บทที่ 2
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิเคราะห์ระบบแถวคอยรูปแบบการให้บริการประตูตรวจสอบยานพาหนะผ่านท่า ประตูตรวจสอบที่ 3 (ขาเข้า) ท่าเรือแหลมฉบัง ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. โครงการติดตั้งระบบจัดเก็บค่ายานพาหนะผ่านท่า (e-Toll Collection System) ของท่าเรือแหลมฉบัง
2. โครงการติดตั้งระบบจัดเก็บค่ายานพาหนะผ่านท่า (e-Toll Collection System) ของท่าเรือแหลมฉบัง สำหรับผู้ใช้บริการ
3. ทฤษฎีเกี่ยวกับการศึกษาคุณลักษณะแถวคอย (Queuing System)
4. การวิเคราะห์แบบจำลอง
5. การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการติดตั้งระบบจัดเก็บค่ายานพาหนะผ่านท่า (e-Toll Collection System) ของท่าเรือแหลมฉบัง

1. วัตถุประสงค์ของระบบ e-Toll

1.1 จัดทำระบบเพื่อรองรับปริมาณการ เข้า - ออก ของยานพาหนะบริเวณท่าเรือแหลมฉบัง ประตูตรวจสอบที่ 1 ประตูตรวจสอบที่ 2 และประตูตรวจสอบที่ 3

1.2 เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิมากยิ่งขึ้น

1.3 เพื่อให้การทำงานสามารถตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.4 เพื่อให้การทำงานสามารถกำกับดูแลและวางแผนปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ขอบเขตของระบบ e-Toll

2.1 การลงทะเบียนบุคคล และยานพาหนะ

2.2 การจัดการข้อมูลตู้สินค้าที่ต้องการผ่านประตูตรวจสอบสินค้าขาเข้าและขาออก

2.3 การชำระค่ายานพาหนะผ่านท่า

2.4 การตรวจสอบข้อมูลสำหรับผู้ประกอบการขนส่ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.5 การให้ข้อมูลรายงาน และสถิติที่มีประโยชน์ต่อการบริหารของผู้ประกอบการท่าและท่าเรือแหลมฉบัง (TLC)

3. เป้าหมายของโครงการ

3.1 ให้ท่าเรือแหลมฉบังมีระบบการจัดเก็บค่ายานพาหนะผ่านท่า (e-Port Collection System) ที่เป็นวิธีทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method) แทนการตัดสินใจด้วยคนในการนับและแยกประเภทรถ ที่มีสมรรถนะและความสามารถที่เหมาะสมกับสภาพความต้องการของท่าเรือแหลมฉบัง ให้สามารถรองรับการใช้งานในปัจจุบันและอนาคตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และเป็นระบบที่รองรับการตรวจสอบการจัดเก็บค่ายานพาหนะผ่านท่าได้อย่างถูกต้อง

3.2 เป็นระบบ Prepaid Card ที่ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น RFID หรือดีกว่า เพื่อรองรับการจัดเก็บค่ายานพาหนะผ่านท่าโดยไม่ต้องใช้เงินสด และสามารถจัดเก็บได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ

3.3 มีการออกแบบและวิเคราะห์ระบบที่ครอบคลุมกับการเชื่อมโยงข้อมูลไปยังระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่การท่าเรือฯ มีการใช้งานอยู่เดิม เช่น ระบบบัญชีการเงิน และสามารถรองรับการเชื่อมโยงกับระบบเครื่องชั่งน้ำหนักและสามารถรองรับองค์กรและเป้าหมายของท่าเรือแหลมฉบังทั้งในปัจจุบันและอนาคตได้เป็นอย่างดี

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์ โปรแกรมระบบปฏิบัติการ ระบบฐานข้อมูล ระบบเครือข่ายสื่อสารข้อมูล และโปรแกรมจัดการระบบค่ายานพาหนะผ่านท่า และโปรแกรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องที่เสนอจะต้องสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

4. ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบ e-Toll

4.1 ยกระดับท่าเรือ World Class Port โดยใช้มาตรฐาน ISPS Code เนื่องจากระบบ e-Toll มีการลงทะเบียนบุคคล และยานพาหนะพร้อมทั้งบันทึกภาพยานพาหนะ และตู้สินค้าที่ผ่านเข้า - ออกท่าเพื่อความปลอดภัยในการรับ - ส่งสินค้าภายในท่าเรือ

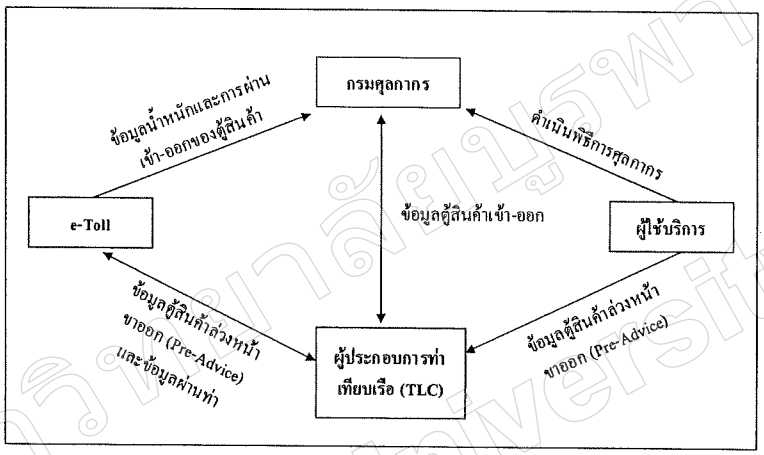
4.2 เพิ่มประสิทธิภาพและความเชื่อมั่นในการรับ - ส่ง ตู้สินค้าแก่ลูกค้าและผู้ประกอบการขนส่ง เนื่องจากระบบมีการตรวจสอบข้อมูลตู้สินค้าล่วงหน้า ทำให้มีการจัดการและวางแผนการปฏิบัติงานของท่าเทียบเรืออย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็ว

4.3 ลดค่าใช้จ่าย และระยะเวลา ในการรับ - ส่งตู้สินค้า ลดค่าใช้จ่ายในการจัดการปัญหาหน้าประตูตรวจสอบ เนื่องจากมีการตรวจสอบ และจัดการข้อมูลตู้สินค้าล่วงหน้า (Pre - Avice) ยังช่วยลดระยะเวลา และความผิดพลาดในการทำรายการหน้าประตูตรวจสอบ ระบบจะ

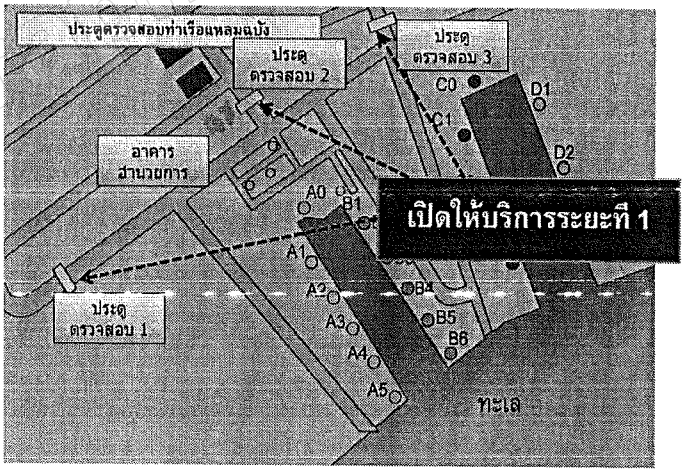
แสดงจุดหมายที่จะต้องรับ - ส่งตู้สินค้า ทำให้ผู้ขับขี่จัดส่ง รับตู้สินค้าอย่างถูกต้อง แม่นยำ และลดความผิดพลาดในการเข้าท่าเทียบเรือผิด

4.4 เพิ่มความสะดวกรวดเร็วของรถบรรทุกตู้สินค้าผ่านประตูตรวจสอบ ลดเวลาที่ใช้ในการนำส่งตู้สินค้า เนื่องจากระบบ e-Toll ตรวจสอบข้อมูลบุคคล ยานพาหนะ และค่าธรรมเนียมต่าง ๆ ด้วย ระบบอิเล็กทรอนิกส์

5. โครงสร้างเบื้องต้นระบบ e-Toll



ภาพที่ 2-1 การเชื่อมโยงข้อมูลของระบบ e-Toll



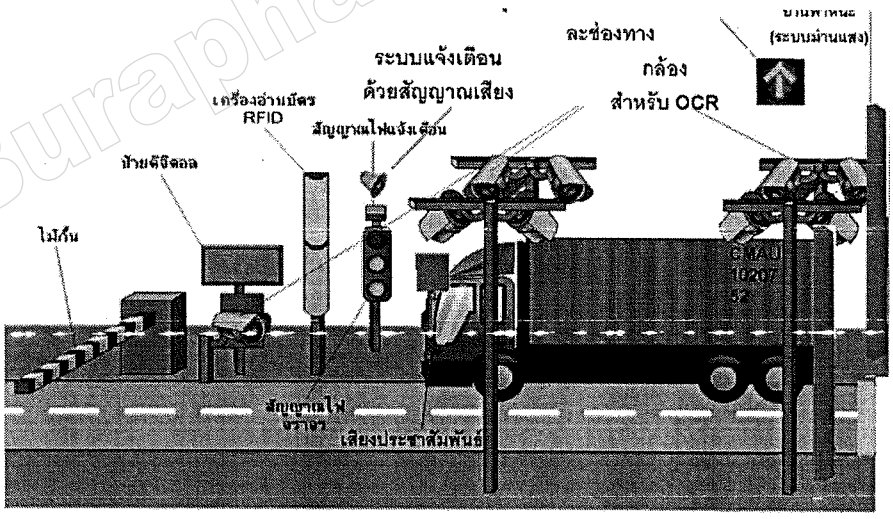
ภาพที่ 2-2 ภาพรวมการติดตั้งระบบ e-Toll

6. ระบบงานย่อยต่าง ๆ ที่ได้ดำเนิการพัฒนาร่วมกับระบบ e-Toll

6.1 ระบบงานที่ 1 งานพัฒนาระบบ Gate Automation

การใช้เทคโนโลยี และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น RFID กล้องถ่ายภาพ และวิเคราะห์ภาพหมายเลขตู้สินค้าด้วย OCR ในการอำนวยความสะดวกให้แก่บุคคล ตู้สินค้าและยานพาหนะสำหรับการผ่านเข้า - ออก โดยอัตโนมัติ โดยมีเจ้าหน้าที่ในห้องควบคุมเพื่อตรวจสอบความเรียบร้อย และติดต่อประสานงานผู้ใช้บริการผ่านท่าในกรณีที่การผ่าน เข้า - ออก มีปัญหา การผ่านเข้า - ออก ทุกครั้งจะมีระบบตรวจสอบและบันทึกภาพการผ่านท่าโดยอัตโนมัติ ซึ่งประกอบไปด้วยระบบต่อไปนี้

- ระบบ RFID เพื่อระบุเจ้าของผู้ให้บริการรถ และระบุผู้ขับขี่
- ระบบ OCR (Optical Charractor Recognition) เพื่อถอดรหัสภาพ หมายเลขตู้ Container
- ระบบกล้องวงจรเปิด (CCTV) แบบ IP Camera
- ระบบ Sensor และการแยกประเภทยานพาหนะ (Vehicle Detection System)
- ระบบไม้กั้น (Gate Barriar)
- ระบบ Alarm, Siren และ VOIP (Voce Over IP)
- ระบบป้ายต่าง ๆ การแจ้งค่าใช้บริการ (Toll Fare)

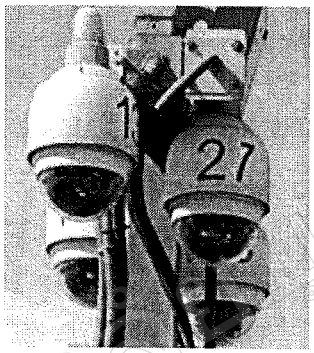


ภาพที่ 2-3 โครงสร้างประตูตรวจสอบยานพาหนะระบบ e-Toll

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

6.1.1 อุปกรณ์ติดตั้งประตูตรวจสอบยานพาหนะผ่านท่า ระบบ e-Toll

6.1.1.1 กล้องโทรทัศน์วงจรปิด กล้องโทรทัศน์วงจรปิดทำหน้าที่บันทึกภาพหมายเลขตู้สินค้า และทะเบียนรถ เพื่อตรวจสอบหมายเลขตู้สินค้าด้วยซอฟต์แวร์ระบบ Container System



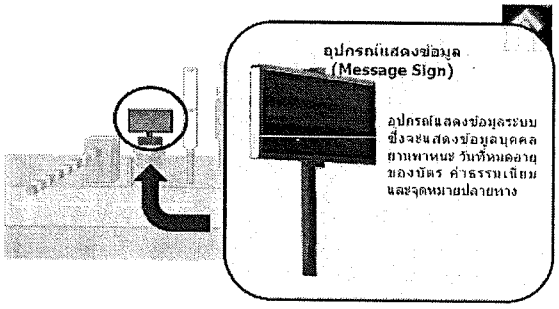
ภาพที่ 2-4 กล้องสำหรับ OCR

6.1.1.2 เครื่องอ่าน RFID พร้อม Antenna เครื่องอ่านบัตร RFID เพื่อรับข้อมูลจากบัตรของผู้ใช้บริการที่ผ่านเข้า ใช้บริการประตูตรวจสอบอัตโนมัติ (ทั้งบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตยานพาหนะและบัตรแทนเงินสดแล้ว แต่กรณี)

ภาพที่ 2-5 เครื่องอ่าน RFID

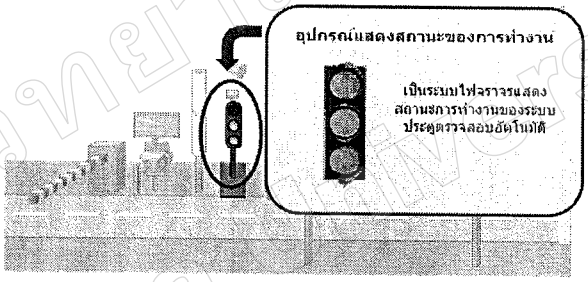
6.1.1.3 อุปกรณ์แสดงข้อมูล (Message Sign) อุปกรณ์แสดงข้อมูลระบบ ซึ่งจะแสดงข้อมูลบุคคลยานพาหนะ วันที่หมดอายุของบัตร ค่าธรรมเนียม และจุดหมายปลายทาง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



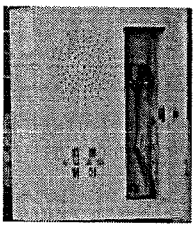
ภาพที่ 2-6 อุปกรณ์แสดงข้อมูล (Message Sign)

6.1.1.4 สัญญาณไฟแจ้งเตือน แสดงสถานะของการทำงาน เป็นระบบไฟจราจร แสดงสถานการณ์ทำงานของระบบประตูตรวจสอบอัตโนมัติ



ภาพที่ 2-7 สัญญาณไฟแจ้งเตือน

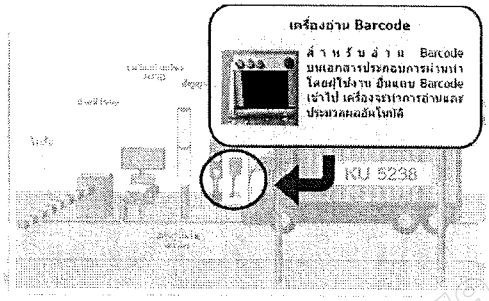
6.1.1.5 ระบบเสียงประชาสัมพันธ์ เป็นระบบสื่อสารด้วยเสียงระหว่างห้องควบคุมและช่องทาง เพื่อสื่อสารข้อมูลที่จำเป็นในการผ่านเข้า - ออก ของบุคคลและยานพาหนะของแต่ละช่องทาง



ภาพที่ 2-8 ระบบเสียงประชาสัมพันธ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

6.1.1.6 เครื่องอ่าน Barcode สำหรับอ่าน Barcode บนเอกสารประกอบการผ่านท่าโดยผู้ใช้งาน ยื่นแถบ Barcode เข้าไป เครื่องจะทำการอ่านและประมวลผลอัตโนมัติ

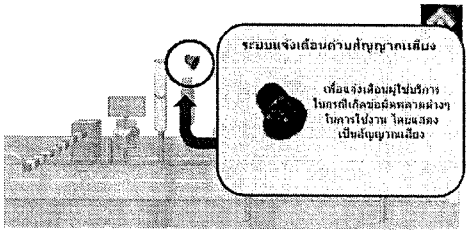


ภาพที่ 2-9 เครื่องอ่าน Barcode

6.1.1.7 ระบบแจ้งเตือนด้วยสัญญาณไฟ เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้บริการในกรณีเกิดข้อผิดพลาดต่าง ๆ ในการใช้งาน โดยแสดงเป็นสัญญาณไฟ

ภาพที่ 2-10 ระบบแจ้งเตือนด้วยสัญญาณไฟ

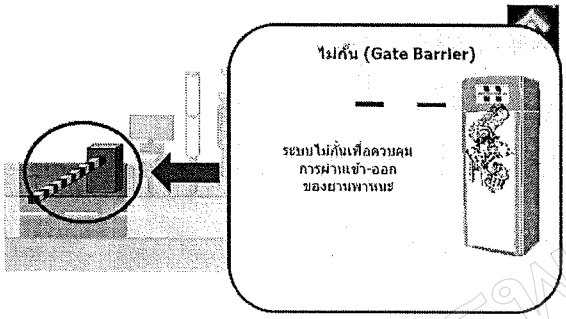
6.1.1.8 ระบบแจ้งเตือนด้วยสัญญาณเสียง เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้บริการในกรณีเกิดข้อผิดพลาดต่าง ๆ ในการโช้งาน โดยแสดงเป็นสัญญาณเสียง



ภาพที่ 2-11 ระบบแจ้งเตือนด้วยสัญญาณเสียง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

6.1.1.9 ไม้กั้น (Gate Barrier) ระบบไม้กั้นเพื่อควบคุมการผ่านเข้า - ออก ของยานพาหนะ



ภาพที่ 2-12 ไม้กั้น (Gate Barrier)

6.2 ระบบงานที่ 2 งานพัฒนาระบบห้องควบคุม และสมองกล (Control Room With Intelligence Decision Making)

6.2.1 จุดบริการด้านเอกสารและการเงิน 4 จุด

- ประตูตรวจสอบที่ 1 ห้องการเงิน - ชำระค่าธรรมเนียมกรณีอยู่ในเขตท่าเรือเกิน 24 ชม. หรือชำระค่าธรรมเนียมกรณีทำบัตรชั่วคราวสูญหาย และเติมเงินบัตรแทนเงินสด

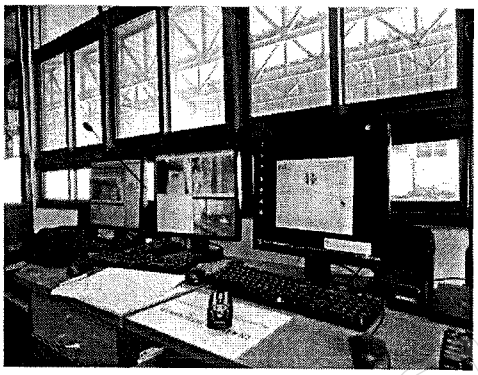
- ประตูตรวจสอบที่ 2 ห้องลงทะเบียนบุคคล - ลงทะบียนบัตรอนุญาตบุคคลถาวรและชั่วคราว ห้องลงทะเบียนยานพาหนะ และการเงิน ลงทะเบียนชัตรอนุญาตยานพาหนะถาวรและบัตรอนุญาตชั่วคราว เติมเงินบัตรแทนเงินสด

- ประตูตรวจสอบที่ 3 ห้องลงทะเบียนอนุญาตชั่วคราวและการเงิน ลงทะเบียนบัตรอนุญาตบุคคลและยานพาหนะชั่วคราว

- อาคารอำนวยการชั้น 1 ห้องการเงิน เติมเงินบัตรแทนเงินสด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

6.2.2 ระบบห้องควบคุมประจำสถานี 3 แห่ง



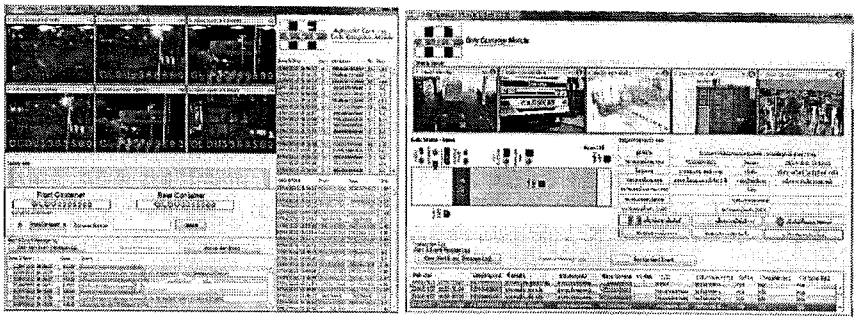
ภาพที่ 2-13 ระบบห้องควบคุมประจำสถานี

6.2.3 งานพัฒนาซอฟแวร์ระบบบริหารจัดการ Gate Operation และระบบงานทะเบียน

เป็นระบบซอฟต์แวร์สำหรับบริหารจัดการระบบการทำงานบริเวณด่านตรวจสอบต่าง ๆ ซึ่งจะครอบคลุม ระบบ RFID เพื่อระบุเจ้าของผู้ให้บริการรถ และระบุผู้ขับขี่ ระบบกล้องวงจรปิด (CCTV) แบบ IP Camera ระบบป้ายต่าง ๆ การแจ้งค่าใช้บริการ (Message Sign) ระบบ Alarm, Siren และ VOIP (Voice Over IP) ระบบไมกั้น ซึ่งงานพัฒนาซอฟแวร์ระบบบริหารจัดการ Gate Operation ประกอบไปด้วยระบบ ดังนี้

6.2.3.1 ระบบลงทะเบียนบุคคล ยานพาหนะและบัตรชำระเงินผ่านท่า

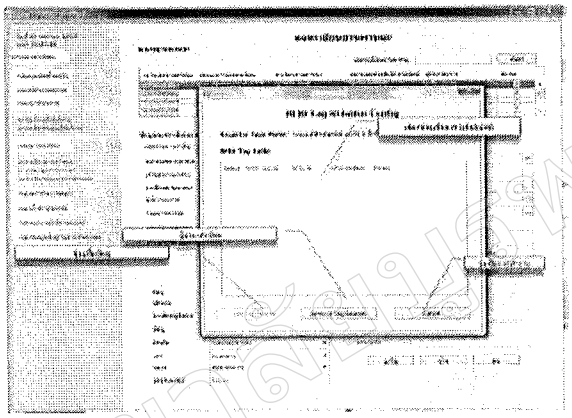
6.2.3.2 ระบบจัดการข้อมูลตู้สินค้าที่ต้องการผ่านประตูตรวจสอบขาเข้าและขาออก



ภาพที่ 2-14 ตัวอย่างหน้าจอระบบการจัดการข้อมูลตู้สินค้า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

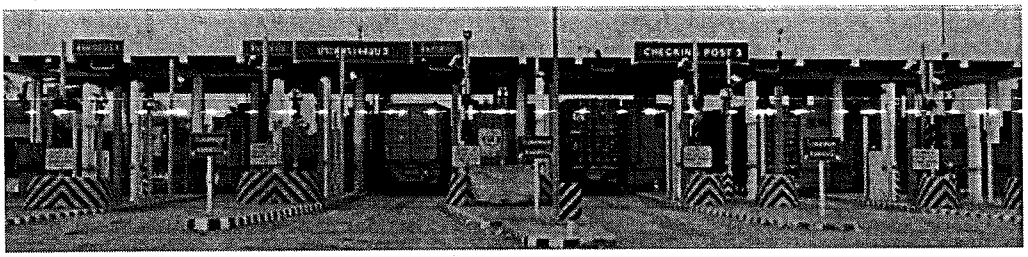
6.2.3.3 ระบบลงทะเบียน (Register Module) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกต่อเจ้าหน้าที่การท่าเรือเพื่อใช้ในการลงทะเบียนสำหรับผู้ประกอบการ ระบบจะตรวจสอบข้อมูลสำหรับผู้ประกอบการขนส่ง หรือผู้ใช้บริการ ยานพาหนะต่าง ๆ ที่เข้ามาในเขตท่าเรือรวมไปถึงอุปกรณ์ด้าน IT ต่าง ๆ ในระบบการผ่านเข้า - ออก ประตูอัตโนมัติ



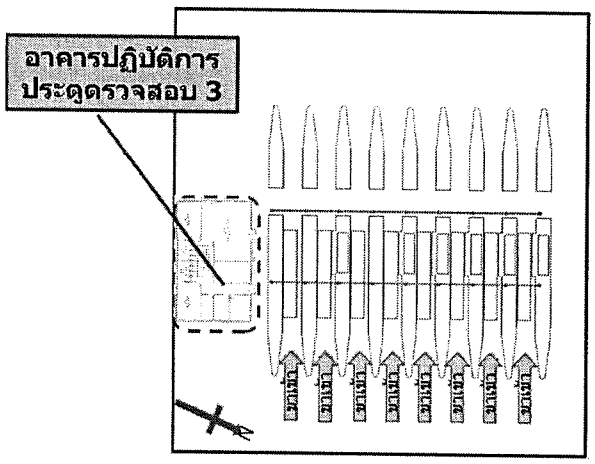
ภาพที่ 2-15 ตัวอย่างหน้าจอระบบลงทะเบียน (Register Module)

7. จุดการติดตั้งระบบ e-Toll

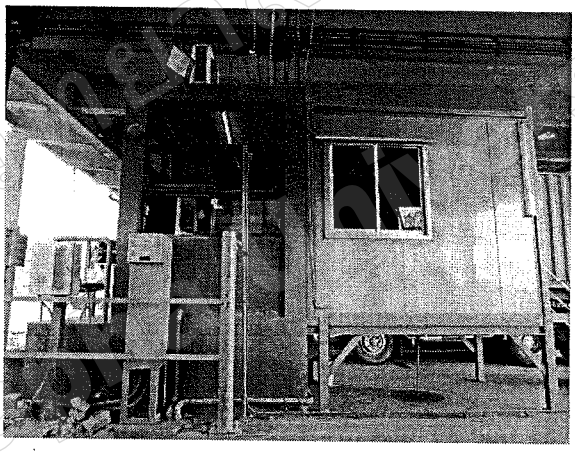
สำหรับในงานวิจัยนี้ผู้วิจัย ขอนำเสนอการติดตั้งระบบ e-Toll ที่ประตูตรวจสอบยานพาหนะผ่านท่า ประตูตรวจสอบที่ 3 (ขาเข้า) เท่านั้น ประกอบไปด้วย หน่วยให้บริการ 8 หน่วย ดังนี้ หน่วยให้บริการ C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 และ C8 ให้บริการตรวจสอบยานพาหนะก่อนเข้ามาขนส่งสินค้าภายในท่าเรือแหลมฉบัง ให้บริการวันจันทร์ ถึงวันอาทิตย์ ตลอด 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 2-16 ประตูตรวจสอบยานพาหนะ ประตูที่ 3



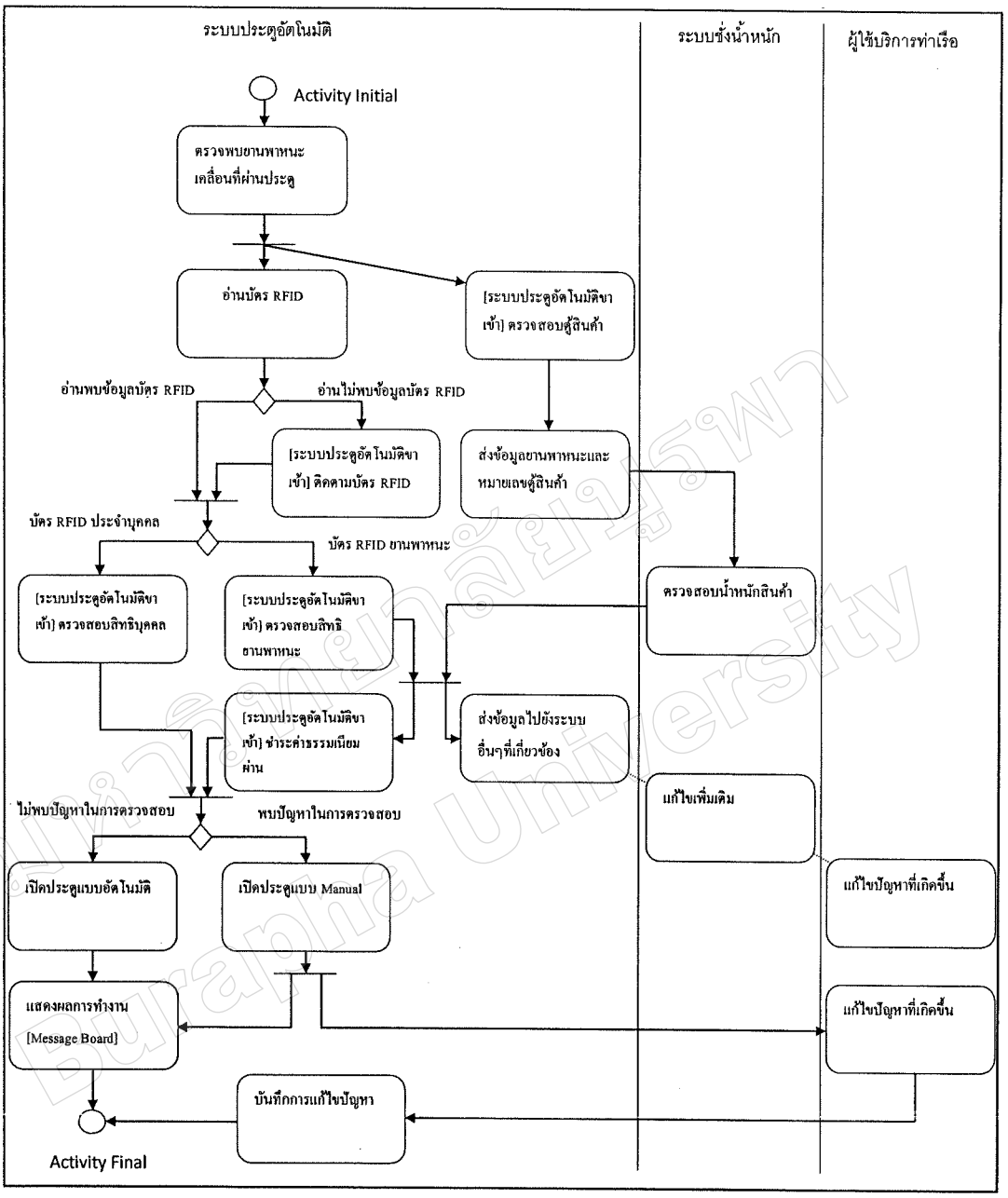
ภาพที่ 2-17 แผนผังห้องควบคุมระบบ e-Toll ประตูตรวจสอบยานพาหนะที่ 3



ภาพที่ 2-18 ลักษณะหน่วยให้บริการประตูตรวจสอบยานพาหนะ

8. การทำงานของระบบ e-Toll

กระบวนการทำงานของประตูตรวจสอบยานพาหนะผ่านท่า เข้า - ออก ท่าเรือแหลมฉบัง แบบระบบ e-Toll มีขั้นตอนการบริการ ดังภาพที่ 2-19



ภาพที่ 2-19 การทำงานของประตูตรวจสอบยานพาหนะผ่านท่า แบบระบบ e-Toll

โครงการติดตั้งระบบจัดเก็บค่ายานพาหนะผ่านท่า (e-Toll Collection System ของท่าเรือแหลมฉบัง สำหรับผู้ใช้บริการ

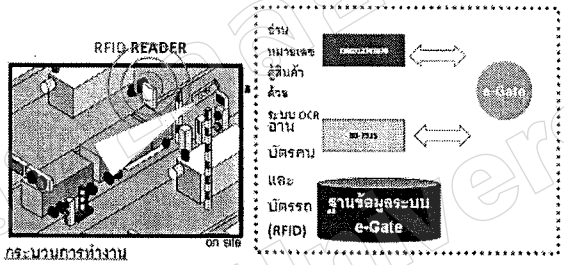
1. การผ่านเข้าออกท่าเรือแหลมฉบัง

1.1 บันทึกภาพยานพาหนะและคนขับ ในการเข้าออกโดยระบบกล้องถ่ายภาพ CCTV

1.2 อ่านหมายเลขตู้สินค้า ด้วยระบบ OCR (Optical Character Recognition - ถ่ายภาพและวิเคราะห์ภาพ)

1.3 อ่านทะเบียนรถ จากบัตรอนุญาตรถ

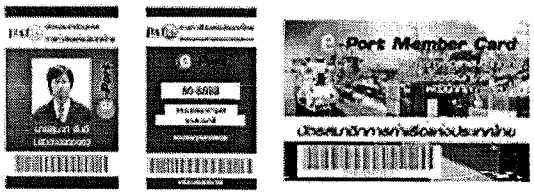
1.4 ระบบ e-Gate บันทึกข้อมูลตู้สินค้า ทะเบียนรถ เวลา และข้อมูลผ่านเข้า - ออกท่าต่าง ๆ



ภาพที่ 2-20 กระบวนการทำงานการผ่าน เข้า - ออก ท่าเรือแหลมฉบัง

2. เงื่อนไข การเข้า - ออก ท่าเรือ และการชำระเงินค่าผ่านท่า

ผู้ประกอบการขนส่งสินค้าผ่าน เข้า - ออก ท่าเรือ ต้องมีบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตรถ และบัตรแทนเงินสด เพื่อใช้บริการผ่าน เข้า - ออก ท่าเรือรวมถึงการชำระเงินอัตโนมัติ โดยระบบจะอ่านข้อมูลจากบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตรถ และบัตรแทนเงินสด โดยอัตโนมัติ ระบบจะบันทึกเวลา เข้า - ออก ตรวจสอบค่าผ่านท่า และค่าภาระหรือสิทธิ์เข้าออกกับระบบ TLC



ภาพที่ 2-21 ตัวอย่างบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตรถ และบัตรแทนเงินสด

2.2 เงื่อนไขการใช้บัตร

2.2.1 ผู้ใช้บริการที่ชำระเงินผ่าน เข้า - ออก ท่าเรือแหลมฉบัง

2.2.2 ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถยื่นขอมีบัตรเติมเงินอิเล็กทรอนิกส์ แทนเงินสดได้ไม่จำกัดจำนวน และสามารถเพิ่มจำนวนบัตรเติมเงินอิเล็กทรอนิกส์แทนเงินสดได้ตามต้องการ

2.2.3 บัตรแทนเงินสดไม่ยึดติดกับรถ สามารถนำไปใช้กับรถคันใดก็ได้ (บัตร 1 ใบสามารถใช้ได้กับรถหลายคัน)

2.2.4 เมื่อผู้ประกอบการนำบัตรเติมเงินมาเติมเงิน การท่าเรือฯ จะออกใบเสร็จรับเงิน ใบกำกับภาษี ให้ในนามของผู้ใช้บริการที่มายื่นขอทำบัตรแทนเงินสดใบนั้น

2.3 ค่าธรรมเนียมการออกบัตร

ตารางที่ 2-1 ค่าธรรมเนียมการออกบัตรแทนเงินสด

เงื่อนไข	บาท (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
การขอมีบัตรแทนเงินสด (อายุบัตรตลอดการใช้งาน)	200 บาท/ บัตร
การขอมีบัตรที่ชำรุด หรือสูญหาย	200 บาท/ บัตร
การเติมเงินขั้นต่ำครั้งแรกไม่น้อยกว่า	1,000 บาท/ บัตร
การเติมเงินขั้นต่ำครั้งต่อไปไม่น้อยกว่าครั้งละ	1,000 บาท/ ราย
ต้องเติมเงินเมื่อบัตรเติมเงินมีจำนวนกว่า	1,000 บาท/ ราย

การขอยกเลิกบัตรเงินสดทั้งหมด สามารถขอรับเงินคงเหลือคืนได้ หรือในกรณีบัตรแทนเงินสดไม่มีการเคลื่อนไหวทางบัญชีเกิน 1 ปี การท่าเรือแห่งประเทศไทยจะทำการปิดบัญชีแทนเงินสด และแจ้งให้เจ้าของบัตรแทนเงินสดมารับเงินคงเหลือคืน

ตารางที่ 2-2 ค่าธรรมเนียมการออกบัตรอนุญาตอนุญาตบุคคล และบัตรอนุญาตรถ แบบถาวร 2 ปี

ประเภทบัตร	ลงทะเบียน ครั้งแรก (ปีที่1-2)	ต่ออายุ ครั้งที่ 1 (ปีที่ 3-4)	ต่ออายุ ครั้งที่ 2 (ปีที่ 5-6)
บุคคล	214 บาท	107 บาท	107 บาท
ยานพาหนะ	214 บาท	107 บาท	107 บาท

ตารางที่ 2-3 ค่าธรรมเนียมการออกบัตรอนุญาตชั่วคราวเที่ยวเดียว

ประเภทบัตร	ค่าธรรมเนียมเข้า/ ออก ต่อครั้ง
บุคคลชั่วคราว	ไม่คิดค่าธรรมเนียม
ยานพาหนะชั่วคราว	107 บาท สำหรับรถบรรทุกและรถเครื่องมือทุ่นแรง

บัตรอนุญาตบุคคล และบัตรอนุญาตรถ สำหรับเรือโดยสารท่องเที่ยวหรือเรืออื่นที่ไม่ใช่เรือสินค้าเสียธรรมเนียม ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ค่าธรรมเนียมการออกบัตรอนุญาต

ประเภทบัตร	ค่าธรรมเนียมเข้า/ ออก ต่อครั้ง
บุคคล	214 บาท
รถยนต์นั่ง ไม่เกิน 7 ที่นั่ง	214 บาท
รถตู้ไม่เกิน 15 ที่นั่ง	214 บาท
รถโดยสาร	428 บาท

บัตรอนุญาตทุกประเภทชำรุดหรือสูญหาย ต้องทำบัตรทดแทนบัตรเดิมค่าธรรมเนียมบัตรละ 214 บาท

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.4 ค่าธรรมเนียมในการทำบัตรอนุญาตแบบระบบปัจจุบันและระบบ e-Toll

ตารางที่ 2-5 เปรียบเทียบการทำบัตรอนุญาตแบบระบบปัจจุบันและระบบ e-Toll

ประเภทบัตร	ระบบปัจจุบัน		ระบบ e- Toll
บัตรอนุญาตบุคคล	แบบอายุ 1 ปี: 100 บาท		ครั้งแรก (ปีที่ 1-2): 214 บาท
	แบบอายุ 2 ปี: 200 บาท		ปีที่ 3-4: 107 บาท
			ปีที่ 5-6: 107 บาท
	รวม 6 ปี: 600 บาท		รวม 6 ปี: 434 บาท
บัตรอนุญาต ยานพาหนะ	แบบอายุ 1 ปี: 100 บาท		ครั้งแรก (ปีที่ 1-2): 214 บาท
	แบบอายุ 2 ปี: 200 บาท		ปีที่ 3-4: 107 บาท
			ปีที่ 5-6: 107 บาท
	รวม 6 ปี: 600 บาท		รวม 6 ปี: 434 บาท
บัตรอนุญาต ยานพาหนะ กรณีเป็นรถขนส่ง คิดค่าธรรมเนียม แยกประเภทตาม ยานพาหนะ	4-6 ล้อ ไม่รับจ้าง 1 ปี	300 บาท	ไม่แยกตามประเภทรถ คิดค่าธรรมเนียมเดียว กับยานพาหนะธรรมดา
	4-6 ล้อ รับจ้าง 1 ปี	600 บาท	
	6-8 ล้อ ไม่รับจ้าง 1 ปี	400 บาท	
	6-8 ล้อ รับจ้าง 1 ปี	800 บาท	
	เกิน10 ล้อ ไม่รับจ้าง 1 ปี	500 บาท	
	เกิน10 ล้อ รับจ้าง 1 ปี	1,000 บาท	
	รถหัวลาก ไม่รับจ้าง 1 ปี	800 บาท	
	รถหัวลาก รับจ้าง 1 ปี	1,200 บาท	

2.5 รายการที่เรียกเก็บผ่านบัตรแทนเงินสด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-6 ค่าธรรมเนียมผ่าท่า (บรรทุกเที่ยวเดียว)

ประเภทรถ	ค่าธรรมเนียมผ่านท่า บาท/ คัน/ เที่ยว (รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
รถยนต์บรรทุกไม่เกิน 10 ล้อ	35
รถยนต์หัวลาก หรือรถยนต์หัวลากรถพ่วงพร้อมรถพ่วง	100
รถยก หรือรถยกตู้สินค้า	110
รถปั่นจั่นทุกขนาด	330

ตารางที่ 2-7 ค่าภาระยกขนสินค้าขาออก (Export)

ประเภทรถ	ค่าธรรมเนียมผ่านท่า บาท/ คัน/ เที่ยว (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
ค่าธรรมเนียมในเขตศุลกากร เกิน 24 ชั่วโมง	
รถยนต์บรรทุกไม่เกิน 10 ล้อ	200
รถยนต์หัวลาก หรือรถยนต์หัวลากรถพ่วงพร้อมรถพ่วง	300
รถยก หรือรถยกตู้สินค้า	200
รถปั่นจั่นทุกขนาด	500
ค่าบริการชั่งตู้สินค้า	
ตู้สินค้าผ่านเข้า	30
ตู้สินค้าผ่านออก	30

2.6 ตำแหน่งติดตั้งบัตรอนุญาต

ภาพที่ 2-22 ตำแหน่งติดตั้งบัตรอนุญาตบุคคล และบัตรอนุญาตรถส่วนบุคคล

ภาพที่ 2-23 ตำแหน่งติดตั้งบัตรอนุญาตบุคคล และบัตรอนุญาตรถบรรทุก

2.7 การคืนบัตรชั่วคราวเทียวเดียวที่ช่องทางออก

คืนบัตรชั่วคราวเทียวเดียว โดยสอดบัตรเข้ากล่องรับบัตร ซึ่งติดตั้งไว้ก่อนไม้กั้นทาง ในช่องทางขาออกจากท่าเรือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ 2-24 การคืนบัตรชั่วคราวเที่ยวเดียว

3. การใช้บริการท่าเรือแหลมฉบัง

3.1 กรณีมารับสินค้า ผู้ใช้บริการที่เข้ามารับสินค้า จะถูกจัดเก็บค่าผ่านท่า โดยต้องแสดงบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตยานพาหนะ บัตรแทนเงินสด กรณีรถวิ่งเข้ารับสินค้าขาเข้า (Import) จะตรวจสอบบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตยานพาหนะ และเก็บค่าผ่านท่าผ่านบัตรแทนเงินสด กรณีวิ่งออกจากท่าเรือจะตรวจสอบจากทะเบียนรถ จากบัตรอนุญาตยานพาหนะ ซึ่งได้รับการอนุญาตแล้วเท่านั้น หากไม่มีบัตรดังกล่าว จะต้องติดต่อเจ้าหน้าที่ ณ จุดบริการเพื่อขอทำบัตรอนุญาตชั่วคราว และชำระค่าธรรมเนียมต่าง ๆ ให้เสร็จสิ้น ณ ห้องทำบัตรชั่วคราว

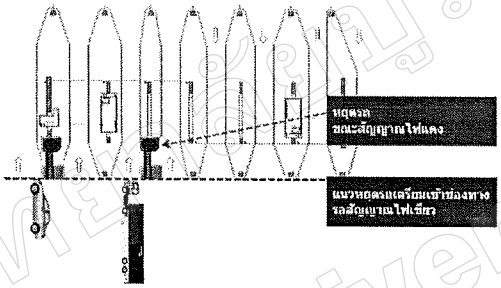
3.2 กรณีมาส่งสินค้า ผู้ใช้บริการที่เข้ามาส่งสินค้า จะถูกจัดเก็บค่าผ่านท่า โดยต้องแสดงบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตยานพาหนะ บัตรแทนเงินสด กรณีรถวิ่งเข้ามาส่งสินค้าขาออก (Export) จะตรวจสอบบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตยานพาหนะ และเก็บค่าผ่านท่าผ่านบัตรแทนเงินสด กรณีวิ่งออกจากท่าเรือจะตรวจสอบจากทะเบียนรถ จากบัตรอนุญาตยานพาหนะ ซึ่งได้รับการอนุญาตแล้วเท่านั้น หากไม่มีบัตรดังกล่าว จะต้องติดต่อเจ้าหน้าที่ ณ จุดบริการเพื่อขอทำบัตรอนุญาตชั่วคราว และชำระค่าธรรมเนียมต่าง ๆ ให้เสร็จสิ้น ณ ห้องทำบัตรชั่วคราว

3.3 กรณีมารับตู้สินค้า ผู้ใช้บริการที่เข้ามารับตู้สินค้า จะถูกจัดเก็บค่าผ่านท่าและค่าภาระ โดยต้องแสดงบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตยานพาหนะ บัตรแทนเงินสด กรณีรถวิ่งเข้ารับตู้สินค้าขาเข้า (Import) จะตรวจสอบบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตยานพาหนะ และเก็บค่าผ่านท่าผ่านบัตรแทนเงินสด กรณีรถตู้สินค้าวิ่งออกจากท่าเรือ ระบบจะอ่านจากหมายเลขตู้สินค้า ซึ่งได้รับการอนุญาตเท่านั้น และเก็บค่าชั่งตู้สินค้าผ่านบัตรแทนเงินสด หากไม่มีบัตรดังกล่าว จะต้องติดต่อเจ้าหน้าที่ ณ จุดบริการเพื่อขอทำบัตรอนุญาตชั่วคราว และชำระค่าธรรมเนียมต่าง ๆ ให้ เสร็จสิ้น ณ ห้องทำบัตรชั่วคราว

3.4 กรณีมาส่งตู้สินค้า ผู้ใช้บริการที่เข้ามาส่งตู้สินค้า จะถูกจัดเก็บค่าผ่านท่าและค่าภาระ โดยต้องแสดงบัตรอนุญาตบุคคล บัตรอนุญาตยานพาหนะ บัตรแทนเงินสด กรณีรถวิ่งเข้าส่งตู้สินค้า ขาออก (Export) ระบบจะอ่านจากหมายเลขตู้สินค้า และเก็บค่าผ่านท่า และเก็บค่าชั่งตู้สินค้าผ่านบัตรแทนเงินสด กรณีรถเปล่าวิ่งออก จะตรวจสอบจากทะเบียนรถซึ่งได้จากบัตรอนุญาตยานพาหนะซึ่งได้รับอนุญาตแล้วเท่านั้น หากไม่มีบัตรดังกล่าว จะต้องติดต่อเจ้าหน้าที่ ณ จุดบริการเพื่อขอทำบัตรอนุญาตชั่วคราว และชำระค่าธรรมเนียมต่าง ๆ ให้เสร็จสิ้น ณ ห้องทำบัตรชั่วคราว

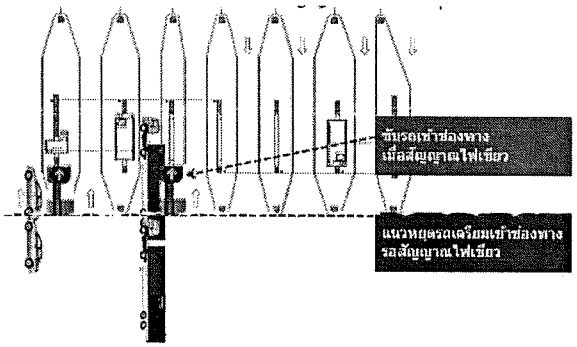
4. การปฏิบัติเมื่อขับรถผ่านเข้าหน่วยให้บริการระบบ e-Toll

4.1. หยุดรถก่อนทางเข้าช่องทาง



ภาพที่ 2-25 ขั้นตอนที่ 1 การปฏิบัติเมื่อขับรถเข้า หน่วยให้บริการระบบ e-Toll

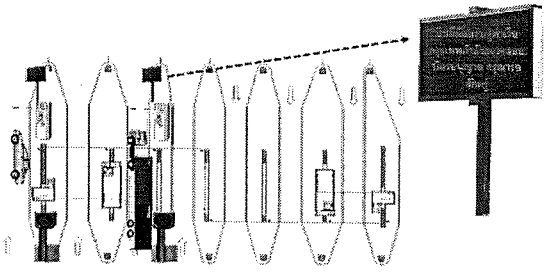
4.2. ขับรถเข้าช่องทางเมื่อสัญญาณไฟเขียว



ภาพที่ 2-26 ขั้นตอนที่ 2 การปฏิบัติเมื่อขับรถเข้า หน่วยให้บริการระบบ e-Toll

4.3. อ่านป้ายข้อความบริเวณไม้กั้นช่องทาง แสดงข้อความ “ยินดีต้อนรับสู่ท่าเรือแหลมฉบังกำลังตรวจสอบบัตรอนุญาต กรุณารอสักครู่” หยุดรถรอระบบอัตโนมัติทำงาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



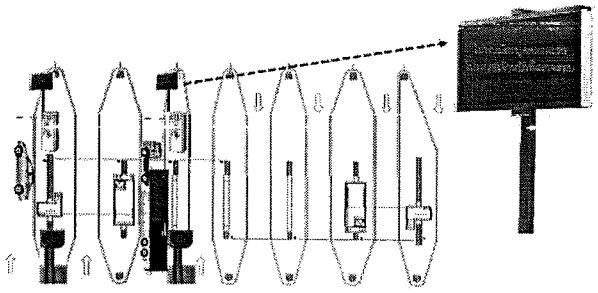
ภาพที่ 2-27 ขั้นตอนที่ 3 การปฏิบัติเมื่อขับรถเข้า หน่วยให้บริการระบบ e-Toll

4.4 อ่านป้ายข้อความบริเวณไม้กั้นช่องทาง ข้อความแสดง “อนุญาตให้ผ่าน 77 111” รอไม้กั้นยกขั้น และขับรถผ่านได้

4.5 ในกรณีที่เป็นบัตรชั่วคราวเทียวเดียว อ่านป้ายข้อความบริเวณไม้กั้นช่องทาง ข้อความแสดง “ขอบคุณ กำลังตรวจสอบบัตรอนุญาต กรุณารอสักครู่” พร้อมกับสอดคืนบัตร หยุดรอระบบอัตโนมัติทำงาน และอ่านป้ายข้อความบริเวณไม้กั้นช่องทาง ข้อความแสดง “อนุญาตให้ผ่าน 77 5555” รอไม้กั้นยกขั้น และขับรถผ่านได้

5. การปฏิบัติเมื่อขับรถเข้า หน่วยให้บริการระบบ e-Toll กรณีระบบตรวจสอบบัตรบุคคลและบัตรรถได้ไม่สำเร็จ

5.1 อ่านป้ายข้อความบริเวณไมกั้นช่องทาง ข้อความแสดง “ไม่พบบัตรบุคคลและรถ โปรดรอเจ้าหน้าที่ตรวจสอบ” และรอเจ้าหน้าที่ตรวจสอบและปฏิบัติตามที่เจ้าหน้าที่แจ้ง



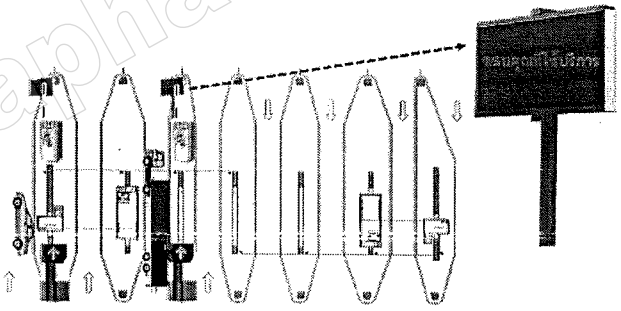
ภาพที่ 2-28 ขั้นตอนที่ 1 การปฏิบัติเมื่อขับรถเข้า หน่วยให้บริการระบบ e-Toll กรณีระบบตรวจสอบบัตรบุคคลและบัตรรถได้ไม่สำเร็จ

5.2 ขณะรอเจ้าหน้าที่ตรวจสอบ ผู้ขับขี่ช่วยตรวจความเรียบร้อยของบัตรบุคคล หรือบัตรรถที่ระบบไม่พบ ว่าติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่ กรณีรถติดฟิล์มทึบแสงมากหรือติดฟิล์มฉาบปรอท ให้เปิดกระจกรถด้านคนขับลง และยืนบัตรทั้งสองใบออกนอกตัวรถ

5.3 ขณะรอเจ้าหน้าที่ตรวจสอบ เจ้าหน้าที่ในห้องควบคุมอาจสนทนาผ่านระบบเสียงประชาสัมพันธ์ผู้ขับขี่ยกไมโครโฟนเพื่อสนทนากับเจ้าหน้าที่

ภาพที่ 2-29 ไมโครโฟนสำหรับสนทนากับเจ้าหน้าที่

5.4 ในขณะที่เจ้าหน้าที่แก้ไขปัญหาเสร็จเรียบร้อย ข้อความแสดง “ขอบคุณที่ใช้บริการ” ไม่กั้นเปิด ขับรถออกจากช่องทางได้



ภาพที่ 2-30 ขั้นตอนที่ 4 การปฏิบัติเมื่อขับรถเข้า หน่วยให้บริการระบบ e-Toll กรณีระบบตรวจสอบบัตรบุคคลและบัตรรถได้ไม่สำเร็จ

5.5 ในกรณีที่เจ้าหน้าที่แก้ไขปัญหาไม่สำเร็จ ข้อความแสดง “กรุณานำยานพาหนะออกนอกช่องทางและดำเนินการตามคำแนะนำของเจ้าหน้าที่” ไม้กั้นเปิดออก ขับรถออกจากช่องทางได้

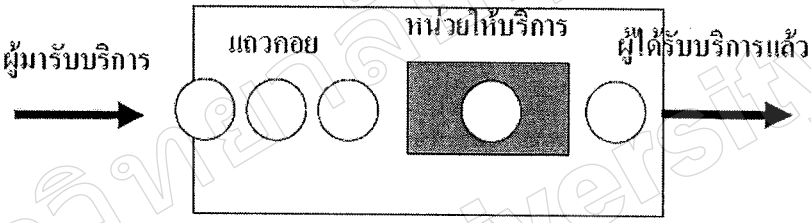
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทฤษฎีเกี่ยวกับการศึกษาคุณลักษณะแถวคอย (Queuing System)

ทฤษฎีแถวคอยจะมีแบบจำลองเชิงปริมาณที่มีลักษณะแตกต่างกันหลายแบบขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะของผู้เข้ามารับบริการ ลักษณะของหน่วยบริการ และลักษณะของแถวคอย นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น พฤติกรรมของผู้ที่เข้ามารับบริการที่อยู่ในระบบแถวคอย เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาแถวคอย ผู้ศึกษาจะต้องแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างระบบแถวคอยให้มีความชัดเจน เพื่อที่จะสามารถทำความเข้าใจแถวคอยนั้น ๆ ได้อย่างถูกต้อง

องค์ประกอบพื้นฐานในระบบแถวคอย

ในระบบแถวคอยโดยทั่วไปนั้น มีลักษณะหรือโครงสร้างของระบบที่สำคัญเหมือน ๆ กัน เช่นลูกค้าที่มารับบริการ รูปแบบของแถวคอย และสถานีบริการ ดังแสดงภาพที่ 2-31



ภาพที่ 2-31 โครงสร้างระบบแถวคอย

ในการพิจารณาถึงองค์ประกอบพื้นฐานของระบบแถวคอยนั้น นอกเหนือจากโครงสร้างโดยทั่วไปแล้ว อาจจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นที่มีผลกระทบต่อระบบการรอคอยดังนี้

การมาของลูกค้า

โดยปกติแล้วการมาของลูกค้าเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน และเป็นการยากที่จะบอกว่าลูกค้าจะมาถึงเวลาใด และมีจำนวนเท่าใด ดังนั้นการกล่าวถึงการมาของลูกค้าจะเป็นแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนลูกค้าที่เข้ามารับบริการในช่วงเวลาหนึ่ง หรือการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาระหว่างการมาของลูกค้า

ระยะเวลาการให้บริการ

ระยะเวลาในการให้บริการกับลูกค้าก็เป็นสิ่งที่ไม่แน่นอนอีกเช่นกัน เพราะโดยทั่วไปนั้นลูกค้าแต่ละรายจะใช้เวลาในการรับบริการไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ในรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาในการให้บริการ หรือการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนลูกค้าที่เสร็จจากการรับบริการในช่วงเวลาหนึ่ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สถานีบริการ

คำว่า สถานีบริการ โดยทั่วไปนั้นประกอบไปด้วยรูปแบบของแถวคอย และจำนวนผู้ให้บริการ ดังนั้นการจัดการทางด้านสถานีบริการจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะจะมีผลกระทบต่อการรอคอยของลูกค้าโดยตรง การจัดรูปแบบของแถวคอยให้เหมาะสม อาจขึ้นอยู่กับ สถานที่ให้บริการประเภทของลูกค้า หรือสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ส่วนการกำหนดจำนวนผู้ให้บริการให้เหมาะสมอาจขึ้นอยู่กับ อัตราการมาของลูกค้า ระยะเวลาในการให้บริการลูกค้า หรือแม้กระทั่งรูปแบบของแถวคอย

เกณฑ์การให้บริการ

ในระบบของแถวคอย จำเป็นต้องมีเกณฑ์ในการให้บริการกับลูกค้า ยกตัวอย่างเช่น มาก่อนได้รับบริการก่อน (First Come First Served) หรือ มาทีหลังได้รับบริการก่อน (Last Come First Served) หรือการให้บริการอย่างสุ่ม (Service in Random Order) หรือการให้บริการเป็นกรณีพิเศษกับลูกค้าที่มีสิทธิพิเศษ (Priority) เป็นต้น แต่ทั้งนี้การให้บริการด้วยเกณฑ์ใดนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และองค์ประกอบอีกหลาย ๆ อย่างของระบบ

จำนวนลูกค้าที่มีได้ในระบบแถวคอย

ในบางระบบของแถวคอย จำนวนลูกค้าที่มีได้ในระบบ (ในที่นี้หมายถึงจำนวนลูกค้าที่อยู่ในแถวคอย กับจำนวนลูกค้าที่กำลังรับบริการ) อาจมีจำนวนจำกัด หรือไม่จำกัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของสถานที่ หรือข้อจำกัดทางด้านอื่น ๆ

ประชากรหรือแหล่งลูกค้า

ประชากรหรือแหล่งลูกค้า นับเป็นองค์ประกอบเบื้องต้นของระบบแถวคอย ซึ่งมีทั้งที่เป็นแบบมีจำนวนจำกัด และไม่จำกัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละระบบแถวคอยว่าเป็นแบบใด

ลักษณะของลูกค้า

ในข้อนี้หมายถึงลักษณะนิสัยของลูกค้าในการมารับบริการ เช่นลูกค้าที่ชอบมาเป็นกลุ่ม หรือลูกค้าที่เมื่อมาถึงระบบแถวคอย และเห็นว่าแถวคอยยาวเกินไปจึงไม่เข้าแถวคอย (Balking) หรือลูกค้าอาจเข้าแถวคอยเป็นระยะเวลาหนึ่ง แล้วไม่อยากรอต่อไปจึงออกจากแถวคอย (Reneging) หรือลูกค้าเข้าแถวคอยแถวหนึ่ง แล้วเห็นว่าแถวคอยอีกแถวหนึ่งสั้นกว่า จึงเปลี่ยนแถวคอย (Jockeying) เป็นต้น ลักษณะดังกล่าวทำให้การวิเคราะห์ตัวแบบระบบแถวคอยมีความยุ่งยาก และซับซ้อน ซึ่งในที่นี้จะไม่นำมาพิจารณาหรือวิเคราะห์ในตัวระบบแถวคอย

ลักษณะของระบบแถวคอย

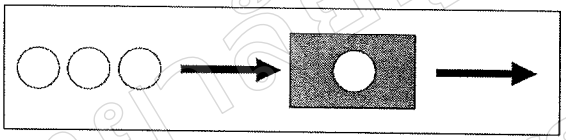
เราสามารถพิจารณาลักษณะของแถวคอยได้ 2 แบบ คือ ระเบียบการให้บริการ (Queue Discipline) และผังการให้บริการ (Physical Layouts)

ระเบียบการให้บริการ หมายถึง กฎเกณฑ์ที่ใช้ในการให้บริการว่าจะให้บริการแก่ผู้มารับบริการรายใดก่อน เช่น มาก่อนรับบริการก่อน (First Come First Serve, FCFS) มาทีหลังรับบริการก่อน (Last Come First Serve, LCFS) และผู้มารับบริการที่มีความจำเป็นได้รับบริการก่อน

ผังการให้บริการ หมายถึง จำนวนหน่วยที่ให้บริการมีจำนวนเท่าไร และขั้นตอนการให้บริการมีกี่ขั้นตอน ซึ่งเราสามารถที่จะสรุปผังการให้บริการ

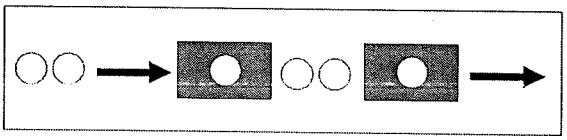
รูปแบบของระบบแถวคอย

ระบบแถวคอยแบบช่องทางเดียว - ขั้นตอนเดียว (Single - Channel - Single - Phase System) คือ ระบบแถวคอยที่มีหน่วยบริการหน่วยเดียวและมีขั้นตอนเดียว เมื่อลูกค้ารับบริการเสร็จแล้วก็จะออกจากระบบไป



ภาพที่ 2-32 ระบบแถวคอยแบบช่องทางเดียว - ขั้นตอนเดียว

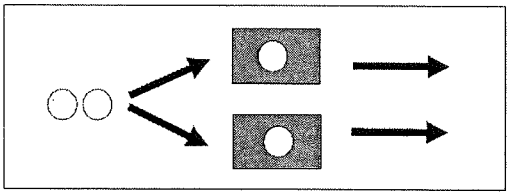
ระบบแถวคอยแบบช่องทางเดียว - หลายขั้นตอน (Single - Channel - Multiple - Phase System) คือ ระบบแถวคอยที่ขั้นตอนการบริการหลายขั้นตอน (มากกว่า1ขั้นตอน) และแต่ละขั้นตอนมีหน่วยบริการเดียว



ภาพที่ 2-33 ระบบแถวคอยแบบช่องทางเดียว - หลายขั้นตอน

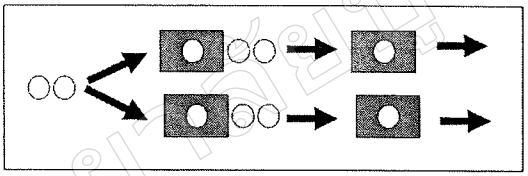
ระบบแถวคอยแบบหลายช่องทาง - ขั้นตอนเดียว (Multiple - Channel - Single - Phase System) คือ ระบบแถวคอยที่มีขั้นตอนการบริการขั้นตอนเดียว แต่มีหลายหน่วยบริการ (มากกว่า 1 หน่วย)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-34 ระบบแถวคอยแบบหลายช่องทาง - ขั้นตอนเดียว

ระบบแถวคอยแบบหลายช่องทาง - หลายขั้นตอน (Multiple - Channel - Multiple - Phase System) คือ ระบบแถวคอยที่มีขั้นตอนการบริการหลายขั้นตอน และแต่ขั้นตอนมีหลายหน่วยบริการ



ภาพที่ 2-35 ระบบแถวคอยแบบหลายช่องทาง - หลายขั้นตอน

ลักษณะของผู้มารับบริการ

ผู้มารับบริการที่เข้าสู่ระบบจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งเราสามารถพิจารณาในประเด็นต่อไปนี้

จำนวนประชากร (Population) หมายถึง ผู้ที่มีโอกาสเข้ามาใช้บริการในระบบแถวคอย ซึ่งเราจะพบว่าบางระบบจำนวนประชากรมีโอกาสที่จะเข้าสู่ระบบเป็นจำนวนมาก เช่น ธนาคาร ปั๊มน้ำมัน โรงพยาบาล เป็นต้น เราจะเรียกว่า จำนวนประชากรไม่จำกัด บางระบบจำนวนประชากรที่มีโอกาสเข้าสู่ระบบมีจำนวนน้อย เช่น จำนวนเครื่องจักรของโรงงานที่ต้องซ่อมมีจำนวน 10 เครื่อง เป็นต้น เราจะเรียกว่า จำนวนประชากรจำกัด ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบแถวคอยต้องสามารถระบุถึงจำนวนประชากรได้ว่ามีลักษณะจำกัดหรือไม่จำกัด

ลักษณะการเข้ามารับบริการ (Arrival Characteristics) ในการเข้ามารับบริการ เราสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะที่สำคัญ คือ

- การเข้ามารับบริการแบบคงที่ หมายถึง การเข้ามารับบริการในอัตราที่สม่ำเสมอ เช่น ในระบบสายการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นต้น

- การเข้ามารับบริการแบบสุ่ม หมายถึง การเข้ามารับบริการมีลักษณะที่ไม่แน่นอนไม่สม่ำเสมอ ไม่สามารถทราบล่วงหน้าและการเข้ามารับบริการในแต่ละรายจะมีความเป็นอิสระต่อกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โดยปกติแล้วลักษณะการเข้ามารับบริการส่วนใหญ่จะเป็นแบบสุ่ม โดยที่อัตราการเข้ามารับบริการจะมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

ในการเก็บข้อมูลการเข้ามารับบริการของลูกค้าทำได้ 2 ลักษณะ คือ

- อัตราการเข้ารับบริการ (Arrival Rate) หมายถึง ลูกค้าเข้ามารับบริการโดยเฉลี่ยกี่คนในหนึ่งหน่วยเวลา

- เวลาระหว่างการเข้ารับบริการ (Arrival Time Interval) หมายถึง เวลาห่างโดยเฉลี่ยระหว่างลูกค้าแต่ละคน

ระบบแถวคอยส่วนใหญ่จะมีลักษณะการมารับบริการแบบสุ่ม โดยที่อัตราการเข้ามารับบริการมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง ซึ่งสามารถคำนวณความน่าจะเป็นที่จะมีลูกค้าเข้ามา x รายได้ดังนี้

$$P(x) = x = \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^n}{n!} \qquad x = 1, 2, 3, \ldots n$$

x = จำนวนลูกค้าต่อหน่วยเวลา

λ = อัตราการเข้ามารับบริการ

e = 2.7183

พฤติกรรมของผู้มารับบริการ (Behavior) บางระบบผู้เข้ามารับบริการจะมีความอดทนในการรอเพื่อที่จะได้รับบริการ ในขณะที่บางระบบผู้เข้ามารับบริการอาจจะไม่รอรับบริการ หรืออาจเปลี่ยนไปใช้หน่วยบริการอื่นแทน บางกรณีผู้มารับบริการมีระดับความสำคัญที่สูงเข้ามารับบริการ ซึ่งอาจใช้สิทธิพิเศษที่จะไม่เข้าสู่ระบบแถวคอยได้ ทำให้ได้รับบริการก่อน เป็นต้น โดยปกติแบบจำลองแถวคอยส่วนใหญ่จะมีสมมติฐานที่ผู้เข้ามารับบริการจะรอจนกว่าจะได้รับบริการ

ลักษณะหน่วยบริการ

มีประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาจะเกี่ยวข้องกับอัตราการให้บริการแก่ผู้มารับบริการ (Service Rate) ซึ่งการให้บริการของหน่วยบริการจะมีการให้บริการ 2 ลักษณะ

อัตราการให้บริการแบบคงที่

อัตราการให้บริการแบบคงที่ หมายถึง การให้บริการในแต่ละรายจะใช้เวลาที่เท่า ๆ กัน เช่น การบรรจุน้ำดื่มลงขวดด้วยเครื่องจักร ซึ่งแต่ละขวดจะใช้เวลา 5 วินาที ดังนั้น อัตราการให้บริการจะเท่ากับ 12 ขวดต่อนาที

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อัตราการให้บริการแบบสุ่ม

อัตราการให้บริการแบบสุ่ม หมายถึง การให้บริการในแต่ละรายใช้เวลาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าแต่ละราย การรวบรวมข้อมูลของการให้บริการมักจะอยู่ในรูปของเวลาที่ใช้ในการบริการ (Service Time) ของแต่ละรายแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยส่วนใหญ่ลักษณะหน่วยบริการจะเป็นเวลาที่ใช้ในการบริการแบบสุ่มและมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล

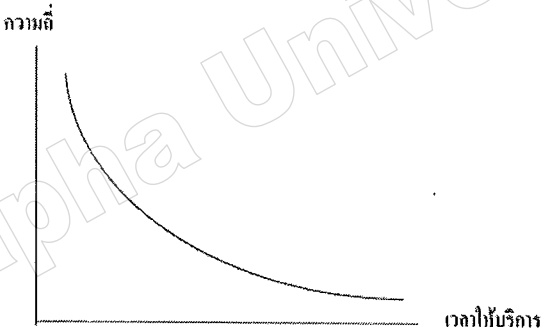
$$P(\text{Service time} > x) = e^{-\mu t},\ x \geq 0$$

μ = อัตราการให้บริการ

x = จำนวนลูกค้าต่อหน่วยเวลา

e = 2.7183

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล



ภาพที่ 2-36 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล

รูปแบบต่าง ๆ ของปัญหาแถวคอย

ในปัญหาของแถวคอยจะมีแบบจำลองที่มีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลพื้นฐานของระบบ ซึ่งจะเป็นการพิจารณาถึงลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของการเข้าสู่ระบบและเวลาที่ใช้ในการให้บริการ ดังนั้นการแสดงลักษณะของแบบจำลองจึงมีความสำคัญที่จะทำให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายและตรงกัน โดยใช้สัญลักษณ์เคนดอล (Kendoll Notation) ดังนี้

A / B / s

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

A หมายถึง การแจกแจงความน่าจะเป็นของการเข้าสู่ระบบแถวคอย

B หมายถึง การแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาการให้บริการ

s หมายถึง จำนวนหน่วยให้บริการ (s = 1, 2, ...)

เราจะเห็นได้ว่า การแจกแจงของการเข้าสู่ระบบแถวคอยและการแจกแจงของเวลาให้บริการ จะมีการแจกแจงในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะมีการกำหนดสัญลักษณ์ที่จะบอกถึงลักษณะของการแจกแจง ดังนี้

M หมายถึง การแจกแจงแบบปัวส์ซอง สำหรับการเข้ามารับบริการและการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปแนนเชียลสำหรับเวลาที่ให้บริการ

D หมายถึง การแจกแจงแบบคงที่

G หมายถึง เวลาที่ให้บริการมีการแจกแจงแบบทั่วไป

เช่น M/ M/ 1 จะแสดงถึงการเข้ามารับบริการแจกแจงแบบปัวส์ซอง ส่วนเวลาในการให้บริการจะมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปแนนเชียลและมีหน่วยบริการ 1 หน่วย เป็นต้น

ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบแถวคอยจะมีสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในระบบ ดังนี้

λ = อัตราเข้ารับบริการโดยเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยเวลา

μ = อัตราการให้บริการโดยเฉลี่ยต่อ 1 หน่วยเวลา

Pw = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะไม่ว่าง

Po = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะว่าง

Pn = ความน่าจะเป็นที่จะมีผู้รับบริการ n คนในระบบ

L = จำนวนผู้รับบริการโดยเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ

Lq = จำนวนผู้รับบริการโดยเฉลี่ยที่อยู่ในแถวคอย

W = เวลาเฉลี่ยที่ผู้รับบริการแต่ละคนอยู่ในระบบ

Wq = เวลาเฉลี่ยที่ผู้รับบริการแต่ละคนอยู่ในแถวคอย

โดยที่ความสัมพันธ์พื้นฐานของสมการในการวิเคราะห์ระบบแถวคอย มีดังนี้

$$L = \lambda W$$

$$Lq = \lambda Wq$$

ซึ่งแบบจำลองแถวคอยที่จะศึกษานี้ จะเป็นรูปแบบพื้นฐาน (Basic Model) และรูปแบบพื้นฐานที่มีอย่างจำกัดในการรับลูกค้า (Basic Model With a Finite Queue)

รูปแบบพื้นฐานแถวคอย

รูปแบบพื้นฐาน M/ M/ 1 มีลักษณะที่สำคัญของแบบจำลอง ดังนี้

- อัตราการเข้ามารับบริการมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง
- เวลาที่ให้บริการที่การแจกแจงแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล
- ระเบียบบริการเป็นแบบมาก่อนได้รับบริการก่อน
- ความยาวแถวคอยไม่จำกัด
- จำนวนประชากรไม่จำกัด
- มีหน่วยบริการ 1 หน่วย
- อัตราการเข้ารับบริการน้อยกว่าอัตราการให้บริการ

การวิเคราะห์แถวคอยที่มีลักษณะดังกล่าวจะมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$L = \frac{\lambda}{\mu-\lambda}$$

$$Lq = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} = L-\frac{\lambda}{\mu}$$

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda}$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = Wq + \frac{1}{\mu}$$

$$Pw = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$Po = 1-\frac{\lambda}{\mu}$$

$$Pn = Po\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

รูปแบบพื้นฐาน M/ M/ s มีลักษณะที่สำคัญของแบบจำลอง ดังนี้

- อัตราการเข้ามารับบริการมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง
- เวลาที่ให้บริการมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล
- ระเบียบบริการเป็นแบบมาก่อนได้รับบริการก่อน
- ความยาวแถวคอยไม่จำกัด
- จำนวนประชากรไม่จำกัด
- มีหน่วยบริการมากกว่า 1 หน่วย และมีหนึ่งขั้นตอน
- อัตราการเข้ารับบริการน้อยกว่าอัตราการให้บริการรวม

การวิเคราะห์แถวคอยที่มีลักษณะดังกล่าวจะมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$L = Lq + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$Lq = Po\left(\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{s+1}}{(s-1)!\left(S-\frac{\lambda}{\mu}\right)^{2}}\right)$$

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

$$Wq = \frac{Lq}{\mu}$$

$$Pw = \frac{1}{s!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{s}\left(\frac{s\mu}{s\mu-\lambda}\right)Po$$

$$= Po\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n}}{n!} \quad ;n \leq s$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

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

$$Pn = Po \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!s^{(n-s)}} \quad ;n \leq s$$

รูปแบบพื้นฐาน M/ G/ 1

รูปแบบพื้นฐาน M/ G/ 1 เป็นรูปแบบพื้นฐานที่มีหน่วยบริการช่องทางเดียวและมีการให้บริการหนึ่งขั้นตอน แต่จะมีลักษณะที่สำคัญของแบบจำลองที่แตกต่างจากรูปแบบพื้นฐานของหนึ่งขั้นตอน คือ เวลาที่ให้บริการมีการแจกแจงทั่วไป ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญของการแจกแจง ดังนี้

- เวลาที่ให้บริการแต่ละรายจะเป็นอิสระต่อกัน
- การแจกแจงของเวลาที่ให้บริการสามารถใช้ได้กับผู้ใช้บริการทุกราย
- สามารถทราบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ให้บริการ และความแปรปรวน

สำหรับลักษณะสำคัญอื่น ๆ จะมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปแบบพื้นฐาน M/ M/ 1 ซึ่งการวิเคราะห์ระบบแถวคอยที่มีลักษณะ M/ G/ 1 จะมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$L = Lq + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$Lq = \frac{\lambda^2\sigma^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2}{2\left(1-\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\right)}$$

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

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$Pw = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$Po = 1- \frac{\lambda}{\mu}$$

รูปแบบพื้นฐานที่มีอยู่อย่างจำกัดในการรับลูกค้า

รูปแบบพื้นฐานที่มีอยู่อย่างจำกัดในการรับลูกค้า มีลักษณะพื้นฐานที่สำคัญเช่นเดียวกับรูปแบบพื้นฐาน M/ M/ 1 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ดี จะมีลักษณะพื้นฐานสำคัญที่แตกต่าง คือ ระบบจะมีแถวคอยอยู่จำกัดในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น ในระบบแถวคอยมีจำนวนผู้เข้ามารับบริการที่อยู่ในแถวคอยและระหว่างการรับบริการสูงสุดได้จำนวน M คน เมื่อผู้ที่มีโอกาสเข้ามารับบริการพบว่าแถวคอยมีจำนวนผู้รอรับบริการ M คนแล้ว ผู้ที่มีโอกาสเข้ารับบริการจะไม่สามารถเข้าสู่ระบบแถวคอยนั้น ๆ ได้ ซึ่งผู้ที่มีโอกาสเข้ารับบริการอาจจะไม่ใช้บริการของระบบหรือไปใช้หน่วยบริการอื่น ๆ แทนระบบนั้น ๆ เช่น การให้บริการร้านอาหารที่มีที่จอดรถจำกัด เมื่อลูกค้าไม่สามารถจอดรถเพื่อเข้าไปรับประทานอาหารได้ ลูกค้าอาจเปลี่ยนไปรับประทานอาหารที่ร้านอาหารอื่นแทน เป็นต้น

สำหรับการวิเคราะห์ระบบแถวคอยที่มีรูปแบบพื้นฐานที่มีอยู่อย่างจำกัดของแถวคอยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

M = จำนวนผู้เข้ารับบริการที่อยู่ในระบบ

Pm = ความน่าจะเป็นที่จะเสียลูกค้าเพราะระบบไม่ว่าง

$$L = \frac{Pw\text{-}M\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) Pm}{1-\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)}$$

$$Lq = L-\left(\frac{\lambda}{\mu}(1\text{-}Pm)\right)$$

$$W = \frac{L}{1\text{-}Pm}$$

$$Pw = 1\text{-}Po$$

$$Po = \frac{1-}{1-\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{m+1}}$$

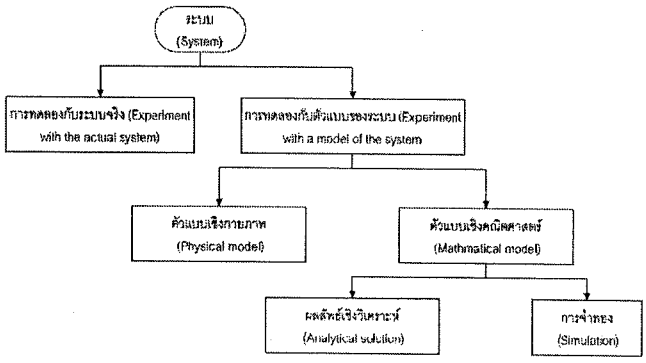
$$Pq = w-\frac{1}{\mu}$$

เราจะเห็นได้ว่า การวิเคราะห์ระบบแถวคอยที่มีอยู่อย่างจำกัดของแถวคอยจะต้องคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะว่าง ก่อนที่จะคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่เสียลูกค้าเนื่องจากระบบไม่ว่าง เพื่อที่จะนำมาใช้หาค่าต่าง ๆ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ระบบแถวคอยต่อ

การวิเคราะห์แบบจำลอง

การจำลอง การจำลองสถานการณ์ หรือ “ซิมูเลชัน” (Simulation) เป็นการเลียนแบบการทำงานของกระบวนการจริงหรือระบบในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ซึ่งในอดีตการสร้างแบบจำลองต้องทำในกระดาษทำให้ยากต่อการประยุกต์ใช้ ในปัจจุบันมีโปรแกรมการจำลองบนคอมพิวเตอร์ให้เลือกใช้มากมาย ช่วยให้สามารถสร้างแบบจำลองง่ายขึ้น ทำให้การจำลองถูกนิยมใช้อย่างแพร่หลาย การจำลองเป็นศาสตร์ที่สนใจศึกษาพฤติกรรมของระบบผ่านแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามสมมติฐาน ซึ่งแสดงออกในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สมการคณิตศาสตร์เงื่อนไข ตรรกะการทำงานของระบบ เป็นต้น เมื่อแบบจำลองถูกสร้างขึ้นและผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้ว แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้วิเคราะห์สถานการณ์ต่าง ๆ ของระบบที่อาจเกิดขึ้นได้ หรือทดสอบการเปลี่ยนแปลงเพื่อปรับปรุงการทำงานของระบบ นอกไปจากนี้แบบจำลองยังสามารถนำมาช่วยในการออกแบบระบบก่อนสร้างระบบจริงอีกด้วย

Law (2007) ได้สรุปวิธีการศึกษาระบบไว้ดังแสดงในภาพที่ 2-37 ดังนี้



ภาพที่ 2-37 วิธีการศึกษาระบบ (Ways to Study a System)

การทดลองกับระบบจริงและการทดลองกับตัวแบบของระบบ

ถ้าเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไป การทดลองกับระบบจริงเป็นสิ่งที่ควรทำเป็นอย่างแรกโดยไม่จำเป็นต้องใช้การจำลองเลย เพราะสามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยต่าง ๆ กับระบบจริงได้โดยตรง อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงทำได้ยาก เพราะการสั่งให้ระบบจริงหยุดทำงานเพื่อการทดลองนั้นเป็นการสูญเสียโอกาสในการผลิต หรืออาจส่งผลเสียต่อการบริการเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น โรงงานแห่งหนึ่งต้องการลดค่าใช้จ่ายโดยทดลองลดจำนวนของเครื่องจักรของสถานีงานหนึ่ง ผลกระทบคืออาจมีงานรอจำนวนมากหน้าสถานีดังกล่าว ทำให้ผลิตสินค้าไม่ทันตามแผนที่วางไว้ และกระทบต่อแผนงานที่เหลืออยู่ ทำให้สูญเสียเวลาโดยไม่จำเป็น

นอกไปจากนี้ ในบางกรณีระบบจริงยังไม่มีให้ทดสอบ ทำให้ต้องทดลองกับตัวแบบของระบบเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมในการออกแบบระบบให้ได้ดีที่สุด เช่น การออกแบบเครือข่ายการสื่อสาร ระบบการยิงขีปนาวุธ เป็นต้น

ตัวแบบเชิงกายภาพและตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

ในมุมมองของคนทั่วไปตัวแบบ หรือ โมเดล (Model) สะท้อนถึงสิ่งที่จับต้องได้ เช่นตัวแบบรถยนต์รุ่นใหม่ ตัวแบบบ้าน เป็นต้น ซึ่งก็คือตัวแบบเชิงกายภาพนั้นเอง แต่ไม่ใช่ตัวแบบในมุมมองของการดำเนินการวิจัย (Operations Research) และการวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) จะเป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ถูกแสดงด้วยสมการ ตรรกะ และความสัมพันธ์เชิงปริมาณ (Quantitative Relationship) ที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบ เช่น ตัวแบบของการคำนวณระยะทางจากสูตร $d = rt$ เมื่อ r แทนความเร็ว t แทนระยะเวลาในการเดินทาง และ d แทนระยะทาง

ผลลัพธ์เชิงวิเคราะห์และการจำลอง

เมื่อสามารถสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ได้แล้ว ต้องสามารถตอบคำถามเกี่ยวกับระบบได้ หากเป็นตัวแบบที่ง่ายก็สามารถหาคำตอบหรือ*ผลลัพธ์เชิงวิเคราะห์*ได้จากวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น หากทราบ d และ r ก็สามารถหา t ได้จากสมการ $t = d/r$ การใช้ทฤษฎีแถวคอยเป็นเครื่องมือช่วยในการแก้ปัญหาการให้บริการที่ไม่มีความซับซ้อนมากได้หรือการใช้ทฤษฎีสินค้าคงคลังในการหาปริมาณการจัดเก็บที่เหมาะสม ถึงกระนั้นระบบจริงมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการเชิงปริมาณและวิธีการเชิงวิเคราะห์แทนระบบจริงได้ การจำลองจึงเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบแทน

ความเหมาะสมในการใช้การจำลอง

Naylor et al. (1996) และ Shannon (1998) ได้กล่าวไว้ว่าปัจจุบันมีภาษาในการสร้างแบบจำลอง (Simulation Model) ให้เลือกใช้มากมาย และประสิทธิภาพในการประมวลผลของ

เครื่องคอมพิวเตอร์ก็สูงขึ้นด้วย ทำให้การจำลองเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมและยอมรับในการวิจัยการดำเนินงาน และการวิเคราะห์ระบบ ซึ่งการวิเคราะห์ระบบด้วยการจำลองนั้นจะเหมาะสมก็ต่อเมื่อ

1. การจำลองช่วยในการศึกษาและทดลองระบบที่มีความซับซ้อน ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาทั้งระบบหรือส่วนหนึ่งของระบบก็ตาม

2. มีความต้องการที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบแบบต่าง ๆ และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ

3. ความรู้ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4. การเปลี่ยนข้อมูลนำเข้าของการจำลองและการสังเกตผลลัพธ์สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าปัจจัยใดมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

5. ช่วยเป็นเครื่องมือในการเรียนการสอน

6. ใช้ในการทดสอบการออกแบบหรือนโยบายใหม่ ๆ ก่อนการนำมาใช้จริง คาดเดาถึงสิ่งที่จะเกิดขึ้น

7. การจำลองช่วยในการยืนยันคำตอบที่ได้จากการศึกษาเชิงวิเคราะห์

8. การจำลองเครื่องจักรที่มีความสามารถแตกต่างกันช่วยศึกษาความต้องการที่แท้จริงได้

9. การสร้างและออกแบบจำลองช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้เรียนรู้ระบบไปด้วยในเวลาเดียวกัน

10. ภาพเคลื่อนไหวสามารถแสดงการทำงานของระบบจริง ทำให้มองเห็นกระบวนการทำงานได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

11. ระบบสมัยใหม่ของโรงงาน เช่น โรงงานผลิตแว่นผลึก (Wafer Fabrication Factory) หรือ การให้บริการขององค์กร มีความซับซ้อนมากขึ้นและการกระทำระหว่างกันภายใน (Internal Interaction) จำเป็นต้องใช้แบบจำลองมาช่วยในการวิเคราะห์

กฎ 10 ข้อ ในกรณีที่แบบจำลองไม่ควรนำมาประยุกต์ใช้

Banks and Gibson (1997) ได้กล่าวถึงกฎ 10 ข้อ ในกรณีที่แบบจำลองไม่ควรนำมาประยุกต์ใช้ไว้ดังนี้

1. เมื่อปัญหาสามารถแก้ได้ด้วยการตัดสินใจแบบพื้น ๆ (Common Sense) เช่น ร้านค้าแห่งหนึ่งมีลูกค้าเข้ามารับบริการประมาณ 100 คนต่อชั่วโมง และค่าเฉลี่ยเวลาการให้บริการอยู่ที่ 12 คนต่อชั่วโมง ในการหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมนั้นไม่จำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลอง เพราะสามารถหาคำตอบได้จาก 100/ 3 = 8.33 หรืออย่างน้อย 9 คน

2. เมื่อสามารถหาคำตอบได้ด้วยการตัดสินใจเชิงวิเคราะห์ ในปัจจุบัน Banks et al. (2010) ได้พัฒนาเครื่องมือในไมโครซอฟท์เอกซ์เซลเพื่อแก้ปัญหาแถวคอยโดยทั่วไป (http://www.bcnn.net) ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสำหรับแก้ปัญหาแถวคอยขึ้นมาใหม่

3. เมื่อการทดลองจริงมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการสร้างแบบจำลอง ในระบบเล็ก ๆ ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก การทดลองจริงสามารถทำได้ง่าย และไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมทำให้ไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรม หรือว่าจ้างที่ปรึกษาเพื่อสร้างแบบจำลอง

4. เมื่อค่าใช้จ่ายสูงกว่าผลประโยชน์ทางการเงินที่พึงได้ ในการปรับปรุงระบบที่ต้องการศึกษาบางครั้งระบบทำงานได้ดีอยู่แล้ว การปรับปรุงให้ดีขึ้นไปอีกทำได้ยาก ทำให้ผลประโยชน์ที่ได้รับน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น

5. เมื่อไม่มีงบประมาณที่เพียงพอ โดยเฉพาะในกรณีที่บริษัทไม่มีผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างแบบจำลอง และผู้บริหารไม่อนุมัติงบประมาณ

6. เมื่อมีเวลาดำเนินโครงการที่สั้นเกินไป เพราะการสร้างแบบจำลองที่ถูกต้องและสามารถนำมาใช้ได้จริงนั้นจำเป็นต้องใช้เวลา หากระยะเวลาที่ต้องทำให้เสร็จสั้นเกินไป ก็ไม่ควรนำการจำลองมาประยุกต์ใช้

7. เมื่อไม่เคยมีการเก็บข้อมูลไว้เลย ทำให้ประเมินความถูกต้องของข้อมูลได้ยาก

8. เมื่อทราบว่าจะไม่ได้รับความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ปฏิบัติการของระบบที่ทำการศึกษา เพราะทำให้การสร้างแบบจำลองที่ถูกต้องเป็นไปได้ยาก

9. เมื่อผู้จัดการระบบคาดหวังในสิ่งที่แบบจำลองไม่สามารถทำได้

10. เมื่อพฤติกรรมของระบบมีความซับซ้อนมากและไม่สามารถนิยามได้ ซึ่งในบางครั้งพฤติกรรมของคนมีความยุ่งยากเกินกว่าจะจำลองได้ นำมาซึ่งการตั้งสมมติฐานที่ไม่เหมือนจริง

อย่างไรก็ดี หากการจำลองไม่เหมาะสมในการแก้ปัญหา ทางเลือกอื่นประกอบไปด้วย

- การคาดเดาอย่างมีความรู้ (Educated Guessing)
- ทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory)
- การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)
- การพยากรณ์ (Forecasting)
- การวิเคราะห์ระบบ (Systems Analysis)
- สินค้าคงคลัง (Inventory Theory)
- ระบบสารสนเทศ (Information System)

ข้อดีและข้อเสียของการจำลองสถานการณ์

การจำลองเป็นสิ่งที่บริษัทและโรงงานต่าง ๆ ให้ความสนใจมากขึ้น เพราะเป็นเครื่องมือที่สามารถเลียนแบบการทำงานของระบบจริง หรือสิ่งที่อาจเกิดขึ้นในช่วงการออกแบบระบบนอกไปจากนี้ยังมีการทำงานที่แตกต่างไปจากเครื่องมือการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Tool) เพราะเน้นในการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการรันแบบจำลองมากกว่าการค้นหาคำตอบ เมื่อได้แบบจำลองที่สอดคล้องกับความเป็นจริงแล้ว การทดลองเพื่อปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการปรับปรุงระบบก็ทำได้ง่าย และนำไปสู่การประยุกต์ใช้จริงต่อไป อย่างไรก็ดีการจำลองมีทั้งข้อดีและข้อเสีย โดย Pegden et al. (1995) ได้สรุปข้อดีและข้อเสียไว้ดังนี้

ข้อดี

1. สามารถทดลองการใช้นโยบายใหม่ กระบวนการใหม่ การไหลของข้อมูล ขั้นตอนในการบริหารองค์กร และอื่น ๆ ได้ง่ายโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบจริง

2. สามารถทดสอบการออกแบบเครื่องมือ แผนผังโรงงาน และระบบการขนส่ง เพื่อหาผลลัพธ์ของการออกแบบใหม่ ก่อนจัดสรรทรัพยากรหรือเครื่องมือเพิ่มเติมให้กับระบบงานที่จะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากการลงทุนที่ไม่คุ้มค่าและไม่จำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์เครื่องมือมาทดสอบกับระบบจริงก่อน

3. สามารถทดสอบสมมติฐานต่าง ๆ ได้ง่าย เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของระบบ

4. สามารถขยายขอบเขตเวลาของการจำลองได้ง่าย

5. เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างลึกซึ้งเข้าใจว่าตัวแปรต่าง ๆ ในระบบงานส่งผลกระทบต่อกันและกันอย่างไร

6. เข้าใจถึงความสำคัญของตัวแปรและปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบได้อย่างถ่องแท้

7. วิเคราะห์หาจุดคับคั่งของงาน หรือคอขวด (Bottleneck) ในสายงานผลิต ระบบการขนส่งสินค้า และในระบบงานอื่น ๆ โดยวิเคราะห์จากข้อมูลของชิ้นงานที่กำลังผลิตอยู่ (Work -In - Process: WIP) จำนวนในแถวคอย และเวลารอคอย

8. ช่วยให้เข้าใจว่าระบบทำงานอย่างไรมากยิ่งขึ้น มากกว่าคิดว่าระบบควรทำงานอย่างไร

9. สามารถตอบคำถามต่าง ๆ ได้ (What - If Questions) ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการออกแบบระบบใหม่

ข้อดีอื่น ๆ ยังประกอบไปด้วย

1. การทดลองกับระบบงานจริง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวัดประสิทธิภาพการทำงานของคนอาจทำให้ได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อน มีสาเหตุมาจากความสามารถในการปรับสมรรถนะของคน ทำให้ได้ข้อมูลที่อาจมีค่าสูงกว่า หรือต่ำกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้การทดลองกับระบบงานจริงนั้น มีความยุ่งยากในการควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ของการทดลองให้มีค่าคงที่สม่ำเสมอ ทำให้ผลการทดลองที่ได้ในแต่ละครั้งจากการทดลองอาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

2. การทดลองกับระบบงานจริงอาจต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายมากจึงจะได้รับข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์

3. ไม่สามารถทดลองเงื่อนไขทุกรูปแบบที่ต้องการกับระบบงานจริงได้

4. มีความสะดวกและรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางเลือกอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดต่อการใช้งาน (Best Solution)

5. สามารถนำการจำลองไปใช้แก้ปัญหาและประเมินผลกับระบบงานที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบอื่น

6. สามารถประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ได้ เพราะสามารถควบคุมเวลาโดยใช้โปรแกรมการจำลอง และเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ช่วยวิเคราะห์แทน หากทดลองกับระบบงานจริงอาจต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน อาจใช้เวลาเป็นวัน หรือเป็นเดือนกว่าจะได้รับผลวิเคราะห์ที่น่าพอใจ

7. การจำลองแบบปัญหาช่วยให้ไม่ต้องทดลองกับระบบงานจริง สามารถทดสอบได้กับเงื่อนไขทุกรูปแบบและสามารถควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ของการทดลองให้คงที่ได้

8. สามารถตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ยังไม่ทราบค่าได้ ทำให้หาคำตอบเบื้องต้นได้ และสามารถทดสอบความเป็นไปได้ในการเกิดโดยการใช้การจำลอง

9. การจำลองแบบปัญหายังเป็นประโยชน์ต่อระบบงานที่ยังไม่มีอยู่จริง หรือระบบงานที่ผู้ใช้งานมีความรู้ และประสบการณ์อย่างจำกัด ทำให้สามารถทดลองกับแบบจำลองปัญหาที่สร้างขึ้น โดยสามารถออกแบบให้เป็นไปตามแนวความคิดและเงื่อนไขของตัวแปรต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมี

10. ใช้ในการกำหนดนโยบายใหม่ ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถทดลองกับแบบจำลองได้ และยังไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกระเทือน หรือเกิดความยุ่งยากกับระบบงานจริงที่กำลังดำเนินการอยู่

ข้อเสีย

1. ผู้ใช้จำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนเป็นพิเศษในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่เลือก การสร้างแบบจำลองเป็นศิลปะอย่างหนึ่งที่ต้องใช้เวลาศึกษาและประสบการณ์

หากให้ผู้ใช้สองคนสร้างแบบจำลองของระบบเดียวกัน เป็นไปได้สูงที่แบบจำลองทั้งสองจะมีความคล้ายกัน แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นไปได้ยากที่แบบจำลองจะออกมาเหมือนกันทุกประการ

2. ในบางครั้งการตีความผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองทำได้ยาก เพราะผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเป็นตัวแปรสุ่มซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรสุ่มนำเข้า ซึ่งยากที่จะบอกว่าผลลัพธ์ที่ได้เกิดจากระบบงานจริง หรือเกิดจากการสุ่มตัวเลข ทำให้มีโอกาสที่ได้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาด

3. การสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองที่ดีใช้เวลา และค่าใช้จ่ายจำนวนมากรวมทั้งต้องอาศัยความรู้ความชำนาญ และความเข้าใจในตัวระบบงานที่ซับซ้อนเป็นอย่างสูงของผู้สร้างแบบจำลอง หากไม่ลงทุนกับบุคลากรและให้เวลาที่เพียงพอ อาจส่งผลเสียต่อแบบจำลองที่สร้างขึ้น ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ได้รับความน่าเชื่อถือ

4. สำหรับปัญหาที่สามารถหาคำตอบได้ด้วยเครื่องมือเชิงวิเคราะห์ หรือเครื่องมือที่สามารถหาคำตอบได้อยู่แล้ว การจำลองปัญหาดังกล่าวไม่มีความจำเป็นอีกต่อไป

5. ข้อมูลที่ได้อาจไม่มีความแม่นยำและไม่สามารถวัดขนาดของความแม่นยำได้ แม้จะมีการวัดความไวของข้อมูลเหล่านั้น ก็ไม่สามารถทำให้ข้อเสียนี้หายไปได้

ประเภทของแบบจำลอง

แบบจำลองสามารถถูกจำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ใน 3 มิติดังนี้

1. มิติของเวลา (สถิตและพลวัต: Static and Dynamic)

การจำลองแบบสถิต (Static Simulation) หรือ การจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) เป็นการจำลองของระบบที่ระบุเวลาเฉพาะเจาะจง ซึ่งถูกใช้เพื่อนำเสนอระบบในลักษณะที่เวลาเคลื่อนที่โดยอิสระอย่างเรียบง่ายโดยไม่มีกฎเกณฑ์ ดังนั้นเวลาจึงไม่มีผลต่อระบบเลย เช่น การใช้ Monte Carlo Simulation ในการหาปริพันธ์ (Integration) ของฟังก์ชัน ส่วนการจำลองแบบพลวัต (Dynamic Simulation) เป็นการจำลองระบบที่สถานะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น ระบบลำเลียงขนถ่ายในโรงงานในเวลาทำการ หรือระบบการให้บริการของธนาคารตั้งแต่ 8:30 น. ถึง 16:30 น.

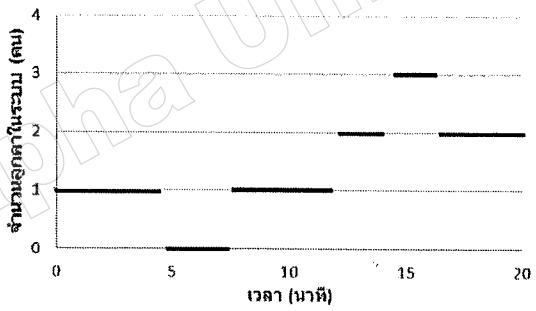
2. มิติความแน่นอนของข้อมูล (ดีเทอมินิสติกและสโตคาสติก: Deterministic and Stochastic)

สำหรับการจำลองแบบดีเทอมินิสติก (Deterministic Simulation) ข้อมูลนำเข้าเป็นค่าคงที่ทั้งหมด โดยไม่มีข้อมูลใดเลยที่เป็นตัวแปรสุ่ม (Random Variables) หรือส่วนประกอบที่มีความน่าจะเป็นเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงได้แบบจำลองที่แน่นอนหรือตายตัว ทำให้ค่าผลลัพธ์มีค่าคงที่แน่นอนสำหรับข้อมูลนำเข้าชุดนั้น ๆ เช่น เวลาที่หมอให้บริการคนไข้คนสุดท้ายขึ้นอยู่กับ 1) ตารางการมาพบแพทย์ของคนไข้และเงื่อนไขที่ว่าคนไข้ทุกคนมาตรงเวลาหรือไม่ และ 2) เวลาใน

การรักษาคนไข้มีค่าคงที่ สำหรับการจำลองแบบสโตคาสติก (Stochastic Simulation) นั้นข้อมูลนำเข้าบางตัวเป็นตัวแปรสุ่ม ดังนั้นผลลัพธ์ก็เป็นตัวแปรสุ่มด้วยเช่นกัน ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองเป็นเพียงค่าประมาณของระบบ ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง ซึ่งถือว่าเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของการจำลองประเภทนี้ ยกตัวอย่างเช่น ระบบแถวคอย (Queuing System) ระบบสินค้าคงคลัง (Inventory System) ระบบการให้บริการของธนาคารที่เวลาในการเข้ามาของลูกค้าและเวลาในการให้บริการเป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งมีผลลัพธ์ที่สนใจ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของจำนวนลูกค้าในแถวคอย ค่าเฉลี่ยของเวลารอคอยของลูกค้า เป็นต้น ผลลัพธ์หรือค่าเฉลี่ยที่ได้จากการรันแบบจำลองเป็นเพียงค่าประมาณของสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในระบบ

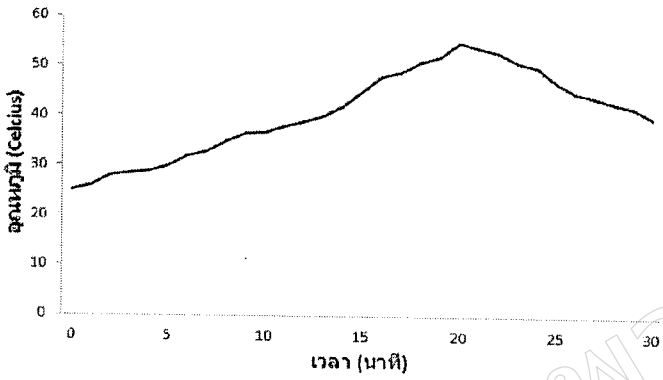
3. มิติความต่อเนื่องของเหตุการณ์ (ไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง: Discrete and Continuous)

สำหรับมิตินี้ขึ้นอยู่กับว่าสถานะ (State) เปลี่ยนแปลง ณ จุดหนึ่ง ๆ อย่างไม่ต่อเนื่องหรือต่อเนื่อง สำหรับระบบแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete System) นั้นเป็นระบบที่ตัวแปรสถานภาพมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงพริบตาที่จุดเวลาต่าง ๆ เช่น ระบบการให้บริการของธนาคาร เพราะว่าตัวแปรสถานภาพ เช่น จำนวนลูกค้าในระบบมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีลูกค้าเข้ามาถึงธนาคาร หรือเมื่อลูกค้าเสร็จสิ้นจากการใช้บริการและออกไปจากธนาคารเท่านั้นดังแสดงในภาพที่ 2-38



ภาพที่ 2-38 จำนวนลูกค้าในระบบของการจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง

สำหรับระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous System) เป็นระบบที่ตัวแปรสถานภาพมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเวลา ยกตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ในอากาศของเครื่องบิน เพราะตัวแปรสถานภาพ เช่น ตำแหน่งและความเร็ว สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องทุกช่วงเวลาที่สนใจ (เช่น วินาที) หรือ การจำลองการเคลื่อนตัวของการจราจรบนถนน โดยสนใจอัตราการเคลื่อนไหวของรถยนต์ หรือ การจำลองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในสารละลายในช่วงเวลาที่สนใจ โดยสนใจการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิซึ่งเกิดขึ้นในแต่ละวินาที ดังแสดงในภาพที่ 2-39



ภาพที่ 2-39 อุณหภูมิในสารละลายของการจำลองแบบต่อเนื่อง

ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลอง

ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองสำหรับผู้ใช้โดยทั่วไป โดยอ้างอิงจาก Banks et al. (2010, pp. 35) ซึ่งรูปและคำอธิบายที่คล้ายกันสามารถหาได้จาก Shannon (1975) Gordon (1978) และ Law (2007) โดยสามารถแบ่งกระบวนการทำงานออกได้เป็น 4 ช่วง (Phase) ดังนี้

ช่วงที่ 1

1. การกำหนดปัญหา (Problem Formulation)

การศึกษาปัญหาใด ๆ นั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงปัญหาอย่างถ่องแท้ ต้องมีคำอธิบายปัญหาที่ชัดเจน และมีการตกลงระหว่างผู้ใช้งาน (User) และนักวิเคราะห์ (Analyst) เพื่อให้เข้าใจปัญหาเดียวกัน และหลีกเลี่ยงความขัดแย้งที่อาจเกิดขึ้นได้ ในที่นี้นักวิเคราะห์เป็นผู้พัฒนาและสร้างแบบจำลองเพื่อให้ผู้ใช้งานนำไปใช้ได้จริง

2. การกำหนดวัตถุประสงค์และแผนการดำเนินงาน (Setting of Objectives and Overall Project Plan)

วัตถุประสงค์บ่งชี้ว่าการจำลองควรตอบคำถามใดบ้าง เช่น สามารถลดค่าใช้จ่าย เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า และลดเวลาในการรอคอย ด้วยวิธีใดได้บ้าง นอกไปจากนี้ควรกำหนดแผนการดำเนินงานที่ชัดเจนรวมไปถึงกำหนดเวลาของแต่ละขั้นตอน ซึ่งต้องกำหนดผู้รับผิดชอบในแต่ละฝ่าย ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง รวมถึงตัวชี้วัดในแต่ละขั้นตอน ซึ่งผู้บริหารโครงการควรติดตามอย่างใกล้ชิดเพื่อหลีกเลี่ยงความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นได้

ช่วงที่ 2

3. การสร้างแบบจำลองทางความคิด (Model Conceptualization)

Pritsker (1995) และ Morris (1967) อธิบายว่า เป็นไปไม่ได้เลยที่จะบอกทุกขั้นตอนว่าต้องทำอย่างไรจึงสามารถสร้างแบบจำลองให้ประสบความสำเร็จสำหรับทุกปัญหา แต่มีแนวทางให้ปฏิบัติตามสำหรับทุกปัญหาเสมอ ศิลปะในการสร้างแบบจำลองขึ้นอยู่กับความสามารถในการแปลปัญหาและการตั้งสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งควรเริ่มจากการสร้างแบบจำลองอย่างง่ายก่อน แล้วค่อย ๆ เพิ่มความซับซ้อนเข้าไป ซึ่งช่วยให้การตรวจสอบความถูกต้องง่ายขึ้นด้วย นอกไปจากนี้ควรให้ผู้ใช้งานจริงได้ร่วมมือกับนักวิเคราะห์ในการตรวจสอบว่าแบบจำลองทำงานสอดคล้องกับเงื่อนไขของระบบหรือไม่ เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้

4. การเก็บข้อมูล (Data Collection)

การเก็บข้อมูลและการสร้างแบบจำลองมีความเกี่ยวข้องกันมาก (Shannon, 1975) แบบจำลองมีความซับซ้อนขึ้น ข้อมูลเดิมที่มีอยู่อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ ขั้นตอนนี้ใช้เวลามากที่สุดจึงควรเริ่มให้เร็วที่สุด สำหรับปัญหาแถวคอยของการให้บริการในธนาคาร หากต้องการทราบเวลาในการรอคอยเมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนของพนักงานให้บริการ จำเป็นต้องรู้ 1) ฟังก์ชันการแจกแจงของเวลาที่ลูกค้าเข้ามารับบริการ (Inter - Arrival Time) 2) ฟังก์ชันการแจกแจงของเวลาในการให้บริการ และ 3) เวลาในการรอคอย ณ ปัจจุบันภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation)

5. การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม (Computer Model Building)

แบบจำลองทางความคิดถูกแปลงให้เป็นแบบจำลองในโปรแกรมการจำลอง โดยแต่ละโปรแกรมก็มีวิธีการสร้างและวากยสัมพันธ์ (Syntax) ที่แตกต่างกัน โปรแกรมที่นิยมใช้ได้แก่ AnyLogic®, Arena®, AutomodTM, Enterprise Dynamics®, ExtendTM, Flexsim, ProModel® และ SIMUL8®

6. การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification)

เป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นทำงานได้หรือไม่ ความเชื่อที่ผิด คือผู้สร้างมักคิดว่าแบบจำลองที่ทำงานได้หรือรันในโปรแกรมได้ต้องถูกต้องเสมอ การรันได้บอกเพียงว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นไม่ผิดวากยสัมพันธ์ของโปรแกรมเท่านั้น ผู้สร้างจำเป็นต้องตรวจสอบการการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองใส่ข้อมูลนำเข้าและตรรกะของแบบจำลองให้ถูกต้องก่อน หากไม่ถูกต้องจำเป็นต้องแก้ไขจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วย

7. การตรวจสอบความสมเหตุสมผล หรือความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

เป็นขั้นตอนที่อาศัยการปรับค่าต่าง ๆ ของแบบจำลองซ้ำไปซ้ำมา แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากระบบจริง จนได้ค่าที่ใกล้เคียงกันและยอมรับได้ทางสถิติเพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือที่จะยอมรับได้ สำหรับตัวอย่างการให้บริการในธนาคาร เวลาในการรอคอยเฉลี่ยของระบบจริงในช่วงเวลาที่สนใจไม่ควรแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ช่วงที่ 3

8. การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)

จากผลลัพธ์เบื้องต้นที่ได้ นักวิเคราะห์และผู้ใช้งานต้องร่วมมือกันออกแบบทางเลือกหรือวิธีการปรับปรุงแบบต่าง ๆ (Scenarios) โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและระยะเวลาที่ต้องใช้ในการรันแบบจำลอง หากใช้เวลามากในการรันวิธีการปรับปรุงอาจถูกจำกัดให้น้อยลง แต่หากใช้เวลาในการรันน้อย ก็สามารถสำรวจหาทางเลือกอื่น ๆ เพิ่มเติมได้

9. การรายงานผล และวิเคราะห์ (Production Runs and Analysis)

เป็นการรันแบบจำลองด้วยวิธีการปรับปรุงแบบต่าง ๆ เพื่อหาค่าประมาณของผลลัพธ์หรือของตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โปรแกรมการจำลองในปัจจุบันได้พัฒนาตัวช่วยในการเปรียบเทียบแบบจำลองหลาย ๆ แบบ ทำให้ประหยัดเวลาในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้เป็นอย่างมาก

10. การตรวจสอบจำนวนครั้งในการรัน (Number of Replication Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ผลลัพธ์ทางสถิติที่ได้จากการรันโปรแกรมเพื่อตัดสินใจว่าคำตอบที่ได้มีความแปรปรวนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ หากมีค่าสูงเกินไปควรเพิ่มจำนวนครั้งในการรันเพื่อลดความแปรปรวน ข้อเสียคือทำให้เวลาในการรันนานขึ้น

ช่วงที่ 4

11. การทำเอกสาร และรายงาน (Documentation and Reporting)

เอกสารที่จัดทำมีอยู่สองประเภท คือ 1) เอกสารรายละเอียดของแบบจำลอง ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการแก้ไขในอนาคต ทำให้ผู้เข้ามาพัฒนาแบบจำลองคนใหม่สามารถเข้าใจการทำงานของแบบจำลองได้ ทำให้องค์ความรู้อยู่กับองค์กรโดยไม่ยึดติดกับตัวผู้สร้าง และ 2) เอกสารรายงานความก้าวหน้าซึ่งช่วยให้การติดตามความคืบหน้าเป็นไปได้ง่าย (Musselman,1998) เพราะเป็นรายงานประวัติการทำงานที่ผ่านมา อุปสรรคที่เกิดขึ้น รวมไปถึงขอบเขตการทำงานที่เพิ่มขึ้น ในแง่ของบริษัทที่ปรึกษาเองก็ต้องการให้ผู้ใช้งานตกลงขอบเขตของระบบที่จะจำลอง หากมีประเด็นอื่นเพิ่มเติม ควรบันทึกไว้ว่าเป็นการทำงานเพิ่มเติมที่นอกเหนือจากขอบเขตงานที่ได้

ตกลงไว้ก่อนหน้านี้ (Enhancement) ในแต่ละรายงาน ควรมีกำหนดส่งตามเหตุการณ์สำคัญ (Milestone) ของโครงการ หรือตามงวดการจ่ายเงินให้กับบริษัทที่ปรึกษา และควรมีการส่งรายงานเป็นระยะ แทนที่จะส่งรายงานเดียวเมื่อจบโครงการเพราะเสี่ยงต่อความล้มเหลวเป็นอย่างมาก ในรายงานฉบับสุดท้ายควรสรุปประเด็นที่สำคัญดังต่อไปนี้

- Executive Summary (บทสรุปผู้บริหาร เพื่อใช้นำเสนอผู้บริหารโดยไม่เจาะลึกทางด้านเทคนิคมากเกินไป)

- Statement of Problem (อธิบายปัญหาและวัตถุประสงค์ของปัญหาหรือระบบที่ศึกษา)

- As - Is Business Flow (อธิบายขั้นตอนการทำงานของระบบในปัจจุบัน)

- Model Assumptions (สมมติฐานของแบบจำลองที่จะสร้างขึ้น โดยสรุปเงื่อนไขที่สามารถจำลองได้และไม่ได้)

- Initial Analysis (เป็นการคำนวณเบื้องต้นว่าดัชนีชี้วัดก่อนการปรับปรุงเป็นอย่างไร เพื่อใช้ในการยืนยันผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง)

- Data Collection and Input Data Analysis (การเก็บข้อมูลด้วยและการวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้าทั้งหมดที่ใช้ในการจำลอง)

- Computer Model Flow Chart (แผนผังแสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมการจำลองที่เลือกใช้)

- As - Is Model Building (อธิบายข้อมูลเชิงลึกในการสร้างแบบจำลอง และเงื่อนไขที่ใช้ เช่น จำนวนรอบของการรันและระยะเวลาในการรันแบบจำลอง) การสร้างและวิเคราะห์แบบจำลอง

- Verification and Validation (การตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง)

- Output Analysis (การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของตัวชี้วัดที่ได้เพื่อใช้ในการปรับปรุง)

- Scenarios Analysis (การวิเคราะห์วิธีการปรับปรุงแบบต่าง ๆ และควรวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นรวมถึงความยากง่ายในการนำไปใช้จริงด้วยโดยอาจต้องมีการปรับแบบจำลองให้สอดคล้องกับวิธีการต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอเพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองที่ต้องการ หรือ To - Be Model)

- Conclusion (บทสรุป โดยเสนอคำแนะนำในการปรับปรุงและกลยุทธ์ต่าง ๆ)

- Appendix (ภาคผนวก สำหรับข้อมูลและการวิเคราะห์ทางสถิติต่าง ๆ)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

12. การนำไปใช้งานจริง (Implementation)

ความสำเร็จในการนำไปใช้จริงขึ้นอยู่กับการทำงานใน 11 ข้อที่กล่าวมา รวมไปถึงระดับความร่วมมือระหว่างผู้ใช้งาน และที่ปรึกษาในช่วงการสร้างแบบจำลอง เช่น การประชุมตั้งสมมติฐานร่วมกัน การทดสอบข้อมูลนำเข้า การทดสอบการทำงานของแบบจำลอง การตกลงยอมรับในแบบจำลอง และการปรึกษาหารือทางเลือกในการปรับปรุง หากแบบจำลองสร้างขึ้นบนพื้นฐานความเข้าใจของนักวิเคราะห์เพียงอย่างเดียว การนำไปใช้จริงก็ทำได้ยากเพราะผู้ใช้งานมักไม่เชื่อมั่นในแบบจำลองอย่างเต็มที่ (Pritsker, 1995)

การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena

การใช้งานโปรแกรมการจำลอง ชื่อโปรแกรมอารีนา (Arena Software) ของบริษัท Rockwell Automation เป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างแบบจำลองจากบัญชีมอดูล (Module Template) บนพื้นฐานของภาษาการจำลอง SIMAN ส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของโปรแกรมอารีนาคือ มอดูล (Modules) ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้จากบัญชีแสดงกรรมวิธีต่าง ๆ (Template Panels) เช่น Basic Process Template, Advanced Process Template และ Advanced Transfer Template แล้วลากมาลงบน Flowchart View ของโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง Templates ดังกล่าวถูกพัฒนาจากเวอร์ชันแรก ๆ ที่ประกอบไปด้วย Block, Elements, Command และ Support ซึ่งสามารถเรียกใช้ได้จาก Old Arena Templates มอดูลเป็นการสร้างแบบจำลองในระดับสูงที่ประกอบไปด้วย SIMAN Blocks ยกตัวอย่างเช่น Process Module ซึ่งใช้แสดงกิจกรรมของเอนทิตีประกอบไปด้วยบล็อก ASSIGN, QUEUE, SEIZE, DELAY, และ Release นอกไปจากนี้โปรแกรมอารีนายังมีมอดูลที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลลัพธ์ เช่น Statistic, Variable, และ Output

กรอบการสร้างแบบจำลองหรือ Model ด้วยโปรแกรมอารีนาเป็นการผสมผสานระหว่างภาพและการใส่ข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการต่อไปนี้

1. เลือกมอดูลจาก Template Panel โดยทำการลากและวางลงบน Flowchart View เปรียบเสมือนการวาดภาพลงผ้าใบหรือกระดาษ

2. เชื่อมมอดูลเข้าด้วยกัน (Connect) เพื่อระบุการไหลของเอนทิตีในแบบจำลองให้เป็นไปตามการทำงานและเงื่อนไขของระบบ

3. กำหนดพารามิเตอร์ของแต่ละละมอดูลหรือส่วนประกอบ (Element) โดยใช้ Text Editor

4. ในบางครั้งจำเป็นต้องมีการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมโดยวายกสัมพันธ์ (Syntax) ที่ใช้สามารถเขียนด้วยอักษรตัวเล็กหรือตัวใหญ่ก็ได้

หน้าต่างของโปรแกรมอารีนา (Arena Home Screen)

หน้าต่างของโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 2-40 ประกอบไปด้วย

1. Title Bar ส่วนบนของหน้าต่างซึ่งแสดงชื่อไฟล์ที่เปิดอยู่

2. Menu Bar ประกอบไปด้วยเมนูทั่วไป และเมนูสำหรับโปรแกรมอารี โดยเฉพาะ

3. Standard Toolbar ใช้เรียกคำสั่งมาตรฐาน เช่น เปิดไฟล์ใหม่, เปิดไฟล์, บันทึกไฟล์สั่งพิมพ์ รวมไปถึงการรันแบบจำลองซึ่งทำงานคล้ายการควบคุมเครื่องเล่นวีดีโอเป็นต้น

4. Run Interaction Toolbar ใช้ควบคุมการรันแบบจำลองผ่านการใช้เมาส์

5. Animate Toolbar ใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหวของแบบจำลองสำหรับการแสดงผลและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

6. Draw Toolbar ใช้ในการวาดและระบายสีบน Model Window Canvas Flowchart View

7. Model Window Canvas Flowchart View เป็นพื้นที่ในการสร้างแบบจำลอง ผู้ใช้สามารถลากมอดูลาก Project Bar หรือ Object อื่น ๆ ลงในบริเวณนี้

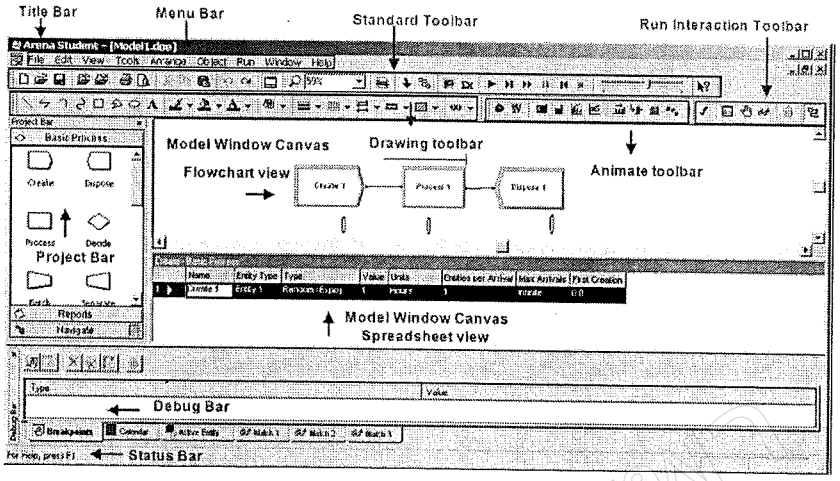
8. Model Window Canvas Spreadsheet View สรุปข้อมูลเกี่ยวกับมอดูลที่ได้กดเลือกไว้และสามารถเปลี่ยนข้อมูลของแต่ละมอดูลได้ด้วย

9. Project Bar แสดงมอดูลที่ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ในการสร้างแบบจำลองได้ ประกอบไปด้วยบัญชีแสดงกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น Basic Process Template, Advanced Process Template และ Advanced Transfer Template เป็นต้น

10. Status Bar แสดงคำสั่งและผลป้อนกลับ (Feedback) สำหรับผู้ใช้จากตัวโปรแกรม

11. Debug Bar เครื่องมือช่วยในการติดตามระหว่างการรันแบบจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-40 หน้าต่างของโปรแกรมอารีนา

วัตถุเก็บข้อมูลของโปรแกรมอารีนา (Arena Data Storage Objects)

ส่วนหนึ่งของการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีนา คือ การกำหนดและเก็บข้อมูลที่ได้จากผู้ใช้ (ข้อมูลนำเข้า) ข้อมูลเหล่านี้สามารถจัดเก็บได้ในรูปของ 1) ตัวแปร (Variables) 2 นิพจน์ (Expression) และ 3) คุณลักษณะ (Attributes) ดังนี้

1. ตัวแปร (Variables) เป็นตัวแปรที่ครอบคลุมแบบจำลองทั้งหมด หรือ Global Variable ซึ่งสามารถอ่านค่าและเปลี่ยนค่าจากมอดูลใดก็ได้ โดยใช้ในการเก็บข้อมูล และเปลี่ยนค่าสถานะเมื่อเริ่มต้นการรันแบบจำลอง (Initialization) โดยทั่วไป Variables ถูกใช้ในการตัดสินใจด้วย Decide Module และเปลี่ยนค่าด้วย Assign Module การประกาศและกำหนดค่าของตัวแปรสามารถทำได้โดยใช้ Variable Module ภายใต้ Basic Process Template อย่างไรก็ดีตัวแปรที่ผู้ใช้งานสร้างขึ้นต้องมีชื่อไม่ซ้ำกับตัวแปรที่โปรแกรมอารีนาใช้อยู่ เช่น ตัวแปร NQ (Cutting Machine Queue) ใช้เก็บข้อมูลที่แสดงจำนวนชิ้นงานในแถวคอย Cutting Machine. Queue ณ เวลาหนึ่ง ๆ NR (Cutting Machine) ใช้เก็บข้อมูลที่แสดงจำนวนทรัพยากรCutting Machine ที่ไม่ว่าง (Busy) ณ เวลาหนึ่ง ๆ และ TNOW เก็บข้อมูลเวลาของการรันแบบจำลอง

2. นิพจน์ (Expression) นิพจน์ในโปรแกรมอารีนาเปรียบเสมือนตัวแปรพิเศษที่เก็บสูตรการคำนวณ ถูกใช้ในกรณีที่ต้องคำนวณค่าบ่อยครั้ง ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการกำหนดเวลาการให้บริการเป็น Expression ชื่อ “Service Time” กำหนดให้เท่ากับ “UNIF (2, 5)” ทุก ๆ ครั้งที่ Expression นี้ถูกเรียกใช้จะทำการสุ่มตัวเลขที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปจาก 2 ถึง 5 และนำค่าที่ได้ไปใช้งานต่อไป ในการสร้าง Expression นั้นสามารถนำเอา Variables และAttributes มาใช้เป็นส่วนหนึ่งได้ด้วย

3. คุณลักษณะ (Attributes) เป็นคุณลักษณะของแต่ละเอนทิตี หรือ เป็นตัวแปรเฉพาะที่ (Local) ของเอนทิตีเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจาก Variables ที่มีลักษณะเป็น Global หากกำหนดให้แต่ละเอนทิตีมี Attribute ชื่อ "Arrival Time" เวลาที่เข้ามาในระบบจะถูกจัดเก็บอยู่ในเอนทิตีแต่ละตัว โดยมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเวลาที่เข้ามาในระบบ และสามารถถูกใช้งานได้จาก Attribute ที่สร้างขึ้นมีประโยชน์ในการเก็บสถิติต่าง ๆ เช่น เวลารวมในระบบ (Cycle Time) เวลาในการรอคอย (Waiting Time) โดยการใช้ Attribute ควบคู่กับ Record Module

ชุดผลลัพธ์ทางสถิติของโปรแกรมอารีนา (Arena Output Statistics Collection) ผลลัพธ์ทางสถิติของตัวชี้วัดของระบบถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการจำลอง ในโปรแกรมอารีนาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักคือ 1) ค่าเฉลี่ยต่อเอนทิตี หาได้จากผลรวมของตัวชี้วัดหารด้วยจำนวนเอนทิตี เช่น ค่าเฉลี่ยของเวลาในการรอคอยของลูกค้าแต่ละคน ค่าเฉลี่ยของเวลารวมในระบบของลูกค้าแต่ละคน และ 2) ค่าเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา หาได้จากผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันตัวชี้วัดหารด้วยเวลาในการรันแบบจำลอง เช่น ค่าอรรถประโยชน์เฉลี่ย จำนวนลูกค้าในแถวคอยเฉลี่ย ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 3 แล้วว่าการเก็บค่าสถิติในโปรแกรมอารีนาสามารถทำได้โดยใช้ Statistic Module และ Record Module โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การเก็บข้อมูลทางสถิติด้วย Statistic Spreadsheet

Statistic Spreadsheet เรียกใช้ได้จาก Advanced Process Template ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มค่าสถิติที่ต้องการเก็บได้ตามต้องการ โดยการดับเบิลคลิก ตั้งชื่อค่าสถิติที่ต้องการเก็บ และใส่ข้อมูลในคอลัมน์ต่าง ๆ ค่าสถิติสามารถแบ่งได้หลายประเภทดังนี้

- Time - Persistent เก็บผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา เช่น จำนวนลูกค้าในแถวคอยเฉลี่ย ค่าอรรถประโยชน์เฉลี่ย

- Tally เก็บผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยต่อเอนทิตี โดยค่าสถิตินี้ต้องถูกนิยามใน Record Module ด้วย

- Counter เก็บผลลัพธ์ที่เกิดจากการนับ เหมือนกับ Tally ค่าสถิตินี้ต้องถูกนิยามใน Record Module ด้วย

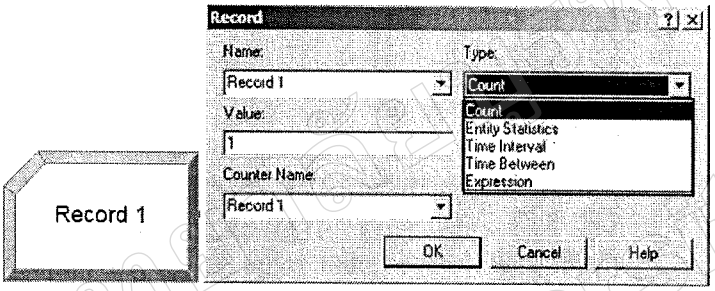
- Output: เก็บผลลัพธ์จาก Expression หรือ ตัวแปรที่ระบุหลังจากการรันแบบจำลองเสร็จสิ้นซึ่งสามารถส่งออกเป็นไฟล์ได้ด้วย เช่น DAVG (S) = เวลาเฉลี่ยของค่าสถิติแบบ Time - Persistent S, TAVG (S) ค่าเฉลี่ยของค่าสถิติแบบ Tally S, TFIN = ช่วงเวลาของการรันแบบจำลอง, NR (), NQ () และตัวแปรอื่น ๆ

- Frequency เก็บผลลัพธ์เพื่อใช้ในการสร้างตารางการแจกแจงความถี่ของค่าที่เกิดจากการเรียกใช้ Expression ค่าของตัวแปร และสถานะของทรัพยากรหรือเอนทิตีในระบบ ยกตัวอย่าง

เช่น สนใจการแจกแจงของจำนวนลูกค้าในแถวคอยเพื่อช่วยในการตัดสินใจเพิ่มทรัพยากรเพราะรายงานแสดงแต่ค่าเฉลี่ยและค่า Half-width แต่ไม่รู้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบใด

การเก็บข้อมูลทางสถิติด้วย Record Module

Record Module เรียกใช้ได้จาก Basic Process Template ผู้ใช้งานต้องลากมอดูลดังกล่าวไปยัง Model Window Canvas Flowchart View แล้วจึงดับเบิลคลิกเพื่อกำหนดค่าสถิติที่ต้องการ มอดูลนี้ถูกเรียกใช้เมื่อมีเอนทิตีที่เข้ามา ดังนั้นตำแหน่งของการสร้างมอดูลนี้จึงมีความสำคัญต่อการเก็บค่าสถิติให้ถูกต้อง ค่าสถิติแบ่งได้หลายประเภท ดังภาพที่ 2-41



ภาพที่ 2-41 หน้าต่าง "Record 1" Module

- Count เป็นการนับโดยขึ้นอยู่กับจำนวนเอนทิตีที่เข้ามา โดยสามารถนับเป็นค่าบวกหรือลบก็ได้ นับทีละหนึ่งหรือมากกว่าได้ด้วยการกำหนดค่า Value ชื่อค่าสถิติ ดังกล่าวจะแสดงตาม Counter Name

- Entity Statistics เป็นทางเลือกในการเก็บค่าสถิติของเอนทิตี เช่น เวลา ค่าใช้จ่ายเป็นต้น

- Time Interval เก็บค่าสถิติของผลต่างระหว่างเวลาที่เอนทิตีเข้ามาในมอดูล (TNOW) และเวลาที่เก็บไว้ใน Attribute ของเอนทิตี

- Time Between เก็บค่าสถิติของผลต่างระหว่างเวลาที่แต่ละเอนทิตีเข้ามาในมอดูล หรือ Interdeparture Time ของเอนทิตี โดยส่วนกลับของเวลาดังกล่าวสามารถใช้ในการคำนวณปริมาณงาน (Throughput) ได้

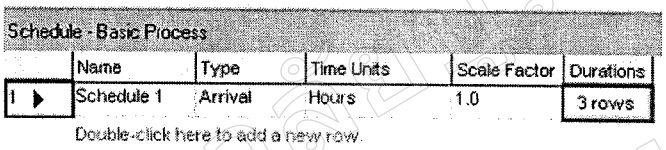
- Expression: เก็บค่าสถิติตามที่กำหนดไว้ใน Expression ทุก ๆ ครั้ง เอนทิตีเข้ามาในมอดูล

การกำหนดค่าผ่านตารางเวลา (Schedule Usage)

ในการกำหนดอัตราการเข้ามาของลูกค้าที่ผ่านมาจะคงที่ โดยไม่ขึ้นอยู่กับเวลา หรือ Stationary Arrival Process อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติอาจเป็นไปได้ว่าจำนวนลูกค้าเข้ามารับบริการ

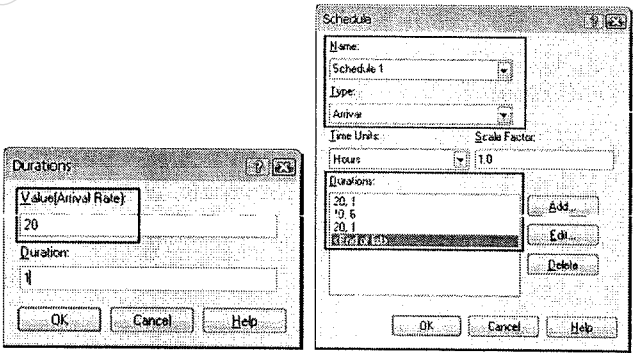
แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา หรือ Nonstationary Arrival Process เช่น จำนวนลูกค้าที่ร้านอาหารจะสูงในช่วงกลางวันและเย็น จำนวนลูกค้ามาทำธุรกรรมที่ธนาคารจะสูงในช่วงเปิดและปิด ในการสร้างเอนทิตีที่มีอัตราการเข้าที่แตกต่างกันสามารถทำได้โดยการสร้าง Schedule ใน Schedule Spreadsheet และกำหนด Time Between Arrivals ใน Create Module ให้เป็นแบบ Schedule ในการจำลองเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง หากต้องการให้ชั่วโมงแรกและชั่วโมงสุดท้ายมีค่าอัตราการเข้ามาเฉลี่ยที่ 20 คน และ 10 คนสำหรับช่วงเวลาที่เหลือ สามารถทำได้ดังนี้

1. คลิกที่ Schedule Spreadsheet ภายใต้ Basic Process Module และดับเบิลคลิกเพื่อสร้าง Schedule ใหม่ดังแสดงในภาพที่ 2-42



ภาพที่ 2-42 การสร้าง Schedule ใหม่

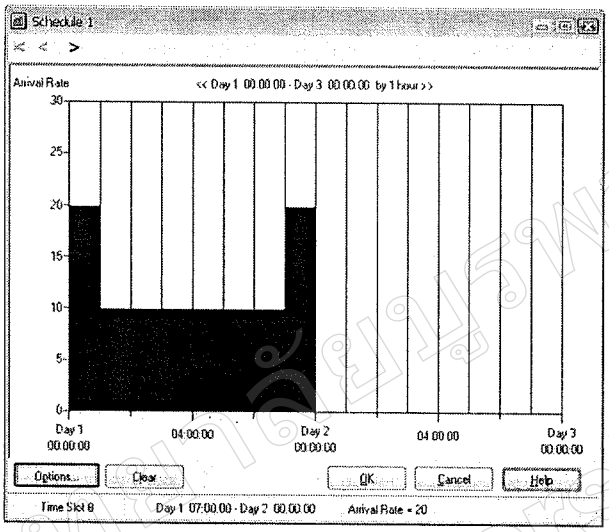
2. ดับเบิลคลิกที่ Schedule หมายเลข 1 และกำหนดตารางเวลาภายใต้ Durations โดยเปลี่ยนประเภทให้เป็นแบบ Arrival และกำหนดให้ 1 ชั่วโมงแรกมีอัตราการเข้า (Arrival Rate) เท่ากับ 20 คน หลังจากนั้นอีก 6 ชั่วโมงให้มี Arrival Rate เท่ากับ 10 คน และ 1 ชั่วโมงสุดท้ายให้มี Arrival Rate เท่ากับ 20 คน ดังแสดงในภาพที่ 2-43



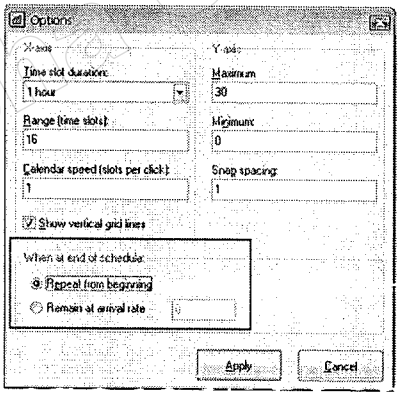
ภาพที่ 2-43 การกำหนด Schedule แบบ Arrival

หากต้องการดู Schedule ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง ให้คลิกที่ปุ่มภายใต้คอลัมน์ Duration ในภาพที่ 2-43 และจะได้แผนภูมิแท่งดังแสดงในภาพที่ 2-44 ซึ่งผู้ใช้สามารถกดปุ่ม Options เพื่อ

ปรับมุมมองและกำหนดเงื่อนไขว่าให้ Schedule เป็นแบบใดเมื่อจบวันลง โดยสามารถกำหนดให้รูปแบบของSchedule เหมือนกันในวันถัดไป (Repeat from Beginning) หรือเปลี่ยนค่าให้เป็นค่าคงที่แทน (Remain at Capacity) ดังแสดงในภาพที่ 2-44

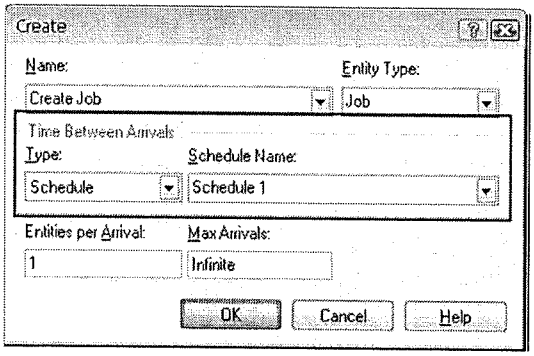


ภาพที่ 2-44 แผนภูมิแท่งของ Schedule



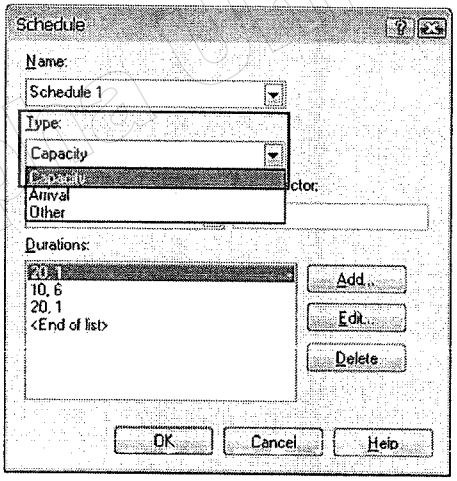
ภาพที่ 2-45 Option ของการแสดง Schedule

3. ดับเบิลคลิกที่ Create Job Module และเปลี่ยนประเภท (Type) เป็น Schedule และเลือก Schedule Name เป็น Schedule 1ดังแสดงในภาพที่ 2-46



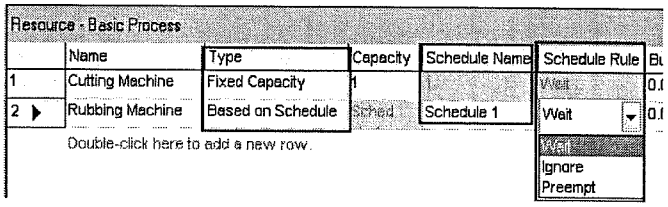
ภาพที่ 2-46 หน้าต่างของ “Create Job” Module เพื่อการใช้ Schedule

Schedule Spreadsheet ยังสามารถใช้กำหนดตารางเวลาการทำงานของทรัพยากรได้ด้วย ซึ่งมีประโยชน์มากในกรณีที่จำนวนของทรัพยากรไม่คงที่ และในปัญหาที่ต้องการหาตารางการทำงานของพนักงานที่เหมาะสมที่สุด ผู้ใช้สามารถสร้างตารางการทำงานของทรัพยากรได้ โดยเปลี่ยนประเภทจาก “Arrival” ให้เป็น “Capacity” ภายใต้ Schedule Spreadsheet ดังแสดงภาพที่ 2-47



ภาพที่ 2-47 การกำหนด Schedule แบบ Capacity

หลังจากนั้นให้ไปที่ Resource Spreadsheet ภายใต้ Basic Process Module และเปลี่ยนประเภทให้เป็นแบบ Based on Schedule และเลือก Schedule Name เป็น Schedule 1 ดังแสดงในภาพที่ 2-48



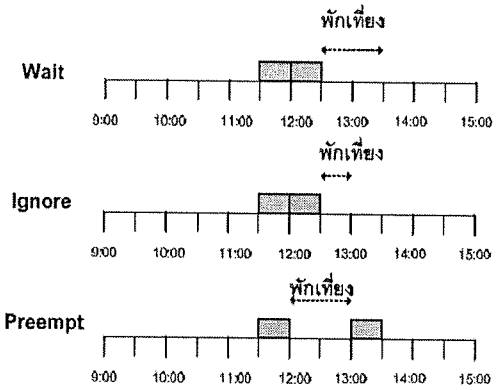
ภาพที่ 2-48 การกำหนด Schedule ให้กับทรัพยากร

นอกไปจากนี้ผู้ใช้ต้องเลือก Schedule Rule ให้กับ Resource ของ Schedule ที่สร้างขึ้น ในกรณีที่ Schedule ที่สร้างขึ้นมีช่วงเวลาที่ Capacity เป็นศูนย์แต่ Resource ดังกล่าวยังถูกจองโดยเอนทิตีอยู่ ยกตัวอย่างเช่น พนักงานให้บริการในธนาคารพักเที่ยงระหว่าง 12:00 - 13:00น. แต่ยังมีลูกค้าที่กำลังให้บริการอยู่ สมมติให้ต้องใช้เวลาอีกครึ่งชั่วโมงจึงจะเสร็จ ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานของ “Schedule Rule” ทั้ง3 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 2-49 ได้ดังนี้

Wait เป็นทางเลือกมาตรฐาน (Default) โดยจะรอจนกว่าเอนทิตีเสร็จสิ้นการทำงานแล้วจึงลด Capacity ด้วยช่วงเวลาในการเปลี่ยน Capacity เหมือนเดิม ยกตัวอย่างเช่น ณเวลา 12:00 น. ผู้ให้บริการจะบริการลูกค้าจนเสร็จที่เวลา 12:30 น. แล้วจึงพักเที่ยงเป็นเวลาเท่าเดิมคือ 1 ชั่วโมง และกลับมาทำงานอีกครั้งที่เวลา 13:30 น.

Ignore จะรอจนกว่าเอนทิตีเสร็จสิ้นการทำงานแล้วจึงลด Capacity แต่ไม่สนใจช่วงเวลาในการเปลี่ยน Capacity ยกตัวอย่างเช่น ณ เวลา 12:00 น. ผู้ให้บริการจะบริการลูกค้าจนเสร็จที่เวลา 12:30 น. แล้วจึงพักเที่ยงแค่ครึ่งชั่วโมงเพื่อให้กลับมาทำงานอีกครั้งที่เวลา 13:00 น. ตาม Schedule เดิมที่ตั้งไว้

Preempt ไม่รอจนกว่าเอนทิตีเสร็จสิ้นการทำงาน โดยจะหยุดพักการทำงานไว้ก่อนแล้วจึงลด Capacity ด้วยช่วงเวลาในการเปลี่ยน Capacity เหมือนเดิม ยกตัวอย่างเช่น ณ เวลา 12:00 น. ผู้ให้บริการจะหยุดให้บริการลูกค้า ไปพักเที่ยงจนถึงเวลา 13:00 น. แล้วจึงกลับมาให้บริการลูกค้าอีกครึ่งชั่วโมงจนเสร็จที่เวลา 13:30 น.



ภาพที่ 2-49 การทำงานของ Schedule Rule แบบต่าง ๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฑา พิชิตลำเค็ญ และมณฑล ยิ่งสูง (2550) ได้ทำการศึกษาถึงวิธีการกำหนดกลยุทธ์ในการถ่ายโอนลูกค้าข้ามแผนกของธนาคารพาณิชย์แห่งหนึ่ง เพื่อช่วยให้การบริการมีความยืดหยุ่นและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ในระบบการให้บริการในปัจจุบันพนักงานบริการเฉพาะลูกค้าของแผนกตนเองเท่านั้น ส่วนระบบที่นำเสนอใหม่จะเป็นการถ่ายโอนลูกค้าจากแผนกเทลเลอร์ไปสู่แผนกจีบีเอส ซึ่งมีกลยุทธ์ที่พิจารณาทั้งหมด 4 รูปแบบ ในการศึกษาได้ใช้ข้อมูลจริงเพื่อกำหนดตัวแปรนำเข้าสำหรับโปรแกรมจำลองสถานการณ์อารีน่า (Arena) ซึ่งถูกใช้เพื่อประมาณค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแถวคอย อันได้แก่ ค่าเฉลี่ยจำนวนลูกค้าในแถวคอย และค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ลูกค้า 1 คนรอรับบริการ ผลจากการศึกษา พบว่า ระบบที่นำเสนอใหม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแผนกเทลเลอร์ แต่ในทางกลับกันก็ทำให้ประสิทธิภาพของแผนกจีบีเอสมีค่าลดลง แต่หากพิจารณา ประสิทธิภาพโดยรวมแล้วพบว่าระบบที่นำเสนอใหม่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบการให้บริการดีขึ้น

ชนากานต์ เกียรติอร่ามกุล (2550) ได้ทำการศึกษาระบบแถวคอยของการให้บริการเจาะเลือดโรงพยาบาลรามาธิบดีโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยระยะเวลาการรอคอย เวลาที่ใช้ในระบบทั้งหมดจำนวนคนในระบบแถวคอย จำนวนคนในระบบ สัดส่วนเวลาการทำงาน และทำการสร้างแบบจำลองแสดงระบบการทำงานทั้งหมด เพื่อหาระบบการให้บริการที่มีประสิทธิภาพที่สุด โดยมีระบบการให้บริการเดิม ดังนี้ ในช่วงเวลา 8.00 - 11.00 น. มีระบบแถวคอยหลายช่องทาง เปิดช่องลงทะเบียน 3 ช่อง ช่องเจาะเลือด 9 ช่อง ช่วงเวลา 11.00 - 13.00 น. มีระบบแถวคอยหลายช่องทาง เปิดช่องลงทะเบียน 1 ช่อง ช่องเจาะเลือด 5 ช่อง ช่วงเวลา 13.00 - 16.00 น. มีระบบแถวคอยหลายช่องทาง เปิดช่องลงทะเบียน 2 ช่อง ช่องเจาะเลือด 2 ช่อง ช่วงเวลา 16.00 - 20.00 น. มีระบบ

แถวคอยหลายช่องทาง เปิดช่องลงทะเบียน 1 ช่อง ช่องเจาะเลือด 2 ช่อง ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ในช่วงเวลา 8.00 - 11.00 น. ระบบที่ดีที่สุด คือ ระบบแถวคอยหลายช่องทาง เปิดช่องเจาะเลือดเพิ่ม 2 ช่อง ช่วงเวลา 11.00 - 13.00 น. ระบบที่ดีที่สุด คือ ระบบแถวคอยช่องทางเดียว เปิดช่องลงทะเบียน 1 ช่อง ช่องเจาะเลือด 5 ช่อง ช่วงเวลา 13.00 - 16.00 น. ระบบที่ดีที่สุด คือ ระบบแถวคอยหลายช่องทาง เปิดเจาะเลือดเพิ่ม 1 ช่อง ช่วงเวลา 16.00 - 20.00 น. ระบบที่ดีที่สุด คือ ระบบแถวคอยช่องทางเดียว เปิดช่องลงทะเบียน 1 ช่อง ช่องเจาะเลือด 2 ช่อง

นิธิภัทร กมลสุข (2555) ได้ทำการศึกษาและการวิเคราะห์ระบบแถวคอยจากการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ของร้าน 7-Eleven สาขาเมืองไทย - ภัทร เพื่อหาจำนวนหน่วยให้บริการที่เหมาะสมที่สุดจากวันที่มีลูกค้าเข้ามารับบริการอย่างหนาแน่น ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ช่วงเวลาตั้งแต่ 7.30 - 9.30 น. ของแต่ละวันจะมีลูกค้ารอรับบริการมากที่สุดและอัตราการเข้ามาสู่ระบบมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง ที่มีค่าเฉลี่ย 2.42 คนต่อนาที อัตราการให้บริการมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 1.72 คนต่อนาที ผลจากการจำลองระบบอย่างอิสระกัน 100 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ 4 ระบบ จากค่าสถิติต่าง ๆ ได้แก่ เวลารอรับบริการเฉลี่ย จำนวน ผู้รอรับบริการเฉลี่ยในแถวคอยและสัดส่วนเวลาว่างเฉลี่ยของผู้ให้บริการ พบว่า จำนวนหน่วยให้บริการที่เหมาะสมที่สุดคือ 2 หน่วยให้บริการ

พิมพิมล สิทธิยุโณ (2554) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบแถวคอยปัจจุบันของคลินิกเบาหวาน โรงพยาบาลท่าศาลา และเสนอแนวทางการพัฒนาระบบแถวคอยคลินิกเบาหวานโดยหาเวลาในการรอคอยเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนเวลาเฉลี่ยที่ผู้ป่วยอยู่ในระบบ และจำนวนผู้ป่วยเฉลี่ยที่รอรับบริการ โดยสร้างทางเลือก และจำลองแบบเพื่อลดเวลาในการรอคอยเฉลี่ยให้น้อยลง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย การสัมภาษณ์การสังเกต โดยบันทึกเวลาการเข้ารับบริการและเวลาการให้บริการในแต่ละขั้นตอน ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลา ความถี่ของการเข้ารับบริการของผู้ป่วย และระบบการให้บริการของคลินิกเบาหวาน คำนวณหาอัตราการเข้ารับบริการของผู้ป่วย และอัตราการให้บริการของคลินิกเบาหวาน เพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการจัดการแถวคอยโดยจำลองแบบด้วยโปรแกรม Arena และพัฒนาทางเลือกใหม่ในการจัดการแถวคอยของคลินิกเบาหวาน

ผลจากการศึกษา พบว่า อัตราการเข้ารับบริการของผู้ป่วยมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง และเวลาในการให้บริการของคลินิกเบาหวานในทุกขั้นตอนการบริการมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วย จากการจำลองแบบคลินิกเบาหวาน ด้วยโปรแกรม Arena เพื่อหาประสิทธิภาพการจัดการระบบแถวคอยของคลินิกเบาหวาน โรงพยาบาลท่าศาลา พบว่า เวลารอรับบริการเฉลี่ยของ

คลินิกเบาหวาน เท่ากับ 250.66 นาที และเวลาเฉลี่ยที่ผู้ป่วยอยู่ในระบบ เท่ากับ 258.27 นาทีโดยผู้ป่วยจะใช้เวลาเวลารอรับบริการเฉลี่ยที่ขั้นตอนการพบแพทย์มากที่สุด เป็นเวลา 141.47 นาที รองลงมา คือ ขั้นตอนการซักประวัติ 54.20 นาที ขั้นตอนการยื่นบัตร 30.10 นาที ขั้นตอนการรับใบนัด 15.49 นาที และ ขั้นตอนการเจาะเลือด 9.28 นาที ตามลำดับ และจำนวนผู้ป่วยเฉลี่ยที่รอรับบริการในระบบแถวคอยคลินิกเบาหวาน เท่ากับ 68.69 คน โดยมีจำนวนผู้ป่วยเฉลี่ยที่รอรับบริการอยู่ในขั้นตอนการพบแพทย์มากที่สุด คือ 37.64 คน รองลงมา คือ ขั้นตอนการซักประวัติ 14.35 คน ขั้นตอนการยื่นบัตร 8 คน ขั้นตอนการรับใบนัด 4.15 คน และ ขั้นตอนการเจาะเลือด 2.52 คน ตามลำดับ

จากผลการจำลองแบบระบบปัจจุบัน ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ทางเลือก จำนวน 5 ทางเลือกโดยการปรับอัตราการเข้ารับบริการ และเปลี่ยนเวลาเริ่มปฏิบัติงานของผู้ให้บริการ พบว่า ทางเลือกที่ลดเวลาเฉลี่ยที่ผู้ป่วยอยู่ในคลินิกเบาหวานได้มากที่สุด คือ ทางเลือกที่ปรับให้เจ้าหน้าที่ในขั้นตอนการยื่นบัตร และเจาะเลือด เริ่มปฏิบัติงานเวลา 6.30 น. แพทย์ และพยาบาลในขั้นตอนการพบแพทย์และการรับใบนัด เริ่มปฏิบัติงานเวลา 8.30 น. และปรับอัตราการเข้ารับบริการของผู้ป่วยให้มาถึงคลินิกเบาหวานในเวลา 6.30 น. โดยผู้ป่วยจะใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ในคลินิกเบาหวาน146.15 นาทีและสามารถลดลงจากระบบปัจจุบัน 112.12 นาที รองลงมา คือ ทางเลือกที่มีการเปลี่ยนอัตราการเข้ารับบริการของผู้ป่วยให้ผู้ป่วยมาถึงคลินิกเบาหวานในเวลา 7.00 น. และเจ้าหน้าที่ในขั้นตอนการยื่นบัตร และเจาะเลือด เริ่มปฏิบัติงานเวลา 7.00 น. โดยผู้ป่วยจะใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ในคลินิกเบาหวาน 146.76 นาทีและสามารถลดลงจากระบบปัจจุบัน 111.51 นาที

วรินทร์ วงคงคำ (2554) ได้ทำการศึกษาการจ่ายก๊าช LPG ให้กับรถบรรทุก ณ ปิโตรเลียมบางจากมีการรอคอยในบางช่วงเวลาและสำหรับรถบรรทุกบางประเภท ผู้วิเคราะห์นำเสนอแนวทางการจัดการรถบรรทุกเข้าคลังก๊าชแบบใหม่ โดยประเมินประสิทธิภาพของแนวทางนี้ ด้วยตัวแบบการจำลองสถานการณ์จากการประมวลผลพบว่า เมื่อเปลี่ยนรูปแบบการจัดแถวคอย จากระบบปัจจุบันมี แถวคอย 3 ชนิด สำหรับลูกค้าแต่ละประเภทเป็น 1 แถวคอยร่วมกัน เวลาคอยของรถบรรทุกในระบบของลูกค้าประเภทกลุ่มโรงบรรจุ ลูกค้าประเภทกลุ่มปั๊ม และลูกค้าประเภทกลุ่มอุตสาหกรรมลดลง 0.08 ชั่วโมง 0.45 ชั่วโมง และ 0.26 ชั่วโมง ตามลำดับ คิดเป็น 8.74%, 36.92% และ 21.39% และสัดส่วนของเวลาที่ช่องบริการการจ่ายก๊าช LPG ถูกใช้งาน ลดลงคิดเป็น 2.02% เพราะมีการเกลี่ยงานทั่วถึงทุกช่องบริการ

ศิริรักษ์ แย้มสุวรรณ (2551) ได้ทำการศึกษาการจัดระบบคิวลูกค้าของธนาคารยูโอบีสาขา A เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการ และลดระยะเวลารอคอย โดยเริ่มจากการออกแบบสอบถามเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่า ปัญหาของการเกิดเวลารอคอยที่นานของ

ลูกค้าที่มารอรับบริการนั้น เนื่องมาจากเคาน์เตอร์ที่ให้บริการกับลูกค้าในปัจจุบันมีไม่เพียงพอ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการจัดระบบคิวลูกค้าของธนาคาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและศึกษาลำดับขั้นตอนการทำงานที่ทำให้เกิด Bottle Neck ของกระบวนการทำงานในธนาคาร พร้อมทั้งหาแนวทางแก้ไขปัญหาเพื่อลดระยะเวลาในการรอคอยของลูกค้าที่มาใช้บริการกับทางธนาคาร ผลจากการศึกษาพบว่า แนวทางที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นทั้ง 2 แนวทาง คือ การเพิ่มพนักงานเพื่อให้บริการ และการจัดตารางพักของพนักงานนั้นสามารถลดระยะเวลาในการรอคอยของลูกค้าที่เกิดขึ้นได้ และช่วยให้บริการลูกค้าได้เต็มที่อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้แนวทางทั้ง 2 แนวทางควบคู่กันจะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพราะจะทำให้การทำงานเป็นระบบและสามารถให้บริการได้เพิ่มมากขึ้น

Lian and Wan (2007) ได้สร้างแบบจำลองระบบแถวคอยของการให้บริการในซูเปอร์มาร์เก็ตที่มีรูปแบบการให้บริการเป็นแบบ (M/ M/ 1): (FCFS/ ∞/ ∞) ซึ่งจากการทดสอบการแจกแจงพบว่าอัตราที่ลูกค้าเข้ามารับบริการต่อนาที มีการแจกแจงแบบ Negative Binomial ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 คน และเวลาการให้บริการมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย 1.6 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.6 จากการจำลองระบบพบว่า เวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าใช้รอรับบริการคือ 1 นาที 55 วินาที ความยาวของแถวคอยเฉลี่ย 4.22 คน และความน่าจะเป็นที่หน่วยให้บริการจะว่างคือ 35.65% และเมื่อศึกษาซูเปอร์มาร์เก็ตที่มีหน่วยให้บริการมากกว่า 1 หน่วยที่ ขนานกันหรืออยู่ในรูปแบบ (M/ M/ C): (FCFS/ ∞/ ∞) ได้สร้างโปรแกรมคำนวณหาค่าเหมาะสมที่สุดของจำนวนหน่วยให้บริการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University