สุดคือ ในช่วงวันธรรมดา (วันจันทร์-ศุกร์) ช่วงเวลาระหว่าง 8.00-10.00 น.

3. ถือว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างประเภทของรถยนต์ที่เข้ารับบริการ

4. จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษสูงสุดของการจำลองแบบปัญหานี้คือ 5 ช่องทาง โดยเพิ่มเปิดบริการ Booth 5 ให้มีอัตราบริการเท่ากับอัตราบริการของ Booth 6

5. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องทางเข้า (Lane) ของรถยนต์ คือมีเฉพาะ 3 ช่องทาง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สอบถามรายละเอียดเกี่ยวกับ รูปแบบการทำงานของพนักงานประจำช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เปิดบริการที่เวลาต่าง ๆ กัน ช่วงวันและเวลาที่มีรถยนต์เข้ารับบริการมากที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการของวันต่าง ๆ ใน 1 สัปดาห์ จากเจ้าหน้าที่ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์

2. วิเคราะห์ปัญหาและกำหนดขอบเขต

3. เก็บรวบรวมข้อมูล

4. หารูปแบบการแจกแจงของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการ และรูปแบบการแจกแจงของเวลาที่พนักงานในแต่ละช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ใช้ในการให้บริการ

5. หาค่าต่าง ๆ ที่แสดงสถานะของแถวคอยในระบบจริง

6. สร้างโปรแกรมการจำลองแบบปัญหาเพื่อวิเคราะห์ระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์

7. ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากระบบจริงกับระบบที่จำลองขึ้น

8. เปรียบเทียบให้เห็นผลการดำเนินงานจากระบบจำลอง ที่มีการเปิดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ต่าง ๆ กัน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อเสนอแนะว่า จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เปิดให้บริการอยู่ในปัจจุบันเหมาะสมกับปริมาณรถยนต์ที่เข้ามารับบริการหรือไม่

2. ผลที่ได้จากการจำลองแบบปัญหาระบบแถวคอย สามารถนำมาเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการจัดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เหมาะสมกับสภาวการณ์ในปัจจุบันได้

3. โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหา สามารถนำมาวิเคราะห์ระบบแถวคอยได้ทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของข้อมูล

4. เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ต้องการศึกษาหรือค้นคว้าเพิ่มเติมในเรื่องที่เกี่ยวข้องต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาพิเศษนั้นแยกออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

- ทฤษฎีแถวคอย (Queueing Theory)
- เทคนิคการจำลองแบบ (Simulation Technique)

2.1 ทฤษฎีแถวคอย

2.1.1 ความหมายของแถวคอย

แถวคอยเป็นสภาพที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีการรอคอยเพื่อรับบริการ ซึ่งมีสาเหตุมาจากผู้ให้บริการไม่สามารถให้บริการแก่ผู้รับบริการได้ทันทีที่ผู้รับบริการเข้ามาในสถานีบริการ โดยมากเนื่องมาจากมีผู้รับบริการอยู่ก่อนแล้ว ตัวอย่างแถวคอยที่เห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น แถวคอยของผู้ป่วยที่รอรับการรักษาจากหมอในโรงพยาบาลหรือคลินิค แถวคอยของลูกค้าที่รอช่างตัดผมในร้านตัดผมที่มีคนนิยมมาก ๆ เป็นต้น

ทฤษฎีแถวคอยเป็นทฤษฎีที่ใช้รูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์แทนปัญหาการรอคอย และจากรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์นี้ จะนำมาวิเคราะห์สภาวะของแถวคอย และหาผลลัพธ์ที่แสดงถึงสภาวะของแถวคอยเพื่อนำมาช่วยในการตัดสินใจแก้ปัญหาการรอคอยที่เกิดขึ้น โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดค่าใช้จ่าย หรือเพื่อจัดระบบการบริการให้ดีขึ้น

สำหรับแถวคอยที่นำมาเป็นกรณีศึกษาในที่นี้คือ แถวคอยของรถยนต์ที่ใช้ทางด่วนสายดาวคะนอง-ท่าเรือ ณ จุดชิ้นทางด่วนฯ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์ ซึ่งจะพบปัญหาแถวคอยของรถยนต์เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นด่านฯ ที่มีรถยนต์ผ่านเข้ามากด่านหนึ่ง

2.1.2 ส่วนประกอบของแถวคอย

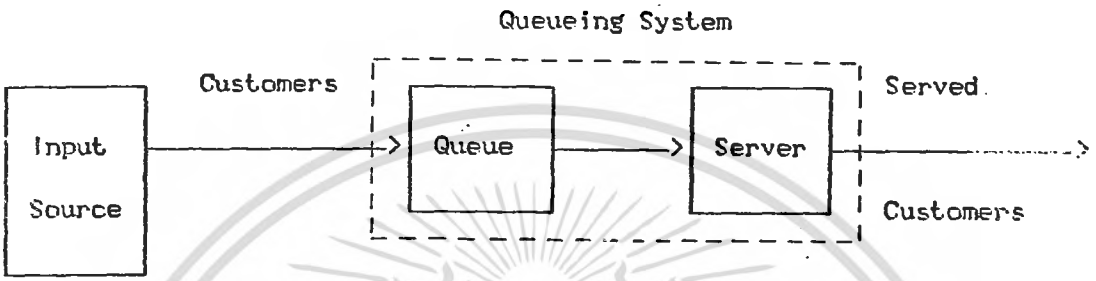
1. หน่วยรับบริการ (Customer) จะเรียกหน่วยที่เข้าสู่ระบบ (Input) ว่า หน่วยเข้ารับบริการ และเรียกหน่วยออกจากระบบ (Output) ว่าหน่วยที่ได้รับบริการแล้ว (Served

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Customer หรือ Departure) ในที่นี้หน่วยรับบริการคือ รถยนต์ที่ต้องการผ่านเข้าด่านฯ สุขสวัสดิ์

2. แถวคอย (Queue)

3. หน่วยให้บริการ (Service Channel หรือ Server) ในที่นี้คือช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Booth) แต่ละช่องทาง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของแถวคอย

2.1.3 <u>ลักษณะที่สำคัญของระบบแถวคอย</u>

1. **ขบวนการเข้ามา** (Input Process)

- จำนวนหน่วยรับบริการ อาจมีจำนวนจำกัดหรือไม่จำกัด สำหรับรถยนต์ที่ต้องการผ่านเข้าด่านฯ สุขสวัสดิ์ จะมีจำนวนมากพอที่จะประมาณได้ว่ามีจำนวนไม่จำกัด

- รูปแบบการเข้ารอรับบริการ (Arrival Pattern) ถ้าหน่วยรับบริการเข้ารับบริการเป็นเวลาที่แน่นอน ก็จะสามารถจัดให้มีหน่วยให้บริการเพียงพอตามเวลานั้น ๆ เพื่อลดปัญหาแถวคอยลงได้ แต่เนื่องจากการมาของหน่วยรับบริการขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกหลายอย่าง จึงทำให้ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ หน่วยรับบริการเข้ามารับบริการมากบ้างน้อยบ้างตามปัจจัยภายนอกนั้น ๆ ดังนั้นถ้าพิจารณาถึงรูปแบบการเข้ารอรับบริการ จะมีรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นทางทฤษฎีได้ต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถหาได้จากการแจกแจงการเข้ามาสู่ระบบ (Distribution of Arrival) จากหน่วยบริการที่เข้ามาในระบบในเวลาหนึ่ง ๆ ซึ่งมักจะมีรูปแบบการแจกแจงเป็นแบบปัวซงส์ (Poisson) เออร์แลงก์ (Erlang) สม่ำเสมอ (Uniform) เป็นต้น ถ้าแถวคอยมีหน่วยเข้ารับบริการรอรับบริการอยู่น้อย อัตราการเข้ามาสู่ระบบจะสูง ในทางตรงข้ามถ้ามีหน่วยรอคอยอยู่มาก อัตราการเข้ามาจะลดลง

ในที่นี้รูปแบบการเข้ารอรับบริการของรถยนต์ที่ต้องการผ่านเข้าด่านฯ สุข-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

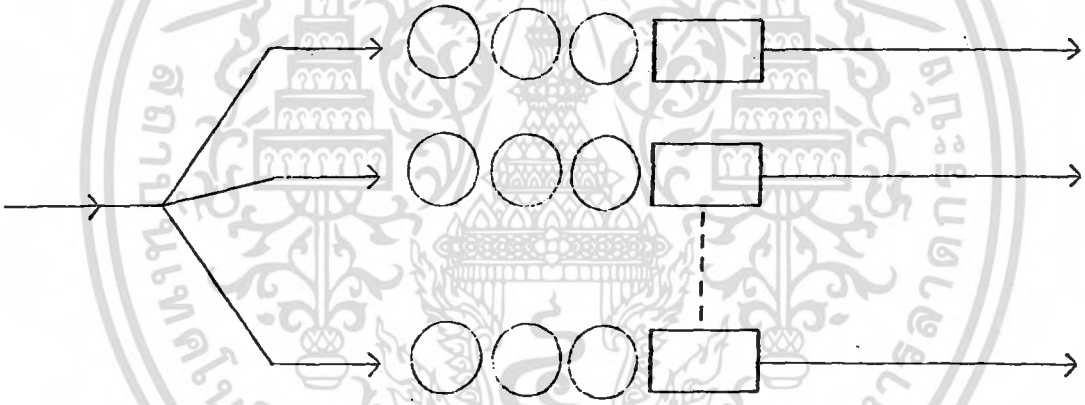
สวัสดี จะหาจากจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการในทุก ๆ ช่วง 30 วินาที และหาความถี่ของจำนวนรถยนต์นั้นว่าเป็นเท่าใด เช่น ในช่วง 30 วินาที มีรถยนต์เข้ารับบริการ 5 คัน เป็นจำนวนทั้งสิ้น 11 ครั้ง หรือมีรถยนต์เข้ารับบริการ 10 คันทั้งสิ้น 39 ครั้ง เป็นต้น พบว่าการแจกแจงการเข้าสู่ระบบเป็นแบบปัวซงส์ (ดูรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อ 3.2.2)

2. กลไกการให้บริการ (Service Mechanism)

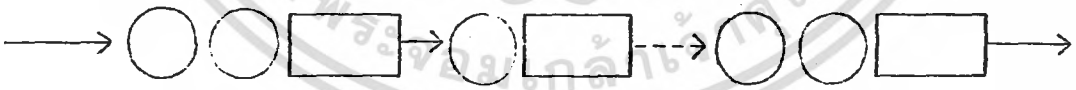
- ลักษณะการจัดหน่วยให้บริการ (Service Pattern) มีหลายรูปแบบ เช่น

ระบบแถวคอยเดี่ยว (Single Channel Queue)

ระบบแถวคอยแบบหลายแถวคู่ขนาน (Multi-Channel Queue)

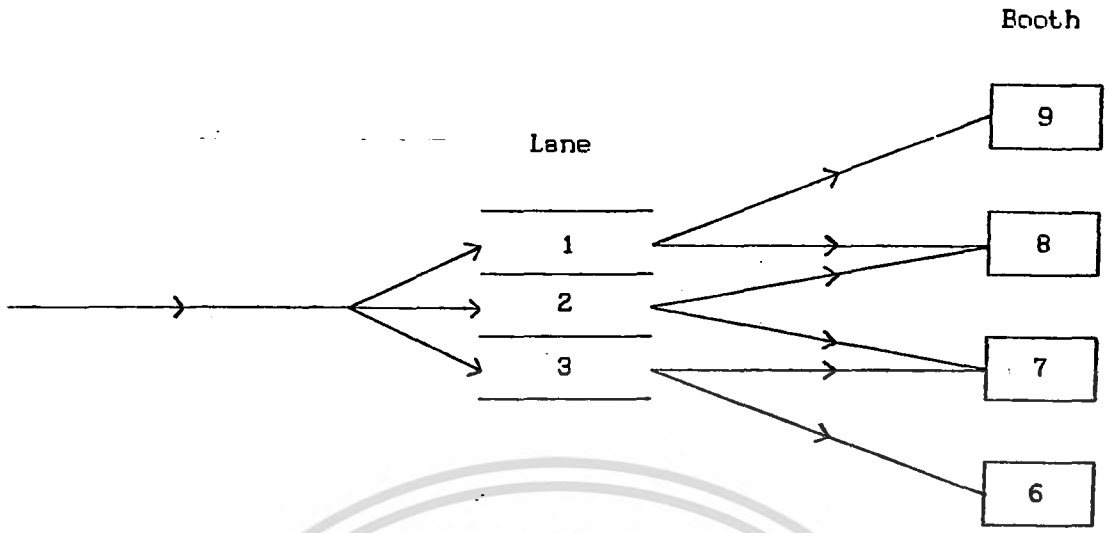


ระบบแถวคอยแบบหลายขั้นตอน (Multi-Stage Queue)



สำหรับลักษณะการจัดหน่วยให้บริการของระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดี จะมีลักษณะคล้ายระบบแถวคอยแบบหลายแถวคู่ขนาน ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์

จากรูปจะเห็นว่า รถยนต์ที่จะเข้ารับบริการที่ช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษนั้น มาจากช่องทางเข้า 3 ช่องทางหรือ 3 เลน โดยสมมติว่า ก่อนที่จะเข้าสู่เลน 3 เลนนั้น รถยนต์ทุกคันมาจากแถวเดียวกัน และจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมมานั้น สามารถหาโอกาสที่รถแต่ละคันจะเข้าแต่ละเลนได้ผลดังนี้

เลน	1	2	3
ความน่าจะเป็น	0.43	0.32	0.25

และพบว่ารถจากเลน 1 จะเข้ารับบริการที่ Booth 8 และ Booth 9 โดยจะให้ความสำคัญกับ Booth 9 ก่อน เช่น ถ้า Booth 9 และ Booth 8 ว่างจากการให้บริการ รถจากเลน 1 จะเลือกเข้ารับบริการที่ Booth 9

รถจากเลน 2 จะเข้ารับบริการที่ Booth 7 และ Booth 8 โดยให้ความสำคัญกับ Booth 8 ก่อน

รถจากเลน 3 จะเข้ารับบริการที่ Booth 6 และ Booth 7 โดยให้ความสำคัญกับ Booth 7 ก่อน

ซึ่งข้อมูลข้างต้นเหล่านี้จะนำไปใช้ในขั้นตอนการจำลองแบบปัญหาต่อไป

- **รูปแบบของการบริการ** (Departure Pattern) ขึ้นอยู่กับเวลาการให้บริการ (Service Time) ซึ่งเวลาให้บริการนั้น หมายถึงเวลาที่ใช้ในการให้บริการแก่หน่วยรับบริการ เช่น ในร้านตัดผมที่มีการให้บริการอย่างเดียวคือ บริการตัดผม ดังนั้นเวลาให้บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็คือ เวลาที่ช่างตัดผมใช้ในการตัดผม เป็นต้น เวลาให้บริการ จะมากหรือน้อยย่อมขึ้นอยู่กับปริมาณงานที่ต้องทำและความชำนาญของหน่วยให้บริการ โดยทั่วไปถ้าหน่วยให้บริการเป็นบุคคลหรือเกี่ยวข้องกับบุคคล จะใช้เวลาบริการไม่แน่นอน การหารูปแบบของการบริการสามารถหาได้จากการแจกแจงของเวลาที่ใช้ในการให้บริการ (Distribution of Service Time) โดยหาจากเวลาให้บริการ ซึ่งจะพบว่าอาจมีการแจกแจงเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) แกมม่า (Gamma) หรือแบบปกติ (Normal) เป็นต้น

เวลาให้บริการในที่นี้ หมายถึงเวลาที่พนักงานประจำช่องเก็บค่าผ่านทางฯ แต่ละช่องทาง ใช้ในการเก็บค่าผ่านทางพิเศษจากรถยนต์ที่จะขึ้นใช้ทางด่วน และพบว่าการแจกแจงไม่เป็นไปตามรูปแบบใด ๆ ที่กล่าวมาเลย (ดูรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อ 3.2.4)

3. ระเบียบของแถวคอย (Queue Discipline) หมายถึง การจัดลำดับของหน่วยรับบริการในแถวคอยเข้ารับบริการ ซึ่งอาจเป็นแบบเข้ามาก่อนได้รับบริการก่อน (first-come-first-served ;FCFS) หรือเข้ามาหลังได้รับบริการก่อน (last-come-first-served ;LCFS) หรือจัดให้บริการอย่างสุ่ม (service in random order ;SIRO) หรือจัดบริการแบบอื่น ๆ

สำหรับแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ จะมีลักษณะการจัดบริการให้แก่รถยนต์เป็นแบบเข้ามาก่อนได้รับบริการก่อน

4. ขีดความสามารถของระบบแถวคอย (Queueing System Capacity) แถวคอยมีขีดความสามารถในการรับหน่วยรับบริการเหมือนกัน อาจมีขีดจำกัดหรือไม่มีขีดจำกัดในการรับหน่วยเข้ารับบริการ เช่น แถวคอยของเครื่องจักรในโรงงานซ่อม ซึ่งมีเนื้อที่จำกัด หน่วยเข้ารับบริการจะรออยู่มากไม่ได้ หรือในกรณีแถวคอยของจดหมายที่รอการส่งในที่ทำการไปรษณีย์ จะถือได้ว่า เป็นแถวคอยที่ไม่จำกัด เนื่องจากมีเนื้อที่มากพอ เป็นต้น

ส่วนขีดความสามารถในการรับรถยนต์ของแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์นั้น ถือได้ว่ามีขีดจำกัดในการรับรถยนต์ เนื่องจากระยะทางจากช่องทางเข้าระบบถึงช่องเก็บค่าผ่านทางฯ นั้น สามารถรับรถยนต์ได้จำกัด และความยาวแถวคอยของรถยนต์โดยเฉลี่ย (Queue Length) = 10 คัน

2.1.4 สถานะถ่ายทอดและสถานะอยู่ตัว (Transient and Steady States)

ในการวิเคราะห์ระบบการรอคอย จะศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นานมากพอ ระบบการรอคอยจะอยู่ในสถานะถ่ายทอด ถ้าพฤติกรรมต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งมักจะปรากฏในระยะแรกของการดำเนินงาน เพราะพฤติกรรมต่าง ๆ ยังขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเริ่มต้น แต่เมื่อการดำเนินงานเป็นไปในระยะเวลานานมากพอ พฤติกรรมต่าง ๆ ก็เป็นอิสระจากเวลา นั่นคือระบบการรอคอยเข้าสู่สถานะอยู่ตัว

เงื่อนไขที่จำเป็นในการที่ระบบจะอยู่ในสถานะอยู่ตัว คือเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นการดำเนินงานจะต้องมากพอเพียง (ในทางคณิตศาสตร์ ถือว่าเวลาทั้งหมดมากจนเข้าสู่ค่าอนันต์) แต่เงื่อนไขนี้ก็ยังไม่เพียงพอที่ระบบจะเข้าสู่สถานะอยู่ตัว ต้องดูพารามิเตอร์ของระบบด้วย เช่น ถ้าอัตราการเข้ามารับบริการมากกว่าอัตราการให้บริการ ในกรณีนี้ระบบจะไม่เข้าสู่สถานะอยู่ตัว เพราะแถวคอยจะยิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อเวลามากขึ้นจนกระทั่งความยาวของแถวคอยเข้าสู่ค่าอนันต์ได้

2.1.5 สัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปแบบการรอคอย

n = จำนวนหน่วยเข้ารับบริการในระบบ

$N(t)$ = จำนวนหน่วยเข้ารับบริการที่อยู่ในระบบแถวคอย ที่เวลา t ใด ๆ ($t>0$)

$P_n(t)$ = ความน่าจะเป็นที่มีหน่วยเข้ารับบริการ n หน่วยในระบบที่เวลา t ใด ๆ ในสถานะถ่ายทอด (โดยสมมติว่าระบบเริ่มต้นที่เวลา $t = 0$)

P_n = ความน่าจะเป็นที่มีหน่วยเข้ารับบริการ n หน่วยในระบบ ในสถานะอยู่ตัว

λ_n = อัตราการมาเมื่อระบบมีหน่วยเข้ารับบริการอยู่ n หน่วย

λ = อัตราการมาโดยเฉลี่ย (จำนวนหน่วยเข้ารับบริการที่มาต่อ 1 หน่วยเวลา)

μ_n = อัตราการบริการ เมื่อระบบมีหน่วยเข้ารับบริการ n หน่วย

μ = อัตราการบริการโดยเฉลี่ย (จำนวนหน่วยรับบริการที่ได้รับบริการต่อ 1 หน่วยเวลา)

s = จำนวนหน่วยให้บริการ (server)

W_s = ค่าคาดหมายเวลารอคอยของหน่วยเข้ารับบริการ 1 หน่วยในระบบ

W_q = ค่าคาดหมายเวลารอคอยของหน่วยเข้ารับบริการ 1 หน่วยในแถวคอย

L_s = ค่าคาดหมายจำนวนหน่วยเข้ารับบริการในระบบ

L_q = ค่าคาดหมายจำนวนหน่วยเข้ารับบริการในแถวคอย

สำหรับในสถานะอยู่ตัว จะสมมติให้อัตราการเข้ารอรับบริการ = λ และอัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้บริการ = μ

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง L และ W เป็นดังนี้

$L_s = \lambda W_s$, $L_q = \lambda W_q$

$\frac{1}{\mu}$ = เวลาในการให้บริการโดยเฉลี่ย

$\frac{1}{\lambda}$ = ช่วงเวลาระหว่างการเข้ามาของลูกค้า 2 คนโดยเฉลี่ย

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

2.1.6 <u>การแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในทฤษฎีแถวคอย</u>

การแจกแจงความน่าจะเป็นที่ใช้ในทฤษฎีแถวคอย ใช้เพื่ออธิบายรูปแบบการแจกแจงการเข้ามารับบริการในระบบ และอธิบายรูปแบบการแจกแจงของการให้บริการ ซึ่งอาจมีการแจกแจงเป็นแบบปัวซงส์ (Poisson) เอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) แกมม่า (Gamma) เออร์แลงก์ (Erlang) หรือแบบปกติ (Normal) เป็นต้น

สำหรับระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ จะมีรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นเข้ามาเกี่ยวข้องเพียงรูปแบบเดียวคือ การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์ (Poisson Distribution)

ถ้าให้ x แทนตัวแปรสุ่ม (Random Variables) ของเหตุการณ์ที่สนใจ การหาค่าฟังก์ชันของความน่าจะเป็นในการแจกแจงแบบปัวซงส์นั้น ต้องทราบค่าเฉลี่ย (λ) ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหรือที่ไปสังเกตมา

โอกาสที่จะมีเหตุการณ์ที่สนใจเกิดขึ้น 0,1,2,... ครั้ง จะหาโดยการแทนค่า x ด้วย 0,1,2,... ในสมการ

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{x}}{x!}$$

โดยที่ e = 2.71828 และ x = 0,1,2,...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะมีรถยนต์เข้ามาที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ในทุก ๆ 30 วินาที หาได้โดยการแทนค่า x ในสูตรข้างต้น การแจกแจงแบบปัวซงส์จะมีค่าเฉลี่ย = ค่าความแปรปรวน $=\lambda$

2.1.7 <u>การทดสอบภาวะรูปสนิทดี</u> (Goodness of Fit Test)

เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลมาเรียบร้อยแล้ว จะนำเอาข้อมูลนั้นมาหารูปแบบการแจกแจงว่า ข้อมูลนั้นมีรูปแบบการแจกแจงเข้ากับรูปแบบใด สำหรับข้อมูลในการทำปัญหานิเศษนี้มี 2 ลักษณะคือ ข้อมูลเกี่ยวกับการเข้ามารับบริการและข้อมูลเวลาการให้บริการ การทดสอบว่าข้อมูลจะมีการแจกแจงแบบใดนั้นจะทดสอบด้วยวิธีการทางสถิติที่เรียกว่า การทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test) โดยวิธีการทดสอบภาวะรูปสนิทดี (Goodness of Fit Test) ในการทดสอบไคสแควร์นั้นจะต้องทราบค่าความถี่คาดหวัง (Expected Frequency) กับทราบความถี่จากเหตุการณ์ที่ไปสังเกตมา (Observed Frequency) ซึ่งค่าความถี่จากการคาดหวังนี้จะหาได้เมื่อทราบการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เราคาดว่าข้อมูลที่ได้มานั้น จะมีการแจกแจงแบบใดแบบหนึ่งที่กำหนดขึ้น

สมมติมีเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ $x_1, x_2, \ldots, x_n$

ความถี่ที่ได้จากการสังเกต $O_1, O_2, \ldots, O_n$

ความถี่คาดหวัง $E_1, E_2, \ldots, E_n$

ค่าความถี่คาดหวังนี้หาได้จากการเอาความถี่รวม (N) คูณกับความน่าจะเป็น $f(x_i)$ ที่ได้มาจากหัวข้อ 2.1.6 ดังนั้นจะได้ความถี่คาดหวังดังต่อไปนี้

$E_1 = N.f(x_1),\ E_2 = N.f(x_2),\ \ldots,\ E_n = N.f(x_n)$

หาผลต่างระหว่างความถี่ที่เราไปสังเกต (O_i) กับความถี่คาดหวัง (E_i)

$(O_1-E_1),\ (O_2-E_2),\ \ldots,\ (O_n-E_n)$

ดังนั้นจะได้ ตัวสถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$\chi^2_{test} = (O_1-E_1)^2/E_1 + (O_2-E_2)^2/E_2 + \ldots + (O_n-E_n)^2/E_n$$
$$= \sum_{i=1}^{n} (O_i-E_i)^2/E_i$$

การนำเอาการทดสอบแบบ χ^2 (ไคสแควร์) มาใช้ในการทดสอบภาวะรูปสนิทดี มีขั้นตอนที่สรุปได้ดังนี้

ก. ตั้งสมมติฐานว่าการแจกแจงของข้อมูลมีรูปแบบการแจกแจงแบบใด

ข. หาความถี่ของข้อมูลที่สุ่มเก็บมาและได้มาจากเหตุการณ์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. คำนวณหาความถี่คาดหวังโดยใช้การแจกแจงความถี่ที่ตั้งไว้ในข้อ ก.

ง. หา $\chi^2_{\alpha,k-1}$ ที่ระดับนัยสำคัญ (α) ซึ่งหาได้โดยการเปิดตารางมาตรฐานของไคสแควร์

จ. เปรียบเทียบค่า χ^2_{cal} กับ $\chi^2_{\alpha,k-1}$ โดยดูว่าจะยอมรับสมมติฐาน หรือปฏิเสธสมมติฐานที่ตั้งไว้ (จะยอมรับสมมติฐานเมื่อ χ^2_{cal} น้อยกว่า $\chi^2_{\alpha,k-1}$ และจะปฏิเสธสมมติฐานเมื่อ χ^2_{cal} มากกว่าหรือเท่ากับ $\chi^2_{\alpha,k-1}$)

การทดสอบจะใช้ได้ดี เมื่อค่า E_i ที่คำนวณได้ทุก ๆ ค่ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 ถ้าพบว่ามีค่า E_i ที่น้อยกว่า 5 เกิดขึ้น อาจแก้ไขได้โดยการรวมค่า E_i ที่น้อยกว่า 5 ทุก ๆ ค่าเข้าด้วยกัน หรือรวมกับค่า E_i อื่น ๆ

2.1.8 <u>การหาคำตอบจากทฤษฎีแถวคอย</u>

ในการวิเคราะห์ระบบแถวคอย จะเป็นการหาค่าการดำเนินงานของระบบ ซึ่งจะนำค่าต่าง ๆ ที่ได้นี้ไปประกอบการตัดสินใจในการปรับปรุงระบบการดำเนินงานให้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น

- ความน่าจะเป็นที่จะมีหน่วยเข้ารับบริการ n หน่วยอยู่ในระบบที่เวลา t ใด ๆ
- ค่าคาดหมายเวลารอคอยของหน่วยเข้ารับบริการ 1 หน่วยในระบบ
- ค่าคาดหมายเวลารอคอยของหน่วยเข้ารับบริการ 1 หน่วยในแถวคอย
- ค่าคาดหมายจำนวนหน่วยเข้ารับบริการในระบบ
- ค่าคาดหมายจำนวนหน่วยเข้ารับบริการในแถวคอย

โดยที่ในปัญหาแถวคอยส่วนใหญ่ จะพบว่าการแจกแจงการเข้ามารับบริการในระบบจะเป็นแบบปัวซงส์ เออร์แลงก์ สม่ำเสมอ เป็นต้น และการแจกแจงของเวลาการให้บริการเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล แกมม่า ปกติ เป็นต้น ดังนั้นจึงได้มีการคิดรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ขึ้น เพื่อหาคำตอบจากแถวคอยที่มีรูปแบบการแจกแจงตามรูปแบบการแจกแจงมาตรฐานนั้น ๆ

สำหรับแถวคอยที่มีการแจกแจงไม่เข้ารูปแบบใดเลยนั้น การหาค่าคำตอบจากแถวคอยอาจหาได้โดยการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับหาคำตอบขึ้นใหม่ ตามเงื่อนไขของระบบนั้น หรือใช้เทคนิคการจำลองแบบ (Simulation Technique) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปเป็นช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทคนิคการจำลองแบบ

2.2.1 ความหมายของการจำลองแบบ

การจำลองแบบ (Simulation) เป็นแขนงหนึ่งของสาขาวิชาการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ โดยใช้การสร้างภาพเหตุการณ์ในอนาคต (Scenario) อย่างมีหลักการหรือทฤษฎีที่ถูกต้อง และได้รับความสนใจและตื่นตัวในการนำมาใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของความสำเร็จในการนำเทคนิคการจำลองแบบไปใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ เช่น ระบบโทรศัพท์ ระบบสายการผลิตในโรงงาน ระบบคอมพิวเตอร์ ระบบงานในเหมืองแร่ และการจัดตารางการผลิต เป็นต้น

สำหรับความหมายของการจำลองแบบนั้น ได้มีผู้ให้คำจำกัดความไว้ดังนี้ "การจำลองแบบปัญหา คือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กุศโลบาย (Strategies) ต่าง ๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้"

2.2.2 สาเหตุที่ต้องใช้เทคนิคการจำลองแบบ

1. เนื่องจากความอยากรู้อยากเห็นเหตุการณ์ในอนาคต เช่น การส่งมนุษย์ไปกับยานอวกาศ ครั้งแรกไม่มีข้อมูลเพียงพอหรือไม่มีเลย ในการจำลองแบบจะทำให้ได้ข้อมูลต่าง ๆ ออกมา ซึ่งถ้าไปทำการทดลองจริงก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก และอาจจะต้องเสียชีวิตมนุษย์ด้วย

2. ระบบที่ทำการศึกษามีองค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอก ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมากเกินไปจนไม่อาจสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ขึ้น เพื่อใช้หาคำตอบที่ต้องการได้ หรือทำได้ยากมาก

3. ในกรณีที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่าง ๆ กับระบบงานจริง แต่ไม่สามารถทำได้ ก็จะนำเอาเงื่อนไขนั้น ๆ มาทดลองกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อดูว่าจะให้ผลอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรจะนำเงื่อนไขนั้น ๆ ไปใช้กับระบบงานจริงหรือไม่

ในที่นี้ การนำเอาเทคนิคการจำลองแบบมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบแถวคอย ก็เนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

มาจากระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์นั้น

1. มีการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาที่ให้บริการ ไม่เป็นไปตามรูปแบบใดเลย ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่มีการวิเคราะห์ไว้แล้วเข้ามาหาค่าคำตอบของระบบแถวคอยได้

2. ช่องทางสำหรับรถยนต์เข้าระบบมีเพียง 3 เลน แต่มีหน่วยให้บริการ 4 หน่วย โดยรถยนต์ที่เข้าถูกจำกัดหน่วยบริการโดยเลนของถนน ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งไม่ตรงกับระบบแถวคอยตามทฤษฎี

3. เพื่อทดลองนโยบายการเปลี่ยนจำนวนช่องทางการให้บริการ ซึ่งไม่สามารถทำกับระบบจริงได้

2.2.3 <u>ประเภทของแบบจำลอง</u>

แบบจำลอง (Model) หมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง สามารถจัดเป็นประเภทได้ดังนี้

1. แบบจำลองกายภาพ (Physical Model) เป็นแบบจำลองที่มีรูปร่างหน้าตาเหมือนระบบงานจริง หรือมีพฤติกรรมเหมือนระบบงานจริง

2. แบบจำลองสัญญลักษณ์ (Symbolic Model) หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้สัญญลักษณ์ และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบในระบบงานจริง

3. แบบจำลองขั้นตอน (Procedural Model) ขั้นตอนของระบบหนึ่ง ๆ จะถูกจำลองขึ้น และนำมาจัดลำดับก่อนหลังตามสภาพของระบบประกอบกันเข้าเป็นตัวแบบ ขั้นตอนจะถูกจำลองเป็นสัญญลักษณ์ทางตรรกวิทยาและเลขคณิต (Logical and Arithmetic Expression) ซึ่งคอมพิวเตอร์จะเข้ามามีบทบาทมากในแบบจำลองประเภทนี้ โดยภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบ เช่น BASIC, FORTRAN, ALGOL, Pascal และมีการพัฒนาภาษาขึ้นใช้โดยเฉพาะ ได้แก่ GPSS, SIMSCRIPT, GASP, SIMULATE เป็นต้น

แบบจำลองขั้นตอนยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

3.1 ประเภทที่ 1 การเคลื่อนไปของเวลาการจำลองในแต่ละครั้งเป็นหน่วยเวลาที่เท่า ๆ กัน ซึ่งเรียกว่า ตัวแบบจำลองประเภทเคลื่อนไปเป็นหน่วยเวลา (unit-time advance) โดยเอาเวลาการจำลองทั้งหมดมาแบ่งออกเป็น N หน่วย แต่ละหน่วยเป็นช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็ก ๆ ที่เท่ากัน (Δt) การจำลองจะบันทึกสภาวะของระบบ ณ จุดเวลา $n\Delta t$, $n = 0,1,2,\ldots,N$ ถ้า Δt มีค่ามากเกินไป จะทำให้เหตุการณ์บางเหตุการณ์อาจไม่ได้รับการบันทึก เนื่องจากเหตุการณ์ที่หน่วยรับบริการเข้าสู่ระบบและออกจากระบบ เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาการบันทึกก็ได้ แต่ถ้า Δt เล็กเกินไป อาจจะพบว่าสภาวะของระบบ ณ จุดเวลา $n\Delta t$ และ $(n+1)\Delta t$ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เลย คือ ไม่มีเหตุการณ์เกิดขึ้นเลยระหว่างช่วงเวลา $n\Delta t$ ถึง $(n+1)\Delta t$ จึงไม่เกิดประโยชน์ ดังนั้นการกำหนด Δt จึงมีความสำคัญมาก การจำลองแบบประเภทนี้ เหมาะกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันไป ซึ่งสภาวะของระบบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น ข้อมูลระดับน้ำในเขื่อน เป็นต้น

การเคลื่อนที่ตามเวลาของเวลาในแบบจำลองกระทำได้โดยการกำหนดเวลาเริ่มต้นบนนาฬิกาจำลอง (Simulated Clock) แล้วให้เวลาบนนาฬิกาจำลองเคลื่อนที่โดยการบวกด้วยค่าคงที่ของเวลา (Fixed Time Increment) ตัวอย่างเช่น ถ้าเราให้ค่าคงที่ของเวลาเป็น 5 นาที ถ้าเริ่มต้นเวลาในแบบจำลองที่ 8.00 น. เวลาบนนาฬิกาจำลองเมื่อเริ่มต้นจะเป็น 8.00 น. เวลาที่จะปรากฏบนนาฬิกาจำลองถัดไปจะเป็น 8.05, 8.10, 8.15,... ตามลำดับ

3.2 **ประเภทที่ 2** ตัวแบบจำลอง ประเภทเคลื่อนไปแบบเหตุการณ์ต่อเหตุการณ์ (event-to-event advance) ช่วงเวลาการจำลองที่เคลื่อนไปแต่ละครั้งไม่จำเป็นต้องเท่ากัน แต่จะเท่ากับช่วงเวลาระหว่างเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ ดังนั้น การจำลองจึงบันทึกสภาวะการเปลี่ยนแปลงของระบบได้ทั้งหมด รวมทั้งเวลาที่แน่นอนระหว่างเหตุการณ์ด้วย ในระบบแถวคอย สภาวะของระบบกำหนดโดยจำนวนหน่วยรับบริการที่อยู่ในระบบก็ได้ เหตุการณ์ซึ่งจะเปลี่ยนสภาวะของระบบในกรณีนี้จะมี 2 อย่างคือ มีหน่วยรับบริการเข้าสู่ระบบ และมีหน่วยรับบริการออกจากระบบ การบันทึกสภาวะของระบบจะทำทุกครั้งที่มีเหตุการณ์หนึ่งในสองเหตุการณ์ที่กล่าวมาแล้วเกิดขึ้น ดังนั้นจะเห็นว่า ในตัวแบบจำลองประเภทนี้จะไม่มีการบันทึกสภาวะของระบบ หากไม่มีเหตุการณ์เกิดขึ้นซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองประเภทที่ 1 การจำลองแบบประเภทนี้ เหมาะกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง

การเคลื่อนที่ตามเหตุการณ์ของเวลาในแบบจำลอง กระทำได้โดยการกำหนดเวลาเริ่มต้นบนนาฬิกาจำลอง แล้วให้เวลาบนนาฬิกาจำลองเคลื่อนที่ไปตามเหตุการณ์ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของเวลาด้วยวิธีนี้ จะต้องทราบว่าจะมีเหตุการณ์อะไรเกิดขึ้นที่เวลาใดบ้าง ตัวอย่างเช่น ถ้าเหตุการณ์ที่ 1 เกิดขึ้นที่เวลา 8.03 น. เหตุการณ์ที่ 2 เกิดขึ้นที่เวลา 8.22 น. เหตุการณ์ที่ 3 เกิดขึ้นที่เวลา 8.45 น. เป็นต้น ถ้าในตอนเริ่มต้นนาฬิกาจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงเวลา 8.00 น. เวลาที่จะปรากฏบนนาฬิกาจำลองถัด ๆ ไปจะเป็น 8.03, 8.22, 8.45,... ตามลำดับ

แบบจำลองซึ่งใช้ในการจำลองระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ขึ้นใช้ทางด่วน ณ ด่านฯ สุขสวัสดิ์ เป็นตัวแบบจำลองประเภทเคลื่อนไปแบบเหตุการณ์ต่อเหตุการณ์ ซึ่งอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ที่จะกล่าวต่อไป จะเป็นเทคนิคและวิธีการซึ่งใช้ในโปรแกรมการจำลองแบบปัญหา

2.2.4 <u>เทคนิคมอนติคาร์โล</u>

เทคนิคมอนติคาร์โล คือเทคนิคในการสร้างข้อมูลโดยการใช้ตัวเลขสุ่ม และความน่าจะเป็นสะสม ตัวเลขสุ่มที่ใช้อาจได้มาจากตารางเลขสุ่ม โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ลูกเต๋าหรืออื่น ๆ ซึ่งสามารถสร้างตัวเลขที่มีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอ ส่วนความน่าจะเป็นสะสม อาจได้มาจากข้อมูลในอดีต จากการทดลอง หรือจากลักษณะการกระจายความน่าจะเป็น จากตัวเลขทั้งสองอย่าง จะนำมาสร้างข้อมูลที่ต้องการดังนี้

1. สร้างกราฟหรือตารางของความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่ต้องการ
2. เลือกตัวเลขสุ่ม ใส่จุดทศนิยมเพื่อให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1
3. ใช้ตัวเลขสุ่มในข้อ 2. แทนค่าความน่าจะเป็นสะสม
4. อ่านค่าของข้อมูลจากกราฟหรือตาราง ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นสะสมเท่ากับตัวเลขในข้อ 3. ค่าที่ได้นี้คือ ค่าของข้อมูลที่ต้องการ
5. ทำซ้ำข้อ 2. ถึง 4. จนกว่าจะได้ข้อมูลมากเท่าที่ต้องการ

และเพื่อความสะดวกในการหาค่าตัวแปรแบบสุ่ม จึงมักกำหนดช่วงของตัวเลขสุ่มสำหรับแต่ละค่าของตัวแปรแบบสุ่ม เพื่อให้ดูง่ายขึ้น โดยที่ไม่ต้องใส่จุดทศนิยมให้แก่ตัวเลขสุ่มนั้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง

สมมติตัวแปรสุ่ม x แต่ละค่ามีความน่าจะเป็น แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x	P(x)
0	0.02
1	0.08
2	0.22
3	0.34
4	0.18
5	0.09
6	0.07

การสร้างข้อมูลโดยอาศัยเทคนิคมอนติคาร์โล จะต้องอาศัยความน่าจะเป็นสะสม ดังนั้น สร้างตารางใหม่ และหาช่วงของตัวเลขสุ่ม (RN) ได้ดังนี้

x	P(x)	F(x)	ช่วงของ RN
0	0.02	0.02	00-01
1	0.08	0.10	02-09
2	0.22	0.32	10-31
3	0.34	0.66	32-65
4	0.18	0.84	66-83
5	0.09	0.93	84-92
6	0.07	1.00	93-99

ทำการสุ่มตัวเลขจากตารางเลขสุ่มหรือจากวิธีการสร้างตัวเลขสุ่มแบบอื่น ๆ นำตัวเลขสุ่ม (RN) ที่ได้เทียบกับช่วงของ RN ว่าตกอยู่ในช่วงใด เช่น ถ้า สุ่มได้ RN = 66 ค่า x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สร้างได้คือ 4 ถ้าสุ่มได้ RN = 24 จะได้ x = 2 เป็นต้น

2.2.4.1 การผลิตเลขสุ่ม

ตามปกติการวิเคราะห์หาค่าสถิติต่าง ๆ จะเกิดจากการนำเอาข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาใช้ในการคำนวณหาค่าสถิติเหล่านั้น เช่น ค่าตัวกลาง ค่าความแปรปรวน เป็นต้น แต่ในการจำลองแบบปัญหา จะต้องทำในสิ่งตรงกันข้ามคือ เมื่อทำการตรวจสอบว่า เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงมีการกระจายของข้อมูลใกล้เคียงกับการกระจายมาตรฐานแบบใดแล้ว ก็จะทำการผลิตตัวเลขสุ่มขึ้น และโดยอาศัยพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลจริงและฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของการกระจายมาตรฐานแบบนั้น ๆ โดยวิธีการนี้ ตัวแปรสุ่มที่ผลิตได้จะถือว่าเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง และตัวแปรสุ่มเหล่านี้จะใช้ในการจำลองแบบปัญหา ดังนั้นความสำเร็จของการจำลองจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของตัวเลขสุ่มและอัลกอริทึม (Algorithm) ที่ใช้เป็นส่วนใหญ่

เลขสุ่ม (Random Number) คือชุดของตัวเลขที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniformly Distribution) การผลิตเลขสุ่มมีหลายวิธี วิธีซึ่งเหมาะสำหรับการใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองแบบปัญหาก็คือ การผลิตเลขสุ่มโดยการโปรแกรม เป็นการผลิตเลขสุ่มจากความสัมพันธ์ที่ย้อนซ้ำขั้นตอนเดิม (Recurrence Relation) คือเลขตัวถัดไปเกิดจากการดำเนินการทางเลขคณิตและตรรกศาสตร์ ด้วยเลขตัวปัจจุบันหรือกลุ่มของตัวเลขในอดีต ดังนั้นเลขสุ่มเหล่านี้จึงไม่ใช่เลขสุ่มที่แท้จริง และอาจมีตัวเลขเกิดซ้ำ ๆ กัน เมื่อผลิตเลขไปได้ระยะหนึ่งคืออนุบรรพของเลขซึ่งผลิตในลักษณะนี้จะมีคาบ เลขสุ่มเหล่านี้ต้องมีการทดสอบเชิงสถิติ เพื่อที่จะอนุมานได้ว่าเป็นเลขสุ่ม ด้วยเหตุนี้เองเลขสุ่มเหล่านี้เรียกได้ว่าเป็นเลขคล้ายสุ่ม (Pseudo-Random Number)

คุณสมบัติของเลขสุ่ม

โปรแกรมที่ใช้ผลิตเลขสุ่มควรมีคุณสมบัติขั้นพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. เลขที่ผลิตด้วยการโปรแกรมจะต้องมีสหสัมพันธ์อ่อนระหว่างกัน

2. การแจกแจงของเลขที่ผลิตจากการโปรแกรม จะต้องใกล้เคียงกับการแจกแจงสม่ำเสมอมากที่สุดเท่าที่จะมากได้

3. โปรแกรมที่ใช้ผลิตเลขสุ่มจะต้องมีเสถียรภาพ คือการแจกแจงของเลขจะต้องไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนตัวเลขที่ผลิตออกมา

การผลิตเลขสุ่มด้วยการใช้เศษของผลหาร (Congruential Method)

เทคนิคการผลิตเลขสุ่มโดยการโปรแกรม ได้รับการพัฒนาขึ้นหลายวิธีด้วยกัน สำหรับในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการผลิตเลขสุ่มด้วยการใช้เศษของผลหาร ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในโปรแกรมการจำลองแบบปัญหาระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ การผลิตเลขสุ่มด้วยการใช้เศษของผลหารยังแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ

- การใช้เศษจากการหารผลคูณ (Multiplicative Congruential Method)
- การใช้เศษจากการหารผลบวก (Additive Congruential Metod)
- การใช้เศษจากการหารผลบวกระหว่างผลคูณกับค่าคงตัว (Mixed Congruential Method)

ในการจำลองแบบปัญหานี้จะผลิตเลขสุ่มด้วยวิธีการใช้เศษจากการหารผลคูณ เนื่องจากง่ายและเป็นที่แพร่หลาย โดยวิธีการใช้เศษจากการหารผลคูณ จะผลิตเลขสุ่มได้จากความสัมพันธ์

$$RN_{i+1} = k\ RN_i \quad \text{modulo } m$$

โดย k และ m เป็นเลขจำนวนเต็มบวก (โดยทั่ว ๆ ไป $k < m$)

2.2.4.2 การผลิตตัวแปรสุ่ม

การแปลงผกผัน (The Inverse Transformation Method)

เทคนิคการแปลงผกผัน เป็นเทคนิคที่ใช้แปลงตัวเลขสุ่มที่มีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นแบบสม่ำเสมอให้มีการกระจายเป็นแบบที่ต้องการ โดยใช้ Cummuletive Distribution Function, F(x) ของการแจกแจงที่ต้องการมาผลิตเลขสุ่มขึ้นใหม่ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ให้ $r = RN(0,1) = F(x) =$ ความน่าจะเป็นสะสม

นั่นคือ $r = \int_{-\infty}^{x} f(x)\,dx$ หรือ $\sum_{0}^{x} p(x)$

และค่าตัวแปรสุ่ม $x = F^{-1}(r)$

โดยใช้การแปลงผกผันจะได้ค่าตัวแปรแบบสุ่มที่มีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานต่าง ๆ ตามที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น

การผลิตตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียล

pdf และ Cummulative Distribution Function ของการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียล มีดังนี้

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \qquad x > 0$$

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \qquad x > 0$$

เมื่อ r = RN(0,1)

จะได้ $F(x) = r$

ดังนั้น $1-r = e^{-\lambda x}$

เนื่องจาก r เป็นตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (1-r) ก็จะมีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอด้วย จึงสามารถแทนค่า (1-r) ด้วย r ได้เป็น

$$r = e^{-\lambda x}$$

$$x = \frac{-\ln (r)}{\lambda}$$

$$x = -\mu \ln (r) \qquad \text{เมื่อ } \mu = 1/\lambda$$

การผลิตตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวซงส์

pdf ของการแจกแจงแบบปัวซงส์คือ

$$f(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \qquad x \geq 0$$

จะได้ $\prod_{i=0}^{x} r_i \ll e^{-\lambda} \ll \prod_{i=0}^{x+1} r_i$

ระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ มีการแจกแจงของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการเป็นแบบปัวซงส์ (ดูรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อ 3.2.2) แต่ในการจำลองระบบนั้น ตัวแปรสุ่มที่ใช้แทนเวลาการเข้าสู่ระบบ จะใช้ตัวแปรสุ่มที่ผลิตจากฟังก์ชันการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียลแทน เนื่องจากการผลิตตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวซงส์นั้น จะได้ตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุ่มที่เป็นค่าของจำนวนเหตุการณ์ต่อหน่วยเวลา ซึ่งในระบบจำลอง ต้องการใช้ตัวแปรสุ่มที่แทนเวลาการเข้าสู่ระบบของรถยนต์แต่ละคัน ดังนั้นจึงใช้การแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียลซึ่งเป็นส่วนกลับของการแจกแจงแบบปัวซองส์ ผลิตตัวแปรสุ่มแทน

2.2.5 <u>ตัวอย่างการจำลองแบบระบบแถวคอยเดี่ยว</u>

เพื่อช่วยให้เข้าใจวิธีการจำลองแบบระบบแถวคอย จะใช้ตัวอย่างของการจำลองแบบปัญหาระบบแถวคอยอย่างง่ายที่มีผู้ให้บริการ 1 คน โดยสมมติว่า ปัญหานี้เป็นปัญหาของร้านตัดผมซึ่งมีช่างตัดผม 1 คน ร้านสามารถบรรจุลูกค้าเท่าไรก็ได้ ระบบแถวคอยแสดงได้ดังรูป

การทำงานของระบบจะเริ่มด้วยลูกค้าเข้ามาที่ร้านตัดผม ถ้าช่างตัดผมว่างก็จะเข้ารับบริการ ถ้าไม่ว่างก็จะเข้าคิวรอ เมื่อรับบริการเสร็จก็จะออกจากร้านไป เมื่อมีลูกค้าคนใหม่เข้ามาก็จะปฏิบัติตนเหมือนกัน ระบบจะดำเนินงานเช่นนี้ตั้งแต่เริ่มเปิดร้านจนถึงเวลาปิดร้าน

สมมติว่า การเข้ามาในร้านของลูกค้ามีลักษณะสม่ำเสมอ ระยะเวลาห่างระหว่างลูกค้าแต่ละคนมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 นาที ระยะเวลาของการใช้บริการของลูกค้าแต่ละคนจะมีลักษณะสม่ำเสมอมีค่าอยู่ระหว่าง 10-15 นาที

การจำลองแบบปัญหา จะเริ่มด้วยการผลิตตัวแปรสุ่มที่แทนเวลาการเข้ามาของลูกค้า (ซึ่งจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20) เช่น ผลิตได้ 12 แปลว่าลูกค้าคนนั้นเข้ามาที่ร้านหลังคนก่อนเป็นเวลา 12 นาที ถ้าเป็นลูกค้าคนแรก หมายความว่าลูกค้าคนนั้นเข้ามาหลังการเปิดร้าน 12 นาที หลังจากนั้นผลิตตัวแปรสุ่มที่แทนระยะเวลาการใช้บริการ (ซึ่งจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 10-15) เช่น ผลิตได้ 15 แปลว่าลูกค้าคนนั้นจะใช้เวลาในการตัดผม 15 นาที จากนั้นก็จะตรวจสอบดูว่า เวลาที่ลูกค้าเข้ามานั้นเป็นเท่าไร (เวลาสมมติของระบบ) ช่างตัดผมว่างหรือไม่ ถ้าไม่ว่าง เมื่อใดจึงจะว่าง ซึ่งการตรวจสอบนี้สามารถทำได้โดย การตั้งนาฬิกาจำลอง (Simulated Clock) สำหรับการตรวจนับเวลาของกิจกรรมแต่ละขั้นตอนของลูกค้าจากเวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ก็จะทราบว่าเวลาที่ลูกค้ารอช่าง และเวลาที่ช่างว่างเป็นเท่าไร รวมทั้งหาข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองแบบปัญหาของลูกค้าที่เข้ามาในร้าน 20 คน อาจจะได้แบบจำลองการทำงานของร้านตัดผมดังตารางข้างล่างนี้

ลูกค้าคนที่	เวลาที่เข้าหลังคนก่อน (นาที)	เวลาที่ต้องใช้บริการ (นาที)	นาฬิกาแสดงเวลามาถึงร้าน	นาฬิกาแสดงเวลาเข้ารับบริการ	นาฬิกาแสดงเวลาออกจากร้าน	ลูกค้าคอย (นาที)	ช่างว่าง (นาที)
1	12	15	8.12	8.12	8.27	-	12
2	10	12	8.22	8.27	8.39	5	-
3	14	10	8.36	8.39	8.49	3	-
4	18	14	8.54	8.54	9.08	-	5
5	10	12	9.04	9.08	9.20	4	-
6	16	12	9.20	9.20	9.32	3	-
7	13	15	9.33	9.33	9.48	-	1
8	12	12	9.45	9.48	10.00	3	-
9	20	13	10.05	10.05	10.18	-	5
10	15	11	10.20	10.20	10.31	-	2
11	17	14	10.37	10.37	10.51	-	6
12	19	10	10.56	10.56	11.06	-	5
13	12	13	11.08	11.08	11.21	-	2
14	15	12	11.23	11.23	11.35	-	2
15	18	10	11.41	11.41	11.51	-	6
16	16	11	11.57	11.57	12.08	-	6
17	10	15	12.07	12.08	12.23	1	-
18	11	14	12.18	12.23	12.37	5	-
19	11	12	12.29	12.37	12.49	8	-
20	20	10	12.49	12.49	13.59	-	3
					รวม	32	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการจำลองแบบปัญหา จะได้ว่าลูกค้า 20 คน มีเวลาคอย 32 นาที เฉลี่ยเวลาที่ต้องคอยช่างตัดผมคนละ 1.6 นาที จากเวลาที่เปิดร้านจนได้ลูกค้า 20 คน ใช้เวลา 359 นาที ช่างตัดผมมีเวลาว่าง 54 นาที เปอร์เซนต์ของการใช้งานช่าง = 1-(54/359) x 100 = 84.96%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้จากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ซึ่งเก็บสถิติของจำนวนรถยนต์ที่ผ่านเข้า-ออก ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์ ในแต่ละวันไว้นั้น พบว่าความต้องการใช้บริการของรถยนต์ ณ จุดขึ้นทางด่วน เปลี่ยนแปลงไปตามคาบของวันในสัปดาห์ คือจะมีรถยนต์เข้ารับบริการมากในช่วงวันธรรมดาคือ วันจันทร์-ศุกร์ และน้อยลงในวันหยุดคือ วันเสาร์-อาทิตย์ ในที่นี้สนใจเฉพาะช่วงวันที่มีรถยนต์เข้ามาใช้บริการมากที่สุด ซึ่งจะเกิดปัญหาแถวคอยขึ้นมาก โดยที่ในช่วงวันจันทร์-ศุกร์ เวลาที่มีรถยนต์เข้าใช้บริการมากที่สุดคือช่วงเช้า ประมาณเวลา 9.00 น. และในช่วงเย็นประมาณเวลา 17.00 น.

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลที่การทางพิเศษแห่งประเทศไทยเก็บไว้นั้น ไม่ตรงกับข้อมูลที่ต้องการใช้ในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลขึ้นใหม่ โดยเลือกเก็บข้อมูลในวันพฤหัสที่ 7 และวันศุกร์ที่ 22 ธันวาคม 2532 ระหว่างเวลา 8.00-10.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีรถยนต์เข้ารับบริการหนาแน่นมากที่สุด สาเหตุที่เก็บข้อมูลเพียง 2 วัน เนื่องจาก

1. ลักษณะของข้อมูลในช่วงเวลาที่รีบเร่ง คือ 8.00-10.00 น. ของวันปกติ คือ จันทร์-ศุกร์ มีความแตกต่างกันน้อยมาก จากการสอบถามเจ้าหน้าที่ควบคุมด่าน
2. จำนวนบุคคลากรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลไม่เอื้ออำนวย

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

1. แบบฟอร์มการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งแยกเป็น 2 ชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 เป็นแบบฟอร์มสำหรับบันทึกเวลาที่รถยนต์เข้าสู่ระบบ ณ จุดที่รถเริ่มเลี้ยวเข้าสู่ด่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดที่ 2 เป็นแบบฟอร์มสำหรับบันทึกเวลาที่รถยนต์เข้ารับบริการ และออกจากระบบ ณ ช่องเก็บค่าผ่านทางฯ แต่ละช่อง

ซึ่งรายละเอียดของแบบฟอร์มดูได้จากภาคผนวก ก

2. นาฬิกาจับเวลา

3. บุคคลากรตามจุดที่ต้องการบันทึกข้อมูล

3.1.2 ลักษณะของข้อมูลดิบ

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมานั้น ประกอบด้วย

1. เวลาที่รถยนต์เข้าสู่ระบบ จะถือว่า ระบบเริ่มจากจุดที่รถยนต์ลื้อเข้าด่านฯ สุขสวัสดิ์

2. เวลาที่รถยนต์เริ่มเข้ารับบริการ โดยถือเอาเวลาที่รถยนต์วิ่งเข้ามาถึงช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เป็นเวลาเริ่มรับบริการ

3. เวลาที่รถยนต์ออกจากระบบ ถือเอาเวลาซึ่งรถยนต์ที่เข้ารับบริการได้รับใบเสร็จรับเงินจากพนักงานที่ช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เรียบร้อยแล้ว เป็นเวลาออกจากระบบ

ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการบันทึกนั้น จะเป็นเพียงตัวเลขของค่าวินาทีที่เริ่มจากเวลาที่กำหนดไว้คือ 8.00.00 น. ตัวอย่างเช่น

เลขทะเบียนรถ	เวลาที่รถเข้าสู่ระบบ	เวลาที่รถเข้ารับบริการ	เวลาที่รถออกจากระบบ
123	5	18	20
456	8	25	28
:	:	:	:
:	:	:	:

ดังนั้นจึงต้องมีการปรับตัวเลขของค่าวินาทีนี้ให้อยู่ในรูปของช่วงเวลาที่สมบูรณ์ ซึ่งจะได้ลักษณะของข้อมูลเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขทะเบียนรถ	เวลาที่รถเข้าสู่ระบบ	เวลาที่รถเข้ารับบริการ	เวลาที่รถออกจากระบบ
123	8.00.05	8.00.18	8.00.20
456	8.00.08	8.00.25	8.00.28
:	:	:	:
:	:	:	:

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลที่รวบรวมมาได้จะนำมาวิเคราะห์หาอัตราการเข้ามารับบริการ (Arrival Rate; λ) ของรถยนต์ และอัตราการให้บริการของพนักงานประจำ Booth (Service Rate; μ) ได้ดังนี้

3.2.1 อัตราการเข้ารับบริการของรถยนต์ (λ)

จากข้อมูลที่ได้มาจากการจดบันทึกเวลาที่รถยนต์เข้าสู่ระบบ สามารถนำมาหาการแจกแจงความถี่ของรถยนต์ที่เข้ามารับบริการในทุก ๆ 30 วินาที ได้ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งจะนำข้อมูลที่แจกแจงความถี่แล้วนี้ไปหารูปแบบของการแจกแจงการเข้ามาสู่ระบบ (Distribution of Arrival) ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที

ช่วงทุก ๆ 30 วินาที	เวลาที่มีรถยนต์เข้ามารับบริการทุก ๆ 30 วินาที			
	8.00-8.30	8.30-9.00	9.00-9.30	9.30-10.00
1	10	11	10	5
2	5	15	9	10
3	7	4	8	7
4	5	13	12	10
5	6	12	7	10
6	9	11	6	13
7	10	10	7	13
8	12	10	7	10
9	12	8	12	7
10	10	16	7	7
11	7	4	7	8
12	5	8	13	11
13	12	3	9	9
14	6	10	8	8
15	12	8	11	6
16	10	10	11	11
17	5	8	10	13
18	10	9	4	11
19	6	8	9	7
20	12	12	9	9
21	17	8	6	14
22	8	12	13	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 จำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที (ต่อ)

ช่วงทุก ๆ 30 วินาที	เวลาที่มีรถยนต์เข้ามารับบริการทุก ๆ 30 วินาที			
	8.00-8.30	8.30-9.00	9.00-9.30	9.30-10.00
45	7	14	11	13
46	10	18	5	8
47	11	13	10	7
48	14	17	15	9
49	16	14	10	10
50	15	10	5	13
51	8	11	12	8
52	9	11	10	8
53	9	12	7	9
54	5	13	5	5
55	17	11	12	7
56	9	12	9	10
57	9	13	9	10
58	12	12	10	7
59	8	10	7	8
60	8	9	8	15
รวม (2356)	606	615	552	583

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การแจกแจงความถี่ของรถยนต์ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที

จำนวนรถในแต่ละช่วง 30 วินาที (T_i)	ความถี่ (X_i)	ความถี่สะสม	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	T_iX_i
1	1	1	0.00417	0.00417	1
2	1	2	0.00417	0.00833	2
3	2	4	0.00833	0.01667	6
4	5	9	0.02083	0.03750	20
5	11	20	0.04583	0.08333	55
6	10	30	0.04167	0.12500	60
7	27	57	0.11250	0.23750	189
8	27	84	0.11250	0.35000	216
9	28	112	0.11667	0.46667	252
10	39	151	0.16250	0.62917	390
11	16	167	0.06667	0.69583	176
12	29	196	0.12083	0.81667	348
13	17	213	0.07083	0.88750	221
14	7	220	0.02917	0.91667	98
15	8	228	0.03333	0.95000	120
16	5	233	0.02083	0.97083	80
17	5	238	0.02083	0.99167	85
18	1	239	0.00417	0.99583	18
19	1	240	0.00417	1.00000	19
รวม					2356

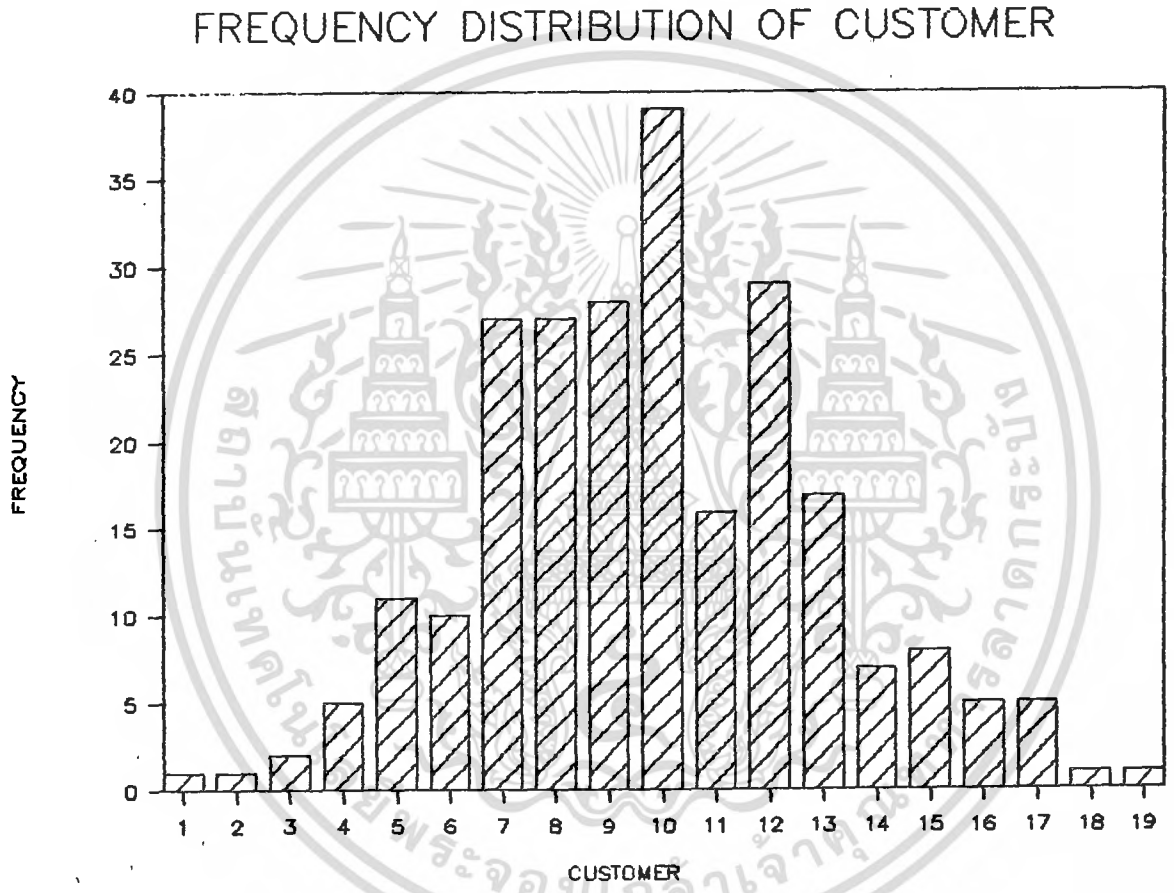
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเข้ารับบริการของรถยนต์ (λ) จะหาได้ดังนี้

$$\lambda = \sum_i T_i X_i / N$$

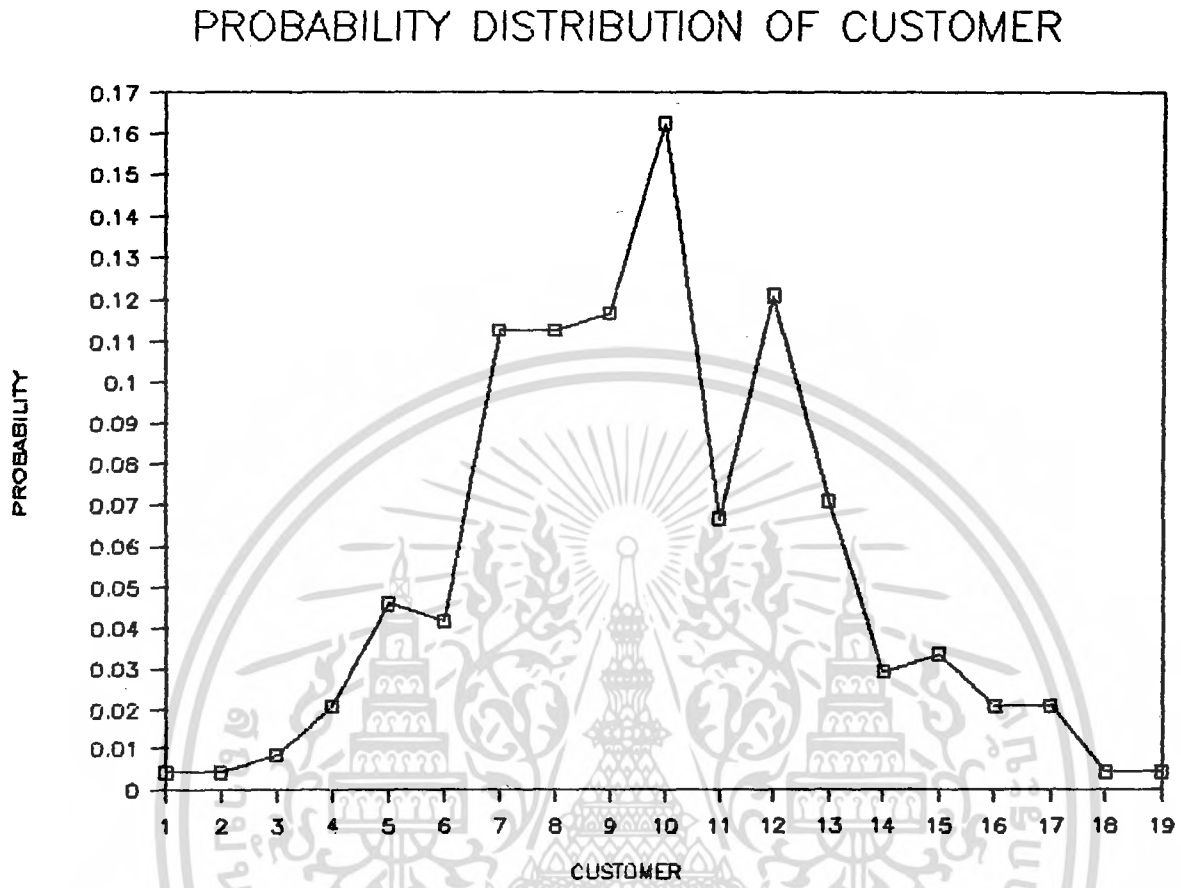
$$= 2356/240 = 9.82 \text{ คัน/30วินาที}$$

หรือ $= 0.327$ คัน/วินาที



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของจำนวนรถยนต์
ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการทุก ๆ 30 วินาที

3.2.2 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงการเข้ารับบริการของรถยนต์

จะใช้การทดสอบภาวะรูปสนิทดี (Goodness of Fit) โดยใช้การทดสอบไคสแควส์ (χ^2 - Test) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ก.) ตั้งสมมติฐานของการทดสอบ เนื่องจากกราฟรูปที่ 3.1 และ 3.2 มีลักษณะคล้ายการแจกแจงแบบปัวซงส์ ดังนั้นสมมติฐานที่ได้คือ

H_0 : จำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์

H_1 : จำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการไม่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.) หาความน่าจะเป็นที่จะมีรถยนต์ X คัน เข้ามารับบริการในทุก ๆ 30 วินาที จาก

$$f(x) = e^{-\lambda}\lambda^{x}/x!$$

โดย $x = 1,2,\ldots,19$

$e = 2.71828$

λ = อัตราการเข้ารับบริการของรถยนต์ = 9.82 คัน/30วินาที

ค.) หาความถี่คาดหวัง (Expected Value) ของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการจาก

$$E_i = N.f(x_i) \quad ; N = \sum_i O_i$$

ง.) ทดสอบโดยใช้

$$\chi^2 = \sum_i (O_i - E_i)^2 / E_i$$

จ.) เปรียบเทียบค่า χ^2 ที่คำนวณได้กับค่า χ^2 จากตารางมาตรฐานที่ระดับนัยสำคัญ α และที่องศาแห่งความเป็นอิสระ (Degree of Freedom) ตามข้อมูลที่จะวิเคราะห์

ตารางที่ 3.3 ค่าความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์และค่าความถี่คาดหวังของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการ

จำนวนรถยนต์เข้ารับบริการ (30 วินาที)	ก่อนการปรับปรุงค่าความถี่คาดหวัง		
	O_i	ความน่าจะเป็น	E_i
1	1	0.000489	0.11736
2	1	0.002621	0.62904
3	2	0.008579	2.05896
4	5	0.021060	5.05440
5	11	0.041362	9.92688
6	10	0.067696	16.24704
7	27	0.094968	22.7923
8	27	0.116573	27.9775
9	28	0.127195	30.5268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่าความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์และค่าความถี่คาดหวังของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการ (ต่อ)

จำนวนรถยนต์เข้ารับบริการ (30 วินาที)	ก่อนการปรับปรุงค่าความถี่คาดหวัง		
	O_i	ความน่าจะเป็น	E_i
10	39	0.124905	29.9772
11	16	0.111506	26.76144
12	29	0.091249	21.89976
13	17	0.068928	16.54272
14	7	0.048348	11.60352
15	8	0.031652	7.59648
16	5	0.019426	4.66224
17	5	0.011222	2.69328
18	1	0.006122	1.46928
19	1	0.003164	0.75936
รวม	240		

หมายเหตุ สำหรับชั้นที่มีความถี่คาดหวังน้อยกว่า 5 ต้องมีการปรับปรุงค่าความถี่คาดหวังใหม่ดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ค่าความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์ของจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการและค่าไคสแควร์

จำนวนรถยนต์เข้ารับบริการ (30 วินาที)	หลังการปรับปรุงค่าความถี่คาดหวังที่น้อยกว่า 5			
	O_i	ความน่าจะเป็น	E_i	$(O_i-E_i)^2/E_i$
1				
2				
3	16	0.051600	12.38950	1.052200
4	5	0.021060	5.05440	0.000586
5	11	0.041362	9.92688	0.115998
6	10	0.067696	16.24704	2.401980
7	27	0.094968	22.7923	0.776800
8	27	0.116573	27.9775	0.034150
9	28	0.127195	30.5268	0.209300
10	39	0.124905	29.9772	2.715800
11	16	0.111506	26.76144	4.327400
12	29	0.091249	21.89976	2.301980
13	17	0.068928	16.54272	0.012640
14	7	0.048348	11.60352	1.826400
15	8	0.031652	7.59648	0.021400
16				
17				
18				
19				
รวม				15.7965

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.4 จะได้ว่า

χ^2 จากการคำนวณ = 15.7965

ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 และที่องศาแห่งความเป็นอิสระ = 13-1-1 = 11

เปิดตาราง χ^2 มาตรฐาน จะได้

χ^2 จากตาราง = 19.675

จะเห็นได้ว่า χ^2 จากการคำนวณ น้อยกว่า χ^2 จากตาราง

เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่า "จำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการมีการแจกแจงแบบปัวซงส์ ด้วยค่าเฉลี่ย(λ) = 9.82 คัน/30วินาที" ซึ่งจะนำไปใช้ในการผลิตตัวแปรสุ่มเพื่อใช้ในการจำลองแบบปัญหาต่อไป

3.2.3 อัตราการให้บริการของพนักงาน (μ)

จากข้อมูลที่ได้จากการจดบันทึกเวลาที่พนักงานให้บริการรถยนต์ในแต่ละช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Booth) นำมาสร้างตารางในรูปของการแจกแจงความถี่แยกตามแต่ละ Booth ดังนี้

ตารางที่ 3.5 การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 6

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ (วินาที) (T_i)	ความถี่ (X_i)	ความถี่สะสม	T_iX_i	X_i^2	$X_i^2T_i$
1	36	36	36	1	36
2	103	139	206	4	412
3	149	288	447	9	1341
4	85	373	340	16	1360
5	38	411	190	25	950
6	30	441	180	36	1080
7	22	463	154	49	1078
8	2	465	16	64	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 6 (ต่อ)

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ (วินาที) (T_i)	ความถี่ (X_i)	ความถี่สะสม	T_iX_i	X_i^2	$X_i^2T_i$
9	6	471	54	81	486
10	9	480	90	100	900
12	1	481	12	144	144
13	1	482	13	169	169
17	1	483	17	289	289
18	1	484	18	324	324
19	1	485	19	361	361
20	2	487	40	400	800
29	1	488	29	841	841
รวม			1861		10699

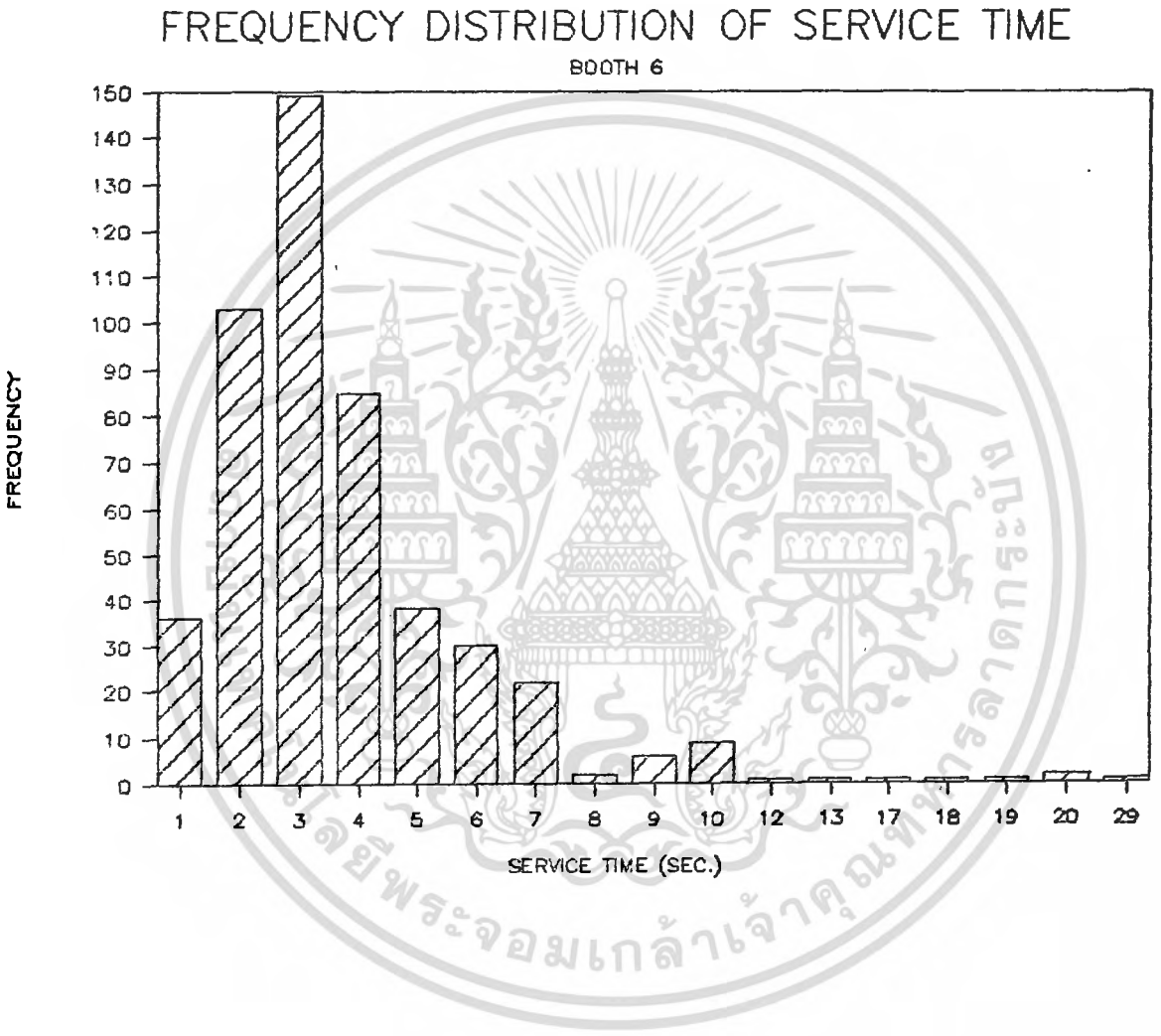
อัตราการให้บริการของพนักงาน (μ) จะหาได้ดังนี้

$$\mu = \sum_i T_iX_i/N$$

$$= 1861/488 = 3.81 \text{ วินาที/คัน}$$

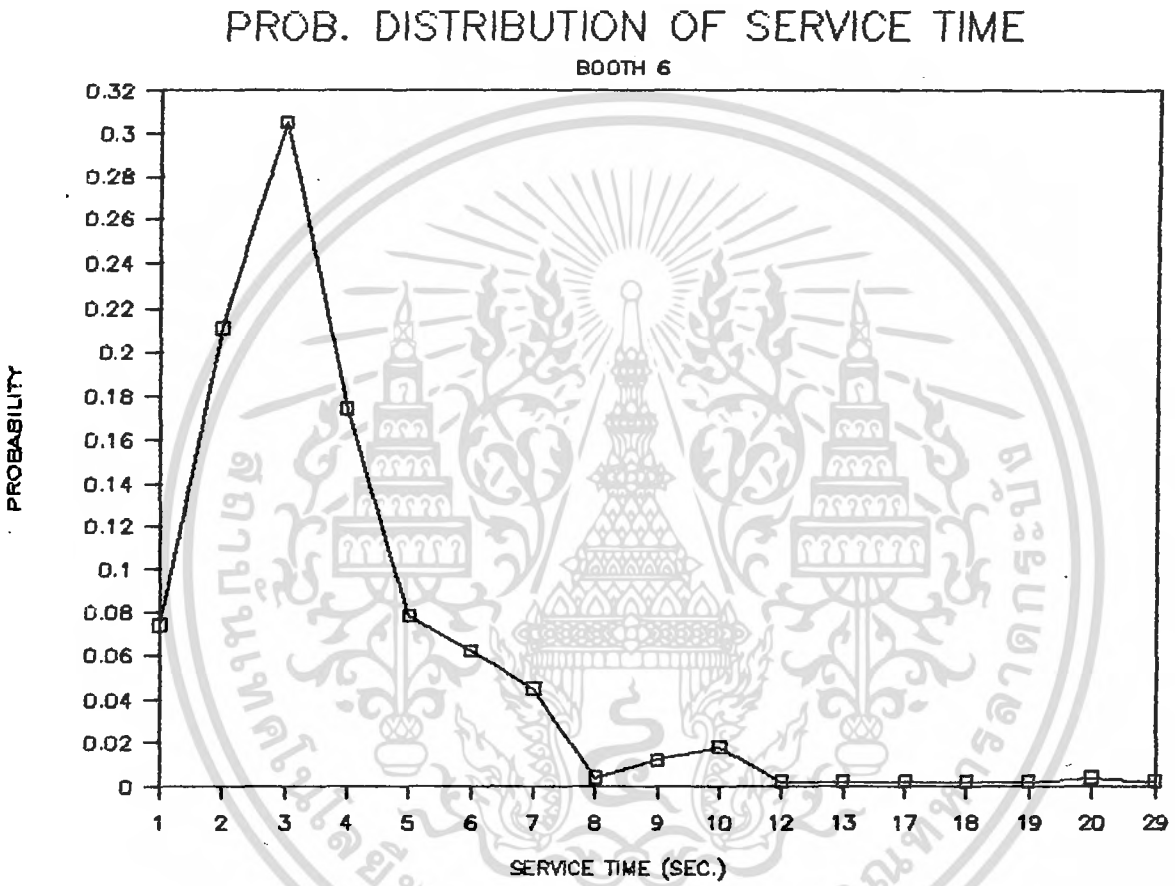
หรือ $\lambda = 1/3.81 = 0.262$ คัน/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการ Booth 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 7

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ (วินาที) (T_i)	ความถี่ (X_i)	ความถี่สะสม	T_iX_i
1	29	29	29
2	178	207	356
3	186	393	558
4	115	508	460
5	63	571	315
6	21	592	126
7	17	609	119
8	7	616	56
9	10	626	90
10	7	633	70
11	6	639	66
12	1	640	12
13	2	642	26
14	2	644	28
15	1	645	15
17	1	646	17
19	2	648	38
20	1	649	20
23	1	650	23
27	1	651	27
รวม			2451

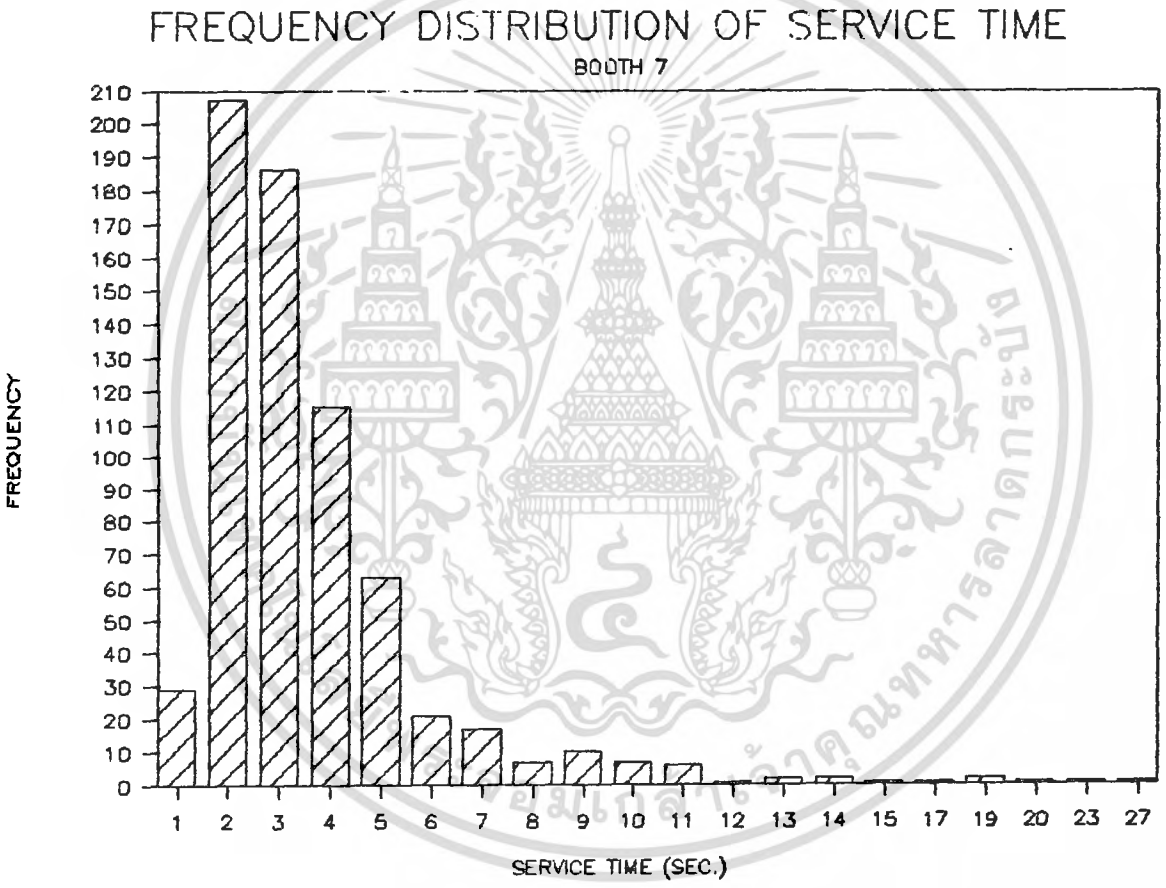
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการให้บริการของพนักงาน (μ) จะหาได้ดังนี้

$$\mu = \sum_i T_i X_i / N$$

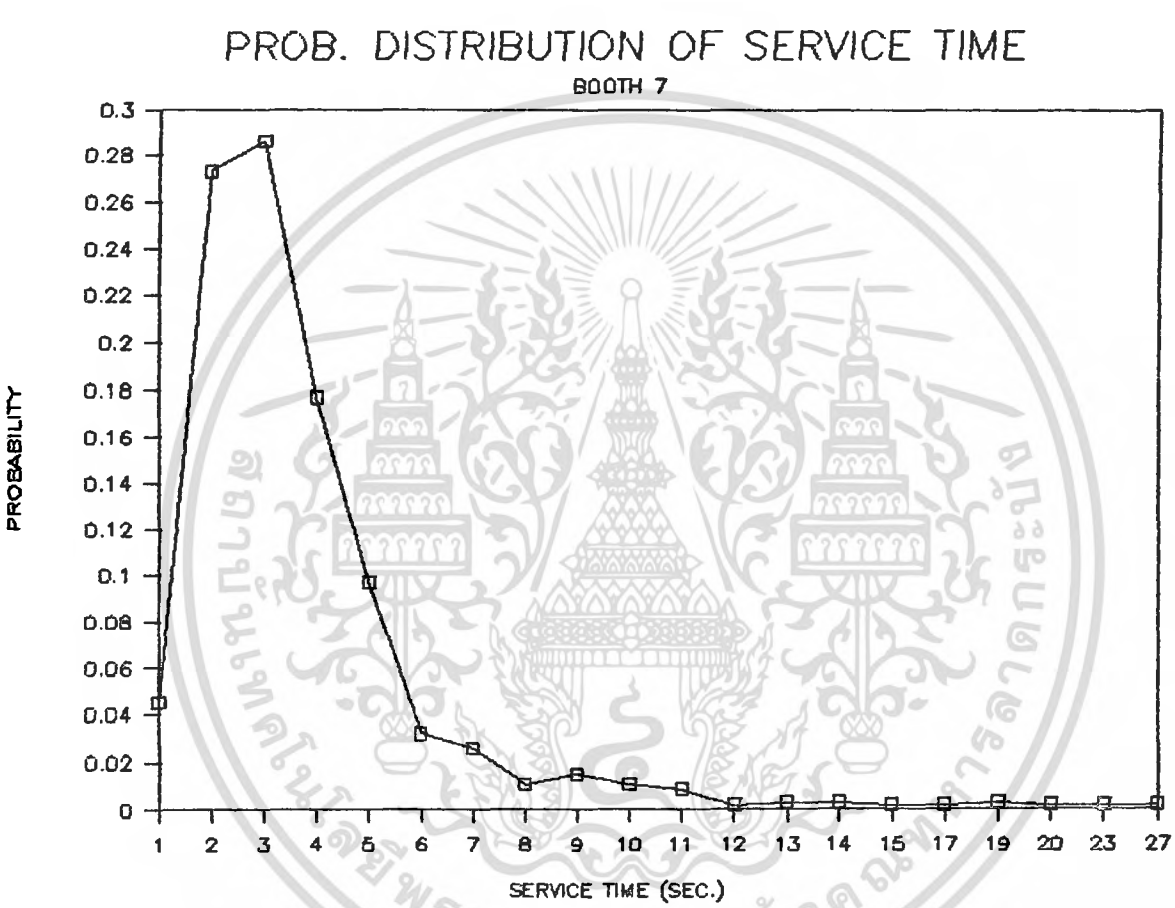
$$= 2451/651 = 3.77 \text{ วินาที/คัน}$$

หรือ $\lambda = 1/3.77 = 0.266$ คัน/วินาที



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการ Booth 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 8

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ (วินาที) (T_i)	ความถี่ (X_i)	ความถี่สะสม	T_iX_i
1	71	71	71
2	272	343	544
3	105	448	315
4	58	506	232
5	27	533	135
6	22	555	132
7	11	566	77
8	4	570	32
9	7	577	63
10	8	585	80
11	7	592	77
12	11	603	132
13	4	607	52
14	1	608	14
15	1	609	15
16	2	611	32
17	3	614	51
19	1	615	19
20	2	617	40
23	1	618	23
25	2	620	50
45	1	621	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 8 (ต่อ)

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ (วินาที) (T_i)	ความถี่ (X_i)	ความถี่สะสม	T_iX_i
รวม			2231

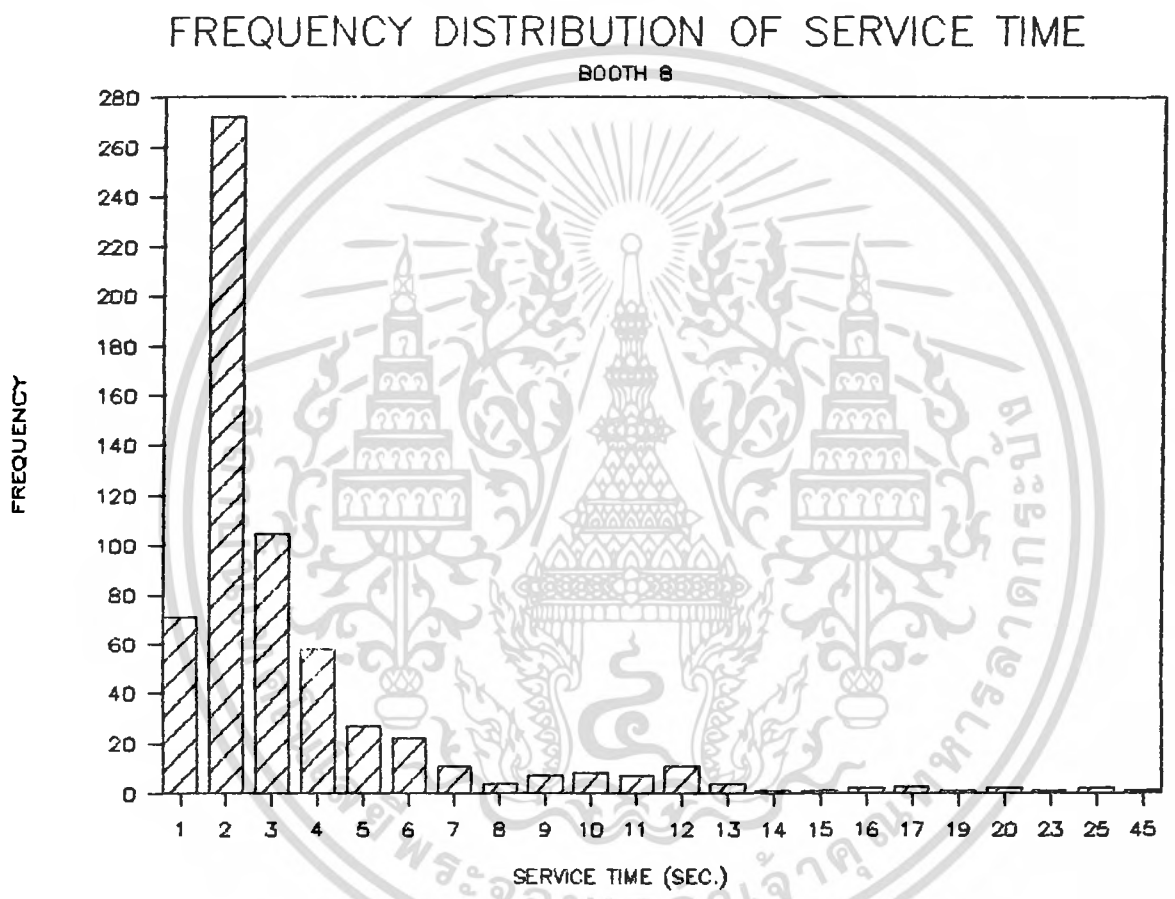
อัตราการให้บริการของพนักงาน (μ) จะหาได้ดังนี้

$$\mu = \sum_i T_iX_i/N$$

$$= 2231/621 = 3.59 \text{ วินาที/คัน}$$

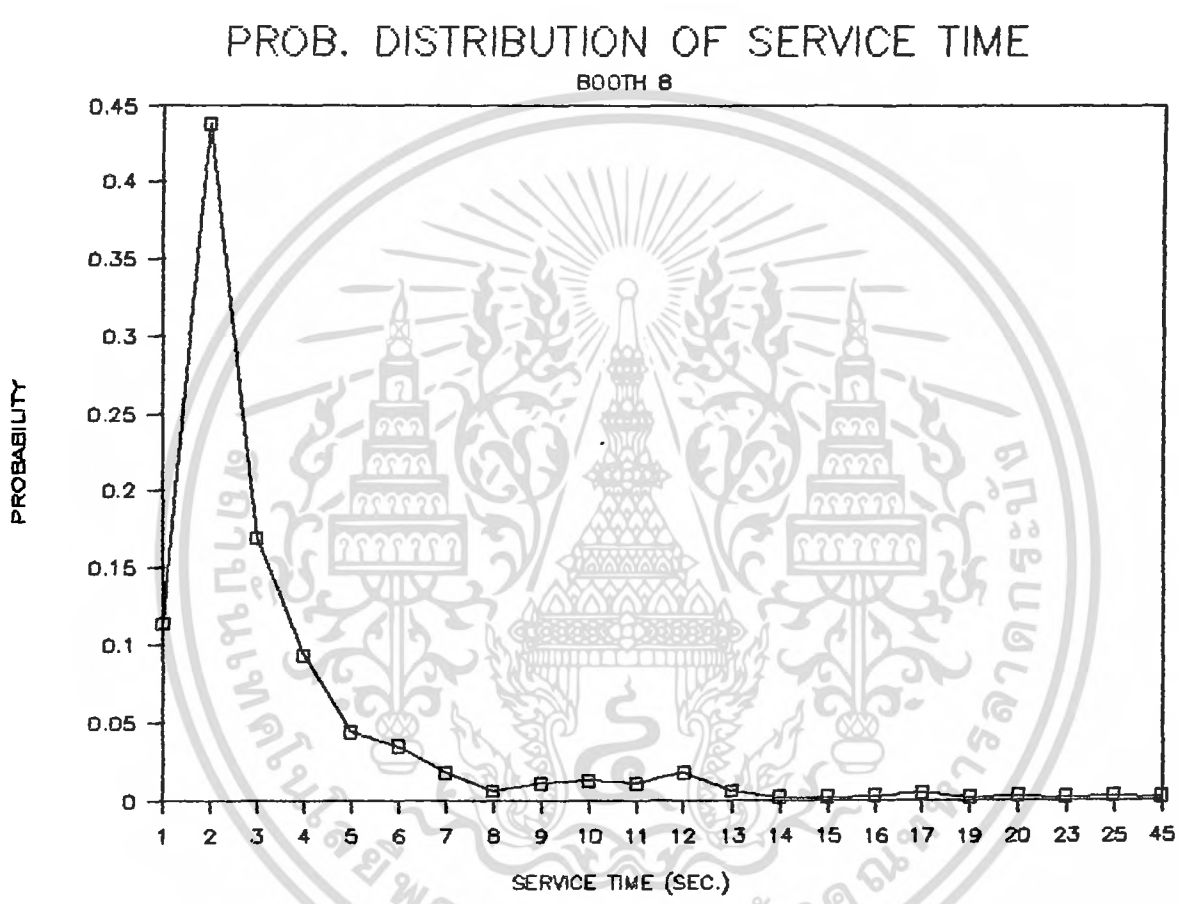
หรือ $\lambda = 1/3.59 = 0.278$ คัน/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการ Booth 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 การแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 9

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ (วินาที) (T_i)	ความถี่ (X_i)	ความถี่สะสม	T_iX_i
1	10	10	10
2	44	54	88
3	136	190	408
4	137	327	548
5	87	414	435
6	43	457	258
7	29	486	203
8	20	506	160
9	21	527	189
10	23	550	230
11	11	561	121
12	8	569	96
13	8	577	104
14	8	585	112
15	3	588	45
16	1	589	16
18	1	590	18
19	1	591	19
22	1	592	22
24	3	595	72
35	1	596	35
รวม			3189

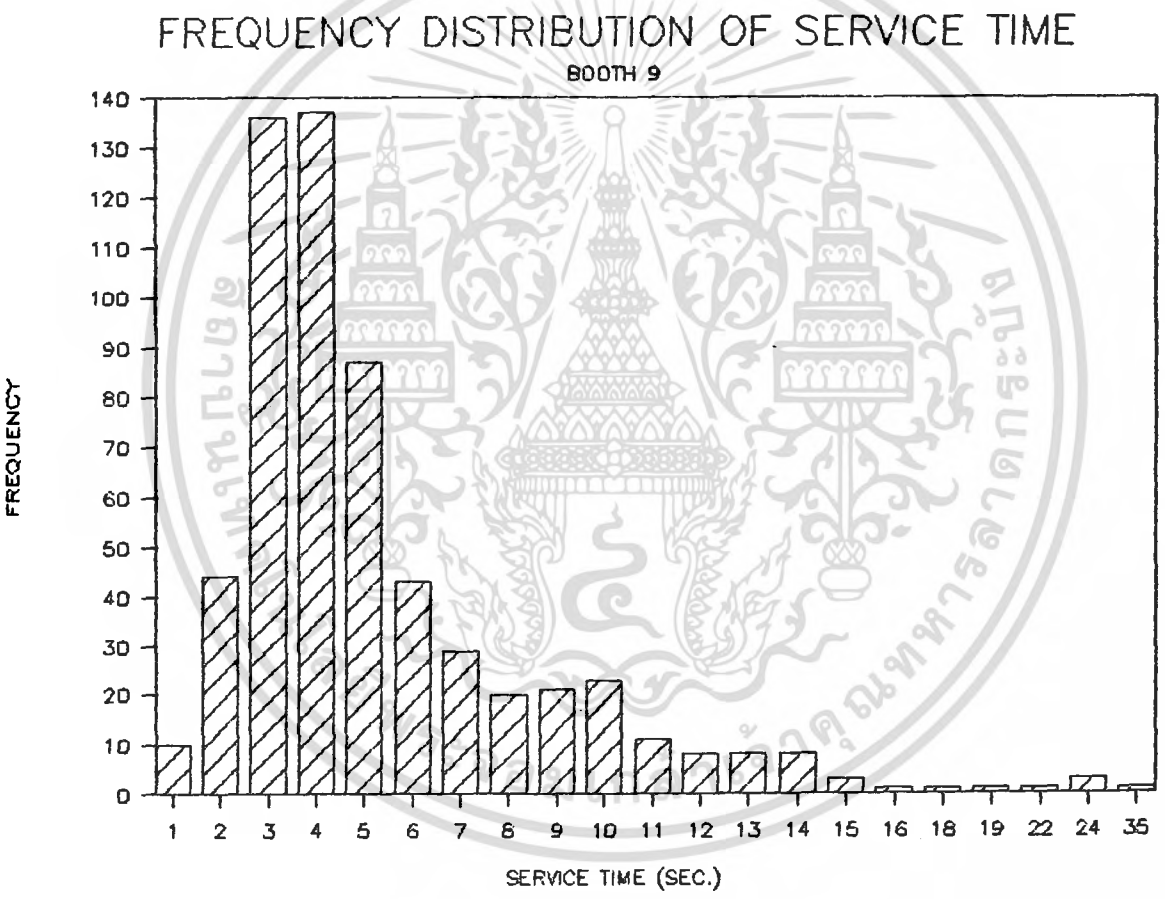
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการให้บริการของพนักงาน (μ) จะหาได้ดังนี้

$$\mu = \sum_i T_i X_i / N$$

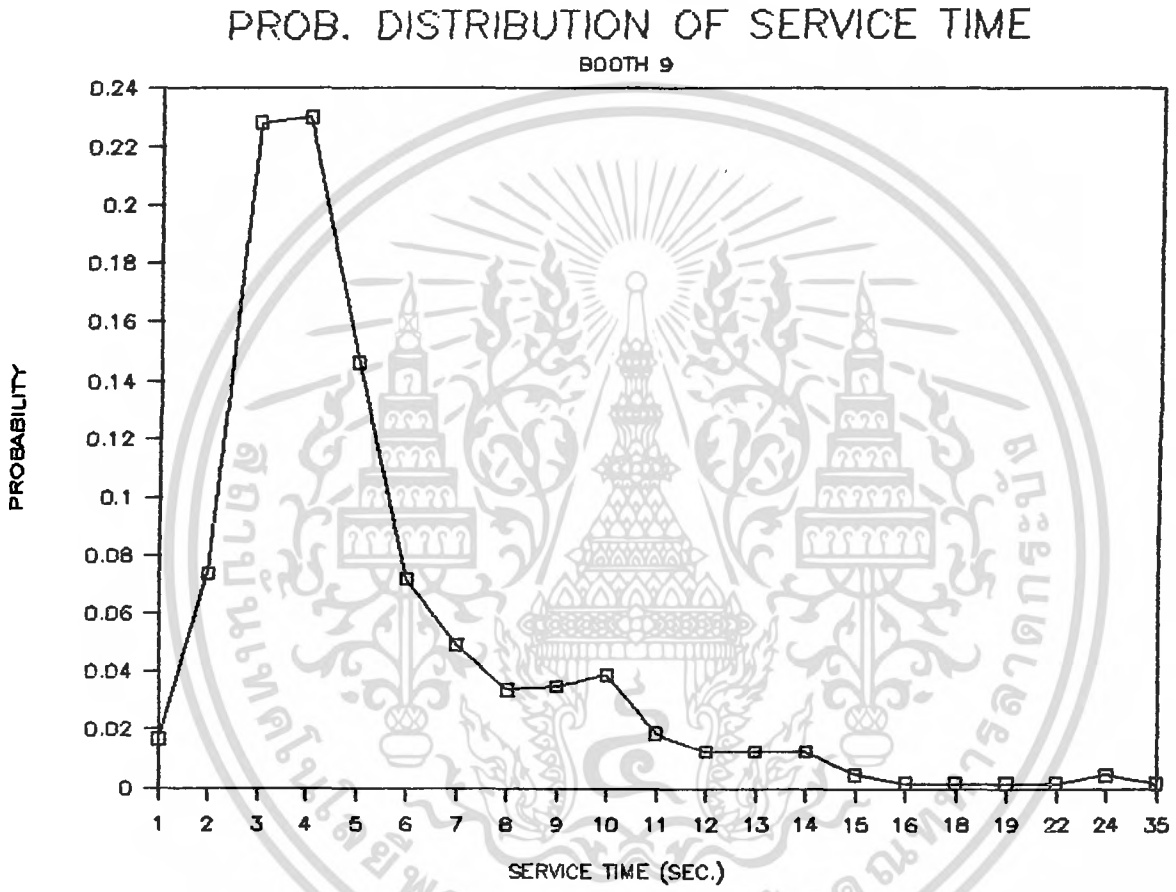
$$= 3189/596 = 5.35 \text{ วินาที/คัน}$$

หรือ $\lambda = 1/5.35 = 0.187$ คัน/วินาที



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของเวลาให้บริการ Booth 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการ Booth 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ

3.2.4.1 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ Booth 6

จากกราฟรูปที่ 3.3 และ 3.4 จะเห็นว่ามีลักษณะการแจกแจงคล้ายเอกซ์โปเนนเชียลหรือแกมม่า ดังนั้นจึงคาดคะเนว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลหรือแกมม่า จึงทำการทดสอบสมมติฐานดังนี้

การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียล

สมมติฐานที่กำหนด คือ

H_0: เวลาให้บริการของพนักงานมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล

H_1: เวลาให้บริการของพนักงานไม่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล

ตารางที่ 3.9 ค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลของเวลาให้บริการ Booth 6

เวลาให้บริการ (วินาที) T_i	λt	$e^{-\lambda t}$	ความน่าจะเป็นสะสม $F(t_i)=1-e^{-\lambda t}$	ความน่าจะเป็น $f(t_i)=F(t_{i+1})-F(t_i)$ $=\lambda e^{-\lambda t}$
1	0.262	0.769	0.231	0.231
2	0.524	0.592	0.408	0.177
3	0.786	0.456	0.544	0.136
4	1.048	0.351	0.649	0.105
5	1.31	0.269	0.731	0.082
6	1.572	0.208	0.792	0.061
7	1.834	0.159	0.841	0.049
8	2.096	0.123	0.877	0.036
9	2.358	0.095	0.905	0.028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลของเวลาให้บริการ Booth 6 (ต่อ)

เวลาให้บริการ (วินาที; T_i)	λt	$e^{-\lambda t}$	ความน่าจะเป็นสะสม $F(t_i)=1-e^{-\lambda t}$	ความน่าจะเป็น $f(t_i)=F(t_{i+1})-F(t_i)$ $=\lambda e^{-\lambda t}$
10	2.62	0.073	0.927	0.022
12	3.144	0.043	0.957	0.03
13	3.406	0.033	0.967	0.01
17	4.454	0.012	0.988	0.021
18	4.716	0.009	0.991	0.003
19	4.978	0.007	0.993	0.002
20	5.24	0.005	0.995	0.002
29	7.598	0.0005	0.999	0.004

ตารางที่ 3.10 ค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลของเวลาให้บริการ Booth 6 และค่าไคสแควร์

เวลาให้บริการ (วินาที; T_i)	ความถี่ O_i	ความน่าจะเป็น $f(t_i)=F(t_{i+1})-F(t_i)$ $=\lambda e^{-\lambda t}$	$E_i=N.f(t_i)$	$(E_i-O_i)^2/E_i$
1	36	0.231	112.728	52.225
2	103	0.177	86.376	3.199
3	149	0.136	66.368	102.882
4	85	0.105	51.240	22.243
5	38	0.082	40.016	0.102
6	30	0.061	29.768	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 ค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลของเวลาให้บริการ Booth 6 และค่าไคสแควร์ (ต่อ)

เวลาให้บริการ (วินาที; T_i)	ความถี่ O_i	ความน่าจะเป็น $f(t_i)=F(t_{i+1})-F(t_i) = \lambda e^{-\lambda t}$	$E_i=N.f(t_i)$	$(E_i-O_i)^2/E_i$
7	22	0.049	23.912	0.153
8	2	0.036	17.568	13.796
9	6	0.028	13.664	4.299
10	9	0.022	10.736	0.281
12	1	0.03	14.640	12.708
13	1	0.01	4.88	
17	1	0.021	10.248	8.346
18	1	0.003	1.464	
19	1	0.002	0.976	9.272 1.155
20	2	0.002	0.976	
29	1	0.004	1.952	
รวม	488			221.391

จากตารางที่ 3.10 จะได้ว่า

χ^2 จากการคำนวณ = 221.391

ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 และที่องศาแห่งความเป็นอิสระ = 13-1-1 = 11

เปิดตาราง χ^2 มาตรฐาน จะได้

χ^2 จากตาราง = 19.675

จะเห็นได้ว่า χ^2 จากการคำนวณ มากกว่า χ^2 จากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น สรุปได้ว่า "เวลาให้บริการของพนักงานประจำ Booth 6 ไม่มีการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียล" ด้วยค่าเฉลี่ย $\mu = \frac{1}{\lambda} = 3.81$ วินาที/คัน

การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงแบบแกมม่า

สมมติฐานที่กำหนด คือ

H_0 : เวลาให้บริการของพนักงานมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบแกมม่า

H_1 : เวลาให้บริการของพนักงานไม่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบแกมม่า

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบแกมม่ามีฟังก์ชันความน่าจะเป็นแสดงได้ด้วย

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}$$

ซึ่งมีค่าเฉลี่ย $\mu = \alpha\beta$ และค่าความแปรปรวน $\sigma^2 = \alpha\beta^2$

จากตารางที่ 3.5 สามารถหาค่าประมาณของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนได้ดังนี้

$$\bar{X} = \sum_i T_i X_i / N$$

$$= 1861/488 = 3.814 \text{ วินาที/คัน}$$

$$S^2 = N\sum_i T_i X^2 - (\sum_i T_i X_i)^2 / N(N-1)$$

$$= (488)(10699) - 3463321/488(487)$$

$$= 5221112 - 3453321/237656$$

$$= 7.396$$

นำค่า $\bar{X}$ และ S^2 แทนใน $\bar{X} = \alpha\beta$ และ $S^2 = \alpha\beta^2$ เพื่อหาค่า α, β จะได้

$$3.814 = \alpha\beta \quad \text{————(1)}$$

$$7.396 = \alpha\beta^2 \quad \text{————(2)}$$

(2)-(1) จะได้

$$\alpha\beta(\beta-1) = 3.582$$

$$\beta - 1 = 3.582/3.814 = 0.939$$

เพราะฉะนั้น $\beta = 1.939 \sim 2$

$\alpha = 1.967 \sim 2$

นำค่า α และ β แทนในฟังก์ชันความน่าจะเป็น จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = xe^{-x/2}/(4)(\Gamma(2))$$

$$= xe^{-x/2}/4 \qquad \text{โดยที่ } \Gamma(\alpha) = (\alpha-1)!$$

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx$$

$$= 1-e^{-x/2}(1+x/2)$$

ตารางที่ 3.11 ค่าความน่าจะเป็นแบบแกมม่าของเวลาให้บริการ Booth 6

เวลาให้บริการ (วินาที; T_i)	$1+t/2$	$e^{-t/2}$	$e^{-t/2}(1+t/2)$	ความน่าจะเป็นสะสม (F(t))	ความน่าจะเป็น f(t)
1	1.5	0.607	0.911	0.089	0.089
2	2.0	0.368	0.736	0.264	0.175
3	2.5	0.223	0.558	0.442	0.178
4	3.0	0.135	0.405	0.595	0.153
5	3.5	0.082	0.287	0.713	0.118
6	4.0	0.049	0.196	0.804	0.091
7	4.5	0.030	0.135	0.865	0.061
8	5.0	0.018	0.090	0.910	0.045
9	5.5	0.011	0.061	0.939	0.029
10	6.0	0.007	0.042	0.958	0.019
12	7.0	0.003	0.021	0.979	0.021
13	7.5	0.002	0.015	0.985	0.006
17	9.5	0.0002	0.002	0.998	0.013
18	10.0	0.0001	0.001	0.999	0.001
19	10.5	0.00008	0.0008	0.9992	0.0002
20	11.0	0.00005	0.0006	0.9994	0.0002
29	15.5	0.0000005	0.000008	0.99999	0.00059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.12 ค่าความน่าจะเป็นแบบแกมม่าของเวลาให้บริการBooth 6 และค่าไคสแควร์

เวลาให้บริการ (วินาที T_i)	ความถี่ O_i	ความน่าจะเป็น $f(t_i)=F(t_{i+1})-F(t_i)$	$E_i=N.f(t_i)$	$(E_i-O_i)^2/E_i$
1	36	0.089	43.432	1.272
2	103	0.175	85.4	3.627
3	149	0.178	86.864	44.447
4	85	0.153	74.664	1.431
5	38	0.118	57.584	6.660
6	30	0.091	44.408	4.675
7	22	0.061	29.768	2.027
8	2	0.045	21.96	18.142
9	6	0.029	14.152	4.696
10	9	0.019	9.272	0.008
12	1	0.021	10.248	8.346
13	1	0.006	2.928	
17	1	0.013	6.344	
18	1	0.001	0.488	10.243 1.027
19	1	0.0002	0.0976	
20	2	0.0002	0.0976	
29	1	0.00059	0.288	
รวม	488			96.358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.12 จะได้ว่า

χ^2 จากการคำนวณ = 96.358

ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 และที่องศาแห่งความเป็นอิสระ = 12-1-1 = 10

เปิดตาราง χ^2 มาตรฐาน จะได้

χ^2 จากตาราง = 18.307

จะเห็นได้ว่า χ^2 จากการคำนวณ มากกว่า χ^2 จากตาราง

เพราะฉะนั้น สรุปได้ว่า "เวลาให้บริการของพนักงานประจำ Booth 6 ไม่มีการแจกแจงแบบแกมม่า" ด้วยค่าเฉลี่ย $\mu = \frac{1}{\lambda}$ = 3.814 วินาที/คัน

ผลจากการทดสอบสมมติฐานปรากฏว่า เวลาให้บริการ Booth 6 ไม่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล หรือแกมม่า ดังนั้นจึงผลิตตัวแปรสุ่มแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลโดยวิธีการแปลงผกผันไม่ได้ จึงต้องใช้วิธีการผลิตเลขสุ่มโดยการสร้างช่วงของตัวเลขสุ่มของข้อมูลขึ้นมา แทนการผลิตเลขสุ่มโดยใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูล แสดงได้ดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 6

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ	ความถี่	ความถี่สะสม	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
1	36	36	0.074	0.074	0.000-0.073
2	103	139	0.211	0.285	0.074-0.284
3	149	288	0.305	0.590	0.285-0.589
4	85	373	0.174	0.764	0.590-0.763
5	38	411	0.078	0.842	0.764-0.841
6	30	441	0.062	0.904	0.842-0.903
7	22	463	0.045	0.949	0.904-0.948
8	2	465	0.004	0.953	0.949-0.952

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.13 ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 6 (ต่อ)

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ	ความถี่	ความถี่สะสม	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
9	6	471	0.012	0.965	0.953-0.964
10	9	480	0.018	0.984	0.965-0.983
12	1	481	0.002	0.986	0.984-0.985
13	1	482	0.002	0.988	0.986-0.987
17	1	483	0.002	0.990	0.988-0.989
18	1	484	0.002	0.992	0.990-0.991
19	1	485	0.002	0.994	0.992-0.993
20	2	487	0.004	0.998	0.994-0.997
29	1	488	0.002	1.000	0.998-0.999

3.2.4.2 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ Booth 7

จากกราฟรูปที่ 3.5 และ 3.6 จะเห็นว่ามีลักษณะการแจกแจงคล้ายเอกซ์โปเนนเชียลหรือแกมม่า ดังนั้นจึงคาดคะเนว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลหรือแกมม่า จึงทำการทดสอบสมมติฐานที่ว่า เวลาให้บริการ Booth 7 มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกซ์-โปเนนเชียลหรือแบบแกมม่า พบว่าปฏิเสธสมมติฐาน ดังนั้นจึงต้องใช้การผลิตเลขสุ่มโดยการสร้างช่วงของตัวเลขสุ่มของข้อมูลขึ้นมา ช่วงของตัวเลขสุ่มแสดงได้ดังตารางที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 7

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ	ความถี่	ความถี่สะสม	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
1	29	29	0.045	0.045	0.000-0.044
2	178	207	0.273	0.318	0.045-0.317
3	186	393	0.286	0.604	0.318-0.603
4	115	508	0.177	0.780	0.604-0.779
5	63	571	0.097	0.877	0.780-0.876
6	21	592	0.032	0.909	0.877-0.908
7	17	609	0.026	0.936	0.909-0.935
8	7	616	0.011	0.946	0.936-0.945
9	10	626	0.015	0.962	0.946-0.961
10	7	633	0.011	0.972	0.962-0.971
11	6	639	0.009	0.982	0.972-0.981
12	1	640	0.002	0.983	0.982-0.982
13	2	642	0.003	0.986	0.983-0.985
14	2	644	0.003	0.989	0.986-0.988
15	1	645	0.002	0.991	0.989-0.990
17	1	646	0.002	0.992	0.991-0.991
19	2	648	0.003	0.995	0.992-0.994
20	1	649	0.002	0.996	0.995-0.995
23	1	650	0.002	0.999	0.996-0.998
27	1	651	0.002	1.000	0.999-0.999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.3 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ Booth 8

จากกราฟรูปที่ 3.7 และ 3.8 จะเห็นว่ามีลักษณะการแจกแจงคล้ายเอกซ์โปเนนเชียลหรือแกมม่า ดังนั้นจึงคาดคะเนว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลหรือแกมม่า จึงทำการทดสอบสมมติฐานที่ว่า เวลาให้บริการ Booth 8 มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกซ์-โปเนนเชียลหรือแบบแกมม่า พบว่าปฏิเสธสมมติฐาน ดังนั้นจึงต้องใช้การผลิตเลขสุ่มโดยการสร้างช่วงของตัวเลขสุ่มของข้อมูลขึ้นมา ช่วงของตัวเลขสุ่มแสดงได้ดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 8

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ	ความถี่	ความถี่สะสม	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
1	71	71	0.114	0.114	0.000-0.113
2	272	343	0.438	0.552	0.114-0.551
3	105	448	0.169	0.721	0.552-0.720
4	58	506	0.093	0.815	0.721-0.814
5	27	533	0.044	0.858	0.815-0.857
6	22	555	0.035	0.894	0.858-0.893
7	11	566	0.018	0.911	0.894-0.910
8	4	570	0.006	0.918	0.911-0.917
9	7	577	0.011	0.929	0.918-0.928
10	8	585	0.013	0.942	0.929-0.941
11	7	592	0.011	0.953	0.942-0.952
12	11	603	0.018	0.971	0.953-0.970
13	4	607	0.006	0.978	0.971-0.977
14	1	608	0.002	0.979	0.978-0.978
15	1	609	0.002	0.981	0.979-0.980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.15 ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 8 (ต่อ)

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ	ความถี่	ความถี่สะสม	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
16	2	611	0.003	0.984	0.981-0.983
17	3	614	0.005	0.989	0.984-0.988
19	1	615	0.002	0.990	0.989-0.989
20	2	617	0.003	0.994	0.990-0.993
23	1	618	0.002	0.995	0.994-0.994
25	2	620	0.003	0.998	0.995-0.997
45	1	621	0.002	1.000	0.998-0.999

3.2.4.4 การทดสอบหารูปแบบการแจกแจงของเวลาให้บริการ Booth 9

จากกราฟรูปที่ 3.9 และ 3.10 จะเห็นว่ามีลักษณะการแจกแจงคล้ายเอกซ์โปเนนเชียลหรือแกมม่า ดังนั้นจึงคาดคะเนว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียลหรือแกมม่า จึงทำการทดสอบสมมติฐานที่ว่า เวลาให้บริการ Booth 9 มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกซ์-โปเนนเชียลหรือแบบแกมม่า พบว่าปฏิเสธสมมติฐาน ดังนั้นจึงต้องใช้การผลิตเลขสุ่มโดยการสร้างช่วงของตัวเลขสุ่มของข้อมูลขึ้นมา ช่วงของตัวเลขสุ่มแสดงได้ดังตารางที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.16 ช่วงของตัวเลขสุ่มของเวลาให้บริการ Booth 9

เวลาที่ใช้ในการให้บริการ	ความถี่	ความถี่สะสม	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
1	10	10	0.017	0.017	0.000-0.016
2	44	54	0.074	0.091	0.017-0.090
3	136	190	0.228	0.319	0.091-0.318
4	137	327	0.230	0.549	0.319-0.548
5	87	414	0.146	0.695	0.549-0.694
6	43	457	0.072	0.767	0.695-0.766
7	29	486	0.049	0.815	0.767-0.814
8	20	506	0.034	0.849	0.815-0.848
9	21	527	0.035	0.884	0.849-0.883
10	23	550	0.039	0.923	0.884-0.922
11	11	561	0.019	0.941	0.923-0.940
12	8	569	0.013	0.955	0.941-0.954
13	8	577	0.013	0.968	0.955-0.967
14	8	585	0.013	0.982	0.968-0.981
15	3	588	0.005	0.987	0.982-0.986
16	1	589	0.002	0.988	0.987-0.987
18	1	590	0.002	0.990	0.988-0.989
19	1	591	0.002	0.992	0.990-0.991
22	1	592	0.002	0.993	0.992-0.992
24	3	595	0.005	0.998	0.993-0.997
35	1	596	0.002	1.000	0.998-0.999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบแถวคอยของรถยนต์ ณ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในบทที่ 3 พบว่า การเข้ามารับบริการของรถยนต์ ในช่วงเวลา 8.00-10.00 น. ของวันจันทร์-ศุกร์ มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์ ด้วยค่าเฉลี่ย 0.327 คัน/วินาที และการให้บริการของพนักงานประจำ Booth พบว่าไม่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นตามรูปแบบใดเลย ซึ่งจะได้ผลจากการวิเคราะห์ระบบแถวคอยในระบบจริงดังนี้

1. เวลาสะสมในการคอย (TWT) = 2,678 วินาที = 44 นาที 38 วินาที
2. เวลาสะสมที่พนักงานว่าง (TDT) = 18,636 วินาที = 5 ชั่วโมง 10 นาที 36 วินาที
3. จำนวนรวมรถยนต์คอย (TOTAL_WL) = 490 คัน
4. จำนวนรถยนต์ที่ได้รับบริการ (IUNIT) = 2,356 คัน
5. จำนวนรถยนต์ที่เข้าระบบ (TOTAL_COME) = 2,360 คัน
6. เวลาเฉลี่ยที่พนักงานว่าง (AVE_TDT = TDT/SERVER) = 4,659 วินาที
   = 1 ชั่วโมง 17 นาที 39 วินาที
7. เวลาเฉลี่ยในการคอย (AVE_WAIT = TWT/TOTAL_WL) = 5.465 วินาที
8. โอกาสที่พนักงานจะว่าง (AVE_TDT%) = (AVE_TDT/CLOCK) x 100
   = 64.71 %
9. โอกาสที่รถยนต์จะคอย (AVE_TWT%) = (TOTAL_WL/TOTAL_COME) x 100
   = 20.76 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองระบบแถวคอยของรถยนต์ ณ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสุขสวัสดิ์

โดยกำหนดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เป็น 3,4 และ 5 ช่อง อัตราการเข้ามารับบริการของรถยนต์เป็น 0.327 คัน/วินาที การแจกแจงความน่าจะเป็นของการเข้ามารับบริการของรถยนต์เป็นแบบปัวซงส์ อัตราการให้บริการของพนักงานประจำ Booth เป็น 3.814, 3.77, 3.59 และ 5.35 วินาที/คัน ซึ่งการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาให้บริการของพนักงานประจำ Booth แต่ละ Booth ไม่เป็นไปตามรูปแบบใดเลย

ในการจำลองแบบ นาฬิกาของแบบจำลองจะเปลี่ยนไปจนครบ 2 ชั่วโมงเท่ากับระบบจริง และได้ทำการจำลองซ้ำ ๆ กันทั้งหมด 20 ครั้ง ในปัญหาพิเศษฉบับนี้ แบบจำลองเป็นประเภทเคลื่อนไปแบบเหตุการณ์ต่อเหตุการณ์ ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพทำได้โดยการยืดระยะเวลา หรือทำการจำลองซ้ำ และเนื่องจากระบบแถวคอยเป็นขบวนการแบบ Regeneration Process วิธีที่ใช้เพิ่มประสิทธิภาพของขบวนการแบบนี้ คือการเพิ่มจำนวนครั้งในการจำลอง จำนวนครั้งที่จะทำการจำลองซ้ำนี้ไม่มีการกำหนดตายตัว ยิ่งจำลองซ้ำมากครั้งก็ยิ่งดี แต่จะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบที่จะศึกษา ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ระบบจำลองเป็นผลที่ได้จากการนำผลของการคำนวณซ้ำ 20 ครั้งมาเฉลี่ยแยกตามจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ได้ดังนี้

กรณีที่ 1 จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เป็น 3 ช่องทาง ผลที่ได้

1. เวลาสะสมในการคอย = 7107.31 วินาที = 1 ชั่วโมง 58 นาที 27 วินาที
2. เวลาสะสมที่พนักงานว่าง = 11495.29 วินาที = 3 ชั่วโมง 11 นาที 35 วินาที
3. จำนวนรวมรถยนต์คอย = 725.25 คัน
4. จำนวนรถยนต์ที่ได้รับบริการ = 2344.25 คัน
5. จำนวนรถยนต์ที่เข้าระบบ = 2345.90 คัน
6. เวลาเฉลี่ยที่พนักงานว่าง = 3831.7 วินาที = 1 ชั่วโมง 3 นาที 52 วินาที
7. เวลาเฉลี่ยในการคอย = 9.74 วินาที
8. โอกาสที่พนักงานจะว่าง = 53.21 %
9. โอกาสที่รถยนต์จะคอย = 30.90 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เป็น 4 ช่องทาง ผลที่ได้

1. เวลาสะสมในการคอย = 2623.28 วินาที = 43 นาที 43 วินาที
2. เวลาสะสมที่พนักงานว่าง = 18601.67 วินาที = 5 ชั่วโมง 10 นาที 2 วินาที
3. จำนวนรวมรถยนต์คอย = 481.25 คัน
4. จำนวนรถยนต์ที่ได้รับบริการ = 2357.95 คัน
5. จำนวนรถยนต์ที่เข้าระบบ = 2359.55 คัน
6. เวลาเฉลี่ยที่พนักงานว่าง = 4650.42 วินาที = 1 ชั่วโมง 17 นาที 31 วินาที
7. เวลาเฉลี่ยในการคอย = 5.40 วินาที
8. โอกาสที่พนักงานจะว่าง = 64.57 %
9. โอกาสที่รถยนต์จะคอย = 20.39 %

กรณีที่ 3 จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เป็น 5 ช่องทาง ผลที่ได้

1. เวลาสะสมในการคอย = 1539.06 วินาที = 25 นาที 39 วินาที
2. เวลาสะสมที่พนักงานว่าง = 25855.47 วินาที = 7 ชั่วโมง 10 นาที 56 วินาที
3. จำนวนรวมรถยนต์คอย = 356.10 คัน
4. จำนวนรถยนต์ที่ได้รับบริการ = 2359.25 คัน
5. จำนวนรถยนต์ที่เข้าระบบ = 2360.80 คัน
6. เวลาเฉลี่ยที่พนักงานว่าง = 5171.09 วินาที = 1 ชั่วโมง 26 นาที 11 วินาที
7. เวลาเฉลี่ยในการคอย = 4.30 วินาที
8. โอกาสที่พนักงานจะว่าง = 71.80 %
9. โอกาสที่รถยนต์จะคอย = 15.08 %

4.3 ความเชื่อถือได้ของการจำลองแบบ

ความเชื่อถือได้ของการจำลองแบบโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นมา ขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาว่า ถูกต้องเพียงใด แบบจำลองนี้ได้สร้างขึ้นตามข้อสมมติฐานและข้อกำหนดต่าง ๆ โดยอาศัยสภาพความเป็นจริง การทดสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีทางคณิตศาสตร์นั้น ไม่อาจทำได้เนื่องจากระบบแถวคอยของแบบจำลองนี้ไม่ตรงกับตัวแบบใดในทางทฤษฎี ดังนั้นเพื่อทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมนี้ จึงใช้วิธีนำผลจากการจำลองแบบมาเปรียบเทียบกับผลที่เกิดจากการทำงานจริง โดยดูว่าผลที่ได้แตกต่างกันเพียงใด ซึ่งเปอร์เซนต์ความแตกต่างจะหาได้จาก

เปอร์เซนต์ความแตกต่าง = ((ผลการจำลอง - ผลระบบจริง)/ ผลระบบจริง) x 100

จะได้ผลการเปรียบเทียบดังนี้

	ระบบจำลอง	ระบบจริง	ความแตกต่าง(%)
1. TWT	2623.28	2678.00	-2.043
2. TDT	18601.67	18636.00	-0.184
3. TOTAL_WL	481.25	490.00	-1.785
4. IUNIT	2357.95	2356.00	+0.083
5. TOTAL_COME	2359.55	2360.00	-0.019
6. AVE_TDT	4650.42	4659.00	-0.184
7. AVE_WAIT	5.40	5.47	-1.189
8. AVE_TDT (%)	64.57	64.71	-0.216
9. AVE_TWT (%)	20.39	20.76	-1.782

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากระบบจำลองกับระบบการทำงานจริง เราใช้ผลของการจำลองที่มีจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทางเป็นตัวเปรียบเทียบ เนื่องจากในระบบงานจริงปัจจุบัน ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาจะเปิดช่องเก็บค่าผ่านทาง 4 ช่อง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างมีค่าไม่มากนัก ซึ่งการจะนำผลการจำลองไปทดลองใช้กับระบบงานจริงจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านอื่นด้วย ตามแต่ผู้บริหารจะตัดสินใจ

4.4 การวิเคราะห์งานและการใช้ประโยชน์จากการจำลอง

จากโปรแกรมการจำลองแบบนี้ สามารถทำรายงานสรุป เพื่อใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์การให้บริการในด้านต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **พิจารณาจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เหมาะสม**

ถ้ากำหนดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ มากเกินไป ก็อาจจะทำให้พนักงานประจำ Booth มีเวลาว่างในการทำงานมากขึ้น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์ แต่ถ้ากำหนดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ น้อยเกินไป ก็จะทำให้การให้บริการเกิดความล่าช้า ไม่สะดวกรวดเร็วกับผู้รับบริการและยังก่อให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณทางขึ้น จึงต้องจัดสรรจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ให้เหมาะสม โดยการ

- กำหนดเวลาที่ผู้รับบริการรอคอยอย่างคร่าว ๆ ดูว่าเวลาไม่เกินเท่าไรที่ผู้รับบริการจะคอยได้โดยไม่รู้สึกเบื่อหน่ายจนเกินไป

- กำหนดค่าใช้จ่ายในการให้บริการ โดยดูว่าค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานนั้นทางการทางพิเศษฯ สามารถจ่ายได้สูงสุดเพียงใด

2. **ช่วยในการวางแผนการบริการ**

ในอนาคต อัตราการเติบโตของจำนวนผู้รับบริการอาจทำให้การบริการเกิดความล่าช้าหรือด้อยประสิทธิภาพลง เพื่อให้ผู้รับบริการเสียเวลาน้อยที่สุด จึงต้องมีการวางแผนการบริการให้มีการบริการได้รวดเร็วที่สุด ซึ่งจะต้องคำนึงถึงรายจ่ายต่าง ๆ ที่จะต้องเสียไปด้วยว่าคุ้มค่าเพียงใด การวางแผนการบริการอาจทำได้ด้วยการลด เพิ่ม หรือเปลี่ยนแปลงขั้นตอนบางขั้นตอน ซึ่งขึ้นอยู่กับผลการวิเคราะห์และลักษณะของงาน

4.5 ผลการจำลอง

ผลการจำลอง ได้จากการประมวลผลโดยทำการจำลองทั้งสิ้น 20 ครั้ง แต่ละครั้งจำลองในช่วงเวลา 8.00-10.00 น. ผลการจำลองแยกตามจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SERVER = 3 RUN = 20 TIMES

RND	CLOCK	TWT	TDT	TOTAL_WL	IUNIT	TOTAL_COME	AVE_TDT	AVE_WAIT	AVE_TDT(%)	AVE_TWT(%)
9	7200.22	7659.28	11122.40	757	2379	2380	3707.47	10.12	51.49	31.81
16	7201.57	8433.87	11397.04	758	2361	2364	3799.01	11.13	52.75	32.06
25	7200.65	5891.11	11536.08	701	2312	2313	3845.36	8.40	53.40	30.31
37	7201.94	12782.77	11321.37	788	2396	2397	3773.79	16.22	52.40	32.87
43	7200.09	5153.37	11362.85	668	2356	2358	3787.62	7.71	52.61	28.33
59	7212.53	8058.17	11290.67	767	2397	2398	3763.62	10.51	52.18	31.98
67	7201.25	5625.82	11518.16	659	2253	2253	3839.39	8.54	53.32	29.25
73	7202.00	7248.74	11286.57	753	2377	2381	3762.19	9.63	52.24	31.63
87	7200.39	5619.11	11885.18	702	2300	2301	3961.73	8.00	55.02	30.51
94	7201.14	5935.35	11774.38	716	2293	2294	3924.79	8.29	54.50	31.21
107	7200.55	7790.65	11315.55	712	2362	2364	3771.85	10.94	52.38	30.12
111	7201.58	5885.56	11660.28	671	2319	2321	3886.76	8.77	53.97	28.91
123	7201.90	7180.60	11432.43	783	2378	2379	3810.81	9.17	52.91	32.91
135	7200.10	6720.11	11531.24	766	2353	2353	3843.75	8.77	53.38	32.55
147	7203.36	8713.87	11210.97	767	2386	2387	3736.99	11.36	51.88	32.13
159	7204.74	9662.54	11713.15	730	2353	2354	3904.38	13.24	54.19	31.01
163	7200.94	6945.80	11559.87	723	2364	2367	3853.29	9.61	53.51	30.54
175	7200.22	6480.85	11913.52	656	2298	2301	3971.17	9.38	55.15	28.51
183	7200.14	4648.33	11666.12	697	2316	2318	3888.71	6.67	54.01	30.07
199	7200.87	5710.34	11407.80	731	2332	2335	3802.60	7.81	52.81	31.31

TWT	TDT	TOTAL_WL	IUNIT	TOTAL_COME	AVE_TDT	AVE_WAIT	AVE_TDT(%)	AVE_TWT(%)
7107.31	11495.29	725.25	2344.25	2345.90	3831.76	9.74	53.21	30.90

เปอร์เซนต์ความแตกต่างที่ได้จากการจำลอง

เมื่อจำนวน Booth = 3 เทียบกับจำนวน Booth = 4

1. TWT +170.93
2. TDT -38.20
3. TOTAL_WL +50.70
4. IUNIT -0.58
5. TOTAL_COME -0.58
6. AVE_TDT -17.60
7. AVE_WAIT +80.37
8. AVE_TDT (%) -17.59
9. AVE_TWT (%) +51.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SERVER = 4 RUN = 20 TIMES

RND	CLOCK	TWT	TDT	TOTAL_WL	IUNIT	TOTAL_COME	AVE_TDT	AVE_WAIT	AVE_TDT(%)	AVE_TWT(%)
9	7200.18	4310.35	18132.65	526	2422	2424	4533.16	8.19	62.96	21.70
16	7201.74	2781.46	18570.52	471	2379	2380	4642.63	5.91	64.47	19.79
25	7200.29	1876.88	18677.29	466	2360	2362	4669.32	4.03	64.85	19.73
37	7200.59	3111.15	18588.01	517	2383	2385	4647.00	6.02	64.54	21.68
43	7200.17	2412.61	18664.43	459	2368	2369	4666.11	5.26	64.81	19.38
59	7202.89	3121.29	17954.97	522	2412	2412	4488.74	5.98	62.32	21.64
67	7201.25	1953.04	18694.13	436	2262	2264	4673.53	4.48	64.90	19.26
73	7200.05	2905.23	18235.26	488	2383	2387	4558.82	5.95	63.32	20.44
87	7201.34	2132.47	18956.70	450	2312	2314	4739.18	4.74	65.81	19.45
94	7203.23	3194.09	18849.49	484	2295	2296	4712.37	6.60	65.42	21.08
107	7200.67	2905.25	18611.14	478	2357	2359	4652.79	6.08	64.62	20.26
111	7200.11	1399.63	18799.51	413	2345	2345	4699.88	3.39	65.28	17.61
123	7202.86	2426.42	18614.73	504	2345	2346	4653.68	4.81	64.61	21.48
135	7200.57	2046.67	18772.84	449	2335	2337	4693.21	4.56	65.18	19.21
147	7200.48	3143.73	18215.37	545	2405	2406	4553.84	5.77	63.24	22.65
159	7216.71	2387.07	18608.62	485	2433	2434	4652.15	4.92	64.46	19.93
163	7202.77	3551.95	18631.25	491	2374	2376	4657.81	7.23	64.67	20.66
175	7201.32	1822.17	19058.73	442	2299	2303	4764.68	4.12	66.16	19.19
183	7201.52	2402.66	18866.15	479	2313	2315	4716.54	5.02	65.49	20.69
199	7203.08	2581.52	18531.61	520	2377	2377	4632.90	4.96	64.32	21.88

TWT	TDT	TOTAL_WL	IUNIT	TOTAL_COME	AVE_TDT	AVE_WAIT	AVE_TDT(%)	AVE_TWT(%)
2623.28	18601.67	481.25	2357.95	2359.55	4650.42	5.40	64.57	20.39

เปอร์เซนต์ความแตกต่างที่ได้จากการจำลอง

เมื่อจำนวน Booth = 4 เทียบกับระบบงานจริง

1. TWT -2.043
2. TDT -0.184
3. TOTAL_WL -1.785
4. IUNIT +0.083
5. TOTAL_COME -0.019
6. AVE_TDT -0.184
7. AVE_WAIT -1.189
8. AVE_TDT (%) -0.216
9. AVE_TWT (%) -1.782

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SERVER = 5 RUN = 20 TIMES

RND	CLOCK	TWT	TDT	TOTAL_WL	IUNIT	TOTAL_COME	AVE_TDT	AVE_WAIT	AVE_TDT(%)	AVE_TWT(%)
9	7200.62	1880.17	25379.13	376	2422	2424	5075.83	5.00	70.49	15.51
16	7201.09	1725.73	25642.45	363	2368	2369	5128.49	4.75	71.22	15.32
25	7200.04	1737.35	26090.79	361	2355	2358	5218.16	4.81	72.47	15.31
37	7200.87	2217.29	25499.70	375	2353	2354	5099.94	5.91	70.82	15.93
43	7200.01	1498.42	26089.30	342	2387	2390	5217.86	4.38	72.47	14.31
59	7200.17	1706.52	25027.93	378	2392	2392	5005.59	4.51	69.52	15.80
67	7206.07	1371.36	26247.74	332	2268	2270	5249.55	4.13	72.85	14.63
73	7201.12	1724.18	25740.79	368	2392	2392	5148.16	4.69	71.49	15.38
87	7200.47	972.64	25975.75	298	2286	2286	5195.15	3.26	72.15	13.04
94	7201.21	1661.12	25971.24	340	2284	2284	5194.25	4.89	72.13	14.89
107	7200.36	1471.09	26079.44	349	2367	2370	5215.89	4.22	72.44	14.73
111	7201.14	1070.09	26094.74	330	2339	2342	5218.95	3.24	72.47	14.09
123	7200.20	1248.46	26005.82	344	2370	2374	5201.16	3.63	72.24	14.49
135	7202.27	1400.25	25984.83	348	2361	2362	5196.97	4.02	72.16	14.73
147	7204.40	1470.03	25228.72	374	2367	2368	5045.74	3.93	70.04	15.79
159	7206.00	1450.49	26042.27	346	2419	2420	5208.45	4.19	72.28	14.30
163	7200.39	1196.23	26005.32	345	2354	2355	5201.06	3.47	72.23	14.65
175	7200.36	1388.53	26382.11	351	2338	2341	5276.42	3.96	73.28	14.99
183	7200.51	1994.03	25954.18	413	2400	2401	5190.84	4.83	72.09	17.20
199	7206.35	1597.33	25667.18	389	2363	2364	5133.44	4.11	71.23	16.46

TWT	TDT	TOTAL_WL	IUNIT	TOTAL_COME	AVE_TDT	AVE_WAIT	AVE_TDT(%)	AVE_TWT(%)
1539.06	25855.47	356.10	2359.25	2360.80	5171.09	4.30	71.80	15.08

เปอร์เซนต์ความแตกต่างที่ได้จากการจำลอง

เมื่อจำนวน Booth = 5 เทียบกับจำนวน Booth = 4

1. TWT -41.33
2. TDT +38.99
3. TOTAL_WL -26.01
4. IUNIT +0.06
5. TOTAL_COME +0.05
6. AVE_TDT +11.20
7. AVE_WAIT -20.37
8. AVE_TDT (%) +11.20
9. AVE_TWT (%) -26.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลของการจำลองแบบเมื่อจำนวน Booth เป็น 3,4 และ 5

ผล	SERVER = 3	SERVER = 4	SERVER = 5
1. TWT (วินาที)	7107.31	2623.28	1539.06
2. TDT (วินาที)	11495.29	18601.67	25855.47
3. TOTAL_WL	725.25	481.25	356.10
4. IUNIT (คัน)	2344.25	2357.95	2359.25
5. TOTAL_COME	2345.90	2359.55	2360.80
6. AVE_TDT	3831.76	4650.42	5171.09
7. AVE_WAIT	9.74	5.40	4.30
8. AVE_TDT (%)	53.21	64.57	71.80
9. AVE_TWT (%)	30.90	20.39	15.08

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซนต์ความแตกต่างของการจำลองแบบเมื่อจำนวน Booth เป็น 3 และ 5 เทียบกับจำนวน Booth = 4

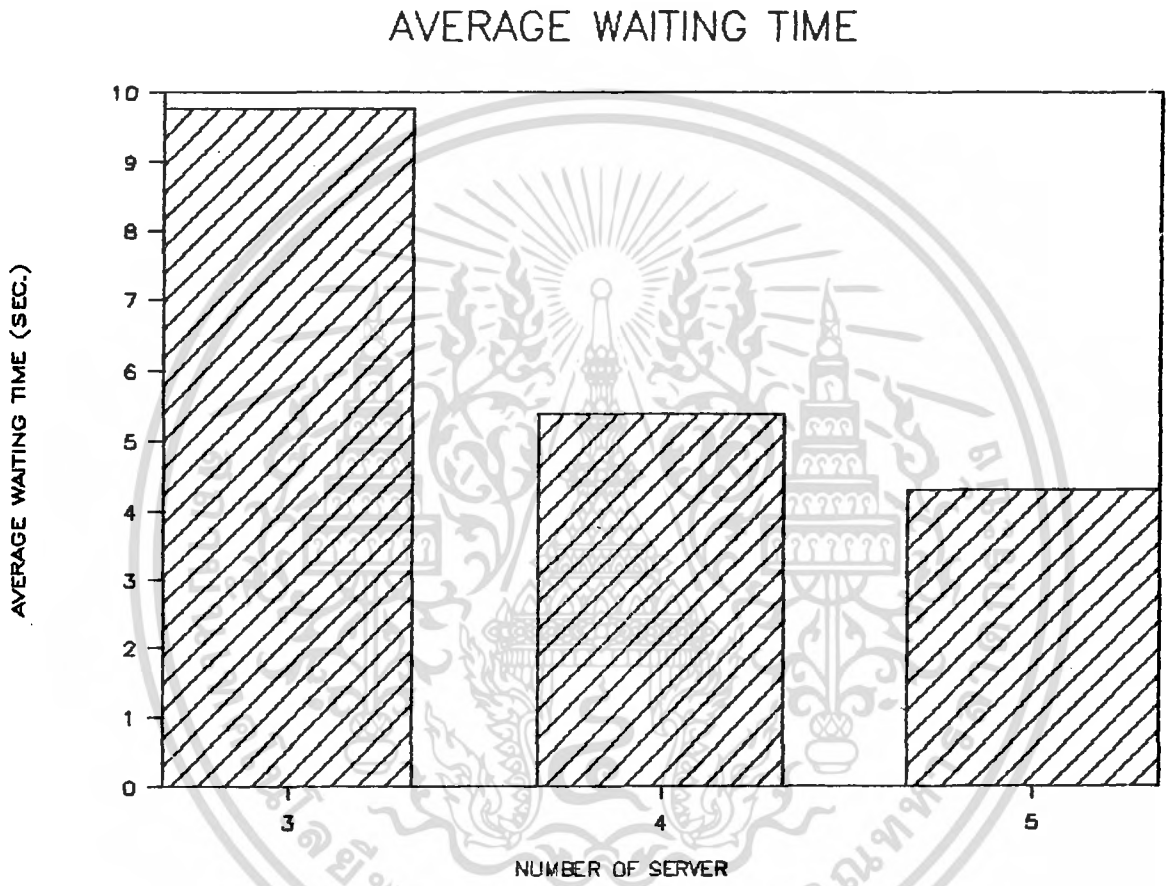
ผล	SERVER = 3	SERVER = 5
1. TWT (วินาที)	+170.93	-41.33
2. TDT (วินาที)	-38.20	+38.99
3. TOTAL_WL	+50.70	-26.01
4. IUNIT (คัน)	-0.58	+0.06
5. TOTAL_COME	-0.58	+0.05
6. AVE_TDT	-17.60	+11.20
7. AVE_WAIT	+80.37	-20.37
8. AVE_TDT (%)	-17.59	+11.20
9. AVE_TWT (%)	+51.54	-26.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 4.2 สรุปได้ว่า

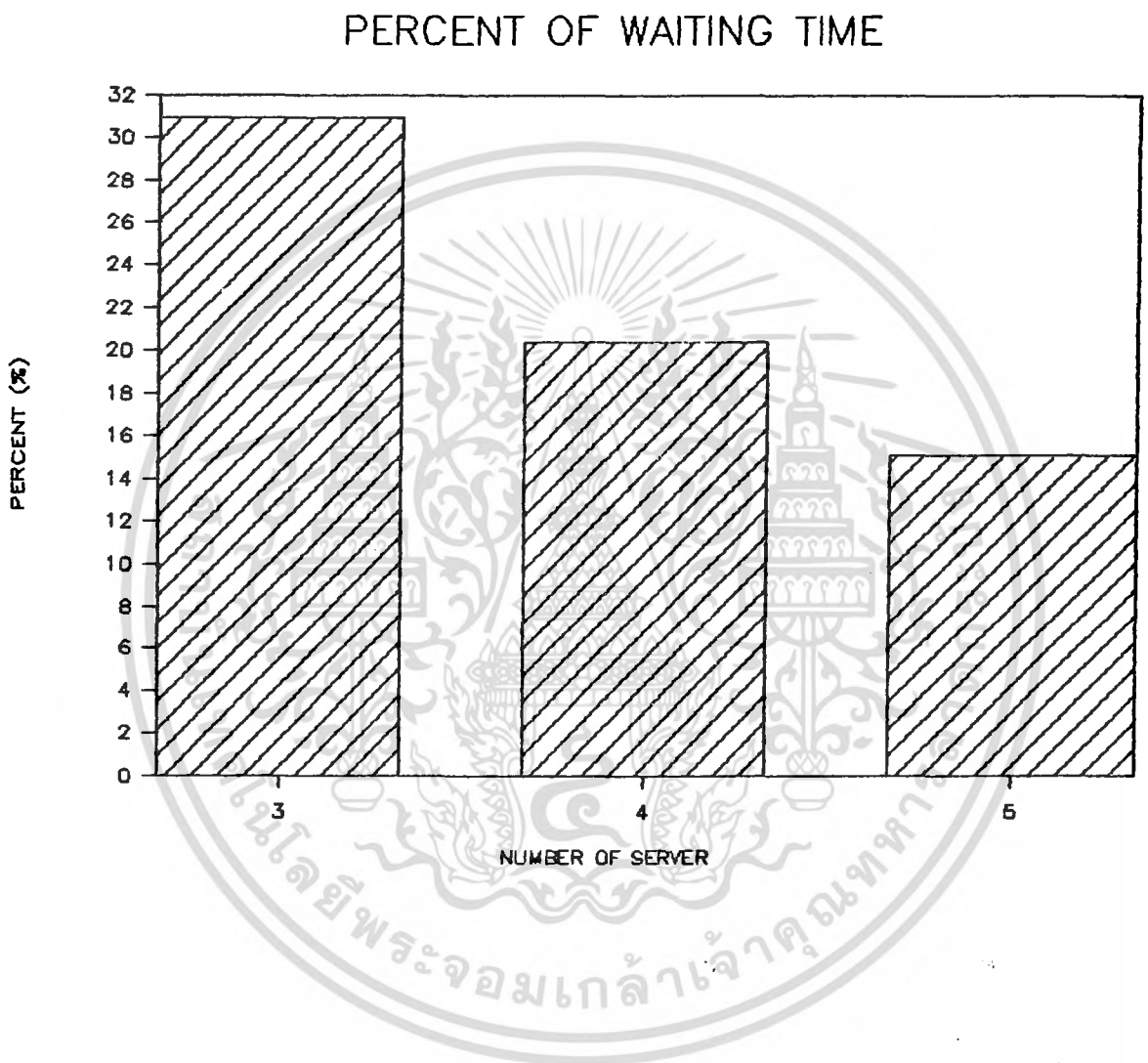
1. เมื่อพิจารณาเวลาเฉลี่ยของพนักงานว่าง (AVE_TDT) จะได้ว่าเวลาเฉลี่ยของพนักงานว่างของการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 3 ช่องทาง จะลดลง 17.60 % และเวลาเฉลี่ยของพนักงานว่างของการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 5 ช่องทาง จะเพิ่มขึ้น 11.20 % เมื่อเทียบกับการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทาง
2. เมื่อพิจารณาเวลาเฉลี่ยในการคอยของรถยนต์ (AVE_WAIT) จะได้ว่า เวลาเฉลี่ยในการคอยของรถยนต์ของการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 3 ช่องทาง จะเพิ่มขึ้น 80.37 % และเวลาเฉลี่ยในการคอยของรถยนต์ของการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 5 ช่องทาง จะลดลง 20.37 % เมื่อเทียบกับการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทาง
3. เมื่อพิจารณาโอกาสที่พนักงานจะว่าง (AVE_TDT(%)) จะได้ว่า โอกาสที่พนักงานว่างของการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 3 ช่องทาง จะลดลง 17.59 % และโอกาสที่พนักงานว่างของการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 5 ช่องทาง จะเพิ่มขึ้น 11.20 % เมื่อเทียบกับการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทาง
4. เมื่อพิจารณาโอกาสที่รถยนต์จะคอย (AVE_TWT(%)) จะได้ว่า โอกาสที่รถยนต์จะคอยของการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 3 ช่องทางจะเพิ่มขึ้น 51.54 % และโอกาสที่รถยนต์จะคอยของการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 5 ช่องทาง จะลดลง 26.04 % เมื่อเทียบกับการเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



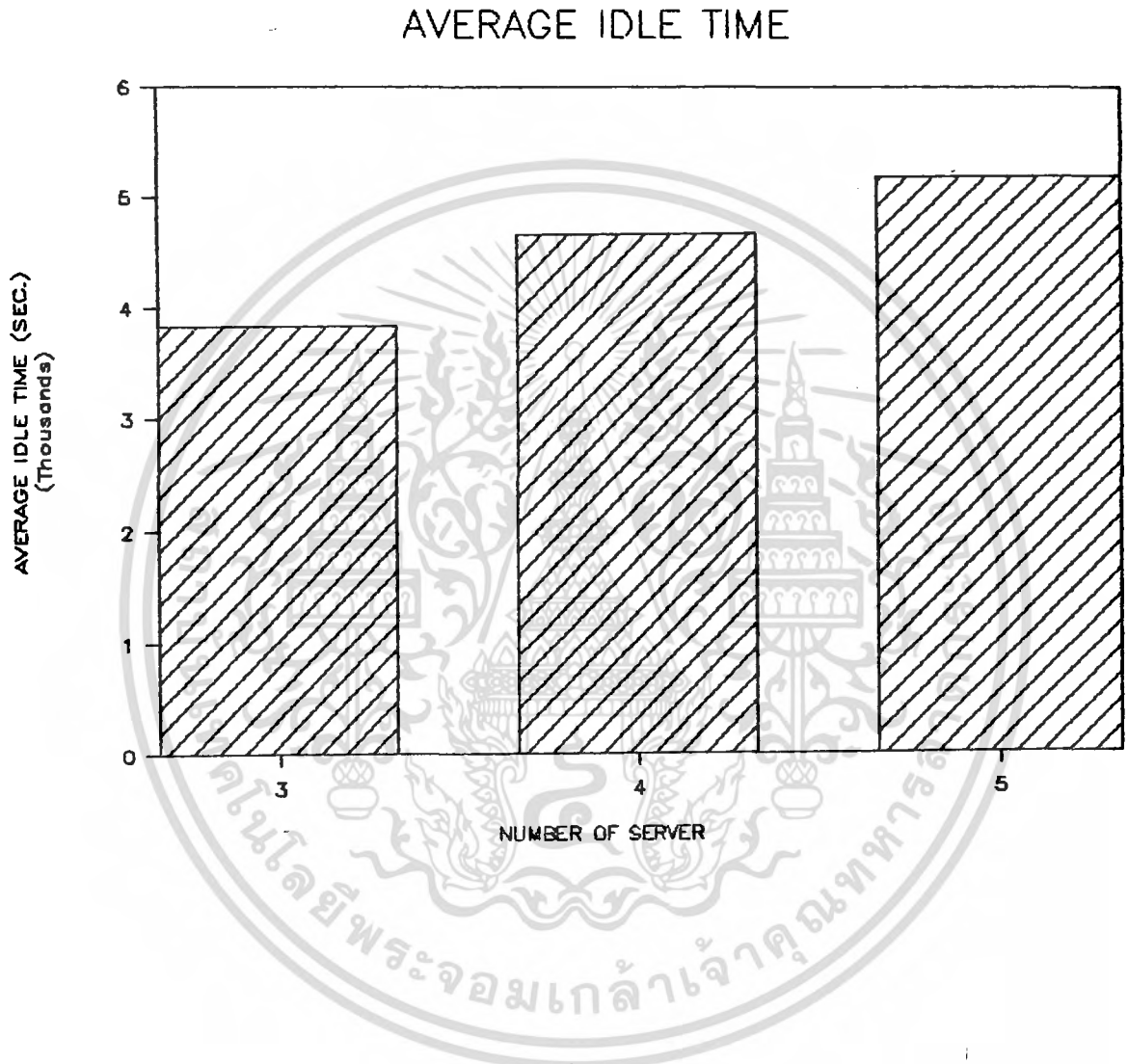
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยในการคอยของรถยนต์ในการจำลอง
เมื่อจำนวน Booth ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



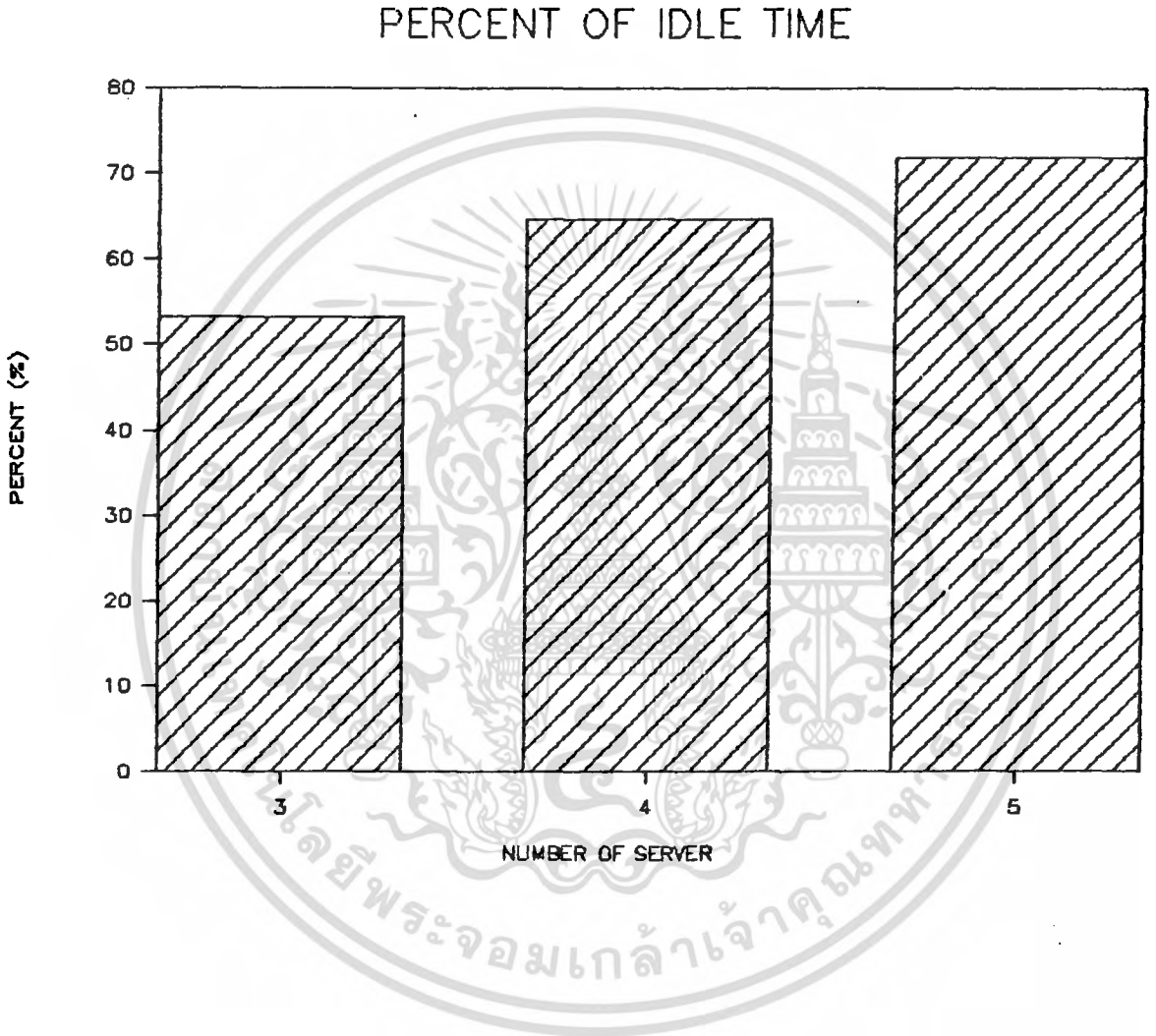
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงโอกาสที่รถยนต์จะคอยในการจำลอง
เมื่อจำนวน Booth ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยที่พนักงานว่างในการจำลอง
เมื่อจำนวน Booth ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงโอกาสที่พนักงานจะว่างในการจำลอง
เมื่อจำนวน Booth ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ เน้นในด้านที่จะเป็นแนวทางแก่ผู้บริหารในการตัดสินใจที่จะจัดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เพื่อให้ระบบมีขีดความสามารถในการให้บริการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพโดยถือว่าเจ้าหน้าที่ยังคงทำงานในลักษณะเดิม ผลจากการศึกษาระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ ในวันธรรมดา ช่วงเวลาระหว่าง 8.00-10.00 น. สรุปได้ดังนี้

1. อัตราการเข้ามารับบริการของรถยนต์ มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซองส์ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.327 คัน/วินาที (บทที่ 3)

2. อัตราการให้บริการของพนักงานประจำแต่ละ Booth ไม่เป็นไปตามรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบใดเลย (บทที่ 3)

3. ทำการทดลองกับแบบจำลอง โดยกำหนดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ตั้งแต่ 3-5 ช่องทาง เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เหมาะสม ซึ่งผลจากการจำลองได้สรุปไว้แล้วในบทที่ 4

แนวทางในการกำหนดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เหมาะสมนั้นจะทำได้หลายวิธี ทั้งนี้ ในการกำหนดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ หลายประการ เช่น นโยบายของผู้บริหาร สภาพเศรษฐกิจ เป็นต้น ซึ่งปัญหาพิเศษฉบับนี้ จะใช้เป็นข้อมูลเพียงบางส่วนมาช่วยในการพิจารณาและตัดสินใจ ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลอง จะสามารถกำหนดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เหมาะสม ดังแนวทางที่จะเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ถ้าต้องการให้มีการประหยัดค่าใช้จ่าย และต้องการใช้กำลังคนที่มีอยู่ ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ควรที่จะเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 3 ช่องทาง

2. ถ้าต้องการให้มีการรอคอยในการใช้บริการน้อยที่สุด เพื่อสร้างภาพพจน์ในด้านการให้บริการของด่านฯ สุขสวัสดิ์ ควรเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 5 ช่องทาง

3. ถ้าต้องการให้มีเวลาเฉลี่ยในการรอคอยไม่มากจนเกินไป และเวลาเฉลี่ยของพนักงานว่างไม่น้อยจนเกินไป ควรเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถ้าต้องการให้โอกาสที่พนักงานจะว่างน้อยกว่า 70 เปอร์เซนต์ และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ควรเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 3 ช่องทาง

5. ถ้าต้องการให้โอกาสที่ลูกค้าจะคอยน้อยกว่า 30 เปอร์เซนต์ และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ควรเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทาง

6. ถ้าต้องการให้โอกาสที่ลูกค้าจะคอยน้อยกว่า 20 เปอร์เซนต์ ควรเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 5 ช่องทาง

7. ถ้าต้องการให้โอกาสที่ลูกค้าจะคอยน้อยกว่า 30 เปอร์เซนต์ และให้โอกาสที่พนักงานจะว่างน้อยกว่า 70 เปอร์เซนต์ ควรเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทาง

8. การเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ จำนวน 3, 4 หรือ 5 ช่องทาง จะไม่มีปัญหาด้านการจราจร เนื่องจากมีจำนวนรถยนต์ที่คอยไม่เกินความยาวของแถวคอย และมีจำนวนรถยนต์ที่เข้ารับบริการไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงควรเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 3 ช่องทาง

จากแนวทางต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนั้น จะเห็นได้ว่า ถ้ากฎเกณฑ์ที่เกิดขึ้นต่างกัน ผลที่ได้จะแตกต่างกัน เพราะฉะนั้นการตัดสินใจจึงขึ้นอยู่กับผู้บริหาร หรือผู้มีอำนาจสูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ในระบบปัจจุบัน เป็นอุปสรรคต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของการให้บริการเนื่องจากทางเข้าของรถ มีขนาดแคบกว่าขนาดของจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ รวมกันทั้งหมด จึงไม่สามารถเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ได้ทั้งหมด เนื่องจากมีฟุตบาท (ทางเดินเท้า) มาขวางช่องทางเข้าอยู่ ซึ่งขณะนี้ยังเป็นปัญหาระหว่างการทางพิเศษแห่งประเทศไทยกับกรมทางหลวงอยู่ยังไม่สามารถตกลงในการที่จะเอาฟุตบาทออกได้ ซึ่งผู้จัดทำจึงทำการจำลองปัญหาโดยให้มีจำนวนช่องทางเข้าที่เป็นปัจจุบันคือ 3 ช่องทาง เหมือนกับระบบจริง แต่จะเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เปิดให้บริการเป็น 3,4 และ 5 ช่องทาง เพื่อที่จะดูว่าการใช้บริการและการให้บริการของพนักงานที่ด่านฯ สุขสวัสดิ์ ในขณะนี้มีความเหมาะสม และเพียงพอแก่ความต้องการหรือไม่ และในอนาคตจำนวนการใช้บริการทางด่วนของด่านฯ สุขสวัสดิ์ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีโรงงานอุตสาหกรรมและย่านธุรกิจเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นถ้ายังไม่มีการเอาฟุตบาทออก ก็อาจจะทำให้เกิดปัญหาการจราจรเพิ่มมากขึ้น จึงควรที่จะมีการจำลองปัญหาจากการที่มีช่องทางเข้า 3 ช่องทางเป็นหลาย ๆ ช่องทาง เช่น 4, 5 หรือ 6 ช่องทาง ซึ่งจะสามารถทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ได้มากขึ้นกว่าเดิม เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องทางทั้งหมดมีถึง 9 ช่องทาง อีกทั้งยังสามารถรองรับการเติบโตทางเศรษฐกิจ และผ่อนคลายปัญหาการจราจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตได้อีกด้วย

2. ควรมีการแยกประเภทของรถยนต์ในการจำลองปัญหา เนื่องจากการให้บริการทางด่วนพิเศษนั้น อัตราการเก็บค่าผ่านทางฯ ไม่เหมือนกัน รถบรรทุกจะเสียค่าผ่านทางฯ มากกว่ารถยนต์ธรรมดา ดังนั้นจำนวนของรถยนต์แต่ละประเภท ก็จะมีส่วนสำคัญในการตัดสินใจเพิ่มหรือลดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ได้ เนื่องจากจะทำให้พิจารณาถึงการเปรียบเทียบระหว่างผลประโยชน์ที่ได้รับกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ง่าย และอีกประการหนึ่งคือ ถ้าประเภทของรถยนต์ที่เข้ามาใช้บริการเป็นรถที่มีขนาดใหญ่มาก เช่น รถพ่วง รถบรรทุก 10 ล้อ รถเมล์ ส่วนมากจะเข้าช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ 9 เพียงช่องเดียว เนื่องจากช่องเก็บค่าผ่านทางฯ นี้จะมีขนาดใหญ่กว่าช่องทางอื่น ดังนั้นจะมีความคลาดเคลื่อนไปจากลักษณะข้อจำกัดของ การมาก่อนได้รับบริการก่อนเกิดขึ้น ซึ่งจะมีอิทธิพลไปถึงผลของการจำลองที่ได้จากโปรแกรมอีกด้วย

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. จำนวนของช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ในการจำลองปัญหาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 3-5 ช่องทาง เนื่องจากมีรถบรรทุกเข้ามาใช้บริการด้วย ดังนั้น จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เปิดน้อยที่สุดในช่วงเวลาเร่งรีบนี้คือ 3 ช่องทาง จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่มากที่สุดคือ 5 ช่องทาง เนื่องจากในระบบจริง รถยนต์ที่เข้ามาใช้บริการในช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ 6 เมื่อเปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ 4 ช่องทาง จะมาจากรถที่เข้าทางช่องทางเข้าที่ 3 เท่านั้น ดังนั้นถ้าจำลองปัญหาโดยเพิ่มจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ มากกว่า 4 ช่องทาง รถยนต์ที่จะเข้าในช่องเก็บค่าผ่านทางที่เพิ่มขึ้นจะมาจากช่องทางเข้าที่ 3 เท่านั้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเพิ่มจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ให้มากกว่า 5 ช่องทาง

2. รถยนต์ที่มีขนาดใหญ่จะเข้ามาช่องทางเข้าที่ 1 เสมอ เพื่อที่จะเข้ามาใช้บริการในช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ 9 ดังนั้นจะเกิดเหตุการณ์แบบ "มาหลังได้บริการก่อนด้วย" เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านขนาดของรถยนต์อยู่

3. การจำลองปัญหาของระบบนี้ ค่าความน่าจะเป็นสำหรับการแยกช่องทางเข้า จะมีความสำคัญมาก ซึ่งการจำลองปัญหาเมื่อกำหนดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เท่ากับ 3 และ 4 ช่องทาง จะใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เก็บได้จากระบบจริงคือ

ความน่าจะเป็นที่รถยนต์เข้าช่องทางที่ 1 = 0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความน่าจะเป็นที่รถยนต์เข้าช่องทางที่ 2 = 0.32

ความน่าจะเป็นที่รถยนต์เข้าช่องทางที่ 3 = 0.25

แต่เมื่อจำลองปัญหาโดยมีจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางเท่ากับ 5 ช่องทาง จะต้องเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็น เนื่องจาก

เมื่อรถยนต์เข้าช่องทางเข้าที่ 1 จะมาใช้บริการที่ช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ 9 และ 8

เมื่อรถยนต์เข้าช่องทางเข้าที่ 2 จะมาใช้บริการที่ช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ 8 และ 7

เมื่อรถยนต์เข้าช่องทางเข้าที่ 3 จะมาใช้บริการที่ช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ 7 , 6 และ 5

เมื่อเพิ่มจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ เป็น 5 ช่องทาง จะเห็นว่ารถยนต์เข้าช่องทางที่ 3 จะสามารถเข้ารับบริการที่ช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ได้เพิ่มขึ้นจากเดิมคือ 7,6 เป็น 7,6 และ 5 ดังนั้นแสดงว่า ช่องทางเข้าที่ 3 จะมีรถยนต์มาใช้บริการเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงจะเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นดังนี้คือ

ความน่าจะเป็นที่รถยนต์จะเข้าช่องทางที่ 1 = 0.36

ความน่าจะเป็นที่รถยนต์จะเข้าช่องทางที่ 2 = 0.32

ความน่าจะเป็นที่รถยนต์จะเข้าช่องทางที่ 3 = 0.32

ซึ่งค่าความน่าจะเป็นนี้ไม่ใช่ค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลในระบบจริง เป็นค่าที่ถูกกำหนดขึ้นจากการพิจารณา จากเหตุผลที่ว่า "เมื่อช่องทางใดมีการว่างของการใช้บริการมากก็จะต้องมีรถยนต์เข้ามาใช้บริการเพิ่มขึ้น"

4. ช่วงเวลาที่เก็บรวบรวมข้อมูลคือ ช่วงเวลา 8.00-10.00 น. ข้อมูลของวันที่จัดเก็บข้อมูลอาจจะเป็นช่วงเวลาที่ต่างไปจากช่วงเวลานี้ของวันธรรมดาวันอื่น ๆ ก็ได้ แม้ว่าจะทราบจากเจ้าหน้าที่ของด่านฯ สุขสวัสดิ์ว่า จำนวนของรถยนต์ที่เข้ามาใช้บริการโดยเฉลี่ยจะใกล้เคียงกันทุกวันในวันธรรมดา

5. ในขณะที่เก็บข้อมูล ถ้ามีรถยนต์เข้ามาใช้บริการกันหนาแน่น ก็จะบันทึกเวลาเริ่มเข้ามาในระบบไม่ทันในกรณีที่มีรถวิ่งซ้อนกัน เนื่องจากการบันทึกข้อมูล นอกจากจะจดเวลาของการเข้ามาแล้วยังต้องจดเลขทะเบียนของรถอีกด้วย

6. ในวันที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่า มีการปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ชั่วคราวทั้ง ๆ ที่เป็นเวลาที่ต้องเปิดให้บริการ เนื่องจากพนักงานมีธุระส่วนตัว จำเป็นต้องปิดช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ดังนั้นคำตอบที่ได้จากการจำลองอาจจะคลาดเคลื่อนไป เช่น เวลาสะสมในการคอย และ จำนวนรวมคนคอย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิจัยขั้นดำเนินงานและการประยุกต์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

บุญมี วัฒนานนท์. "การวิเคราะห์ระบบแถวคอยของการลงทะเบียนวิชาเรียนของนิสิตบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย". วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

บุญเลิศ เอี่ยมทัศนา. เรียนรู้ภาษาปาสคาล ด้วยเทอร์โบปาสคาล 4.0-5.0. กรุงเทพฯ: เอซ-เอน การพิมพ์, 2532.

คิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การจำลองแบบปัญหา. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2529.

วิชิต หล่อจีระชุณห์กุล. "ขบวนการตัดสินใจ". กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

วิภาวรรณ สิงห์พริ้ง. การวิจัยการดำเนินงาน 2. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2529.

อนุสรณ์ ทิชาชาติ, จิรายุส พู่มนตรี, และสุรเชษฐ์ วงค์วิชิต. "การจำลองแบบปัญหาจำนวนบุคคลากรแผนกประชาสัมพันธ์ของโรงพยาบาลธนบุรี". ปัญหาพิเศษ ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2530.

อุมาพร มาระวิชัย. "การวิเคราะห์ระบบบริการจองตั๋วโดยสารรถไฟล่วงหน้าที่สถานีรถไฟกรุงเทพฯ". วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเก็บรวบรวมข้อมูล Queueing (รถเข้าระบบ)

Lane_____

ชื่อ_____วันที่____เดือน_____พ.ศ._____ช่วงเวลา 8.00-10.00 น.

เลขทะเบียนรถ	เวลาที่รถเข้าสู่ระบบ	เลขทะเบียนรถ	เวลาที่รถเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเก็บข้อมูล Queueing (รถรับบริการและรถออกจากระบบ)

Booth_____

ชื่อ_____วันที่____เดือน_____พ.ศ._____ช่วงเวลา 8.00-10.00 น.

เลขทะเบียนรถ	เวลาที่รถเข้ารับบริการ	เวลาที่รถออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้โปรแกรมการจำลองแบบปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>**การใช้โปรแกรมการจำลองแบบปัญหา**</u>

ในการจำลองแบบปัญหาระบบแถวคอยของรถยนต์ที่ใช้บริการบนทางด่วนพิเศษสายดาว-คะนอง-ท่าเรือ ณ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ สุขสวัสดิ์นั้น ผู้จัดทำได้ทำการจำลองระบบแถวคอยในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเขียนด้วยเทอร์โบปาสคาล 5.5 (Turbo Pascal version 5.5) โดยใช้ชื่อว่า "SIMULATION.PAS" ใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ มีลำดับการใช้งานดังนี้

- จาก DOS PROMPT ให้เรียก Turbo Pascal ดังนี้

  A>Turbo
- กดฟังก์ชันคีย์ F3 เพื่อ LOAD โปรแกรม SIMULATION.PAS

  "LOAD FILE NAME" SIMULATION.PAS
- กดคีย์ Ctrl + ฟังก์ชันคีย์ F9 เพื่อทำการประมวลผลโปรแกรม
- จอภาพจะแสดงผลดังนี้

```
*********>>>>>>>  SIMULATION PROGRAM  <<<<<<<*********

&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&@#$&

SERVER =   4      QUEUE_LENGTH =   10        AMOUNT OF LOOP = 1

START_HOUR =  8                   START_MINUTE =  0

STOP_HOUR =  10                   STOP_MINUTE =  0

          ARRIVAL TIME (AMOUNT/SECOND) =   .327

                 SET RANDOM VALUE =   9

              ========> END OF INPUT DATA <========

(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)(!!)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะต้องใส่ค่าให้กับตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

SERVER	หมายถึง	จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ที่เปิดให้บริการ ซึ่งมีค่าได้ตั้งแต่ 3-5
QUEUE_LENGTH	"	ความยาวของแถวคอย ในที่นี้ = 10
AMOUNT OF LOOP	"	จำนวนรอบที่ต้องการทำในการจำลองแบบปัญหา
START_HOUR	"	เวลาเริ่มต้นการจำลองที่เป็นชั่วโมง
START_MINUTE	"	เวลาเริ่มต้นการจำลองที่เป็นนาที
STOP_HOUR	"	เวลาสิ้นสุดการจำลองที่เป็นชั่วโมง
STOP_MINUTE	"	เวลาสิ้นสุดการจำลองที่เป็นนาที
ARRIVAL TIME (AMOUNT/SECOND)	หมายถึง	อัตราการเข้ารับบริการของรถยนต์ ในที่นี้ = 0.327 คัน/วินาที
SET RANDOM VALUE	หมายถึง	การกำหนดเลขเริ่มต้นเพื่อผลิตเลขสุ่ม ซึ่งต้องกำหนดทุกรอบของการจำลองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รายละเอียดเกี่ยวกับตัวแปร และผังงานโปรแกรมการจำลองแบบปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIST VARIABLES

LAN	- ค่าของช่องทางเข้าซึ่งมีอยู่ 3 ค่าคือ 1,2 และ 3
CHECK	- ค่าของช่องทางให้บริการซึ่งมีอยู่ 5 ค่าคือ 1,2,3,4 และ 5
ADD_SERVER	- ตัวเก็บค่าของช่องทางให้บริการที่มีเวลาน้อยที่สุด
START_BOOTH	- ค่าเริ่มต้นของช่องทางให้บริการในแต่ละช่องทางเข้า
END_BOOTH	- ค่าสิ้นสุดของช่องทางให้บริการในแต่ละช่องทางเข้า
ALL_STATUS	- ตัวแปรที่เก็บจำนวนช่องทางให้บริการที่ไม่ว่าง
ILOOP	- จำนวนรอบที่ต้องการให้ประมวลผล
AT_COME	- ค่าตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซงส์
ST	- ค่าตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โปเนน-เชียล
QUEUE_LENGTH	- ความยาวของแถวคอยในระบบ
START_RANDOM	- ค่าตัวเลขเริ่มต้นเพื่อผลิตเลขสุ่มในแต่ละรอบของการประมวลผล
SRANDOM	- ตัวแปรที่เก็บค่าของ START_RANDOM เพื่อเอาไว้นิมน์ผลลัพธ์
NAN	- ตัวแปรที่รับค่าที่เป็นตัวเลข จะช่วยในการอ่านค่าผลลัพธ์ทางหน้าจอ
MAX	- ค่าเวลาสูงสุดในการประมวลผล
CLOCK	- เวลาที่เปลี่ยนไปในโปรแกรม
RND	- เลขสุ่มที่ได้จากการผลิตเลขสุ่ม
ATNEXT	- เวลาของการเข้ามารับบริการ
DTNEXT	- เวลาที่ใช้ในการให้บริการ
DTNEXT_FIRST	- ตัวแปรที่เก็บค่าเวลาของช่องทางให้บริการที่น้อยที่สุด
AVE_AT	- ค่าเฉลี่ยของเวลาการเข้ารับบริการ ที่มีการแจกแจงความ-น่าจะเป็นแบบปัวซงส์
AT_WAIT	- ตัวแปรที่เก็บค่า ATNEXT ในกรณีเกิดการรอคอย
AT_OUT	- ตัวแปรที่เก็บค่า ATNEXT ในกรณีเกิดการรอคอยจนเกิน QUEUE_LENGTH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WL_OUT – จำนวนรวมคนคอยขณะใดขณะหนึ่งใน กรณีเกิดการรอคอยจนเกิน QUEUE_LENGTH

TOT_WL_OUT – จำนวนรวมคนคอยทั้งหมด ในกรณีเกิดการรอคอยจนเกิน QUEUE_LENGTH

GTOT_WL_OUT – จำนวนรวมคนคอยทั้งหมด ในกรณีเกิดการรอคอยจนเกิน QUEUE_LENGTH จำนวน ILOOP รอบ

STATUS – สถานภาพการว่างของช่องทางให้บริการ

STATUS_TDT – จำนวนช่องทางให้บริการที่ว่างในขณะใดขณะหนึ่ง

STATUS_QUEUE – ตัวแปรที่ตรวจสอบว่ามีการรอคอยจนเกิน QUEUE_LENGTH หรือไม่

STATUS_ALL – สถานภาพการว่างทั้งหมดของช่องทางให้บริการ

BCLOCK – ตัวแปรที่เก็บค่าเวลาของ DTNEXT ในแต่ละช่องทางให้บริการ

LCLOCK – ตัวแปรที่เก็บค่าเวลาของ CLOCK ในแต่ละช่องทางเข้า

TDT – เวลาสะสมที่พนักงานว่าง

TOT_TDT – เวลาสะสมที่พนักงานว่างในทุกช่องทางเข้า

GTOT_TDT – เวลาสะสมที่พนักงานว่างในทุกช่องทางเข้า จำนวน ILOOP รอบ

TWT – เวลาสะสมในการรอคอย

TOT_TWT – เวลาสะสมในการรอคอยในทุกช่องทางเข้า

GTOT_TWT – เวลาสะสมในการรอคอยในทุกช่องทางเข้า จำนวน ILOOP รอบ

IUNIT – จำนวนผู้ที่ได้รับบริการ

TOT_IUNIT – จำนวนผู้ที่ได้รับบริการในทุกช่องทางเข้า

GTOT_IUNIT – จำนวนผู้ที่ได้รับบริการในทุกช่องทางเข้า จำนวน ILOOP รอบ

TOTAL_COME – จำนวนผู้ที่เข้าระบบทั้งหมด

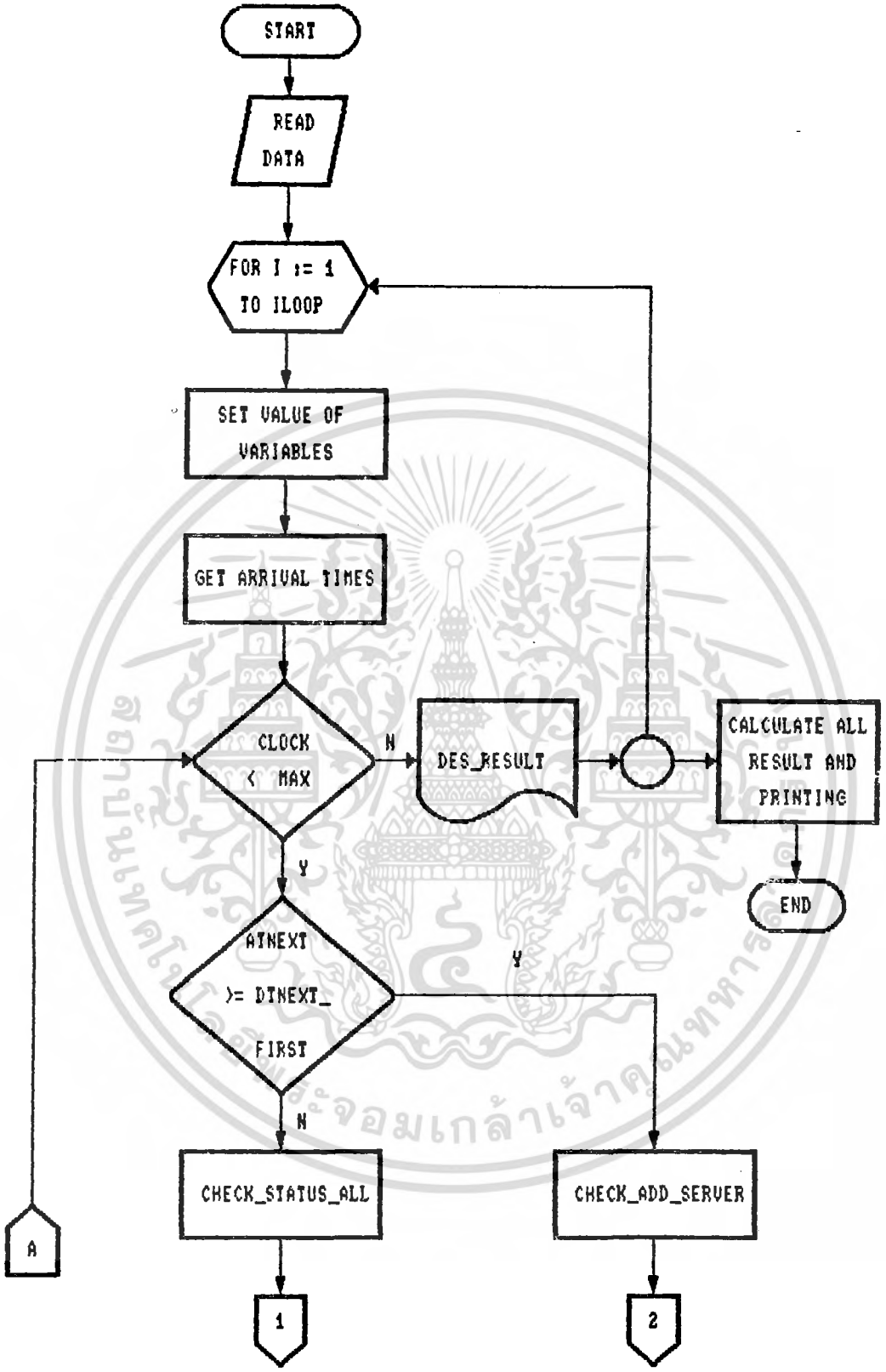
GTOTAL_COME – จำนวนผู้ที่เข้าระบบทั้งหมด จำนวน ILOOP รอบ

WL – จำนวนรวมคนคอยขณะใดขณะหนึ่ง

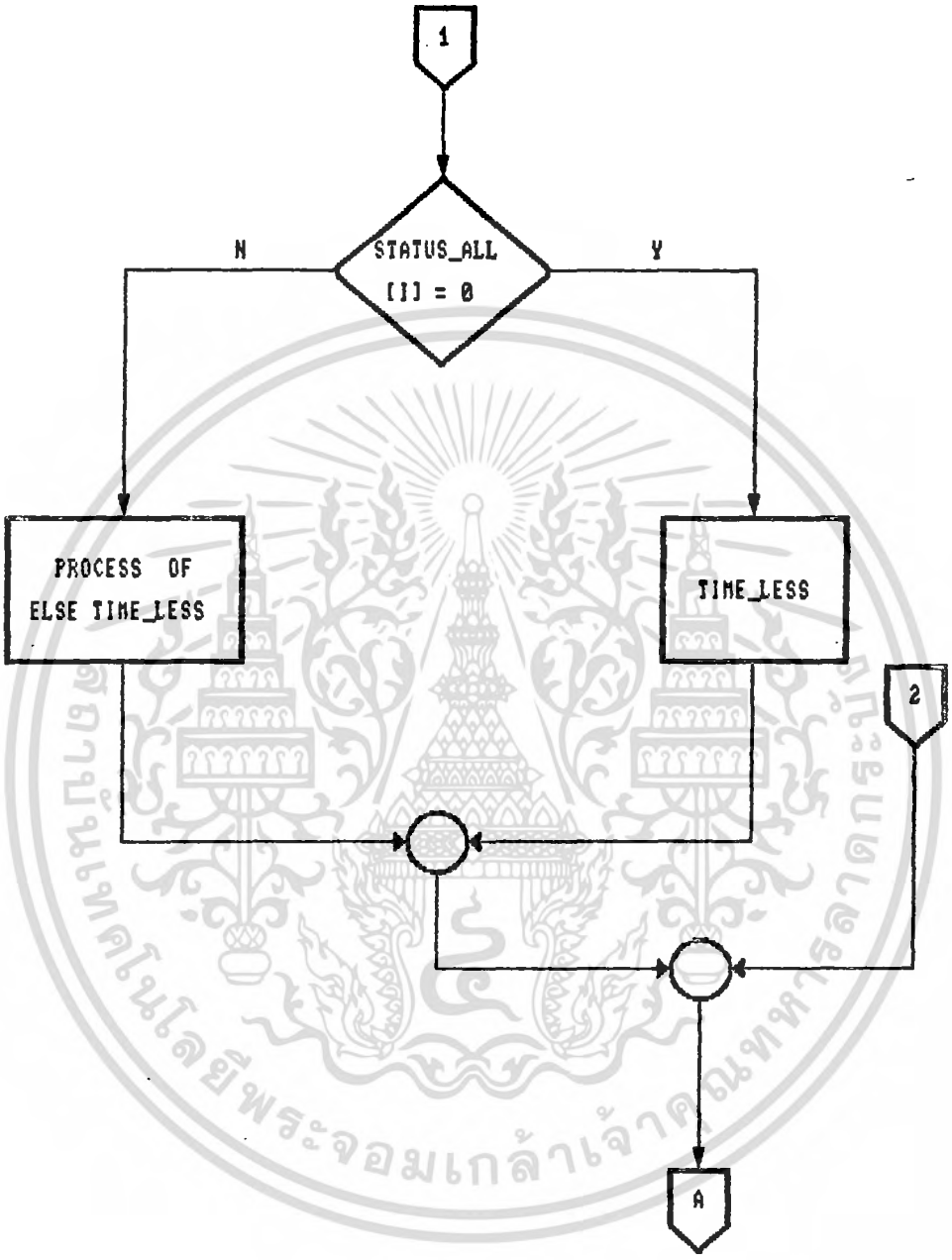
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOT_WL	- จำนวนรวมคนคอยขณะใดขณะหนึ่งในทุกช่องทางให้บริการ
TOTAL_WL	- จำนวนรวมคนคอยทั้งหมด
GTOTAL_WL	- จำนวนรวมคนคอยทั้งหมด จำนวน ILOOP รอบ
AT_SET	- ตัวแปรที่เก็บค่าของ ATNEXT
AVE_TDT	- เวลาเฉลี่ยของพนักงานว่าง
GAVE_TDT	- เวลาเฉลี่ยของพนักงานว่าง จำนวน ILOOP รอบ
AVE_WAITING	- เวลาเฉลี่ยในการรอคอย
GAVE_WAITING	- เวลาเฉลี่ยในการรอคอย จำนวน ILOOP รอบ
PAVE_TDT	- โอกาสที่พนักงานจะว่าง
GPAVE_TDT	- โอกาสที่พนักงานจะว่าง จำนวน ILOOP รอบ
PAVE_TWT	- โอกาสที่รถยนต์จะคอย
GPAVE_TWT	- โอกาสที่รถยนต์จะคอย จำนวน ILOOP รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำงาน

READ DATA - อ่านค่าของข้อมูลทางหน้าจอ

SET VALUE OF VARIABLE - กำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่าง ๆ

GET ARRIVAL TIME - รับค่าที่เป็นเวลาการเข้ารับบริการ

CHECK_ADD_SERVER - เก็บค่า ATNEXT และค่า LAN ที่อ่านเข้ามา และตรวจสอบเพื่อนำค่า ATNEXT ที่น้อยที่สุด และค่า LAN ของ ATNEXT ไปประมวลผล โดยจะตรวจสอบก่อนว่า ค่า LAN ที่ได้นั้นตรงกับค่า ADD_SERVER ของ DT_NEXT_FIRST หรือไม่

- ถ้าเท่ากัน จะทำการหาค่าเวลาสะสมในการรอคอย และตรวจสอบดูว่าจำนวนรวมคนคอยขณะใดขณะหนึ่ง เท่ากับ 0 หรือไม่

- ถ้าเท่ากัน จะให้ค่า STATUS, DTNEXT, STATUS_ALL มีค่าเท่ากับ 0

- ถ้าไม่เท่ากัน จะทำการลดค่า WL ลง 1 หน่วย และจะได้ค่าเวลาที่ใช้ในการให้บริการ พร้อมทั้งเลื่อนค่า ATNEXT ในแถวคอยภายใน QUEUE_LENGTH และถ้ามีค่า AT_NEXT อยู่ในแถวคอยนอก QUEUE_LENGTH ก็จะทำการเลื่อนค่า ATNEXT นั้นด้วย

- ถ้าไม่เท่ากัน จะพิจารณา ADD_SERVER เป็นหลัก โดยจะทำการหาค่า LAN ของ ADD_SERVER นั้น และจะให้ค่า BCLOCK = DTNEXT, ให้ค่า STATUS, DTNEXT = 0 จากนั้นจะหาค่า DTNEXT_FIRST, ADD_SERVER ใหม่

และทำการเพิ่มค่าจำนวนผู้ที่ได้รับบริการ เพิ่มขึ้นอีก 1 หน่วย หลังจากสิ้นสุดการทำเงื่อนไขที่ตรวจสอบค่า LAN ของ ATNEXT กับ ADD_SERVER ของ DTNEXT_FIRST

CHECK_STATUS_ALL - หาค่า STATUS_TDT, STATALL ของ LAN ต่าง ๆ

TIME_LESS - ทำการเลื่อนค่า ATNEXT ในแถวคอยภายใน QUEUE_LENGTH ถ้ามี ATNEXT อยู่ในแถวคอยนอก QUEUE_LENGTH ก็จะทำการเลื่อนค่า ATNEXT นั้นด้วย และจะทำการหาช่องทางบริการที่ว่าง เพื่อที่จะได้หาค่าเวลาสะสมที่พนักงานว่าง และให้ค่าที่แสดงว่าช่องทางบริการนี้ไม่ว่างแล้วแก่ STATUS นอกจากนี้จะได้ค่าของเวลาที่ใช้ในการให้บริการ และให้ค่า BCLOCK = DTNEXT นอกจากนี้จะทำการหาค่า DTNEXT_FIRST, ADD_SERVER และได้เวลาของการเข้ามารับบริการ, นำค่า ATNEXT ใส่ใน AT_NEXT ของ LAN และ QUEUE_LENGTH นั้น ๆ

PROCESS OF ELSE TIME_LESS - หาค่าเวลาสะสมในการรอคอย และทำการเพิ่มค่าจำนวนรวมคนคอยขณะใดขณะหนึ่งอีก 1 หน่วย นอกจากนี้ยังได้ค่าเวลาของการเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับบริการ และทำการนำค่า ATNEXT ไปใส่ไว้ใน AT_WAIT ของ LAN และ QUEUE_LENGTH นั้น ๆ

DIS_RESULT - นำเสนอผลลัพธ์ของการประมวลผลจากโปรแกรมที่ทำเพียง 1 รอบ

CALCULATE ALL RESULT AND PRINTING - ทำการคำนวณค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทำวนรอบเท่ากับ JLOOP รอบ และแสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลจากโปรแกรมที่ทำการประมวลผลจำนวน JLOOP รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

โปรแกรมการจำลองแบบปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PROGRAM SIMULATION (INPUT,OUTPUT);
USES    CRT,PRINTER;

CONST   MAXDIM = 50;
        MAXD = 100;

TYPE    DIMARRAY = ARRAY[1..MAXDIM] OF REAL;
        DIMAR = ARRAY[1..MAXDIM] OF BYTE;
        DIM = ARRAY[1..MAXDIM] OF INTEGER;
        DDD = ARRAY[1..MAXDIM,1..MAXDIM] OF REAL;
        ZZZ = ARRAY[1..MAXDIM,1..MAXD] OF REAL;

VAR     DTNEXT,TDT,TWT,STATUS_ALL,BCLOCK,LCLOCK : DIMARRAY;
        WL,STATUS,STATUS_QUEUE,STATUS_TDT : DIMAR;
        IUNIT,WL_OUT : DIM;
        AT_WAIT : DDD;
        AT_OUT : ZZZ;

        SERVER,START_HOUR,START_MINUTE,STOP_HOUR,STOP_MINUTE,I,
        J,K,II,LAN,CHECK,ADD_SERVER,ST,IJ,START_BOOTH,A,Z,
        QUEUE_LENGTH,END_BOOTH,AMOUNT,ALL_STATUS,ILOOP : BYTE;

        START_RANDOM,MAX,TOT_IUNIT,TOTAL_COME,TOTAL_WL,TOT_WL,
        TOT_WL_OUT : LONGINT;

        SRANDOM,nan : INTEGER;

        AVE_AT,DTNEXT_FIRST,ATNEXT,CLOCK,RND,AT_COME,TOT_TWT,
        TOT_TDT,AT_SET,GTOT_TWT,GTOT_TDT,GTOT_IUNIT,
        AVE_TDT,AVE_WAITING,PAVE_TDT,PAVE_TWT,GTOTAL_WL,GTOTAL_COME,
        GAVE_TDT,GAVE_WAITING,GPAVE_TDT,GPAVE_TWT,GTOT_WL_OUT :REAL;


PROCEDURE   RAN(VAR  RRD:REAL);
CONST   A = 16807  { 7E5 };
        N = 2147483647  { 2E31 - 1 };

BEGIN
        START_RANDOM := START_RANDOM * A;
        IF START_RANDOM < 0 THEN
           START_RANDOM := 1 + (START_RANDOM + N);
        {END IF}
        RRD := START_RANDOM / N;
END;


PROCEDURE  CHECK_LANE (VAR  LANE  : BYTE);
{ CHANGE PROBABILITY IT IS }

BEGIN
        RAN(RND);
        IF RND < 0.43 THEN LANE := 1
        ELSE IF (RND >= 0.43) AND (RND < 0.75)
                THEN LANE := 2
                ELSE LANE := 3;
END;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PROCEDURE   GEN_AT(VAR COMING : REAL);

BEGIN
        CHECK_LANE(LAN);
        RAN(RND);
        COMING := -AVE_AT * LN(RND);

END;


PROCEDURE   GEN_ST(VAR SERVICE : BYTE);

BEGIN
        RAN(RND);
        IF CHECK = 1 THEN
        BEGIN
           IF (RND <= Ø.Ø17) THEN SERVICE :=  1
           ELSE IF (RND > Ø.Ø17) AND (RND <= Ø.Ø91) THEN SERVICE :=  2
           ELSE IF (RND > Ø.Ø91) AND (RND <= Ø.319) THEN SERVICE :=  3
           ELSE IF (RND > Ø.319) AND (RND <= Ø.549) THEN SERVICE :=  4
           ELSE IF (RND > Ø.549) AND (RND <= Ø.695) THEN SERVICE :=  5
           ELSE IF (RND > Ø.695) AND (RND <= Ø.767) THEN SERVICE :=  6
           ELSE IF (RND > Ø.767) AND (RND <= Ø.815) THEN SERVICE :=  7
           ELSE IF (RND > Ø.815) AND (RND <= Ø.849) THEN SERVICE :=  8
           ELSE IF (RND > Ø.849) AND (RND <= Ø.884) THEN SERVICE :=  9
           ELSE IF (RND > Ø.884) AND (RND <= Ø.923) THEN SERVICE := 10
           ELSE IF (RND > Ø.923) AND (RND <= Ø.941) THEN SERVICE := 11
           ELSE IF (RND > Ø.941) AND (RND <= Ø.955) THEN SERVICE := 12
           ELSE IF (RND > Ø.955) AND (RND <= Ø.968) THEN SERVICE := 13
           ELSE IF (RND > Ø.968) AND (RND <= Ø.982) THEN SERVICE := 14
           ELSE IF (RND > Ø.982) AND (RND <= Ø.987) THEN SERVICE := 15
           ELSE IF (RND > Ø.987) AND (RND <= Ø.988) THEN SERVICE := 16
           ELSE IF (RND > Ø.988) AND (RND <= Ø.990) THEN SERVICE := 18
           ELSE IF (RND > Ø.990) AND (RND <= Ø.992) THEN SERVICE := 19
           ELSE IF (RND > Ø.992) AND (RND <= Ø.993) THEN SERVICE := 22
           ELSE IF (RND > Ø.993) AND (RND <= Ø.988) THEN SERVICE := 24
           ELSE  SERVICE := 35;
        END;

        IF CHECK = 2 THEN
        BEGIN
           IF (RND <= Ø.114) THEN  SERVICE :=  1
           ELSE IF (RND > Ø.114) AND (RND <= Ø.552) THEN SERVICE :=  2
           ELSE IF (RND > Ø.552) AND (RND <= Ø.721) THEN SERVICE :=  3
           ELSE IF (RND > Ø.721) AND (RND <= Ø.815) THEN SERVICE :=  4
           ELSE IF (RND > Ø.815) AND (RND <= Ø.858) THEN SERVICE :=  5
           ELSE IF (RND > Ø.858) AND (RND <= Ø.894) THEN SERVICE :=  6
           ELSE IF (RND > Ø.894) AND (RND <= Ø.911) THEN SERVICE :=  7
           ELSE IF (RND > Ø.911) AND (RND <= Ø.918) THEN SERVICE :=  8
           ELSE IF (RND > Ø.918) AND (RND <= Ø.929) THEN SERVICE :=  9
           ELSE IF (RND > Ø.929) AND (RND <= Ø.942) THEN SERVICE := 10
           ELSE IF (RND > Ø.942) AND (RND <= Ø.953) THEN SERVICE := 11
           ELSE IF (RND > Ø.953) AND (RND <= Ø.971) THEN SERVICE := 12
           ELSE IF (RND > Ø.971) AND (RND <= Ø.978) THEN SERVICE := 13
           ELSE IF (RND > Ø.978) AND (RND <= Ø.979) THEN SERVICE := 14
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      ELSE IF (RND > 0.979) AND (RND <= 0.981) THEN SERVICE := 1
      ELSE IF (RND > 0.981) AND (RND <= 0.984) THEN SERVICE := 1
      ELSE IF (RND > 0.984) AND (RND <= 0.989) THEN SERVICE := 1
      ELSE IF (RND > 0.989) AND (RND <= 0.990) THEN SERVICE := 1
      ELSE IF (RND > 0.990) AND (RND <= 0.994) THEN SERVICE := 2
      ELSE IF (RND > 0.994) AND (RND <= 0.995) THEN SERVICE := 2
      ELSE IF (RND > 0.995) AND (RND <= 0.998) THEN SERVICE := 2
      ELSE  SERVICE := 45
   END;

   IF CHECK = 3 THEN
   BEGIN
      IF (RND <= 0.045) THEN  SERVICE :=  1
      ELSE IF (RND > 0.045) AND (RND <= 0.318) THEN SERVICE :=  2
      ELSE IF (RND > 0.318) AND (RND <= 0.604) THEN SERVICE :=  3
      ELSE IF (RND > 0.604) AND (RND <= 0.780) THEN SERVICE :=  4
      ELSE IF (RND > 0.780) AND (RND <= 0.877) THEN SERVICE :=  5
      ELSE IF (RND > 0.877) AND (RND <= 0.909) THEN SERVICE :=  6
      ELSE IF (RND > 0.909) AND (RND <= 0.936) THEN SERVICE :=  7
      ELSE IF (RND > 0.936) AND (RND <= 0.946) THEN SERVICE :=  8
      ELSE IF (RND > 0.946) AND (RND <= 0.962) THEN SERVICE :=  9
      ELSE IF (RND > 0.962) AND (RND <= 0.972) THEN SERVICE := 10
      ELSE IF (RND > 0.972) AND (RND <= 0.982) THEN SERVICE := 11
      ELSE IF (RND > 0.982) AND (RND <= 0.983) THEN SERVICE := 12
      ELSE IF (RND > 0.983) AND (RND <= 0.986) THEN SERVICE := 13
      ELSE IF (RND > 0.986) AND (RND <= 0.989) THEN SERVICE := 14
      ELSE IF (RND > 0.989) AND (RND <= 0.991) THEN SERVICE := 15
      ELSE IF (RND > 0.991) AND (RND <= 0.992) THEN SERVICE := 17
      ELSE IF (RND > 0.992) AND (RND <= 0.995) THEN SERVICE := 19
      ELSE IF (RND > 0.995) AND (RND <= 0.996) THEN SERVICE := 20
      ELSE IF (RND > 0.996) AND (RND <= 0.999) THEN SERVICE := 23
      ELSE  SERVICE := 27
   END;

   IF CHECK > 3 THEN
   BEGIN
      IF (RND <= 0.074) THEN  SERVICE :=  1
      ELSE IF (RND > 0.074) AND (RND <= 0.285) THEN SERVICE :=  2
      ELSE IF (RND > 0.285) AND (RND <= 0.590) THEN SERVICE :=  3
      ELSE IF (RND > 0.590) AND (RND <= 0.764) THEN SERVICE :=  4
      ELSE IF (RND > 0.764) AND (RND <= 0.842) THEN SERVICE :=  5
      ELSE IF (RND > 0.842) AND (RND <= 0.904) THEN SERVICE :=  6
      ELSE IF (RND > 0.904) AND (RND <= 0.949) THEN SERVICE :=  7
      ELSE IF (RND > 0.949) AND (RND <= 0.953) THEN SERVICE :=  8
      ELSE IF (RND > 0.953) AND (RND <= 0.965) THEN SERVICE :=  9
      ELSE IF (RND > 0.965) AND (RND <= 0.984) THEN SERVICE := 10
      ELSE IF (RND > 0.984) AND (RND <= 0.986) THEN SERVICE := 12
      ELSE IF (RND > 0.986) AND (RND <= 0.988) THEN SERVICE := 13
      ELSE IF (RND > 0.988) AND (RND <= 0.990) THEN SERVICE := 17
      ELSE IF (RND > 0.990) AND (RND <= 0.992) THEN SERVICE := 18
      ELSE IF (RND > 0.992) AND (RND <= 0.994) THEN SERVICE := 19
      ELSE IF (RND > 0.994) AND (RND <= 0.998) THEN SERVICE := 20
      ELSE  SERVICE := 29
   END;
END;

PROCEDURE  CHECK_QUEUE;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BEGIN

        J := 0;
        FOR J := 2 TO QUEUE_LENGTH DO
           BEGIN
              AT_WAIT[I,J-1] := AT_WAIT[I,J];
           END;
         IF WL_OUT[I] <> 0 THEN
            BEGIN
               AT_WAIT[I,QUEUE_LENGTH] := AT_OUT[I,1];
               WL_OUT[I] := WL_OUT[I] - 1;

               FOR Z := 2 TO MAXD DO
                   BEGIN
                     AT_OUT[I,Z-1] := AT_OUT[I,Z];
                   END;
            END;
END;


PROCEDURE   CHECK_BOOTH;

BEGIN
        LAN := I;
        IF LAN = 1 THEN
           BEGIN
             START_BOOTH := 1;
             END_BOOTH := 2;
           END
           ELSE IF LAN = 2 THEN
                   BEGIN
                     START_BOOTH := 2;
                     END_BOOTH := 3;
                   END
                   ELSE
                      BEGIN
                        START_BOOTH := 3;
                        END_BOOTH := SERVER;
                      END;
END;


PROCEDURE   CHECK_ATNEXT;
VAR     M : BYTE;

BEGIN
        I := 0;
        FOR I := 1 TO 3 DO
           BEGIN
              IF AT_WAIT[I,1] <> 0 THEN
                 BEGIN
                    IF ATNEXT > AT_WAIT[I,1] THEN
                       ATNEXT := AT_WAIT[I,1];
                 END;
           END;
        FOR M := 1 TO 3 DO
           BEGIN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                IF ATNEXT = AT_WAIT[M,1] THEN
                   BEGIN
                      I := M;
                      M := 3
                   END;
             END;
END;


PROCEDURE   CHECK_AT_WAIT;
VAR     L   : BYTE;

BEGIN
        I := LAN;

        IF AT_WAIT[I,1] = 0 THEN
           BEGIN
              AT_WAIT[I,1] := ATNEXT;
              L := 1;
           END
         ELSE
           BEGIN
              J := 0;
              FOR J := 2 TO QUEUE_LENGTH DO
                 BEGIN
                   IF AT_WAIT[I,J] = 0 THEN
                   BEGIN
                      AT_WAIT[I,J] := ATNEXT;
                      L := J;
                      J := QUEUE_LENGTH;
                      STATUS_QUEUE[I] := 0;
                    END
                  ELSE  STATUS_QUEUE[I] := 1;
                 END;
           END;
        IJ := L;

        IF STATUS_QUEUE[I] = 1 THEN
           BEGIN
             WL_OUT[I] := WL_OUT[I] + 1;
             TOT_WL_OUT := TOT_WL_OUT + 1;
             IF AT_OUT[I,1] = 0 THEN
                BEGIN
                  AT_OUT[I,1] := ATNEXT;
                END
             ELSE
                BEGIN
                   FOR Z := 2 TO MAXD DO
                     BEGIN
                       IF AT_OUT[I,Z] = 0 THEN
                          BEGIN
                            AT_WAIT[I,Z] := ATNEXT;
                            Z := MAXD;
                          END;
                     END;
                END;
           STATUS_QUEUE[I] := 0;
        END;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
END;


PROCEDURE   CHECK_DTNEXT;

BEGIN
        K := 0;
        FOR K := 1 TO SERVER DO
            BEGIN
              IF DTNEXT[K] <> 0  THEN
                 BEGIN
                    IF DTNEXT_FIRST > DTNEXT[K] THEN
                       BEGIN
                          DTNEXT_FIRST := DTNEXT[K];
                          ADD_SERVER := K;
                       END;
                 END;
            END;
END;


PROCEDURE   CHECK_STATUS_ALL;
VAR     NULL_SERVER : BYTE;

BEGIN
        CHECK_BOOTH;
        STATUS_TDT[I] := 0;
        K := 0;
        FOR K := START_BOOTH TO END_BOOTH DO
           BEGIN
             STATUS_TDT[I] := STATUS_TDT[I] + STATUS[K];
           END;
        AMOUNT := (END_BOOTH - START_BOOTH) + 1;
        STATUS_TDT[I] := AMOUNT - STATUS_TDT[I];
        NULL_SERVER := AMOUNT - STATUS_TDT[I];
        STATUS_ALL[I] := TRUNC(NULL_SERVER/AMOUNT);
END;


PROCEDURE   TIME_LESS;

BEGIN
        CHECK_QUEUE;
        K := 0;
        FOR K := START_BOOTH TO END_BOOTH DO
           BEGIN
              IF STATUS[K] = 0 THEN
                BEGIN
                  TDT[I] := TDT[I] + (ATNEXT - BCLOCK[K]);
                  CLOCK := ATNEXT;
                  STATUS[K] := 1;
                  CHECK := I;
                  GEN_ST(ST);
                  DTNEXT[K] := CLOCK + ST;
                  BCLOCK[K] := DTNEXT[K];
                  K := END_BOOTH;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                END;
            END;

        CHECK_DTNEXT;
        LCLOCK[I] := CLOCK;
        GEN_AT(AT_COME);
        ATNEXT := CLOCK + AT_COME;
        CHECK_AT_WAIT;
END;


PROCEDURE   TIME_GREATER_EQUAL;

BEGIN
        TWT[I] := TWT[I] + WL[I] * (DTNEXT_FIRST - LCLOCK[I]);
        CLOCK := DTNEXT_FIRST;
        LCLOCK[I] := CLOCK;
        IF WL[I] = 0 THEN
           BEGIN
              STATUS[ADD_SERVER] := 0;
              DTNEXT[ADD_SERVER] := 0;
              STATUS_ALL[I] := 0;
           END
        ELSE
           BEGIN
              WL[I] := WL[I] - 1;
              CHECK := ADD_SERVER;
              GEN_ST(ST);
              DTNEXT[ADD_SERVER] := CLOCK + ST;
              BCLOCK[ADD_SERVER] := DTNEXT[ADD_SERVER];
              CHECK_QUEUE;
           END;

END;


PROCEDURE   MOVE_ADD_SERVER;

BEGIN   IF ADD_SERVER <= 2 THEN I := 1
        ELSE IF (ADD_SERVER >= 2) AND (ADD_SERVER <= 3) THEN
                I := 2
             ELSE I := 3;
        STATUS[ADD_SERVER] := 0;
        BCLOCK[ADD_SERVER] := DTNEXT[ADD_SERVER];
        DTNEXT[ADD_SERVER] := 0;
        CLOCK := DTNEXT_FIRST;

END;


PROCEDURE   CHECK_ADD_SERVER;

BEGIN
        AT_SET := ATNEXT;
        II := I;
        CHECK_ATNEXT;
```

เอกสารนี้เป็นผลงานที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        IF I = 1 THEN
           BEGIN
              IF ADD_SERVER <= 2 THEN TIME_GREATER_EQUAL
              ELSE MOVE_ADD_SERVER
           END
        ELSE IF I = 2 THEN
           BEGIN
              IF (ADD_SERVER >= 2) AND (ADD_SERVER <= 3) THEN
                   TIME_GREATER_EQUAL
              ELSE MOVE_ADD_SERVER
           END
        ELSE IF I = 3 THEN
           BEGIN
              IF ADD_SERVER >= 3 THEN TIME_GREATER_EQUAL
              ELSE MOVE_ADD_SERVER
           END;
        DTNEXT_FIRST := 9E10;
        CHECK_DTNEXT;
        IUNIT[I] := IUNIT[I] + 1;
        ATNEXT := AT_SET;
        I := II;
END;


PROCEDURE   DIS_RESULT;

BEGIN
        I := 0;
        FOR I := 1 TO 3 DO
          BEGIN

        TOT_TWT := TOT_TWT + TWT[I];
        TOT_TDT := TOT_TDT + TDT[I];
        TOT_IUNIT := TOT_IUNIT + IUNIT[I];
        TOT_WL := TOT_WL + WL[I];

          END;

        FOR I := 1 TO SERVER DO
          BEGIN
             ALL_STATUS := ALL_STATUS + STATUS[I];
          END;

        TOTAL_COME := TOT_IUNIT + TOT_WL + ALL_STATUS;
        AVE_TDT := TOT_TDT / SERVER;
        AVE_WAITING := TOT_TWT / TOTAL_WL;
        PAVE_TDT := (AVE_TDT / CLOCK) * 100;
        PAVE_TWT := (TOTAL_WL / TOTAL_COME) * 100;


        WRITELN(LST,SRANDOM:3,' ',CLOCK:7:2,' ',TOT_TWT:8:2,' ',
                TOT_TDT:8:2,TOTAL_WL:4,'  ',TOT_IUNIT:4,'   ',
                TOTAL_COME:4,AVE_TDT:8:2,AVE_WAITING:7:2,'  ',
                PAVE_TDT:5:2,' ',PAVE_TWT:5:2);

END;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BEGIN {MAIN}

        ClrScr;
        gotoXY(14,1);WRITE('~~~~~~~~>>>>>>>  SIMULATION PROGRAM  ',
                           '<<<<<<<~~~~~~~~');
        gotoXY(1,4);
        FOR I := 1 TO 20 DO
          BEGIN
            WRITE('@#$&');
          END;

        gotoXY(10,7);WRITE('SERVER =    '); READLN (SERVER);
        gotoXY(28,7);WRITE('QUEUE_LENGTH =    '); READ (QUEUE_LENGTH)
        gotoXY(55,7);WRITE('AMOUNT OF LOOP = '); READLN(ILOOP);
        gotoXY(10,10);WRITE('START_HOUR =  ');READ (START_HOUR);
        gotoXY(45,10);WRITE('START_MINUTE =  ');READLN (START_MINUTE
        gotoXY(10,13);WRITE('STOP_HOUR =  ');READ (STOP_HOUR);
        gotoXY(46,13);WRITE('STOP_MINUTE =  ');READLN (STOP_MINUTE);
        MAX := (STOP_HOUR-START_HOUR) * 3600 +
               (STOP_MINUTE-START_MINUTE) * 60;
        gotoXY(20,16);WRITE ('ARRIVAL TIME (AMOUNT/SECOND) =    ');
        READLN (AVE_AT);
        AVE_AT := 1 / AVE_AT;

        GTOT_TWT := 0;
        GTOT_TDT := 0;
        GTOT_IUNIT := 0;
        GTOTAL_WL := 0;
        GTOTAL_COME := 0;
        GAVE_TDT := 0;
        GAVE_WAITING := 0;
        GPAVE_TDT := 0;
        GPAVE_TWT := 0;
        GTOT_WL_OUT := 0;

        WRITE(LST,'                    SERVER = ',SERVER);
        WRITELN(LST,'              RUN = ',ILOOP:3,' TIMES');
        WRITELN(LST);WRITELN(LST);
        WRITELN(LST,'RND  CLOCK     TWT     TDT   TOTAL IUNIT TOTAL
                AVE_TDT AVE_WAIT AVE_  AVE_ ');
        WRITELN(LST,'                                  _WL         _COME'
                    '                TDT(%)TWT(%)');

        FOR I := 1 TO 75 DO
           BEGIN
             WRITE(LST,'-');
           END;
        WRITELN(LST);

        FOR A := 1 TO ILOOP DO
          BEGIN

        gotoXY(29,19);WRITE ('SET RANDOM VALUE =    ');
        READLN (START_RANDOM);
        SRANDOM := START_RANDOM;
        ATNEXT := 0;
        DTNEXT_FIRST := 9E10;
        FOR I := 1 TO QUEUE_LENGTH DO
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    BEGIN
       STATUS_ALL[I] := 0;
       WL[I] := 0;
       IUNIT[I] := 0;
       TWT[I] := 0;
       TDT[I] := 0;
       DTNEXT[I] := 0;
       STATUS_TDT[I] := 0;
       STATUS[I] := 0;
       BCLOCK[I] := 0;
       LCLOCK[I] := 0;
       STATUS_QUEUE[I] := 0;
       WL_OUT[I] := 0;
    END;

  FOR I := 1 TO 3 DO
    BEGIN
       FOR J := 0 TO QUEUE_LENGTH DO
          BEGIN
            AT_WAIT[I,J] := 0;
          END;
    END;


  FOR I := 1 TO SERVER DO
    BEGIN
       FOR Z := 1 TO 100 DO
          BEGIN
            AT_OUT[I,Z] := 0;
          END;
    END;

  TOT_WL := 0;
  TOT_TWT := 0;
  TOT_TDT := 0;
  TOT_IUNIT := 0;
  TOT_WL_OUT := 0;
  TOTAL_WL := 0;
  TOTAL_COME := 0;
  AVE_TDT := 0;
  AVE_WAITING := 0;
  PAVE_TDT := 0;
  PAVE_TWT := 0;
  ALL_STATUS := 0;

  CLOCK := 0;
  ADD_SERVER := 0;
  CHECK := 0;
  IJ := 0;
  I := 0;
  J := 0;
  K := 0;

 GEN_AT(AT_COME);
  ATNEXT := CLOCK + AT_COME;
  CHECK_AT_WAIT;
  WHILE CLOCK < MAX DO
    BEGIN
       IF ATNEXT >= DTNEXT_FIRST THEN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            CHECK_ADD_SERVER
         ELSE
            BEGIN
              CHECK_STATUS_ALL;
              IF STATUS_ALL[I] = 0 THEN
                 TIME_LESS
              ELSE
                 BEGIN
                   TWT[I] := TWT[I] + WL[I]*(ATNEXT - LCLOCK[I])
                   CLOCK := ATNEXT;
                   WL[I] := WL[I] + 1;
                   TOTAL_WL := TOTAL_WL + 1;
                   LCLOCK[I] := CLOCK;
                   GEN_AT(AT_COME);
                   ATNEXT := CLOCK + AT_COME;
                   CHECK_AT_WAIT;
                 END;

            END;
      END;
   DIS_RESULT;

   GTOT_TWT := GTOT_TWT + TOT_TWT;
   GTOT_TDT := GTOT_TDT + TOT_TDT;
   GTOT_IUNIT := GTOT_IUNIT + TOT_IUNIT;
   GTOTAL_WL := GTOTAL_WL + TOTAL_WL;
   GTOTAL_COME := GTOTAL_COME + TOTAL_COME;
   GAVE_TDT := GAVE_TDT + AVE_TDT;
   GAVE_WAITING := GAVE_WAITING + AVE_WAITING;
   GPAVE_TDT := GPAVE_TDT + PAVE_TDT;
   GPAVE_TWT := GPAVE_TWT + PAVE_TWT;
   GTOT_WL_OUT := GTOT_WL_OUT + TOT_WL_OUT;

   END;

   GTOT_TWT := GTOT_TWT / ILOOP;
   GTOT_TDT := GTOT_TDT / ILOOP;
   GTOT_IUNIT := GTOT_IUNIT / ILOOP;
   GTOTAL_WL := GTOTAL_WL / ILOOP;
   GTOTAL_COME := GTOTAL_COME / ILOOP;
   GAVE_TDT := GAVE_TDT / ILOOP;
   GAVE_WAITING := GAVE_WAITING / ILOOP;
   GPAVE_TDT := GPAVE_TDT / ILOOP;
   GPAVE_TWT := GPAVE_TWT / ILOOP;
   GTOT_WL_OUT := ROUND(GTOT_WL_OUT / ILOOP);

   WRITELN(LST);WRITELN(LST);

   FOR J := 1 TO 75 DO
      BEGIN
         WRITE(LST,'=');
      END;

   WRITELN(LST);
   WRITELN(LST,'   TWT      TDT       TOTAL   IUNIT     TOTAL  ',
           'AVE_TDT AVE_WAIT  AVE_    AVE_ ');
   WRITELN(LST,'                              _WL              _COME
                  ,TDT(%) TWT(%)');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        FOR J := 1 TO 75 DO
           BEGIN
              WRITE(LST,'=');
           END;
        WRITELN(LST);
        WRITELN(LST,GTOT_TWT:8:2,'  ',GTOT_TDT:8:2,'  ',GTOTAL_WL:7:2,
           '   ',GTOT_IUNIT:7:2,'   ',GTOTAL_COME:7:2,'  ',GAVE_TDT:8:2
            GAVE_WAITING:8:2,'  ',GPAVE_TDT:5:2,'   ',GPAVE_TWT:5:2);

        IF GTOT_WL_OUT >= 1 THEN
          WRITE(LST,'========== HAVE TRAFFIC PROBLEM ==========');

        gotoXY(21,22);WRITE('=========> END OF INPUT DATA <=========')
        gotoXY(1,24);
        FOR I := 1 TO 20 DO
           BEGIN
             WRITE('(!!)');
           END;

        READLN(NAN);

END.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัตินักศึกษา

ชื่อ-นามสกุล นายกฤษฎา บุศรา
วันเดือนปีเกิด 16 ตุลาคม 2511
สถานที่เกิด จันทบุรี
สำเร็จมัธยมต้นจาก โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จันทบุรี
สำเร็จมัธยมปลายจาก โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จันทบุรี

ชื่อ-นามสกุล นางสาววนาพัช ศรีวัชรกุล
วันเดือนปีเกิด 17 มกราคม 2511
สถานที่เกิด ราชบุรี
สำเร็จมัธยมต้นจาก โรงเรียนมารีวิทยา ราชบุรี
สำเร็จมัธยมปลายจาก โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี

ชื่อ-นามสกุล นายวีระ ตันเจริญกุล
วันเดือนปีเกิด 1 กุมภาพันธ์ 2511
สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร
สำเร็จมัธยมต้นจาก โรงเรียนวัดราชบพิธ กรุงเทพมหานคร
สำเร็จมัธยมปลายจาก โรงเรียนวัดราชบพิธ กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้