วันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2548

ถึง ดร. จุฑา พิชิตลำเค็ญ

จาก นาย วฐา มินเสน รหัสประจำตัว 48850226 และ

นาย กวินธร สัยเจริญ รหัสประจำตัว 48850333

เรื่อง **การจำลองระบบแถวคอยในการซื้อตั๋วชมภาพยนตร์ (กรณีศึกษา:โรงภาพยนตร์ SF CINEMA เดอะมอลล์ งามวงศ์วาน)**

วัตถุประสงค์

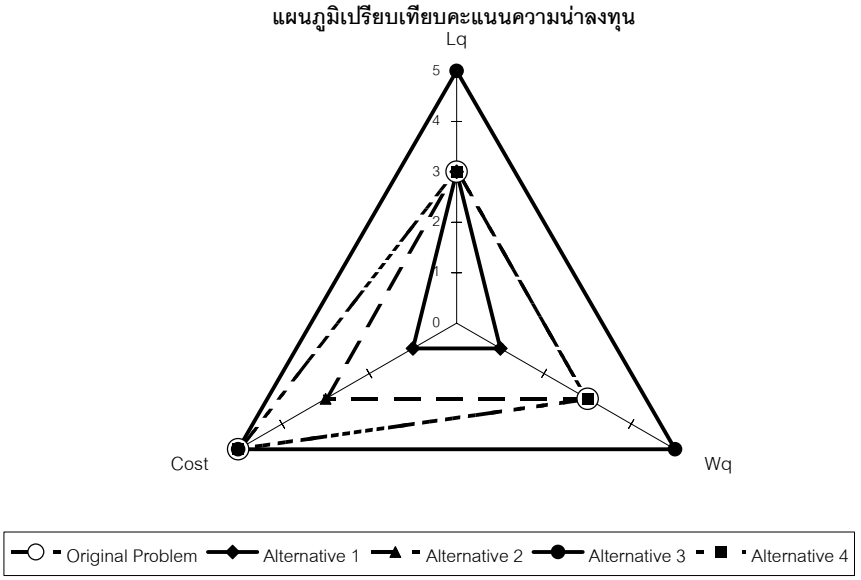
1. เพื่อปรับปรุงการให้บริการการจำหน่ายตั๋วชมภาพยนตร์ที่โรง SF CINEMA
2. เพื่อความพึงพอใจของลูกค้าที่มาใช้บริการ

บทสรุปการดำเนินการ

สิ่งสำคัญที่ลูกค้าจะมีความพึงพอใจในการรับบริการคือ การได้เข้ารับบริการที่สะดวก รวดเร็วไม่เสียเวลารอ และการเข้าแถวคอยที่ยาวก็อาจทำให้ลูกค้าเสียกำลังใจในการรับบริการหรือเสียโอกาสที่จะให้บริการการลูกค้าเนื่องจากการตัดสินใจไม่เข้าแถวคอยเพื่อรับบริการ ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพของระบบผู้ให้บริการเพื่อสร้างความพึงพอใจที่ดีแก่ลูกค้าที่สำคัญคือ จำนวนลูกค้าที่อยู่ในแถวคอย(L_q) และเวลาที่ลูกค้าต้องคอยในแถว(W_q) ส่วนวิธีการเปรียบเทียบเพื่อเลือกทางเลือกที่เหมาะสมได้ดี คือ ต้นทุน(Cost) ดังนั้นจึงมีการเปรียบเทียบต้นทุนด้วย ดัชนีชี้วัดต่างๆจะแสดงในรูปของคะแนนดังนี้

ตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวนั้นจะอยู่ในรูปของคะแนนความน่าลงทุน 1 , 3 , 5 (น้อย,ปานกลาง,มาก)ทั้ง 3 มุมมอง

ทางเลือก	L_q	คะแนน	W_q	คะแนน	Cost	คะแนน	คะแนนรวม
Original Problem	19.54	3	6.51	3	70	5	45
Alternative 1	28.21	3	22.92	1	2742	1	3
Alternative 2	11.57	3	8.62	3	250	3	27
Alternative 3	1.15	5	0.38	5	2	5	125
Alternative 4	19.54	3	6.51	3	31	5	45



ดังนั้นจึงเสนอให้เลือกทางเลือกที่ 3 เนื่องจากจะได้รับความพึงพอใจมากที่สุดโดยที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุด (ที่มาของการคำนวณอยู่ภาคผนวก 7)

ปัญหาที่ศึกษา

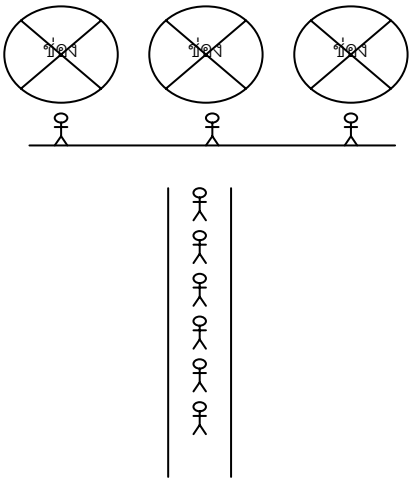
ห้างสรรพสินค้าชั้นนำต่างๆ ได้มีการแข่งขันเพื่อตอบสนองความต้องการของคนในพื้นที่ โดยพยายามเสริมการบริการให้มีความครอบคลุมมากที่สุดไม่ว่าจะเป็นด้านสินค้าหรือความบันเทิง เช่น เกมส์เซ็นเตอร์ หรือโรงภาพยนตร์เป็นต้น

ในปัจจุบันระบบการขายตั๋วเพื่อเข้าชมภาพยนตร์ใน SF CINEMA เดอะมอลล์ งามวงศ์วาน ผู้เข้ารับชมภาพยนตร์รอคิวในการซื้อตั๋วเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในช่วงเวลาวันหยุด วันเสาร์ และวันอาทิตย์ หรือ ในช่วงเวลาหนังฟอร์มใหญ่(หนังเข้าใหม่)เข้าฉาย ทั้งนี้เนื่องจากระบบการจัดการในโรงภาพยนตร์ SF CINEMA เดอะมอลล์ งามวงศ์วาน จัดการระบบผู้ขายตั๋วไม่สอดคล้องหรือสามารถปรับเปลี่ยนเป็นไปตามความต้องการซื้อตั๋วของผู้เข้าชมภาพยนตร์ได้

จากปัญหาดังกล่าว จึงได้ทำการเก็บข้อมูลการให้บริการที่ช่องขายตั๋ว(Box Office) พบว่าในช่วงที่มีลูกค้ามากๆ (วันศุกร์ช่วงเย็น หนังเข้าใหม่เรื่อง War of the Worlds) มีลูกค้าเข้ามาต่อคิวซื้อตั๋วภาพยนตร์เฉลี่ย 20 วินาที/คน แบ่งเป็น ลูกค้า War of the Worlds เฉลี่ย 30.429 วินาที/คน และเป็นลูกค้าภาพยนตร์อื่น 58.3544 วินาที/คน(ผลต่างๆได้การเก็บข้อมูลเบื้องต้นแล้วนำมาคำนวณอยู่ในภาคผนวกที่ 5) อัตราการให้บริการนั้นพิจารณาจากลูกค้าที่เข้าถึง Box Office แล้วออก มีค่าเฉลี่ย 57.3099 วินาที/คน

การจำลองแบบโดยใช้ระบบแถวคอย

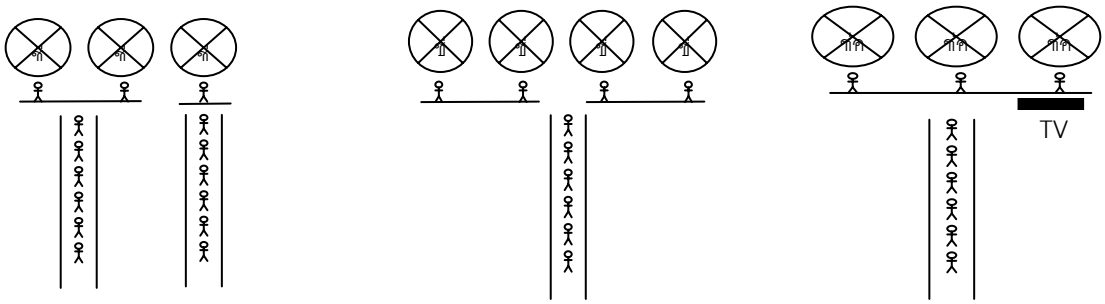
แบบจำลองเบื้องต้น



รายการ	Sample size(n)	Mean	SD.	Standard error	Distribution Type
Inter-arrival time	213	18.8472	20.0283	1.3724	Exponential
Service time(S=3)	223	19.0091	21.1183	1.4142	Exponential

1. เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงแบบ Exponential ที่ μ = 57.3099
2. เวลาในการเข้ามาระหว่างลูกค้า(Interarrival – time gaps)มีการแจกแจงแบบ Exponential ที่ λ = 20 วินาที/คน
3. มีผู้ให้บริการ 3 คน
4. มีแถวคอย 1 แถว
5. เป็นแถวคอย แบบ Birth-Death processes M/M/3 เนื่องจาก เวลาในการมา และ เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงแบบ Exponential โดยมีผู้ให้บริการ 3คน และแถวคอยไม่จำกัด 1 แถว

แบบจำลองทางเลือก



ทางเลือกที่1 แบ่งเป็น 2 ระบบคือ M/M/2 สำหรับ หนังใหม่ และ M/M/1 สำหรับ หนังอื่นๆ

ทางเลือกที่ 3 เพิ่มจำนวนผู้ให้บริการอีก 1 คน model เป็น M/M/4

ทางเลือกที่ 4 เป็น M/M/3 เหมือน Original Problem แต่เพิ่มโทรทัศน์จอPlasmaเพื่อความบันเทิงขณะรอคิวในการซื้อตั๋ว ซึ่งเชื่อว่าควรจะได้รับความพึงพอใจ สามารถรอได้นานประมาณ 5 นาที

ทางเลือกที่2 แบ่งเป็น 2 ระบบคือ M/M/2 สำหรับ หนังใหม่ และ M/M/1 สำหรับ หนังอื่นๆ และปรับปรุงการทำงานโดยหน้าจอจะเปิดเฉพาะหนังเรื่องใหม่เท่านั้นทำให้ใช้เวลาในการให้บริการ น้อยลง 2 วินาที (รายละเอียดตามภาคผนวก 6)

การวัดสมรรถนะขอบระบบ

ทางเลือก	L	L_q	W	W_q	π_0	ρ
Original Problem	22.4081	19.5425	7.4694	6.5142	0.0105	95.52%
Alternative 1	29.7865	28.2119	23.8771	22.9218	0.02584	95.56%
Alternative 2	13.0911	11.5716	9.537	8.6151	0.0493	92.22%
Alternative 3	4.0136	1.1480	1.3379	0.3827	0.0459	71.64%
Alternative 4	22.4081	19.5425	7.4694	6.5142	0.0105	95.52%

คำอธิบายการวัดสมรรถนะระบบ

เมื่อ L = จำนวนของลูกค้าโดยเฉลี่ยที่รอรับบริการในแถวคอย และลูกค้าที่กำลังรับบริการอยู่

L_q = จำนวนของลูกค้าโดยเฉลี่ยที่รอรับบริการในแถวคอย

W = เวลาโดยเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ตั้งแต่เริ่มเข้าคิวจนกระทั้งเสร็จสิ้นการรับบริการ

W_q = เวลาโดยเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ในการรอรับบริการในแถวคอย

π_0 = ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีลูกค้าอยู่ในระบบเลย หรือ ความน่าจะเป็นที่มีลูกค้าในระบบเป็น 0

ρ = ปัจจัยที่แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบ หรือ แสดงอัตราส่วนของ เวลาที่ผู้ให้บริการทั้งหมด

(รายละเอียดในการคำนวณอยู่ในภาคผนวกที่ 4)

ข้อจำกัดของตัวแบบ

1. ค่า CV ของ Inter-arrival time gaps และ CV ของ service time < 1 แปลว่า ระบบจริงมีลูกค้าคับคั่งน้อยกว่าระบบที่ได้จำลอง
2. แบบจำลองนี้เป็นตัวแทนเฉพาะช่วงเวลาที่มีหนังใหม่ หรือช่วงวันหยุด เสาร์-อาทิตย์ เท่านั้น หรือกล่าวได้ว่า เป็นตัวแทนเฉพาะช่วงเวลานั้นไม่มีคุณสมบัติ Time Stationary กับช่วงเวลาอื่นๆ
3. แบบจำลองนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขการเข้าชมภาพยนตร์ของลูกค้าแต่ละคนเป็นอิสระกัน
4. การตัดสินใจในแบบจำลองนี้อยู่บนพื้นฐานการให้คะแนนของผู้วิจัย ซึ่งอาจได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเมื่อเกณฑ์การให้คะแนนแตกต่างออกไป โดยปกติแล้วการให้คะแนนนี้ควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ เช่นนักวิจัยตลาด ผู้บริหาร และเจ้าของกิจการ เพื่อได้ผลสรุปที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่แท้จริง
5. การคำนวณต้นทุนด้านความพึงพอใจนั้นใช้ค่าประมาณการจากผู้วิจัย เนื่องจากการเก็บต้นทุนด้านความพึงพอใจขึ้นกับนโยบายของผู้บริหาร และต้องใช้เวลาในการสำรวจข้อมูล และวิเคราะห์ค่าวัดเพื่อความน่าเชื่อถือ ในการวิจัยในชั้นเรียนครั้งนี้ จึงยังไม่สามารถจัดทำในส่วนนี้ได้
6. เวลาในการรอที่จะทำให้ลูกค้าไม่พอใจ กำหนดจากประสบการณ์ของผู้วิจัย และการสอบถามแบบกลุ่มย่อยจากบุคคลรอบข้าง

   ในส่วนต้นทุนความพึงพอใจ และ เวลาในการรอที่จะทำให้ลูกค้าไม่พอใจนั้น ควรทำการสำรวจตัวอย่างจากกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษาจริงๆ คือ กลุ่มลูกค้าที่โรงภาพยนตร์ SF CINEMA เดอะมอลล์ งามวงศ์วาน โดยการสร้างแบบสอบถามนั้นจำเป็นปรึกษานักวิจัยตลาดที่เชี่ยวชาญในการสร้างคำถาม และนักสถิติเพื่อหาความน่าเชื่อถือของคำถาม และการวิเคราะห์ผล โดยปกติการเก็บข้อมูลนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลตัวอย่าง การสำรวจข้อมูลโดยทั่วไปมีความน่าเชื่อถือมากถ้าเก็บข้อมูลตัวอย่างมากกว่า 400 ชุดขึ้นไป (จากสูตรการสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่ายที่ความคาดเคลื่อนของค่าวัด 5% และระดับความเชื่อมั่น 95%)
7. ค่าแรงของพนักงานให้บริการใช้อัตราของค่าแรงขั้นต่ำในเขต กรุงเทพฯ และ ปริมณฑล ซึ่งไม่มีผลต่อการนำมาหาค่า SCORE
8. จอโทรทัศน์ในทางเลือกสุดท้ายนั้นเป็นจอ พลาสม่าขนาด 42 นิ้ว ยี่ห้อ Sumsung ราคา ณ วันที่ 2 ส.ค. 2548

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1. การทดสอบการแจกแจงของ Interarrival-time

1.1. การพิจารณา Coefficient of Variation

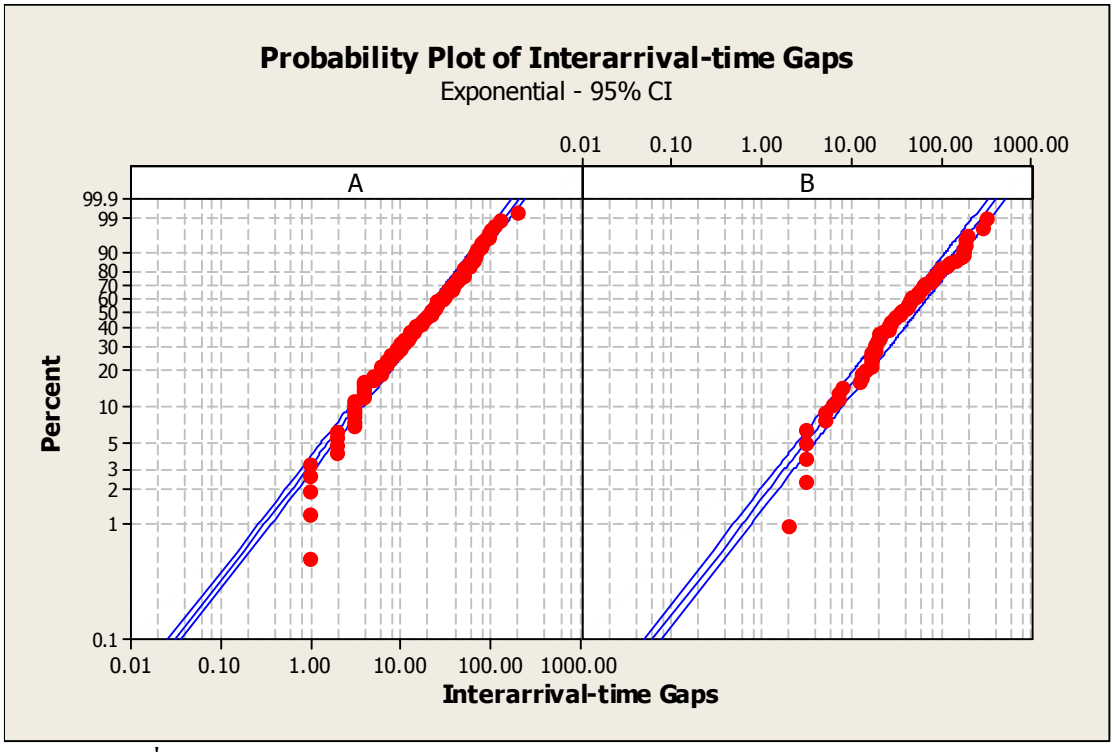
การพิจารณาการแจกแจงของข้อมูลด้วยการคำนวณค่า CV

A คือ ภาพยนตร์ที่เข้าใหม่

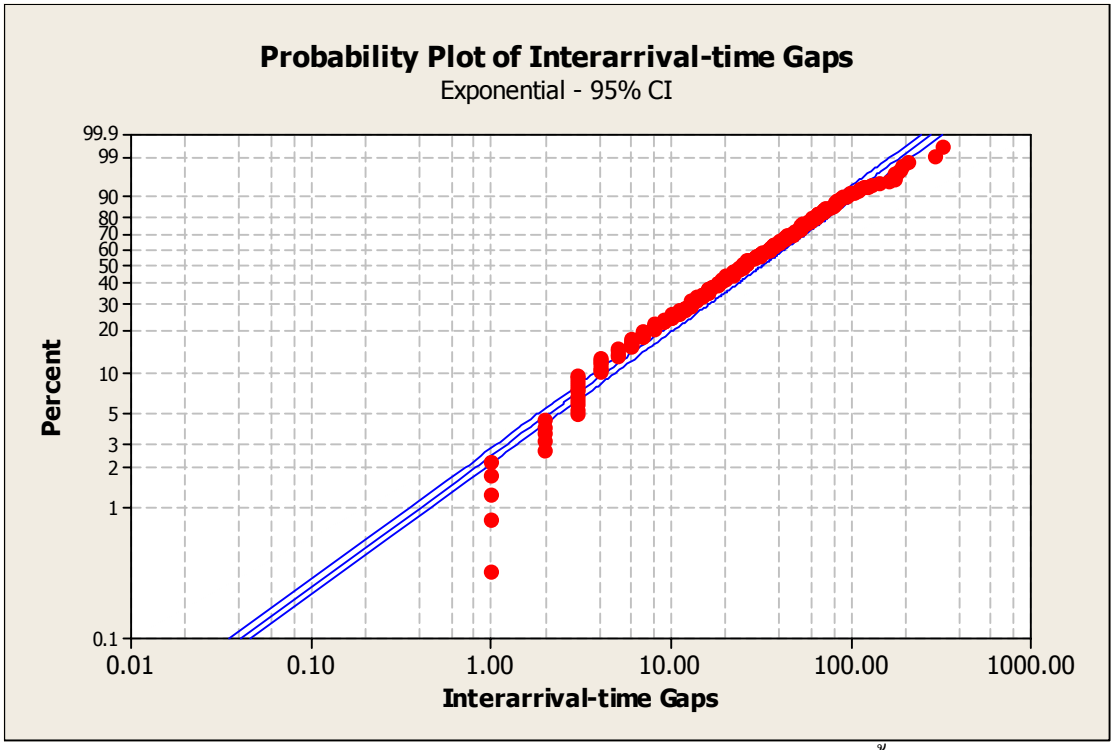
B คือ ภาพยนตร์ที่เข้าฉายนานแล้ว

ค่า CV_A = 0.9926 , CV_B = 0.8811 และ $CV_{รวม}$ = 0.9410 มีค่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแจกแจง Exponential แล้ว ต่ำกว่า 1 แสดงว่า ข้อมูลระยะห่างระหว่างเวลาที่ผู้ใช้บริการแต่ละคนมาถึงเป็นตัวแปรสุ่ม ที่มีความผันแปรน้อยกว่าการใช้ตัวแบบการแจกแจง Exponential แต่การที่ค่า CV ต่ำกว่า 1 ไม่มากนัก ดังนั้นการกำหนดการแจกแจง Exponential มาเป็นตัวแบบยังสามารถใช้ได้ แต่ระบบจำลองนี้จะมีความคับคั่งของผู้ใช้บริการมากกว่าระบบจริง

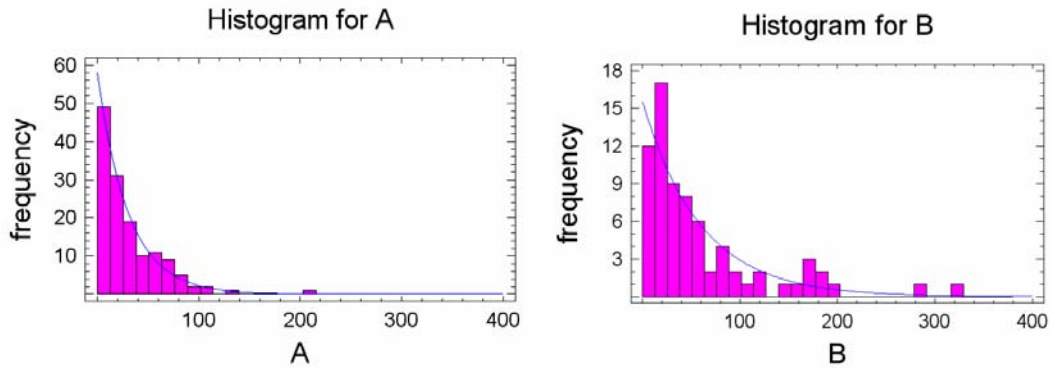
1.2. การพิจารณาด้วย Probability Plot , Histogram และการทดสอบสมมติฐาน



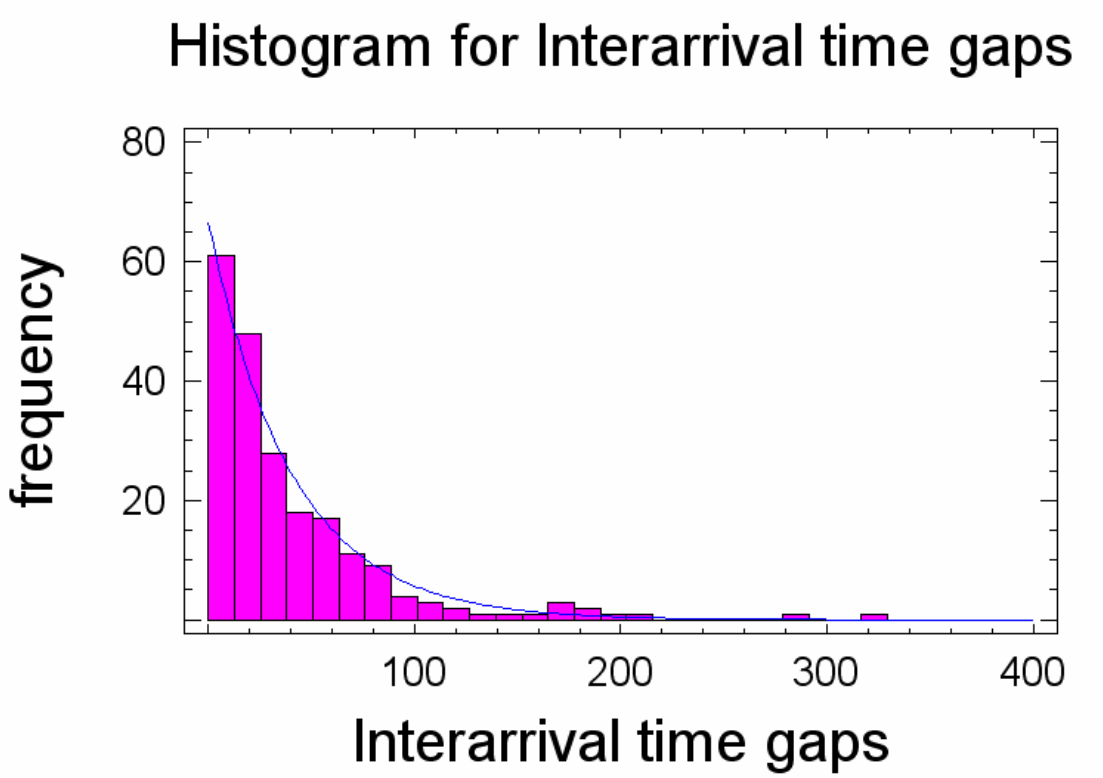
รูปที่ 1 Probability Plot of Interarrival-time gaps จำแนกตามกลุ่มของผู้ใช้บริการ



รูป 2 Probability Plot of Interarrival-time gaps รวมผู้ใช้บริการทั้งหมด



รูปที่ 3 Histogram of Interarrival-time gaps จำแนกตามกลุ่มของผู้ใช้บริการ



รูปที่ 4 Histogram of Interarrival-time gaps รวมผู้ใช้บริการทั้งหมด

การตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบกลุ่ม A

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่น

$\alpha = 0.05$

$P-Value = 0.762$

ดังนั้น ระยะห่างระหว่างเวลาที่ผู้ใช้บริการแต่ละคนมาถึงเพื่อดูภาพยนตร์ใหม่ มีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

การตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบกลุ่ม B

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่น

$\alpha = 0.05$

$P-Value = 0.263$

ดังนั้น ระยะห่างระหว่างเวลาที่ผู้ใช้บริการแต่ละคนมาถึงเพื่อดูภาพยนตร์ที่เข้าฉายนานแล้ว มีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

การตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบรวมผู้ใช้บริการทั้งหมด

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่น

$\alpha = 0.05$

$P - Value = 0.079$

ดังนั้น ระยะห่างระหว่างเวลาที่ผู้ใช้บริการแต่ละคนมาถึงเพื่อดูภาพยนตร์ มีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

สรุปว่า Interarrival-time gaps มีการแจกแจงแบบ Exponential

ภาคผนวก 2. การทดสอบการแจกแจงของ Service time

2.1. การพิจารณา Coefficient of Variation

การพิจารณาการแจกแจงของข้อมูลด้วยการคำนวณค่า CV

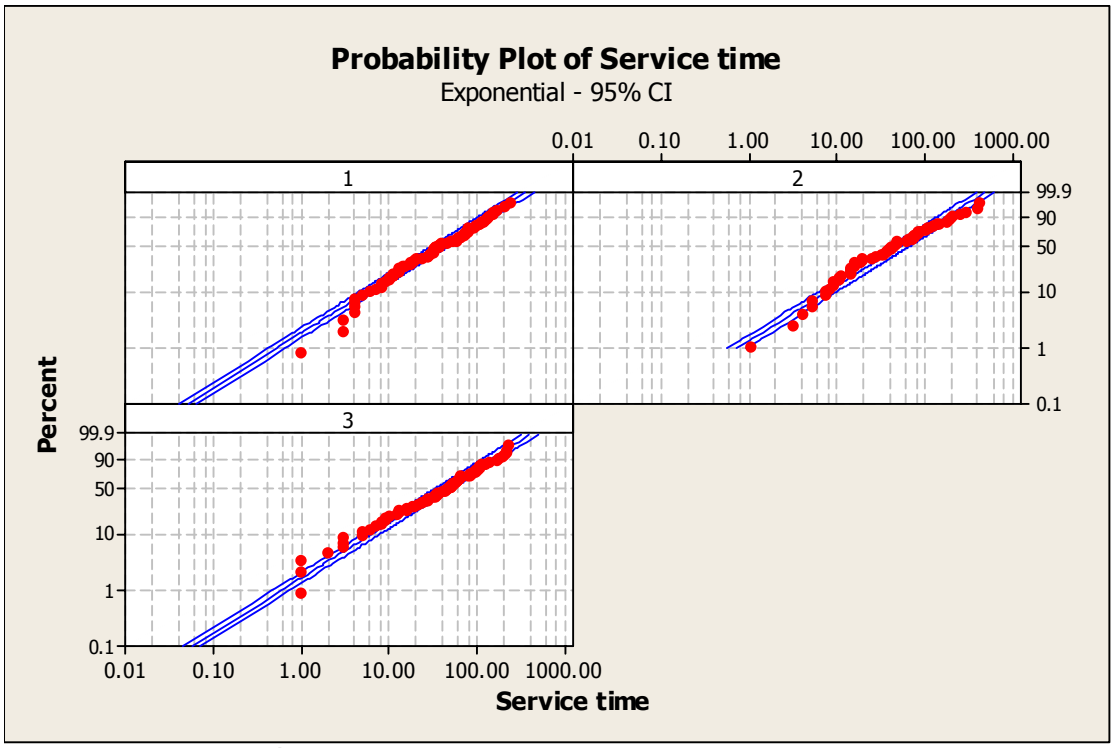
1 คือ Server 1

2 คือ Server 2

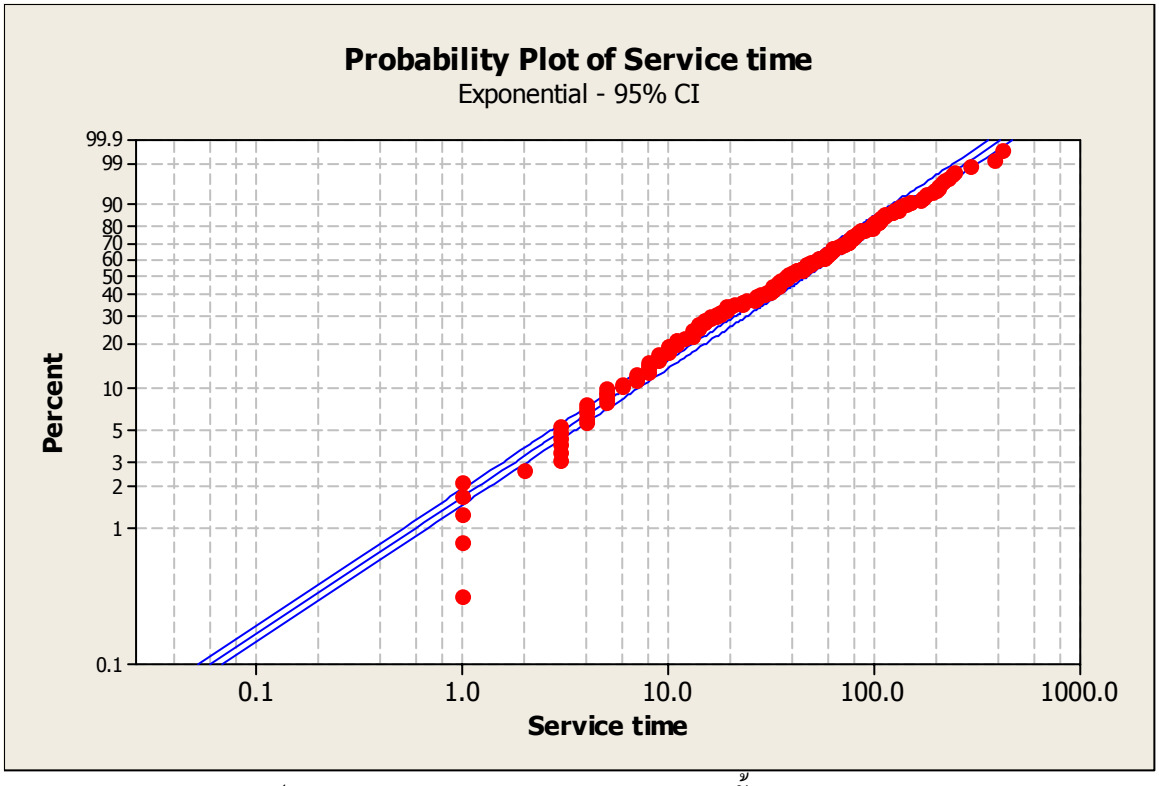
3 คือ Server 3

ค่า $CV_1 = 0.9659$, $CV_2 = 0.7770$, $CV_3 = 0.9834$ และ $CV_{รวม} = 0.9044$ มีค่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแจกแจง Exponential แล้ว ต่ำกว่า 1 แสดงว่า ข้อมูลเวลาการให้บริการเป็นตัวแปรสุ่ม ที่มีความผันแปรน้อยกว่าการใช้ตัวแบบการแจกแจง Exponential แต่การที่ค่า CV ต่ำกว่า 1 ไม่มากนัก ดังนั้นการกำหนดการแจกแจง Exponential มาเป็นตัวแบบยังสามารถใช้ได้ แต่ระบบจำลองนี้จะมีความคับคั่งของผู้ใช้บริการใน Server มากกว่าระบบจริง

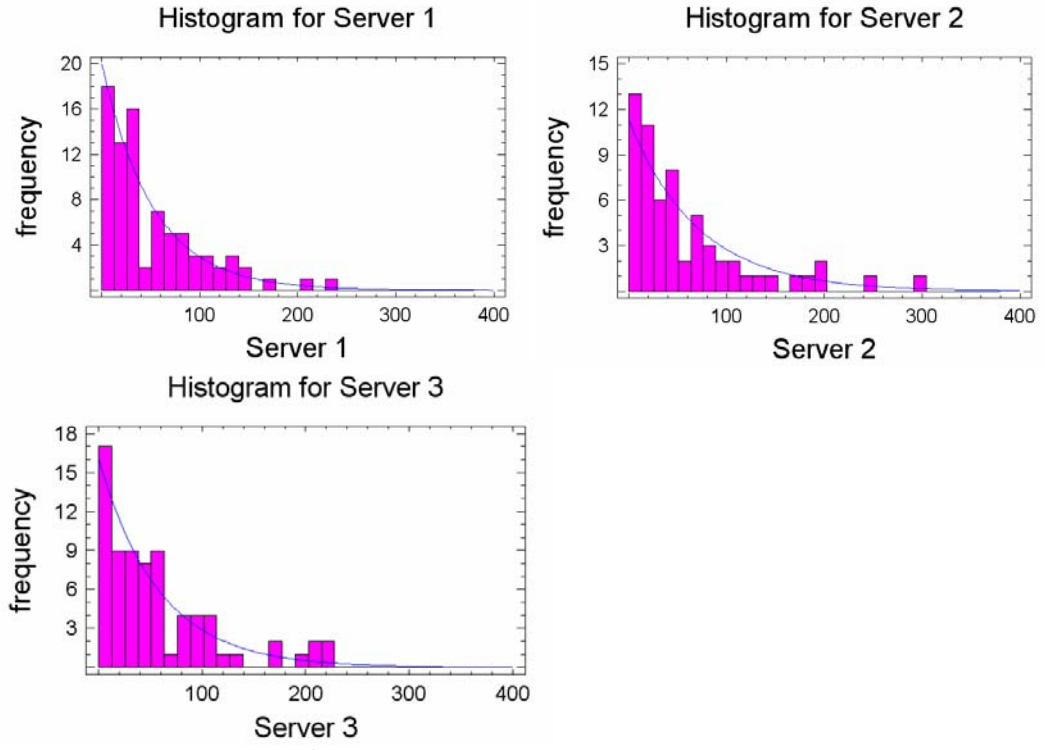
2.2. การพิจารณาด้วย Probability Plot , Histogram และ การทดสอบสมมติฐาน



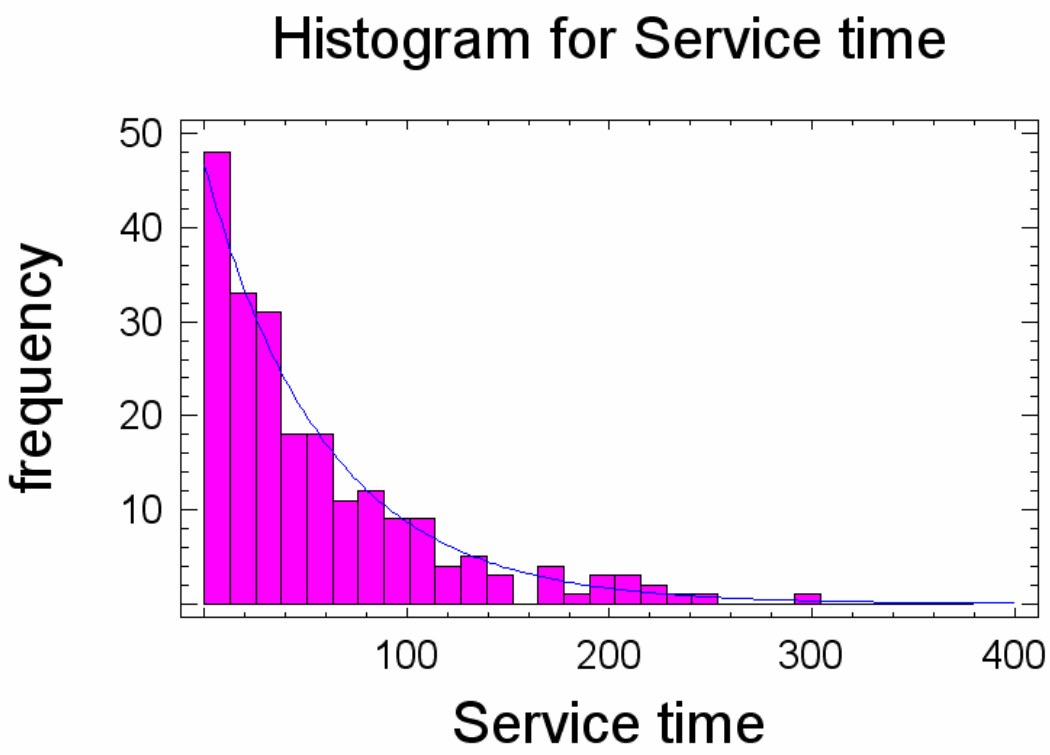
รูปที่ 5 Probability Plot of Service time จำแนกตาม Server



รูป 6 Probability Plot of Service time รวมทั้ง 3 Server



รูปที่ 7 Histogram of Service time ของแต่ละ Server



รูปที่ 8 Histogram of Service time รวมทั้ง 3 Server

การตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ Server 1

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่น

$\alpha = 0.05$

$P-Value = 0.794$

ดังนั้น Server 1 เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

การตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ Server 2

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่น

$\alpha = 0.05$

$P-Value = 0.085$

ดังนั้น Server 2 เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

การตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ Server 3

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่น

$\alpha = 0.05$

$P-Value = 0.722$

ดังนั้น Server 3 เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

การตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบรวมทั้ง 3 Servers

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่น

$\alpha = 0.05$

$P-Value = 0.198$

ดังนั้น รวมทั้ง 3 Servers เวลาในการให้บริการมีการแจกแจงแบบ Exponential Distribution

สรุปว่า Service time มีการแจกแจงแบบ Exponential

ภาคผนวก 3. การเปรียบเทียบหาดัชนีชี้วัดที่ได้จากแบบจำลอง กับค่าที่เกิดขึ้นจริง

ดัชนีที่ใช้ชี้วัดประสิทธิภาพของระบบคือ จำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่คอยอยู่ในแถวคอย(Lq) และเวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ในแถวคอย(Wq)

	ค่าที่เกิดขึ้นจริง	ค่าที่ได้จากแบบจำลอง (Exponential Distribution)
Lq	14.96	15.0268
Wq	3.86	5

- จำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่คอยอยู่ในแถวคอย(Lq) จากค่าที่เกิดขึ้นจริงเท่ากับ 14.96 เวลา และ เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ในแถวคอย(Wq) เท่ากับ 3.86 นาที(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก 5)
- จำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่คอยอยู่ในแถวคอย(Lq) จากค่าที่วัดได้จากตัวแบบเท่ากับ 15.0268 และ เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้ในแถวคอย(Wq) เท่ากับ 5 นาที(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก 4)

จากค่าชี้วัดที่ได้จะพบว่ามีความใกล้เคียงกันมาก โดยค่าที่วัดได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าเล็กน้อย แสดงว่าตัวแบบที่กำหนดนี้ใช้วิเคราะห์ได้ดี ใกล้เคียงกับความเป็นจริงทั้งนี้การพิจารณาดูจาก CV ที่ระบบเกิดขึ้นจริงน้อยกว่า 1 ก็จะพอที่จะทราบได้ว่ารูปแบบ M/M/3 ที่ใช้จะมีค่าจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่คอยอยู่ในแถวคอย (Lq) มีความคับคั่งมากกว่าค่าจริง

ภาคผนวก 4. การจำลองระบบด้วยแถวคอยแบบมาร์คอฟ

สูตรการคำนวณของระบบจำลอง

μ **is Service Rate ,** λ **is Arrival Rate ,** S **is # Server**

Utilization = $\dfrac{\lambda}{s\mu}$

P(0), probability that the system is empty = $\left(\sum_{n=0}^{s-1} \dfrac{\left(\lambda/\mu\right)^n}{n!} + \dfrac{\left(\lambda/\mu\right)^s}{s!}\left(\dfrac{s\mu}{s\mu-\lambda}\right) \right)^{-1}$

W, expected total time in system = $\dfrac{1}{\mu-\lambda}$

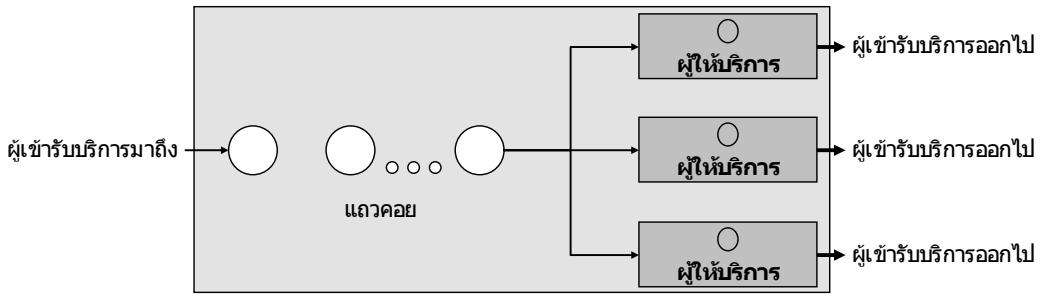
Wq, expected time in queue = $W-\dfrac{1}{\mu}$

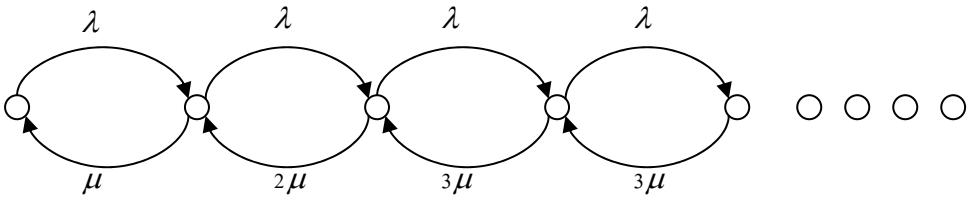
L, expected number in system = λW

Lq, expected queue length = λW_q

Probability that a customer waits = $1-P(0)$

4.1. Markov Chain ของ Original Problem





$\lambda = 20$ หรือ $\lambda = 3/\text{นาที}$

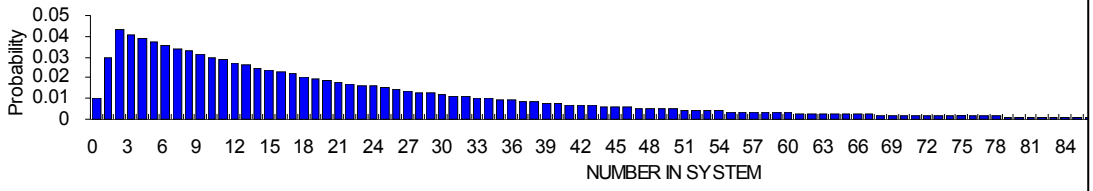
$\mu = 56.625$ หรือ $\mu = 1.0596/\text{นาที}$

M/M/3

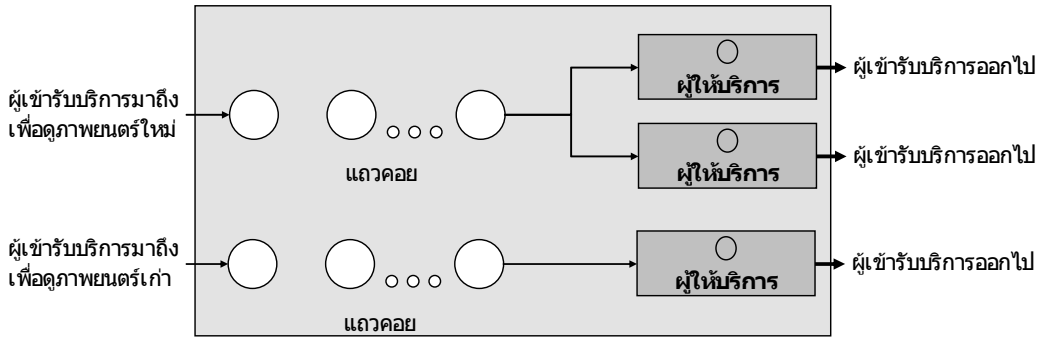
Arrival rate	**3**
Service rate	**1.0469**
Number of servers	**3**

Assumes Poisson process for arrivals and services.

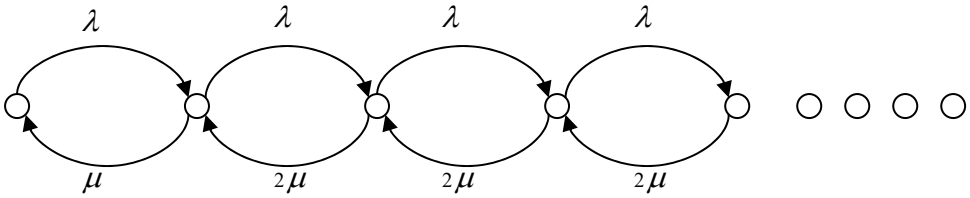
Utilization	**95.52%**
P(0), probability that the system is empty	**0.0105**
Lq, expected queue length	**19.5425**
L, expected number in system	**22.4081**
Wq, expected time in queue	**6.5142**
W, expected total time in system	**7.4694**
Probability that a customer waits	**0.9165**



4.2. Markov Chain ของ Alternative 1



โดยคิดอัตราการให้บริการของผู้ให้บริการเท่าเดิม



$\lambda = 30.429$ หรือ $\lambda = 1.9718$/นาที

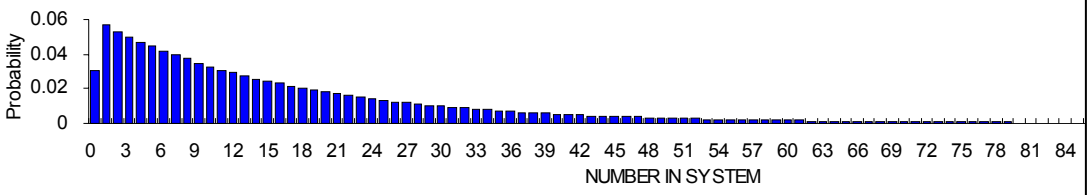
$\mu = 56.625$ หรือ $\mu = 1.0596$/นาที

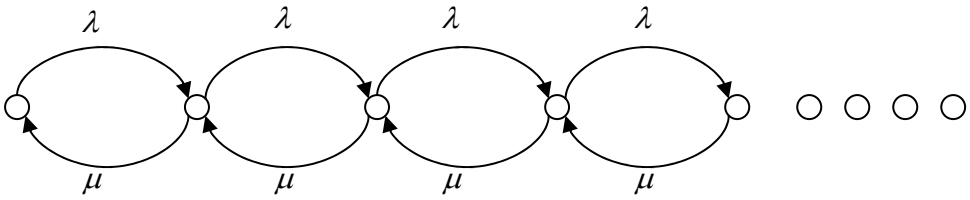
M/M/2

Arrival rate	**1.9718**
Service rate	**1.0469**
Number of servers	**2**

Assumes Poisson process for arrivals and services.

Utilization	**94.17%**
P(0), probability that the system is empty	**0.0300**
Lq, expected queue length	**14.7638**
L, expected number in system	**16.6473**
Wq, expected time in queue	**7.4875**
W, expected total time in system	**8.4427**
Probability that a customer waits	**0.9135**





$\lambda = 58.354$ หรือ $\lambda = 1.0282$/นาที

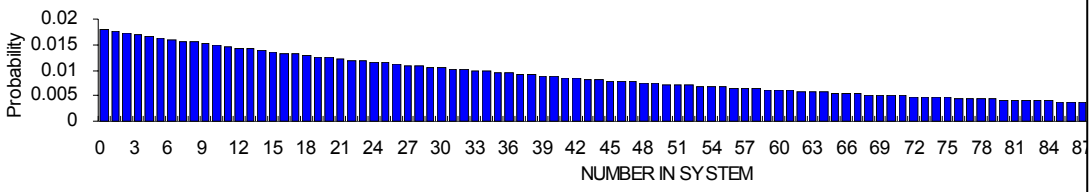
$\mu = 56.625$ หรือ $\mu = 1.0596$/นาที

M/M/1

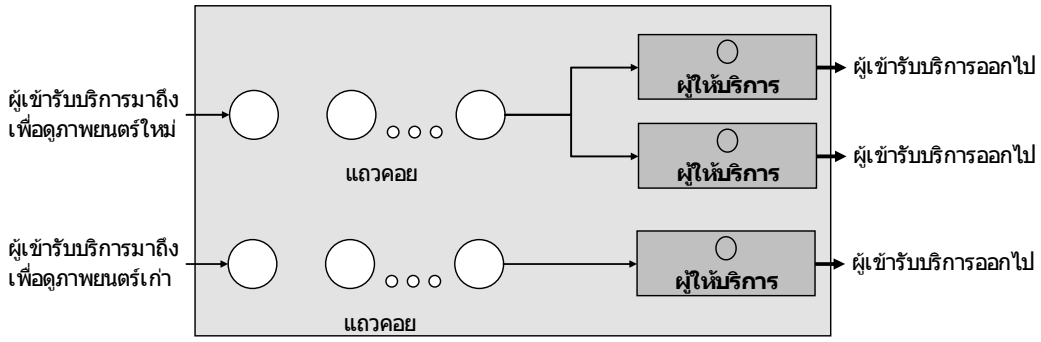
Arrival rate	**1.0282**
Service rate	**1.0469**
Number of servers	**1**

Assumes Poisson process for arrivals and services.

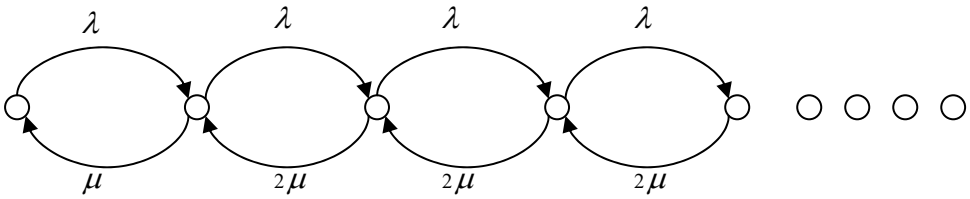
Utilization	**98.21%**
P(0), probability that the system is empty	**0.0179**
Lq, expected queue length	**54.0018**
L, expected number in system	**54.9840**
Wq, expected time in queue	**52.5207**
W, expected total time in system	**53.4759**
Probability that a customer waits	**0.9821**



4.3. Markov Chain ของ Alternative 2



โดยคิดอัตราการให้บริการของผู้ให้บริการเร็วขึ้น 2 วินาที เนื่องจากการเลือกภาพยนตร์ของลูกค้าในแต่ละผู้ให้บริการเป็นเฉพาะบางเรื่อง ทำให้ผู้ให้บริการลดขั้นตอนในการเลือกภาพยนตร์ที่ผู้ใช้บริการต้องการชมได้ (รายละเอียดในภาคผนวก 6)



$\lambda = 30.429$ หรือ $\lambda = 1.9718$/นาที

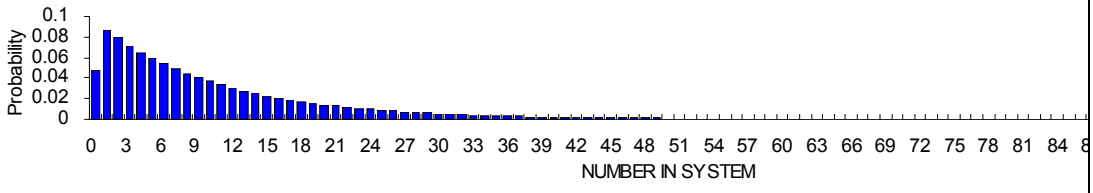
$\mu = 54.625$ หรือ $\mu = 1.0983$/นาที

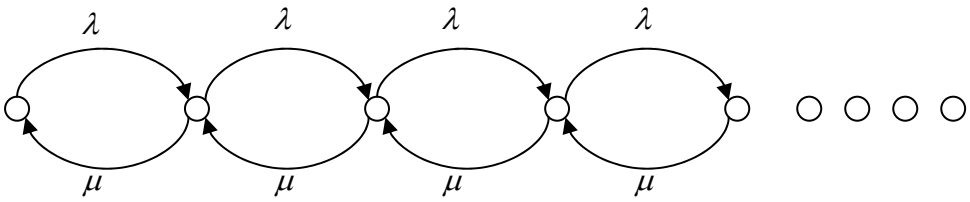
M/M/2

Arrival rate	**1.9718**
Service rate	**1.0848**
Number of servers	**2**

Assumes Poisson process for arrivals and services.

Utilization	**90.88%**
P(0), probability that the system is empty	**0.0478**
Lq, expected queue length	**8.6271**
L, expected number in system	**10.4448**
Wq, expected time in queue	**4.3752**
W, expected total time in system	**5.2971**
Probability that a customer waits	**0.8654**





$\lambda = 58.354$ หรือ $\lambda = 1.0282$/นาที

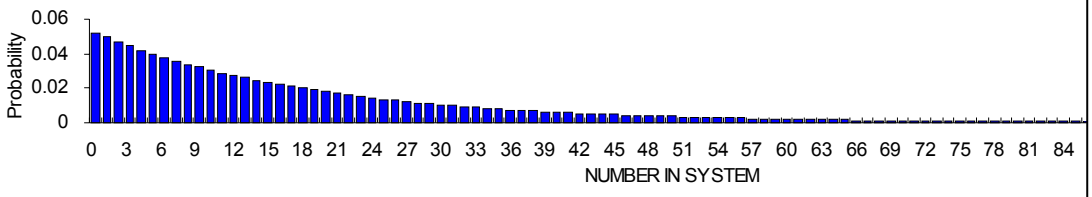
$\mu = 54.625$ หรือ $\mu = 1.0983$/นาที

M/M/1

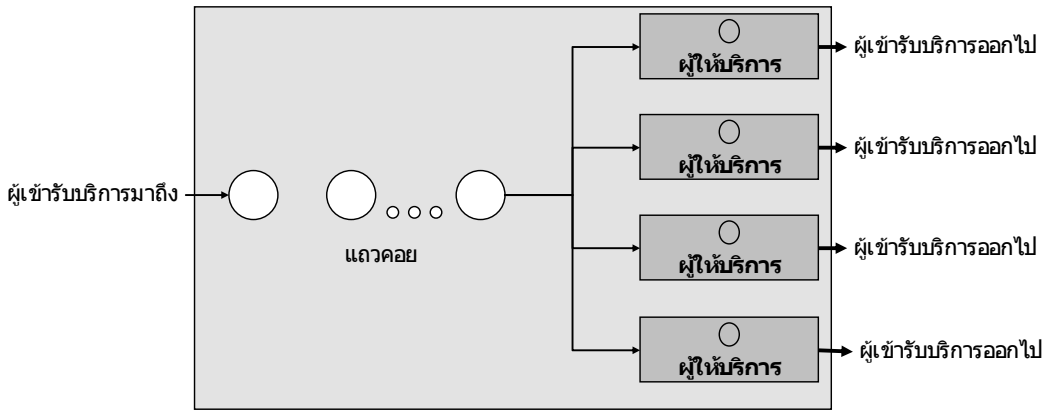
Arrival rate	**1.0282**
Service rate	**1.0848**
Number of servers	**1**

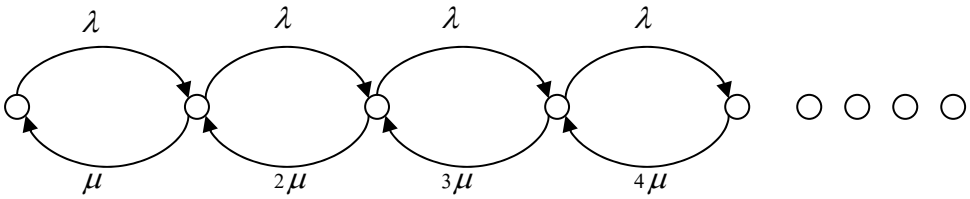
Assumes Poisson process for arrivals and services.

Utilization	**94.78%**
P(0), probability that the system is empty	**0.0522**
Lq, expected queue length	**17.2183**
L, expected number in system	**18.1661**
Wq, expected time in queue	**16.7460**
W, expected total time in system	**17.6678**
Probability that a customer waits	**0.9478**



4.4. Markov Chain ของ Alternative 3





$\lambda = 20$ หรือ $\lambda = 3/\text{นาที}$

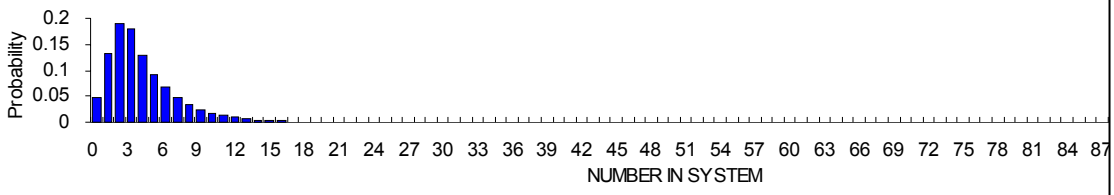
$\mu = 56.625$ หรือ $\mu = 1.0596/\text{นาที}$

M/M/4

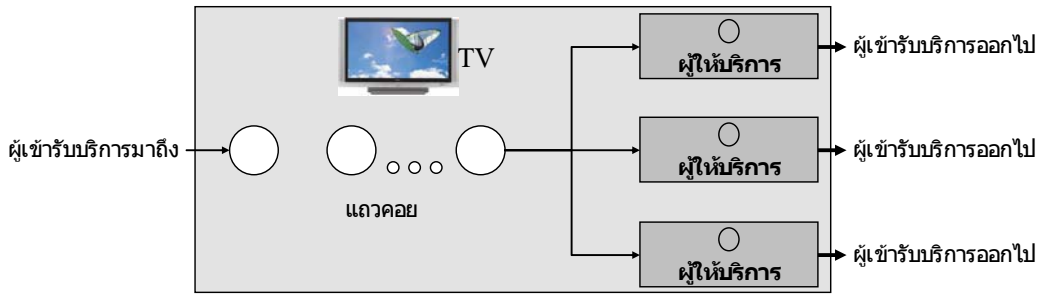
Arrival rate	**3**
Service rate	**1.0469**
Number of servers	**4**

Assumes Poisson process for arrivals and services.

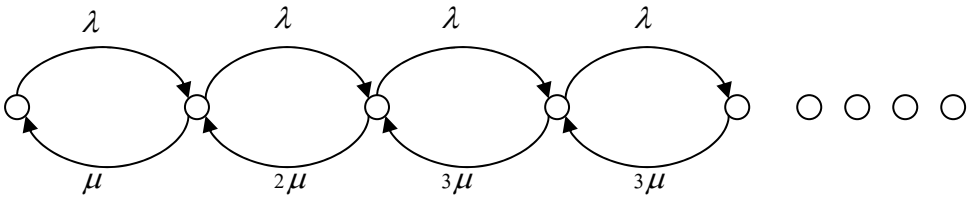
Utilization	**71.64%**
P(0), probability that the system is empty	**0.0459**
Lq, expected queue length	**1.1480**
L, expected number in system	**4.0136**
Wq, expected time in queue	**0.3827**
W, expected total time in system	**1.3379**
Probability that a customer waits	**0.4544**



4.5. Markov Chain ของ Alternative 4



เพิ่มเครื่องเล่นโทรทัศน์และเครื่องเล่น DVD เพื่อลดความเครียดแก้ผู้เข้ารับบริการในแถวคอย และเป็นการชมภาพยนตร์ตัวอย่างไปในตัว



$\lambda = 20$ หรือ $\lambda = 3$/นาที

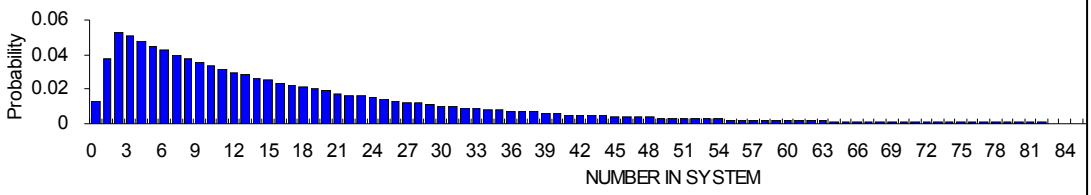
$\mu = 56.625$ หรือ $\mu = 1.0596$/นาที

M/M/3

Arrival rate	**3**
Service rate	**1.0596**
Number of servers	**3**

Assumes Poisson process for arrivals and services.

Utilization	**94.38%**
P(0), probability that the system is empty	**0.0133**
Lq, expected queue length	**15.0268**
L, expected number in system	**17.8581**
Wq, expected time in queue	**5.0089**
W, expected total time in system	**5.9527**
Probability that a customer waits	**0.8956**



ภาคผนวก 5. Sample Path

Event Counter	Time	System event	Queue	Customer's event			$Y_{1,t}$	$Y_{2,t}$
n	T_n	I	Q_n	Arrival	Service	Finish	(Time customers Waiting)	Waiting time in queue
1	18:00:00	A	21	Arrival Customer 1				366
2	18:00:04	1	20				84	
3	18:00:06	A	21	Arrival Customer 2			40	477
4	18:00:31	1	20				525	
5	18:00:39	1	19				160	
6	18:00:57	3	18				342	
7	18:00:57	3	17				0	
8	18:01:11	A	18	Arrival Customer 3			238	425
9	18:01:27	A	19	Arrival Customer 4			288	437
10	18:01:35	A	20	Arrival Customer 5			152	456
11	18:01:36	A	21	Arrival Customer 6			20	463
12	18:01:44	3	20				168	
13	18:01:47	2	19				60	
14	18:02:02	3	18				285	
15	18:02:11	2	17				162	
16	18:02:46	A	18	Arrival Customer 7			595	399
17	18:02:53	B	19	Arrival Customer 8			126	408
18	18:02:58	1	18				95	
19	18:03:02	3	17				72	
20	18:03:17	1	16				255	
21	18:04:05	3	15				768	
22	18:04:14	B	16	Arrival Customer 9			135	340
23	18:04:15	1	15				16	
24	18:05:01	B	16	Arrival Customer 10			690	323
25	18:05:16	1	15				240	
26	18:05:52	1	14				540	
27	18:05:57	3	13				70	
28	18:06:06	3	12		Service Customer 1		117	
29	18:06:12	A	13	Arrival Customer 11			72	293
30	18:06:24	A	14	Arrival Customer 12			156	321
31	18:07:24	A	15	Arrival Customer 13			0	296
32	18:07:33	A	16	Arrival Customer 14			135	288
33	18:07:58	A	17	Arrival Customer 15			400	266
34	18:08:03	B	18	Arrival Customer 16			85	262
35	18:08:03	1	17		Service Customer 2		0	
36	18:08:16	1	16		Service Customer 3	Finish Customer 2	221	
37	18:08:19	B	17	Arrival Customer 17			48	250
38	18:08:44	1	16		Service Customer 4	Finish Customer 3	425	
39	18:08:46	B	17	Arrival Customer 18			32	287
40	18:08:49	A	18	Arrival Customer 19			51	291
41	18:09:06	B	19	Arrival Customer 20			306	330
42	18:09:11	2	18		Service Customer 5		95	

43	18:09:19	3	17		Service Customer 6	Finish Customer 1	144	
44	18:09:25	2	16		Service Customer 7	Finish Customer 5	102	
45	18:09:32	A	17	Arrival Customer 21			112	343
46	18:09:40	B	18	Arrival Customer 22			136	336
47	18:09:41	1	17		Service Customer 8	Finish Customer 4	18	
48	18:09:54	1	16		Service Customer 9	Finish Customer 8	221	
49	18:10:04	A	17	Arrival Customer 23			160	315
50	18:10:24	2	16		Service Customer 10	Finish Customer 7	340	
51	18:11:05	3	15		Service Customer 11	Finish Customer 6	656	
52	18:11:25	A	16	Arrival Customer 24			300	245
53	18:11:27	A	17	Arrival Customer 25			32	243
54	18:11:45	3	16		Service Customer 12	Finish Customer 11	306	
55	18:12:04	A	17	Arrival Customer 26			304	209
56	18:12:20	3	16		Service Customer 13	Finish Customer 12	272	
57	18:12:21	3	15		Service Customer 14	Finish Customer 13	16	
58	18:12:24	3	14		Service Customer 15	Finish Customer 14	45	
59	18:12:25	1	13		Service Customer 16	Finish Customer 9	14	
60	18:12:29	3	12		Service Customer 17	Finish Customer 15	52	
61	18:12:46	B	13	Arrival Customer 27			204	170
62	18:12:52	A	14	Arrival Customer 28			78	165
63	18:13:12	B	15	Arrival Customer 29			280	168
64	18:13:30	B	16	Arrival Customer 30			270	158
65	18:13:31	B	17	Arrival Customer 31			16	176
66	18:13:32	A	18	Arrival Customer 32			17	178
67	18:13:33	B	19	Arrival Customer 33			18	275
68	18:13:33	3	18		Service Customer 18	Finish Customer 17	0	
69	18:13:36	A	19	Arrival Customer 34			54	290
70	18:13:40	3	18		Service Customer 19	Finish Customer 18	76	
71	18:13:41	B	19	Arrival Customer 35			18	293
72	18:13:44	B	20	Arrival Customer 36			57	313
73	18:13:58	A	21	Arrival Customer 37			280	310
74	18:14:00	B	22	Arrival Customer 38			42	317
75	18:14:36	3	21		Service Customer 20	Finish Customer 19	792	
76	18:14:38	A	22	Arrival Customer 39			42	384
77	18:14:57	A	23	Arrival Customer 40			418	406
78	18:15:11	A	24	Arrival Customer 41			322	393
79	18:15:15	1	23		Service Customer 21	Finish Customer 16	96	
80	18:15:16	1	22		Service Customer 22	Finish Customer 21	23	
81	18:15:17	A	23	Arrival Customer 42			22	397
82	18:15:19	2	22		Service Customer 23	Finish Customer 10	46	
83	18:15:30	1	21		Service Customer 24	Finish Customer 22	242	
84	18:15:30	1	20		Service Customer 25	Finish Customer 24	0	
85	18:15:33	3	19		Service Customer 26	Finish Customer 20	60	
86	18:15:36	3	18		Service Customer 27	Finish Customer 26	57	
87	18:15:37	3	17		Service Customer 28	Finish Customer 27	18	

88	18:16:00	1	16		Service Customer 29	Finish Customer 25	391	
89	18:16:08	1	15		Service Customer 30	Finish Customer 29	128	
90	18:16:27	1	14		Service Customer 31	Finish Customer 30	285	
91	18:16:30	1	13		Service Customer 32	Finish Customer 31	42	
92	18:16:44	A	14	Arrival Customer 43			182	337
93	18:17:12	B	15	Arrival Customer 44			392	316
94	18:17:15	B	16	Arrival Customer 45			45	314
95	18:17:28	B	17	Arrival Customer 46			208	304
96	18:17:37	A	18	Arrival Customer 47			153	305
97	18:17:59	B	19	Arrival Customer 48			396	288
98	18:18:06	B	20	Arrival Customer 49			133	281
99	18:18:08	1	19		Service Customer 33	Finish Customer 32	40	
100	18:18:19	B	20	Arrival Customer 50			209	277
101	18:18:26	3	19		Service Customer 34	Finish Customer 28	140	
102	18:18:29	A	20	Arrival Customer 51			57	271
103	18:18:34	3	19		Service Customer 35	Finish Customer 34	100	
104	18:18:55	A	20	Arrival Customer 52			399	272
105	18:18:57	1	19		Service Customer 36	Finish Customer 33	40	
106	18:19:08	1	18		Service Customer 37	Finish Customer 36	209	
107	18:19:17	1	17		Service Customer 38	Finish Customer 37	162	
108	18:19:26	A	18	Arrival Customer 53			153	249
109	18:19:35	B	19	Arrival Customer 54			162	242
110	18:19:36	A	20	Arrival Customer 55			19	268
111	18:20:15	B	21	Arrival Customer 56			780	271
112	18:21:02	1	20		Service Customer 39	Finish Customer 38	987	
113	18:21:19	A	21	Arrival Customer 57			340	237
114	18:21:43	2	20		Service Customer 40	Finish Customer 23	504	
115	18:21:44	2	19		Service Customer 41	Finish Customer 40	20	
116	18:21:54	1	18		Service Customer 42	Finish Customer 39	190	
117	18:22:21	3	17		Service Customer 43	Finish Customer 35	486	
118	18:22:28	1	16		Service Customer 44	Finish Customer 42	119	
119	18:22:29	2	15		Service Customer 45	Finish Customer 41	16	
120	18:22:32	1	14		Service Customer 46	Finish Customer 44	45	
121	18:22:38	A	15	Arrival Customer 58			84	173
122	18:22:42	1	14		Service Customer 47	Finish Customer 46	60	
123	18:22:47	3	13		Service Customer 48	Finish Customer 43	70	
124	18:22:47	3	12		Service Customer 49	Finish Customer 48	0	
125	18:22:52	A	13	Arrival Customer 59			60	173
126	18:22:56	2	12		Service Customer 50	Finish Customer 45	52	
127	18:23:00	1	11		Service Customer 51	Finish Customer 47	48	
128	18:23:05	A	12	Arrival Customer 60			55	160
129	18:23:06	A	13	Arrival Customer 61			12	193
130	18:23:10	A	14	Arrival Customer 62			52	207
131	18:23:27	1	13		Service Customer 52	Finish Customer 51	238	
132	18:23:35	2	12		Service Customer 53	Finish Customer 50	104	

133	18:23:37	3	11		Service Customer 54	Finish Customer 49	24	
134	18:24:04	3	10		Service Customer 55	Finish Customer 54	297	
135	18:24:20	A	11	Arrival Customer 63			160	142
136	18:24:21	A	12	Arrival Customer 64			11	142
137	18:24:22	A	13	Arrival Customer 65			12	178
138	18:24:37	A	14	Arrival Customer 66			195	165
139	18:24:46	1	13		Service Customer 56	Finish Customer 52	126	
140	18:24:55	A	14	Arrival Customer 67			117	154
141	18:25:16	2	13		Service Customer 57	Finish Customer 53	294	
142	18:25:26	A	14	Arrival Customer 68			130	128
143	18:25:31	2	13		Service Customer 58	Finish Customer 57	70	
144	18:25:39	B	14	Arrival Customer 69			104	148
145	18:25:41	A	15	Arrival Customer 70			28	176
146	18:25:45	3	14		Service Customer 59	Finish Customer 55	60	
147	18:25:45	3	13		Service Customer 60	Finish Customer 59	0	
148	18:26:14	A	14	Arrival Customer 71			377	175
149	18:26:16	A	15	Arrival Customer 72			28	226
150	18:26:19	1	14		Service Customer 61	Finish Customer 56	45	
151	18:26:26	A	15	Arrival Customer 73			98	239
152	18:26:33	A	16	Arrival Customer 74			105	254
153	18:26:37	3	15		Service Customer 62	Finish Customer 60	64	
154	18:26:37	B	16	Arrival Customer 75			0	282
155	18:26:42	2	15		Service Customer 63	Finish Customer 58	80	
156	18:26:43	2	14		Service Customer 64	Finish Customer 63	15	
157	18:26:57	B	15	Arrival Customer 76			196	294
158	18:27:20	2	14		Service Customer 65	Finish Customer 64	345	
159	18:27:22	1	13		Service Customer 66	Finish Customer 61	28	
160	18:27:29	1	12		Service Customer 67	Finish Customer 66	91	
161	18:27:34	1	11		Service Customer 68	Finish Customer 67	60	
162	18:27:53	B	12	Arrival Customer 77			209	250
163	18:28:07	2	11		Service Customer 69	Finish Customer 65	168	
164	18:28:37	1	10		Service Customer 70	Finish Customer 68	330	
165	18:28:42	A	11	Arrival Customer 78			50	211
166	18:28:47	A	12	Arrival Customer 79			55	212
167	18:29:06	A	13	Arrival Customer 80			228	210
168	18:29:09	1	12		Service Customer 71	Finish Customer 70	39	
169	18:29:28	A	13	Arrival Customer 81			228	198
170	18:30:02	3	12		Service Customer 72	Finish Customer 62	442	
171	18:30:15	A	13	Arrival Customer 82			156	152
172	18:30:19	A	14	Arrival Customer 83			52	154
173	18:30:25	3	13		Service Customer 73	Finish Customer 72	84	
174	18:30:47	1	12		Service Customer 74	Finish Customer 71	286	
175	18:30:49	B	13	Arrival Customer 84			24	159
176	18:31:08	B	14	Arrival Customer 85			247	140
177	18:31:18	A	15	Arrival Customer 86			140	162

178	18:31:19	1	14		Service Customer 75	Finish Customer 74	15	
179	18:31:36	A	15	Arrival Customer 87			238	149
180	18:31:43	B	16	Arrival Customer 88			105	152
181	18:31:51	1	15		Service Customer 76	Finish Customer 75	128	
182	18:32:03	3	14		Service Customer 77	Finish Customer 73	180	
183	18:32:13	2	13		Service Customer 78	Finish Customer 69	140	
184	18:32:19	3	12		Service Customer 79	Finish Customer 77	78	
185	18:32:24	B	13	Arrival Customer 89			60	160
186	18:32:36	1	12		Service Customer 80	Finish Customer 76	156	
187	18:32:36	A	13	Arrival Customer 90			0	171
188	18:32:46	1	12		Service Customer 81	Finish Customer 80	130	
189	18:32:47	2	11		Service Customer 82	Finish Customer 78	12	
190	18:32:53	3	10		Service Customer 83	Finish Customer 79	66	
191	18:32:53	B	11	Arrival Customer 91			0	242
192	18:33:07	A	12	Arrival Customer 92			154	241
193	18:33:09	B	13	Arrival Customer 93			24	243
194	18:33:28	3	12		Service Customer 84	Finish Customer 83	247	
195	18:33:28	2	11		Service Customer 85	Finish Customer 82	0	
196	18:33:32	A	12	Arrival Customer 94			44	245
197	18:34:00	3	11		Service Customer 86	Finish Customer 84	336	
198	18:34:05	1	10		Service Customer 87	Finish Customer 81	55	
199	18:34:15	2	9		Service Customer 88	Finish Customer 85	100	
200	18:34:24	A	10	Arrival Customer 95			81	195
201	18:34:25	A	11	Arrival Customer 96			10	213
202	18:34:51	A	12	Arrival Customer 97			286	198
203	18:34:53	A	13	Arrival Customer 98			24	222
204	18:34:53	A	14	Arrival Customer 99			0	245
205	18:34:55	A	15	Arrival Customer 100			28	252
206	18:35:03	A	16	Arrival Customer 101			120	280
207	18:35:04	1	15		Service Customer 89	Finish Customer 87	16	
208	18:35:26	A	16	Arrival Customer 102			330	258
209	18:35:27	1	15		Service Customer 90	Finish Customer 89	16	
210	18:36:03	B	16	Arrival Customer 103			540	226
211	18:36:08	A	17	Arrival Customer 104			80	242
212	18:36:10	A	18	Arrival Customer 105			34	246
213	18:36:15	B	19	Arrival Customer 106			90	313
214	18:36:55	3	18		Service Customer 91	Finish Customer 86	760	
215	18:37:08	3	17		Service Customer 92	Finish Customer 91	234	
216	18:37:12	1	16		Service Customer 93	Finish Customer 90	68	
217	18:37:20	B	17	Arrival Customer 107			128	259
218	18:37:20	A	18	Arrival Customer 108			0	260
219	18:37:31	A	19	Arrival Customer 109			198	270
220	18:37:36	B	20	Arrival Customer 110			95	276
221	18:37:37	2	19		Service Customer 94	Finish Customer 88	20	
222	18:37:39	2	18		Service Customer 95	Finish Customer 94	38	

223	18:37:39	A	19	Arrival Customer 111			0	275
224	18:37:58	2	18		Service Customer 96	Finish Customer 95	361	
225	18:38:09	3	17		Service Customer 97	Finish Customer 92	198	
226	18:38:35	2	16		Service Customer 98	Finish Customer 96	442	
227	18:38:58	3	15		Service Customer 99	Finish Customer 97	368	
228	18:39:07	1	14		Service Customer 100	Finish Customer 93	135	
229	18:39:29	A	15	Arrival Customer 112			308	167
230	18:39:40	B	16	Arrival Customer 113			165	164
231	18:39:43	3	15		Service Customer 101	Finish Customer 99	48	
232	18:39:44	1	14		Service Customer 102	Finish Customer 100	15	
233	18:39:49	2	13		Service Customer 103	Finish Customer 98	70	
234	18:40:10	3	12		Service Customer 104	Finish Customer 101	273	
235	18:40:16	1	11		Service Customer 105	Finish Customer 102	72	
236	18:40:24	B	12	Arrival Customer 114			88	132
237	18:40:30	B	13	Arrival Customer 115			72	133
238	18:40:40	A	14	Arrival Customer 116			130	163
239	18:40:48	A	15	Arrival Customer 117			112	204
240	18:41:01	A	16	Arrival Customer 118			195	206
241	18:41:13	B	17	Arrival Customer 119			192	200
242	18:41:18	B	18	Arrival Customer 120			85	207
243	18:41:23	A	19	Arrival Customer 121			90	207
244	18:41:28	1	18		Service Customer 106	Finish Customer 105	95	
245	18:41:39	1	17		Service Customer 107	Finish Customer 106	198	
246	18:41:40	3	16		Service Customer 108	Finish Customer 104	17	
247	18:41:40	A	17	Arrival Customer 122			0	193
248	18:42:01	2	16		Service Customer 109	Finish Customer 103	357	
249	18:42:12	1	15		Service Customer 110	Finish Customer 107	176	
250	18:42:14	3	14		Service Customer 111	Finish Customer 108	30	
251	18:42:14	A	15	Arrival Customer 123			0	196
252	18:42:15	A	16	Arrival Customer 124			15	233
253	18:42:16	1	15		Service Customer 112	Finish Customer 110	16	
254	18:42:24	3	14		Service Customer 113	Finish Customer 111	120	
255	18:42:36	1	13		Service Customer 114	Finish Customer 112	168	
256	18:42:43	2	12		Service Customer 115	Finish Customer 109	91	
257	18:42:50	A	13	Arrival Customer 125			84	237
258	18:43:09	B	14	Arrival Customer 126			247	220
259	18:43:23	2	13		Service Customer 116	Finish Customer 115	196	
260	18:44:02	B	14	Arrival Customer 127			507	225
261	18:44:12	3	13		Service Customer 117	Finish Customer 113	140	
262	18:44:27	1	12		Service Customer 118	Finish Customer 114	195	
263	18:44:28	A	13	Arrival Customer 128			12	211
264	18:44:33	1	12		Service Customer 119	Finish Customer 118	65	
265	18:44:38	B	13	Arrival Customer 129			60	206
266	18:44:41	A	14	Arrival Customer 130			39	208
267	18:44:45	2	13		Service Customer 120	Finish Customer 116	56	

268	18:44:50	1	12		Service Customer 121	Finish Customer 119	65	
269	18:44:53	1	11		Service Customer 122	Finish Customer 121	36	
270	18:44:58	A	12	Arrival Customer 131			55	192
271	18:45:07	A	13	Arrival Customer 132			108	217
272	18:45:30	1	12		Service Customer 123	Finish Customer 122	299	
273	18:45:52	A	13	Arrival Customer 133			264	247
274	18:45:59	B	14	Arrival Customer 134			91	243
275	18:46:02	A	15	Arrival Customer 135			42	242
276	18:46:08	1	14		Service Customer 124	Finish Customer 123	90	
277	18:46:26	B	15	Arrival Customer 136			252	226
278	18:46:47	2	14		Service Customer 125	Finish Customer 120	315	
279	18:46:49	2	13		Service Customer 126	Finish Customer 125	28	
280	18:46:52	B	14	Arrival Customer 137			39	221
281	18:47:37	A	15	Arrival Customer 138			630	212
282	18:47:47	3	14		Service Customer 127	Finish Customer 117	150	
283	18:47:59	3	13		Service Customer 128	Finish Customer 127	168	
284	18:48:04	2	12		Service Customer 129	Finish Customer 126	65	
285	18:48:07	A	13	Arrival Customer 139			36	193
286	18:48:09	2	12		Service Customer 130	Finish Customer 129	26	
287	18:48:10	1	11		Service Customer 131	Finish Customer 124	12	
288	18:48:22	A	12	Arrival Customer 140			132	184
289	18:48:24	A	13	Arrival Customer 141			24	185
290	18:48:44	1	12		Service Customer 132	Finish Customer 131	260	
291	18:48:49	B	13	Arrival Customer 142			60	210
292	18:49:29	A	14	Arrival Customer 143			520	171
293	18:49:40	A	15	Arrival Customer 144			154	166
294	18:49:50	B	16	Arrival Customer 145			150	164
295	18:49:59	2	15		Service Customer 133	Finish Customer 130	144	
296	18:50:02	1	14		Service Customer 134	Finish Customer 132	45	
297	18:50:02	A	15	Arrival Customer 146			0	177
298	18:50:04	3	14		Service Customer 135	Finish Customer 128	30	
299	18:50:12	3	13		Service Customer 136	Finish Customer 135	112	
300	18:50:15	A	14	Arrival Customer 147			39	168
301	18:50:33	3	13		Service Customer 137	Finish Customer 136	252	
302	18:50:35	A	14	Arrival Customer 148			26	158
303	18:50:46	A	15	Arrival Customer 149			154	185
304	18:51:09	1	14		Service Customer 138	Finish Customer 134	345	
305	18:51:20	B	15	Arrival Customer 150			154	153
306	18:51:20	1	14		Service Customer 139	Finish Customer 138	0	
307	18:51:26	3	13		Service Customer 140	Finish Customer 137	84	
308	18:51:29	3	12		Service Customer 141	Finish Customer 140	39	
309	18:52:05	A	13	Arrival Customer 151			432	138
310	18:52:08	A	14	Arrival Customer 152			39	153
311	18:52:19	3	13		Service Customer 142	Finish Customer 141	154	
312	18:52:20	3	12		Service Customer 143	Finish Customer 142	13	

313	18:52:26	3	11		Service Customer 144	Finish Customer 143	72	
314	18:52:34	1	10		Service Customer 145	Finish Customer 139	88	
315	18:52:44	B	11	Arrival Customer 153			100	126
316	18:52:59	2	10		Service Customer 146	Finish Customer 133	165	
317	18:52:59	A	11	Arrival Customer 154			0	135
318	18:53:03	1	10		Service Customer 147	Finish Customer 145	44	
319	18:53:13	2	9		Service Customer 148	Finish Customer 146	100	
320	18:53:25	A	10	Arrival Customer 155			108	112
321	18:53:29	A	11	Arrival Customer 156			40	143
322	18:53:51	3	10		Service Customer 149	Finish Customer 144	242	
323	18:53:53	3	9		Service Customer 150	Finish Customer 149	20	
324	18:54:20	B	10	Arrival Customer 157			243	102
325	18:54:23	2	9		Service Customer 151	Finish Customer 148	30	
326	18:54:29	A	10	Arrival Customer 158			54	112
327	18:54:36	B	11	Arrival Customer 159			70	107
328	18:54:41	2	10		Service Customer 152	Finish Customer 151	55	
329	18:54:43	A	11	Arrival Customer 160			20	100
330	18:54:46	A	12	Arrival Customer 161			33	116
331	18:54:50	2	11		Service Customer 153	Finish Customer 152	48	
332	18:55:06	A	12	Arrival Customer 162			176	101
333	18:55:13	A	13	Arrival Customer 163			84	177
334	18:55:14	1	12		Service Customer 154	Finish Customer 147	13	
335	18:55:17	3	11		Service Customer 155	Finish Customer 150	36	
336	18:55:37	A	12	Arrival Customer 164			220	163
337	18:55:52	2	11		Service Customer 156	Finish Customer 153	180	
338	18:56:02	3	10		Service Customer 157	Finish Customer 155	110	
339	18:56:02	A	11	Arrival Customer 165			0	154
340	18:56:21	3	10		Service Customer 158	Finish Customer 157	209	
341	18:56:23	2	9		Service Customer 159	Finish Customer 156	20	
342	18:56:23	1	8		Service Customer 160	Finish Customer 154	0	
343	18:56:40	A	9	Arrival Customer 166			136	188
344	18:56:42	2	8		Service Customer 161	Finish Customer 159	18	
345	18:56:47	2	7		Service Customer 162	Finish Customer 161	40	
346	18:57:09	A	8	Arrival Customer 167			154	236
347	18:58:10	2	7		Service Customer 163	Finish Customer 162	8	
348	18:58:14	A	8	Arrival Customer 168			28	186
349	18:58:20	2	7		Service Customer 164	Finish Customer 163	48	
350	18:58:23	A	8	Arrival Customer 169			21	192
351	18:58:36	3	7		Service Customer 165	Finish Customer 158	104	
352	18:59:00	A	8	Arrival Customer 170			168	195
353	18:59:24	A	9	Arrival Customer 171			192	178
354	18:59:26	B	10	Arrival Customer 172			18	189
355	18:59:44	B	11	Arrival Customer 173			180	172
356	18:59:48	1	10		Service Customer 166	Finish Customer 160	44	
357	19:00:04	B	11	Arrival Customer 174			160	164

358	19:00:07	B	12	Arrival Customer 175			33	208
359	19:00:29	B	13	Arrival Customer 176			264	211
360	19:00:47	A	14	Arrival Customer 177			234	267
361	19:01:05	1	13		Service Customer 167	Finish Customer 166	252	
362	19:01:19	B	14	Arrival Customer 178			182	235
363	19:01:20	1	13		Service Customer 168	Finish Customer 167	14	
364	19:01:22	A	14	Arrival Customer 179			26	236
365	19:01:28	A	15	Arrival Customer 180			84	231
366	19:01:33	B	16	Arrival Customer 181			75	257
367	19:01:33	A	17	Arrival Customer 182			0	258
368	19:01:35	2	16		Service Customer 169	Finish Customer 164	34	
369	19:01:37	A	17	Arrival Customer 183			32	255
370	19:01:51	B	18	Arrival Customer 184			238	289
371	19:01:58	B	19	Arrival Customer 185			126	290
372	19:02:01	B	20	Arrival Customer 186			57	302
373	19:02:15	3	19		Service Customer 170	Finish Customer 165	280	
374	19:02:22	2	18		Service Customer 171	Finish Customer 169	133	
375	19:02:35	1	17		Service Customer 172	Finish Customer 168	234	
376	19:02:36	2	16		Service Customer 173	Finish Customer 171	17	
377	19:02:48	1	15		Service Customer 174	Finish Customer 172	192	
378	19:02:49	A	16	Arrival Customer 187			15	317
379	19:02:52	A	17	Arrival Customer 188			48	314
380	19:02:55	B	18	Arrival Customer 189			51	320
381	19:03:33	A	19	Arrival Customer 190			684	285
382	19:03:35	3	18		Service Customer 175	Finish Customer 170	38	
383	19:03:58	B	19	Arrival Customer 191			414	265
384	19:04:00	2	18		Service Customer 176	Finish Customer 173	38	
385	19:04:10	A	19	Arrival Customer 192			180	255
386	19:04:13	A	20	Arrival Customer 193			57	262
387	19:04:23	B	21	Arrival Customer 194			200	253
388	19:04:43	A	22	Arrival Customer 195			420	240
389	19:05:05	B	23	Arrival Customer 196			484	225
390	19:05:14	2	22		Service Customer 177	Finish Customer 176	207	
391	19:05:14	2	21		Service Customer 178	Finish Customer 177	0	
392	19:05:18	2	20		Service Customer 179	Finish Customer 178	84	
393	19:05:19	3	19		Service Customer 180	Finish Customer 175	20	
394	19:05:27	A	20	Arrival Customer 197			152	212
395	19:05:50	2	19		Service Customer 181	Finish Customer 179	460	
396	19:05:51	2	18		Service Customer 182	Finish Customer 181	19	
397	19:05:52	2	17		Service Customer 183	Finish Customer 182	18	
398	19:06:19	A	18	Arrival Customer 198			459	202
399	19:06:33	B	19	Arrival Customer 199			252	235
400	19:06:40	3	18		Service Customer 184	Finish Customer 180	133	
401	19:06:41	A	19	Arrival Customer 200			18	209
402	19:06:48	1	18		Service Customer 185	Finish Customer 174	133	

403	19:07:03	3	17		Service Customer 186	Finish Customer 184	270	
404	19:07:05	A	18	Arrival Customer 201			34	195
405	19:07:15	A	19	Arrival Customer 202			180	193
406	19:07:20	B	20	Arrival Customer 203			95	200
407	19:07:27	A	21	Arrival Customer 204			140	
408	19:08:06	3	20		Service Customer 187	Finish Customer 186	819	
409	19:08:06	1	19		Service Customer 188	Finish Customer 185	0	
410	19:08:15	2	18		Service Customer 189	Finish Customer 183	171	
411	19:08:18	2	17		Service Customer 190	Finish Customer 189	54	
412	19:08:19	A	18	Arrival Customer 205			17	
413	19:08:23	1	17		Service Customer 191	Finish Customer 188	72	
414	19:08:25	2	16		Service Customer 192	Finish Customer 190	34	
415	19:08:35	2	15		Service Customer 193	Finish Customer 192	160	
416	19:08:36	1	14		Service Customer 194	Finish Customer 191	15	
417	19:08:43	3	13		Service Customer 195	Finish Customer 187	98	
418	19:08:50	2	12		Service Customer 196	Finish Customer 193	91	
419	19:08:56	A	13	Arrival Customer 206			72	
420	19:08:59	3	12		Service Customer 197	Finish Customer 195	39	
421	19:09:03	A	13	Arrival Customer 207			48	
422	19:09:03	A	14	Arrival Customer 208			0	
423	19:09:04	A	15	Arrival Customer 209			14	
424	19:09:41	3	14		Service Customer 198	Finish Customer 197	555	
425	19:09:42	B	15	Arrival Customer 210			14	
426	19:09:54	A	16	Arrival Customer 211			180	
427	19:10:00	2	14		Service Customer 199	Finish Customer 196	96	
428	19:10:10	1	13		Service Customer 200	Finish Customer 194	140	
429	19:10:20	3	12		Service Customer 201	Finish Customer 198	130	
430	19:10:28	2	11		Service Customer 202	Finish Customer 199	544	
431	19:10:40	1	10		Service Customer 203	Finish Customer 200		
432	19:10:59	A	11	Arrival Customer 212			341	

คำอธิบาย

A	is New Movie on Week (War of the Worlds)
B	is Old Movie on Week(Batman Begin ,Hell ,Others)
1	is Counter service 1
2	is Counter service 2
3	is Counter service 3

วิเคราะห์เบื้องต้น

14.96 is Time-average number of customer service

หมายความว่าในแถวคอยจะมีลูกค้ารอคอยโดยเฉลี่ย 15 คน

100% is Utilization of Service(1 ,2 ,3)

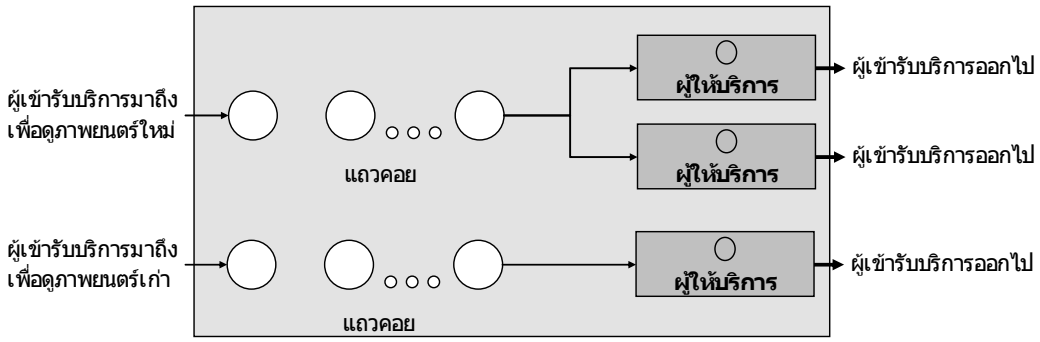
หมายความว่าระบบนี้ใช้หน่วยบริการเต็มประสิทธิภาพ นั่นคือไม่มีเวลาว่างงานเลย

3.86 is Waiting time in queue (Minutes)

หมายความว่าระบบนี้ลูกค้าต้องรอในคิวเฉลี่ยแล้วคนล่ะ 3.88 นาที

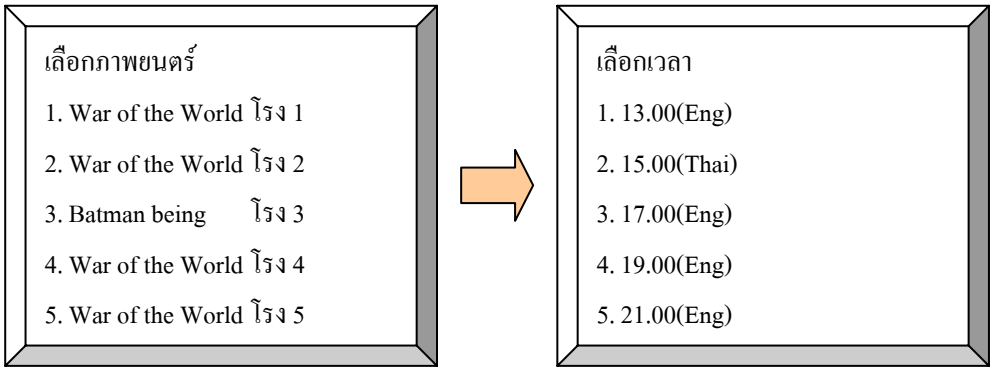
ภาคผนวก 6. การวิเคราะห์การลดเวลาการให้บริการของ Server ใน

Alternative 2



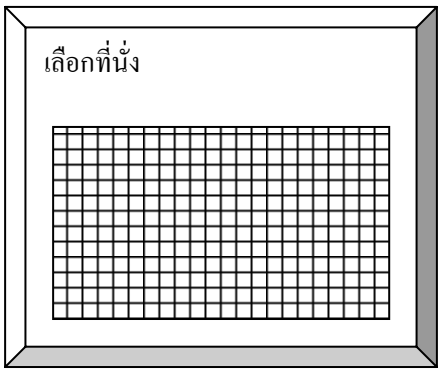
การพิจารณาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเลือกภาพยนตร์

รูปที่ 9 ภาพแสดงเวลามาตรฐานการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเลือกภาพยนตร์

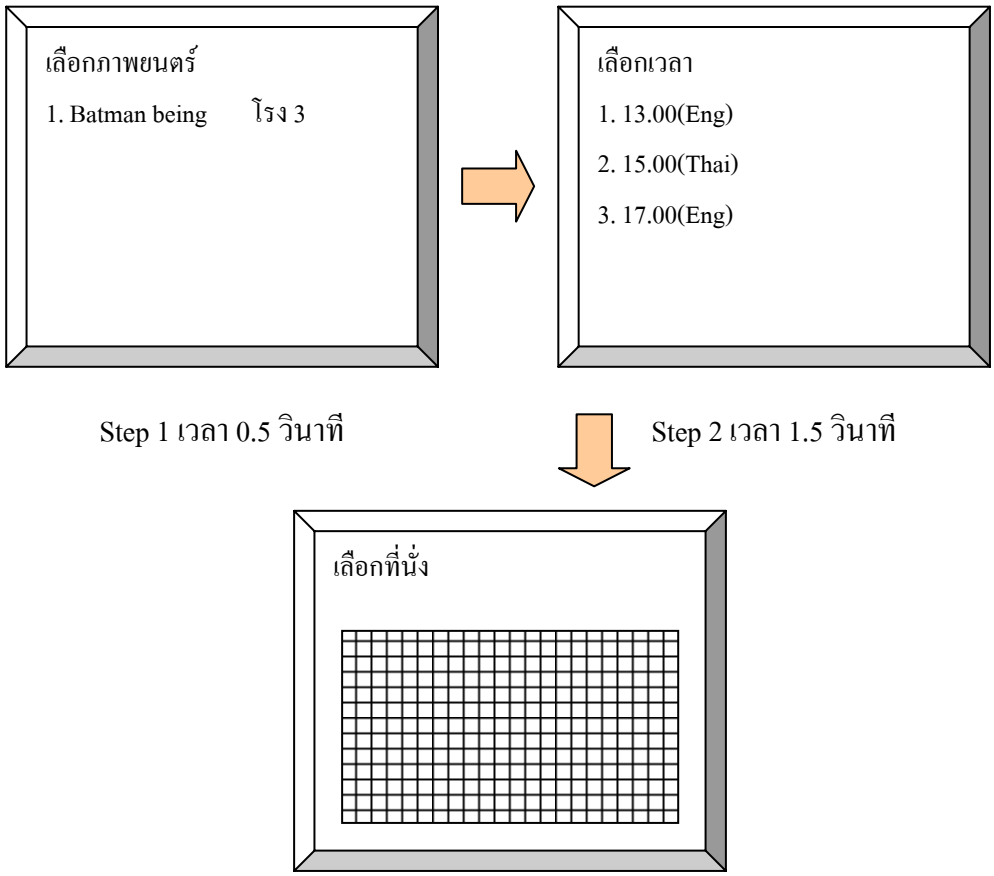


Step 1 เวลามาตรฐาน 2 วินาที

Step 2 เวลามาตรฐาน 2 วินาที



รูปที่ 9 ภาพแสดงเวลาใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเลือกภาพยนตร์ Alternative 2

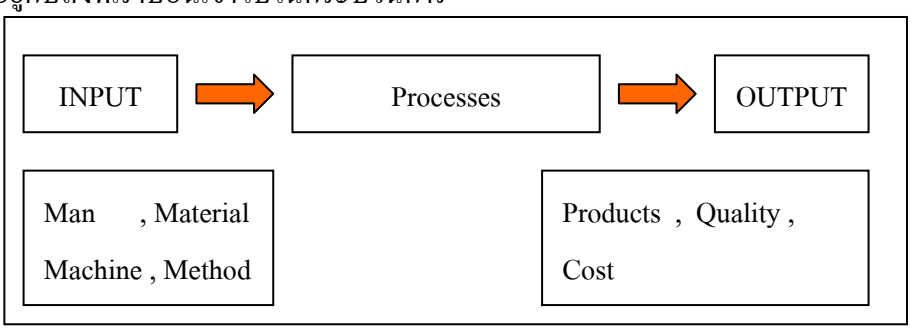


ในส่วนของหน้าจอเลือกภาพยนตร์ใน Step 1 อาจข้ามไปได้เลยในกรณีที่มีไม่มีภาพยนตร์อื่นให้เลือกชม โดยเปิดหน้าจอคอมพิวเตอร์ใน Step 2 เพื่อเลือกเวลาเข้าชมของผู้ใช้บริการแทน ซึ่งจะเป็นการลดเวลาในการให้บริการของ Server ได้เป็นอย่างดี

ภาคผนวก 7. เทคนิคการออกแบบทางเลือก และ เทคนิคในการเลือกทางเลือก

7.1 เทคนิคในการออกแบบทางเลือก

ในการแก้ไขปัญหาตามหลักการทางวิศวกรรมอุตสาหการนั้นเรามักมองปัญหาออกเป็นระบบคือประกอบไปด้วย ปัจจัยนำเข้า กระบวนการ และ ผลที่ได้รับ โดยที่ปัจจัยนำเข้านั้นประกอบด้วย คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และ วิธีการในการทำงาน ส่วนผลที่ได้รับนั้นก็คือ เนื้องานที่เราต้องการ คุณภาพ ต้นทุน อื่นๆ ดังนั้นหากต้องการผลลัพธ์เช่นใด นั้นก็หมายความว่าต้องขึ้นอยู่กับสิ่งที่เราป้อนเข้าไปในกระบวนการ



เทคนิคที่วิศวกรอุตสาหการมักใช้เป็นอุปกรณ์ในการปรับปรุงคือหลักการของ ECRS ซึ่งก็คือ Eliminate (การกำจัดสิ่งไม่จำเป็นออก) Combination (การรวมขั้นตอนต่างๆเข้าด้วยกัน) Rearrange (การจัดลำดับใหม่) Simplify (ทำให้ง่ายขึ้น) ซึ่งหลักการต่างๆ ที่กล่าวมานี้นั้นจะนำใช้ในปัจจัยนำเข้าซึ่งทำให้สามารถสร้างทางเลือกได้ 4 ทางเลือกคือ

1. ตัดแถวออกเพื่อให้แถวยาวดูสั้นลง โดยการแบ่งแถวคอยออกเป็น 2 แถว
2. ตัดแถวออกเพื่อให้แถวยาวดูสั้นลง โดยการแบ่งแถวคอยออกเป็น 2 แถว และปรับวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้นโดยการเปิดหน้าจอหนังเรื่องนั้นๆไว้เลยสามารถลดเวลาลงได้ 2 วินาที (ตามภาคผนวกที่ 6)
3. เพิ่มพนักงานอีก 1 คน เพื่อตั้งจุดให้บริการเพิ่มแล้วให้แถวคอยเป็นแถวเดียว
4. เมื่อพิจารณาการที่ลูกค้าต้องรอนานเกิน 3 นาทีแล้วอาจเกิดความไม่พอใจซึ่งมีผลทำให้โอกาสในการเข้าชมภาพยนตร์ในครั้งต่อไปลดน้อยลง ในทางเลือกนี้เป็นการแก้ปัญหาโดยการติดตั้งโทรทัศน์พร้อมเครื่องเล่น DVD แล้วฉายภาพยนตร์ตัวอย่างให้ดูลูกค้าดูเพื่อเป็นการฆ่าเวลา และเป็นการเพิ่มโอกาสในการเข้าชมภาพยนตร์ในเรื่องถัดไป โดยการวิเคราะห์ในครั้งนี้จะถือว่าลูกค้าจะสามารถรอคอยเพิ่มขึ้นจาก 3 นาที เป็น 5 นาที โดยไม่เกิดต้นทุนการรอคอยของลูกค้าในช่วงเวลานี้

7.2 เทคนิคในการเลือกทางเลือก

ในการเลือกนั้นมุมมองที่เราต้องพิจารณาเพื่อความพึงพอใจของลูกค้านั้น ประการแรก แถวที่ไม่ยาวเกินไปเนื่องจากแถวที่ยาวเกินไปนั้นอาจทำให้ลูกค้าเปลี่ยนใจไปดูที่โรงภาพยนตร์อื่นๆ เช่น SF Central Town รัตนาธิเบศร์ หรือ เมเจอร์รัชโยธิน หรือ เมเจอร์นนทบุรี ซึ่งความยาวของแถวนั้นวัดจากจำนวนคนที่ยืนรอรับบริการในแถวคอย

ประการต่อมาก็คือ เวลาในการรอคอยนั้นเป็นการวัดให้เห็นถึงความสามารถในการให้บริการ ซึ่งในการให้บริการนั้นเวลาที่ลูกค้าควรจะพอใจในความเป็นจริงต้องทำการสอบถามจากผู้ที่เข้ามารับบริการว่าเวลาคอยในแถว นานเท่าใดที่จะทำให้เริ่มไม่พอใจ ซึ่งการเก็บข้อมูลดังกล่าวนั้นไม่สามารถทำได้ง่ายนักเนื่องจากต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูล รวมทั้งยังต้องใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ค่าวัดเพื่อให้ได้คำตอบที่เชื่อถือได้ และการต้องทำเรื่องขออนุญาตอย่างเป็นทางการในการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วย ดังนั้นจึงกำหนดใช้เกณฑ์ความพึงพอใจจากประสบการณ์ของผู้วิจัย และการสอบถามแบบกลุ่มย่อยจากบุคคลรอบข้าง ได้ผลสรุปคือ เวลาที่ใช้ในการยืนรอรับบริการนั้นไม่ควรยืนรอนานเกิน 3 นาที และกำหนดไว้เป็นเป้าหมายเบื้องต้น

ในการที่เราจะทำการเปรียบเทียบระบบต่างๆ ว่าจะเลือกระบบใด สิ่งที่มีความสำคัญมากอีกประการหนึ่ง คือ ต้นทุนที่ต้องลงทุนในการปรับปรุงเนื่องจากบางทางเลือกสามารถลดเวลาคอยและแถวคอยได้ดี แต่กลับสร้างต้นทุนที่มากขึ้นก็ไม่ควรเลือกเช่นกัน ในการคำนวณต้นทุนจึงแบ่งต้นทุนออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

- ต้นทุนเกี่ยวกับความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งต้นทุนนี้จะมองว่าการที่ลูกค้ารอนานเกินกว่าเวลาที่กำหนดอาจทำให้ลูกค้าเปลี่ยนใจไปดูภาพยนตร์ที่โรงภาพยนตร์อื่น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้น แต่ต้นทุนนี้ใช้ประสบการณ์ของกลุ่มผู้วิจัยช่วยในการกำหนดค่า เพราะความเป็นจริงข้อมูลนี้ควรที่จะมีจากการสำรวจ และกำหนดเป็นนโยบายบริษัท ต้นทุนนี้สามารถกำหนดค่าเป็น 1 บาท/คน/นาที สำหรับลูกค้าที่รอนานเกินกว่า 3 นาที แต่ในกรณีที่เป็นทางเลือกที่จะติดตั้งโทรทัศน์พร้อมเครื่องเล่น DVD นั้นก็ขยายเวลาออกเป็น 5 นาที

1 x (Wq-3) x Lq = Cost of satisfy for waiting time standard is 3 minutes and (Wq-3) has more than 0

1 x (Wq-5) x Lq = Cost of satisfy for waiting time standard is 5 minutes and (Wq-5) has more than 0

- ต้นทุนอุปกรณ์ ใน โครงงานนี้มีต้นทุนอุปกรณ์ 2 อย่าง คือ ที่ Alternative ที่ 3 และ 4 ในทางเลือกที่ 3 คือ เมื่อมีการเพิ่มพนักงานต้องมีการเพิ่มเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ ตั๋ว ซึ่งกำหนดให้มีราคาเท่ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มี สเป็กส์ ต่ำ โดยต้นทุนรวมค่าเครื่องพิมพ์ มีราคาที่ 20,000 บาท คิดเป็นต่อนาที โดยการทำงานจะมีเวลาทำงาน 12 ชั่วโมง ต้นทุนคือ 20,000/(3 x 365

x 12 x 60) โดยมีเวลาการใช้งานนาน 3 ปี เนื่องจากถ่าน CMOS น่าจะเริ่มเสื่อมและเครื่องใกล้หมดอายุการใช้งาน

อุปกรณ์ชิ้นต่อมาคือ T.V. พลาสม่าจอแบน ขนาด 42 นิ้ว ราคา 120,000 รวมเครื่องเล่น DVD ราคา 10,000 บาท เป็น 130,000 บาท ที่ต้องเป็น พลาสม่าเพราะว่าจะสามารถดูได้ชัดเจนในทุกมุมสายตา และจอแบนสามารถติดตั้งได้สะดวก ต้องนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อ นาทีเช่นกัน ซึ่งกำหนดให้สามารถใช้งานได้นาน 3 ปี ตามใบรับประกัน

ต้นทุนค่าไฟฟ้า กำหนดให้ค่าไฟ มีค่า 4 บาท ต่อ ยูนิต ไม่คิดค่า ดีมานด์ชาร์จคอมพิเตอร์กินไฟ 500 วัตต์ ชั่วโมง ทีวี กินไฟ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่ง 1 ยูนิต เท่ากับ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ค่าแรงพนักงานตามประกาศกระทรวงปรับค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำในเขต ก.ท.ม. มีค่าแรง 181 บาทต่อ 8 ชั่วโมง

ในการทำการเปรียบเทียบ 3 ปัจจัย ใช้แผนภูมิ เรดาร์ ซึ่งแผนภูมิเรดาร์ในการทำการวิจัยครั้งนี้จะปรับให้แต่ละค่าที่วัดมีช่องห่างที่มีระดับเท่ากัน โดยการให้คะแนนความน่าสนใจในการลงทุน 3 ระดับคือ คะแนนเป็น 5 มีความน่าสนใจในการเลือกสูงมาก คะแนนเป็น 3 มีความน่าสนใจในการเลือกระดับปานกลาง และ คะแนนเป็น 1 มีความน่าสนใจในการเลือกระดับต่ำ ซึ่งจะแบ่งระดับตามรายละเอียดในตาราง

ตารางคำนวณต้นทุน

	Satisfie cost					Service Cost								
	waiting					Device/Tool			ค่าไฟ	ค่าแรง				
	Lq	Wq	Wq-5	Value W	satisfie cost	price	period	price/min	ต่อ นาที	จำนวน	ค่าแรง/นาที	ต้นทุน	Total Cost	
original	19.5	6.5	3.5	3.5	68.7	0	0	0	0	3	0.44	1.3308		70.00705
Alternative 1	14.8	7.5	4.5	4.5	66.3	0	0	0	0	2	0.44	0.8872	67.13975	2741.79
	54.0	52.5	49.5	49.5	2674.2	0	0	0	0	1	0.44	0.4436	2674.651	
Alternative 2	8.6	4.4	1.4	1.4	11.9	0	0	0		2	0.44	0.8872	12.75119	249.8775
	17.2	16.7	13.7	13.7	236.7	0	0	0	0	1	0.44	0.4436	237.1264	
Alternative 3	1.1	0.4	-2.6	0.0	0.0	20000	3	0.025368	0.0343	4	0.44	1.7744		1.834068
Alternative 4	19.5	6.5	1.5	1.5	29.6	130000	3	0.164891	0.066667	3	0.44	1.3308		31.15361

ตารางระดับการให้คะแนน

Lq	0-18.49	5
	18.5-40.49	3
	40.5-55	1
Wq	0-3.49	5
	3.5-5.49	3
	5.5-20	1
cost	0-100	5
	101 - 500	3
	501-3000	1

ตารางสรุปคะแนนในแต่ละทางเลือก

ทางเลือก	Lq	Lq	Wq	Wq	cost	Cost	คะแนนรวม
Original Problem	19.5425	3	6.5142	3	70.00705	5	45
Alternative 1	28.21197	3	22.92187	1	2741.79	1	3
Alternative 2	11.57159	3	8.615133	3	249.8775	3	27
Alternative 3	1.148	5	0.3827	5	1.834068	5	125
Alternative 4	19.5425	3	6.5142	3	31.15361	5	45

คะแนนรวม = คะแนน Lq x คะแนน Wq x คะแนน Cost