การจำลองสถานการณ์และการหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบจัดส่งยาทางท่อลม กรณีศึกษาหอผู้ป่วยใน โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

Simulation and Optimization of the Pneumatic Tube Drug Delivery System: A Case Study of Inpatient Wards from Songklanagarind Hospital

สิรินาถ จันทร์ขาว[1] อารีย์ ธีรภาพเสรี[2] ดลยา บัวคำ[3] ภาสุรี แสงศุภวานิช[4]
นิกร ศิริวงศ์ไพศาล[5] และ นิติพัฒน์ เหล่ามงคลชัยศรี[6]

[1,3,5]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
[4]สาขาวิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์
[6]ฝ่ายวิเคราะห์ข้อมูลและนวัตกรรมดิจิตอล คณะแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110
E-mail: 6310120065@email.psu.ac.th*

Sirinat Jankhao[1*] Aree Teeraparbseree[2] Dollaya Buakham[3] Pasuree Sangsupawanich[4]
Nikorn Sirivongpaisal[5] and Nitipat Laomongkholchaisri[6]

[1,3,5]Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering
[2]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering
[4]Department of Pediatrics, Faculty of Medicine
[6]Data Analytics and Digital Innovation Department, Faculty of Medicine
Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90110
E-mail: 6310120065@email.psu.ac.th*

Received 31 Jun 2022; Revised 25 Mar 2022
Accepted 24 Jun 2022; Available online 29 Jun 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนกระสวย (Carrier) ที่น้อยที่สุดที่จะใช้ในท่อลมจัดส่งยา โดยนำการจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุด (Simulation and Optimization) มาประยุกต์ใช้ เพื่อการวางแผนการปรับปรุงระบบจัดส่งยาด่วนทางท่อลมสำหรับหอผู้ป่วยใน โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้ การจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุดจึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้กับการปฏิบัติงานจริงซึ่งจะช่วยให้การปรับปรุงระบบท่อลมสามารถบรรลุผลสำเร็จตามที่โรงพยาบาลต้องการ จากผลการจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุดของการจัดส่งยาด่วนพบว่าจำนวนกระสวย 39 ตัวสามารถทำให้ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมเกิดขึ้นน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนด

คำหลัก: โรงพยาบาล การจัดส่งยาด่วน ระบบจัดส่งยาทางท่อลม การจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุด

Abstract

The research aims to determine the minimum number of carriers to be used in pneumatic tube drug delivery by applying simulation and optimization for planning the improvement of the emergency (stat) drug delivery system by a pneumatic tube for inpatient wards in Songklanagarind Hospital. Because it is not possible to experiment or modify the actual work system, simulation is the best tool. And optimization is adopted to determine the appropriate scenario before it is put into practice that will allow the improvement of the pneumatic tube system to achieve the desired results of the hospital. From the simulation and optimization results, it was found that 39 carriers could minimize the waiting time for the carriers at the station of the pneumatic tube system, and the delivery of stat drugs can be achieved within the time required by the hospital.

Keywords: Hospital, Stat Drug Delivery, Pneumatic Tube Drug Delivery System, Simulation and Optimization

1. บทนำ

โรงพยาบาลสงขลานครินทร์เป็นศูนย์กลางทางการแพทย์ที่ใหญ่ที่สุดในภาคใต้ [1] สามารถรองรับการให้บริการผู้ป่วยในได้ 910 เตียง ทำให้ในแต่ละวันโรงพยาบาลมีการจัดการเกี่ยวกับผู้ป่วยในด้านต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก หนึ่งในบริการที่สำคัญ คือ การจัดส่งยาไปยังหอผู้ป่วยใน โรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีเจ้าหน้าที่เสมียนวอร์ด ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการรับยาจากหน่วยงานเภสัชกรรม และนำส่งยาไปยังหอผู้ป่วยใน คำสั่งยาของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. ยา New Order เป็นยาสำหรับผู้ป่วยรายใหม่ที่ไม่เคยใช้มาก่อน กระบวนการจัดส่งยาใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมงจากคำสั่งแพทย์ไปตลอดจนการจัดยาให้ผู้ป่วย

2. ยา Continuous เป็นยาสำหรับผู้ป่วยที่ได้รับยาอยู่แล้วและเป็นยาที่ต้องได้รับอย่างต่อเนื่อง กระบวนการจัดส่งยาจะจัดส่งยาทุกช่วงบ่ายของแต่ละวันเนื่องจากเป็นยาที่ใช้สำหรับวันถัดไป

3. ยาเร่งด่วน (Stat drugs) เป็นยาสำหรับผู้ป่วยที่จำเป็นต้องได้รับการรักษาอย่างเร่งด่วน โดยกระบวนการจัดส่งยาใช้ระยะเวลาไม่เกิน 30 นาทีนับจากคำสั่งแพทย์ไปจนถึงการจัดยาให้ผู้ป่วย

จากระบบการจัดส่งยาด่วนไปยังหอผู้ป่วยในของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ที่ควรใช้ระยะเวลาไม่เกิน 30 นาที ตั้งแต่คำสั่งแพทย์ไปจนถึงการจัดยาให้ผู้ป่วย เมื่อมีการใช้เจ้าหน้าที่เสมียนวอร์ดเป็นผู้นำส่งยาก็อาจเป็นไปได้ที่การจัดส่งยาอาจล่าช้าในบางสถานการณ์ อันเนื่องมาจากจำนวนปริมาณคำสั่งยาที่มีจำนวนมากและระยะทางในการจัดส่งยาที่อาจจะไกลกันในแต่ละคำสั่งยา การจัดส่งยาล่าช้าจะส่งผลต่อคุณภาพในการรักษา ทำให้ทางโรงพยาบาลสนใจที่จะดำเนินการป้องกันการเกิดปัญหาการจัดส่งยาด่วนล่าช้าและเพื่อลดระยะเวลาการจัดส่งยาด่วนไปยังหอผู้ป่วยใน ทางฝ่ายบริหารของโรงพยาบาลได้มีแนวคิดในการปรับปรุงระบบท่อลมเดิมของโรงพยาบาลเพื่อนำมาใช้ในการจัดส่งยาด่วน โดยการบรรจุยาลงในกระสวยที่มีระบบการทำงานด้วยหลักการของปริมาตรลมที่ส่งไปและส่งกลับให้กระสวยที่บรรจุยาส่งไปตามท่อถึงจุดหมายปลายทางตามความต้องการของผู้ใช้

งานวิจัยนี้จึงได้นำทฤษฎีการจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุด (Simulation and Optimization) มาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนกระสวยที่น้อยที่สุดที่จะใช้ในท่อลมจัดส่งยา เพื่อวางแผนในการปรับปรุงระบบท่อลม โดยการกำหนดวัตถุประสงค์และตัวแปรในการตัดสินใจของตัวการดำเนินการแก้ปัญหา ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด สามารถแสดงแนวคิดได้ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$Min\ (f_1(x), f_2(x), \ldots., f_k(x)) \quad (1)$$
$$s.t.\ x \in X$$

เมื่อ $f_1(x)$ คือ ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยา
$f_2(x)$ คือ ระยะเวลาจัดส่งยาไปยังหอผู้ป่วยที่ 1
$f_k(x)$ คือ ระยะเวลาจัดส่งยาไปยังหอผู้ป่วยที่ k
x คือ จำนวนกระสวยที่ใช้ในระบบ

จากสมการที่ (1) แสดงให้ทราบถึงความต้องการที่จะวิเคราะห์หาจำนวนกระสวยที่ทำให้ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมเกิดขึ้นน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนในระยะเวลาที่น้อยที่สุด เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้ การจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุดจึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้กับการปฏิบัติงานจริงซึ่งจะช่วยให้การปรับปรุงระบบท่อลมสามารถบรรลุผลสำเร็จตามที่โรงพยาบาลต้องการ ดังนั้นวิธีการจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุดจึงถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบท่อลม (Pneumatic Tube System)

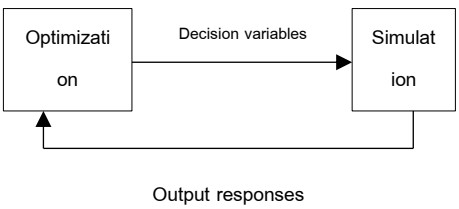
ระบบท่อลมรับและส่งวัสดุ ทำงานโดยหลักการของปริมาตรลมที่ส่งไปและกลับ โดยอาศัยกระสวยที่บรรจุเอกสารหรือวัสดุถูกส่งไปตามท่อถึงจุดหมายปลายทางตามความต้องการของผู้ใช้งานด้วยความเร็ว 3-6 เมตรต่อวินาที สามารถติดตั้ง เชื่อมโยงได้ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง ภายในอาคารและระหว่างอาคารหลายอาคาร โดยมีหน่วยควบคุมส่วนกลาง (Central Control Unit) เป็นชุดคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ประกอบ ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ในระบบท่อลมรับและส่งทั้งหมด ติดตั้งในบริเวณพื้นที่ทำงานของผู้ควบคุมดูแลระบบ เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการดูแลโดยชุดคอมพิวเตอร์ควบคุมส่วนกลางนี้ใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบให้ทำงานอย่างถูกต้อง สามารถเก็บรักษาข้อมูลการใช้งานระบบรวมถึงรายงานความผิดปกติภายในระบบได้ การตั้งค่าหรือแก้ไขค่าพารามิเตอร์ สามารถกระทำผ่านแป้นคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ควบคุมส่วนกลาง หน่วยควบคุมส่วนกลางมี software ที่ใช้เป็นส่วนควบคุมและส่วนแสดงผล [2]

2.2 การจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุด (Simulation-Optimization)

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) คือ การรวบรวมวิธีการต่าง ๆที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่างๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วยเพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคตเนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้ จนกว่าจะมองเห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับ การจำลองสถานการณ์จึงถูกนำมาใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) คือ การหาตัวเลือกหรือแนวทางการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความเหมาะสมที่ต้องการมากที่สุด ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การจำลองสถานการณ์ของระบบถูกสร้างขึ้นด้วยหลากหลายเหตุผล เช่น การสร้างแบบจำลองเพื่อให้เข้าใจระบบดีขึ้นหรือต้องการคาดการณ์ผลลัพธ์ของระบบหรือเพื่อเปรียบเทียบระบบหนึ่งกับอีกระบบหนึ่ง การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นการค้นหาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้จากหลากหลายปัจจัย เพื่อให้การจำลองสถานการณ์ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างการจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุด [3]

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับการจำลองสถานการณ์ สามารถดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ระบุตัวแปรการตัดสินใจทั้งหมดที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ของระบบ

ขั้นตอนที่ 2 ระบุค่าตัวแปรการตัดสินใจแต่ละตัวและระบุวิธีแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินผลแต่ละวิธีด้วยการจำลองสถานการณ์

ขั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของแต่ละวิธี

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าที่ดีที่สุด

2.3 การสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม ProModel

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการศึกษาปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลองซึ่งอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เป็นที่นิยมใช้ที่สุดของการใช้แบบจำลองสถานการณ์เพราะสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานได้หลากหลายประเภท

การหาค่าที่ดีที่สุดของการใช้โปรแกรม ProModel คือ การใช้ SimRunner เป็นการนำโมเดลจำลองสถานการณ์ของโปรแกรม ProModel ที่มีอยู่มาประเมินผลและทำการทดสอบเพื่อค้นหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดให้บรรลุผลลัพธ์ SimRunner ทำให้ทราบวิธีการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดหรือเรียกว่าการหาค่าที่ดีที่สุด โดยจะดำเนินการวิเคราะห์และ Run Model ที่ซับซ้อนและค้นหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจำลองสถานการณ์

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Alkın Yurtkuran Erdal Emel [4] ได้สร้างแบบจำลองสถานการณ์ระบบจัดส่งยาสำหรับผู้ป่วยในของโรงพยาบาลตุรกี โดยใช้การจำลองสถานการณ์วิเคราะห์วิธีการดำเนินงานของเภสัชกรรม เนื่องจากระบบจัดส่งยามีความซับซ้อนสูงส่งผลต่อคุณภาพการบริการของโรงพยาบาลจึงจำลองสถานการณ์เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดจากปัจจัยที่แตกต่างกัน เพื่อลดระยะเวลาในการส่งมอบยาให้กับผู้ป่วยใน ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์จะนำไปปรับปรุงระบบการจัดส่งยา

Lene Berge Holm and Fredrik A. Dahl [5] ได้สร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อหาจำนวนทรัพยากรที่ต่ำที่สุดที่จำเป็นสำหรับแผนกฉุกเฉิน เนื่องจากปริมาณผู้ป่วยเพิ่มขึ้น 45% จึงส่งผลต่อการไหลของผู้ป่วยในแผนกฉุกเฉิน จำลองสถานการณ์โดยการเพิ่มทรัพยากรและหาค่าที่ดีที่สุด พบว่า การเพิ่มจำนวนพยาบาลจาก 8 คนเป็น 9 คนและเพิ่มแพทย์จาก 8 คนเป็น 12 คน สามารถรองรับปริมาณของผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้นได้

Mark and Steven [6] ได้ศึกษาการจัดการระบบท่อลมในการขนถ่ายวัสดุในโรงพยาบาลหลายแห่งในประเทศสหรัฐอเมริกา การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาปรับปรุงระบบท่อลมและขยายระบบท่อลมรวมไปถึงออกแบบระบบใหม่โดยการจำลองสถานการณ์วิเคราะห์การจราจรของระบบท่อลมซึ่งวิธีการที่ใช้ในการวิจัยคือการใช้ Microsoft Access, Med Model และ AutoCAD สำหรับวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานและเก็บข้อมูลในอดีตเพื่อนำมาจำลองสถานการณ์

Shaghayegh Norouzzadeh, Nancy Riebling, Lawrence Carter and Joseph Conigliaro [7] ได้ศึกษาการจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อจำลองสถานการณ์การปฏิบัติงานของคลินิกผู้ป่วยนอกเพื่อให้สามารถรองรับจำนวนของผู้ป่วยนอกคลินิกที่เพิ่มมากขึ้น โดยเก็บรวบรวมข้อมูล เวลาการมาคลินิกของผู้ป่วยทั้งหมด รวมถึงระยะเวลาในการรอเข้ารับการรักษาและเวลาบริหารทางคลินิก จากนั้นจึงเสนอทางเลือกการปรับปรุงต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงการจัดสรรทรัพยากร การจัดลำดับความสำคัญและจำนวนผู้ป่วย ผลการวิจัยพบว่าการจำลองสถานการณ์และการหาค่าที่ดีที่สุดของคลินิกผู้ป่วยนอกพบว่าเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน 27.5% รองรับจำนวนผู้ป่วยนอกเพิ่มขึ้น 54.8% และลดเวลาในการทำงาน 20%

3. ขั้นตอนการทำวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษากระบวนการจัดส่งยาแก่ผู้ป่วยในปัจจุบันโดยเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ หัวหน้าแผนก ผู้ปฏิบัติงาน

และข้อมูลจากฐานข้อมูลของทางโรงพยาบาลซึ่งเป็นข้อมูลในเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและกำหนดขอบเขตในการทำวิจัย

3.2 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ศึกษาข้อมูลของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์เพื่อนำข้อมูลไปสู่การวิเคราะห์และออกแบบแนวทางงานวิจัยและรวบรวมข้อมูลจาก Microsoft Power BI ของฝ่ายเภสัชกรรมโดยใช้ข้อมูลในเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 มาวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับนำไปสร้างแบบจำลองสถานการณ์

3.3 การพัฒนาแบบจำลองของระบบด้วยโปรแกรม ProModel

การพัฒนาแบบจำลองระบบการนำส่งยาด่วนของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์บนโปรแกรม ProModel เป็นการจำลองสถานการณ์โดยพัฒนาแบบจำลองระบบท่อลมจากบริเวณคลังยาไปยังหอผู้ป่วยใน ตึก 13 ชั้น โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

3.4 การทวนสอบและรับรองความน่าเชื่อถือ

พิสูจน์แบบจำลองสถานการณ์โดยนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วนจากคลังยาไปยังหอผู้ป่วยใน ปริมาณยาด่วนในแต่ละหอผู้ป่วยในเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าแบบจำลองสถานการณ์ระบบท่อลมถูกต้องและสามารถจัดส่งยาด่วนได้ตามระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนดและรับรองความน่าเชื่อถือโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้สอดคล้องกับระบบการใช้งานจริง

3.5 การทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดโดยการจำลองสถานการณ์

นำทฤษฎีการจำลองสถานการณ์มาประยุกต์ใช้กับระบบท่อลมเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนกระสวยที่ทำให้ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมเกิดขึ้นน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนด จากผลจำลองสถานการณ์ระบบท่อลม นำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาจำนวนกระสวยที่เหมาะสมที่สุดซึ่งสามารถทำให้ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมเกิดขึ้นน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนด

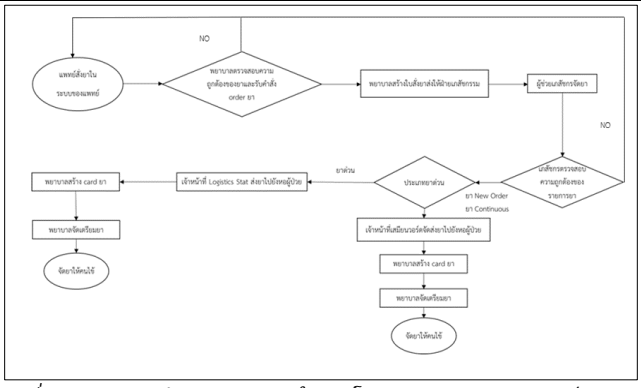
3.6 การวิเคราะห์และอภิปรายผล

3.7 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

4. ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลกระบวนการจัดส่งยาแก่ผู้ป่วยในปัจจุบัน

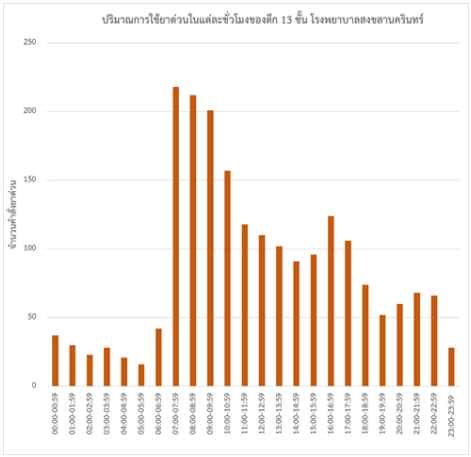
กระบวนการจัดส่งยาแก่หอผู้ป่วยใน ตามสภาพปัจจุบันของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์เริ่มต้นจากการที่แพทย์สั่งยาผ่านโปรแกรมคำสั่งแพทย์จากคอมพิวเตอร์ไปยังฝ่ายพยาบาล พยาบาลแต่ละหอผู้ป่วยจะตรวจสอบความถูกต้องของยาและรับคำสั่งยาผ่านระบบโปรแกรมยาของพยาบาลและสร้างใบสั่งยาส่งให้ฝ่ายเภสัชกรรม เมื่อฝ่ายเภสัชกรรมได้รับคำสั่งยา ผู้ช่วยเภสัชกรจะทำการจัดยาและให้เภสัชกรตรวจสอบความถูกต้องของยาและทำการจ่ายยาโดยมีเจ้าหน้าที่ Logistics Stat จัดส่งไปยังหอผู้ป่วย เมื่อได้รับยาแล้วฝ่ายพยาบาลจะทำการตรวจสอบและสร้าง card ยาในระบบโปรแกรมยาของพยาบาล หลังจากนั้นพยาบาลจะจัดเตรียมยาและจัดยาให้ผู้ป่วย ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจยาด่วน



รูปที่ 2 กระบวนการจัดส่งยาแก่ผู้ป่วยในของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (สภาพปัจจุบัน)

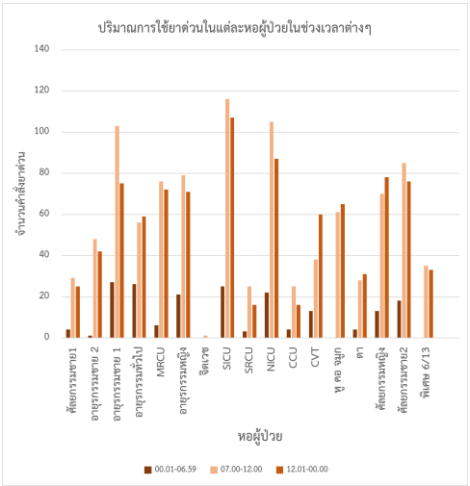
4.2 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมข้อมูลปริมาณยาด่วนทั้งหมดจาก Microsoft Power BI ของฝ่ายเภสัชกรรมในเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2563 ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริมาณการใช้ยาด่วนในแต่ละชั่วโมงของหอผู้ป่วยใน (ตึก 13 ชั้น)

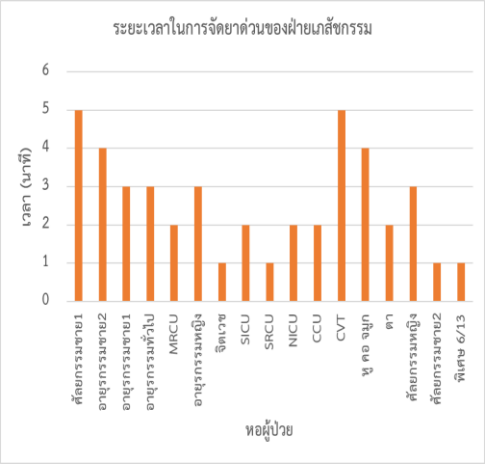
จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าบางช่วงเวลาจะมีการใช้งานยาด่วนในปริมาณมากและบางช่วงเวลาจะมีการใช้งานยาด่วนในปริมาณน้อย จึงนำข้อมูลชุดนี้ไปจำแนกเพื่อหาช่วงเวลาที่มีการใช้งานปริมาณยาด่วนทั้งหมดของแต่ละหอผู้ป่วยของตึก 13 ชั้น ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ปริมาณการใช้ยาด่วนในแต่ละหอผู้ป่วยในช่วงเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลา 7:00-12:00 น. หอผู้ป่วยโดยส่วนใหญ่มีการใช้งานยาด่วนปริมาณมากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ จึงนำข้อมูลชุดนี้ไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อที่จะนำไปจำลองสถานการณ์ ระยะเวลาในกระบวนการจัดส่งยาด่วนแก่ผู้ป่วยในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ มีข้อกำหนดมาตรฐานตั้งแต่แพทย์สั่งยาไปจนถึงคนไข้ได้รับการบริหารยาภายใน 30 นาที โดยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนแพทย์สั่งยา 5 นาที พยาบาลตรวจสอบความถูกต้องของยาและสร้างใบสั่งยา 5 นาที เภสัชกรจัดยา 5 นาทีและจัดส่งยาไปยังหอผู้ป่วย 5 นาทีหลังจากนั้นพยาบาลจะบริหารยาแก่ผู้ป่วยภายในระยะเวลา 10 นาที โดยในการจำลองสถานการณ์จะเริ่มจำลองสถานการณ์ตั้งแต่กระบวนการที่แพทย์สั่งยาไปจนถึงกระบวนการ

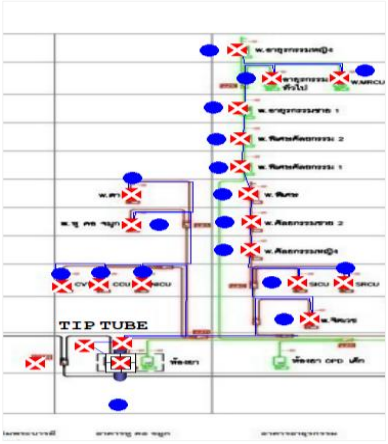
จัดส่งยาถึงหอผู้ป่วยซึ่งระยะเวลาไม่ควรเกิน 20 นาที โดยกำหนดให้ฝ่ายแพทย์และพยาบาลใช้ระยะเวลาคงที่ในการจำลองสถานการณ์ คือ ใช้เวลา 5 นาทีในการทำงานของแต่ละฝ่ายและฝ่ายเภสัชกรรมจะนำข้อมูลจาก Microsoft Power BI ในเดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2563 ช่วงเวลา 7:00-12:00 น. เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาจัดยาด่วนก่อนนำไปจำลองสถานการณ์ จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการจัดยาด่วนของแต่ละหอผู้ป่วยจะแตกต่างกัน โดยมีระยะเวลาตั้งแต่ 1-5 นาที ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระยะเวลาในการจัดยาด่วนของฝ่ายเภสัชกรรม

4.3 พัฒนาแบบจำลองของระบบด้วยโปรแกรม ProModel

ในงานวิจัยนี้ทำการจำลองสถานการณ์ผ่านโปรแกรม ProModel หลังจากทำการศึกษาสภาพการทำงานของระบบท่อลมจึงทำการออกแบบการจำลองสถานการณ์ของระบบท่อลมโดยระบุตำแหน่งต่างๆและระยะเวลาในแต่ละกระบวนการของการจัดส่งยาด่วนและจำลองสถานการณ์เพื่อหาระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบจำลองสถานการณ์ระบบท่อลม

4.4 การทวนสอบและรับรองความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การทวนสอบความถูกต้องจะทวนสอบระบบท่อลมจากการจำลองสถานการณ์โดยผู้เชี่ยวชาญ เนื่องจากสถานการณ์ในปัจจุบันไม่มีระบบจริงสำหรับการทวนสอบ วิศวกรของบริษัทปรับปรุงระบบท่อลมซึ่งมีความเชี่ยวชาญในระบบท่อลมจะรับรองความน่าเชื่อถือเพื่อให้สอดคล้องกับระบบการใช้งานจริงและพิสูจน์ว่าแบบจำลองสถานการณ์ระบบท่อลมถูกต้องและสามารถจัดส่งยาด่วนได้ตามระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนด

4.5 การทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดโดยการจำลองสถานการณ์

เริ่มออกแบบการทดลอง โดยนำข้อมูลปริมาณยาด่วนของแต่ละหอผู้ป่วยและระยะเวลาในแต่ละกระบวนการในการจัดส่งยาด่วนมาจำลองสถานการณ์การจัดส่งยาไปหอผู้ป่วยในด้วยระบบท่อลม โดยปัจจัยในการทดลอง คือ จำนวนกระสวยที่ทำให้ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมเกิดขึ้นน้อยที่สุดและระยะเวลาจัดส่งยาไปยังหอผู้ป่วยน้อยที่สุด เนื่องจากทางโรงพยาบาลมีกระสวยสำหรับการใช้งานทั้งหมด 40 ตัวที่สั่งจากบริษัทปรับปรุงระบบท่อลม จึงสามารถออกแบบการทดลองได้ 2 วิธี ดังนี้

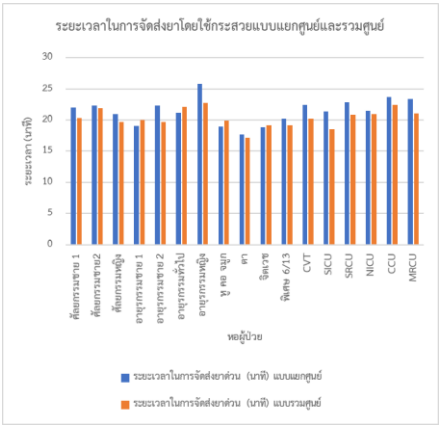
วิธีที่ 1 ใช้กระสวยแบบแยกศูนย์ คือ จัดสรรกระสวย 2 ตัวต่อ 1 หอผู้ป่วยซึ่งตึก 13 ชั้นมีหอผู้ป่วย 17 หอผู้ป่วย วิธีนี้จะใช้กระสวยทั้งหมด 34 ตัว

วิธีที่ 2 ใช้กระสวยแบบรวมศูนย์กระสวย คือ จัดสรรให้ใช้กระสวยร่วมกันทั้งตึก 13 ชั้นโดยเริ่มต้นการจำลองสถานการณ์ด้วยกระสวย 34 ตัว เท่ากับแบบแยกศูนย์

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วนของแต่ละวิธี เพื่อดูว่าวิธีใดสามารถทำให้ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมเกิดขึ้นน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาน้อยที่สุด (ทางโรงพยาบาลกำหนดไม่เกิน 20 นาที นับจากแพทย์สั่งยาจนถึงยาถึงหอผู้ป่วย)

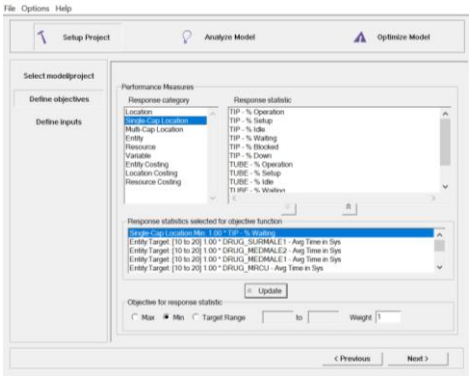
4.6 การวิเคราะห์และอภิปรายผล

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มาวิเคราะห์หาระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วนจาก จากผลการจำลองสถานการณ์ของทั้ง 2 วิธีจะเห็นได้ว่า โดยภาพรวมระยะเวลาในการจัดส่งยาลดลงเมื่อใช้วิธีแบบรวมศูนย์แต่มีบางหอผู้ป่วยที่ใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นหอผู้ป่วยที่มีจำนวนคำสั่งยาน้อยเมื่อมารวมศูนย์จึงเกิดการรอคอยกระสวยเพิ่มขึ้น เช่น หอผู้ป่วยจิตเวช หอผู้ป่วย หู คอ จมูก และทั้งนี้การใช้กระสวยแบบรวมศูนย์ยังคงมีหอผู้ป่วยที่มีระยะเวลาจัดส่งยาเกินกว่าที่ทางโรงพยาบาลกำหนด ดังนั้น จากการทดลองข้างต้น ควรเพิ่มจำนวนกระสวยสำหรับจัดส่งยาด่วนเข้าไปในระบบเพื่อที่จะลดระยะเวลารอคอยกระสวย โดยเพิ่มจำนวนกระสวย ดังนี้ วิธีที่ 1 ใช้กระสวยแบบแยกศูนย์ คือ เพิ่มกระสวยเป็น 3 ตัวต่อ 1 หอผู้ป่วย ตึก 13 ชั้นมีหอผู้ป่วย 17 หอผู้ป่วย ดังนั้น วิธีนี้จะใช้กระสวย 51 ตัวซึ่งเป็นจำนวนกระสวยที่มากเกินกว่าที่ทางโรงพยาบาลสั่งจากบริษัท ซึ่งถ้าสั่งกระสวยเพิ่มจะทำให้ต้นทุนในการติดตั้งระบบท่อลมเพิ่มขึ้นจึงสนใจที่จะออกแบบการทดลองโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ของวิธีที่ 2 คือการใช้กระสวยแบบรวมศูนย์โดยทำการทดลองด้วย SimRunner ในโปรแกรม ProModel โดยคลังยาไปยังหอผู้ป่วยใน ผลจากการจำลองสถานการณ์ของวิธีที่ 1 ใช้กระสวยแบบแยกศูนย์และวิธีที่ 2 ใช้กระสวยแบบรวมศูนย์ แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วนโดยใช้กระสวยแบบแยกศูนย์และรวมศูนย์

กำหนดให้เพิ่มจำนวนกระสวยทีละ 1 ตัว ดังนั้นจำนวนกระสวยในการทดลองมีค่าระหว่าง 34-40 ตัว วิธีการจำลองสถานการณ์โดยใช้ SimRunner แสดงดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9

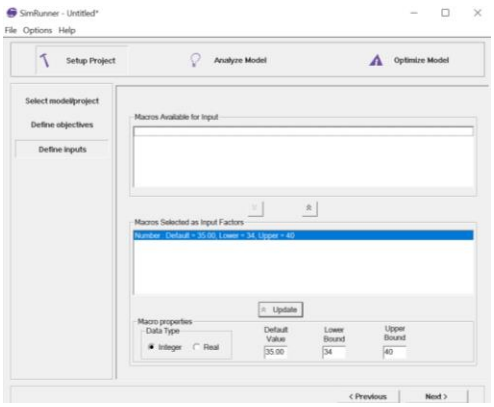


รูปที่ 8 การจำลองสถานการณ์โดยใช้ SimRunner

จากรูปที่ 8 เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการจำลองสถานการณ์ซึ่งในการทดลองนี้มี 2 วัตถุประสงค์ คือ ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมเกิดขึ้นน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่น้อยที่สุด (ทาง

โรงพยาบาลกำหนดไม่เกิน 20 นาทีนับจากแพทย์สั่งยาจนถึงยาถึงหอผู้ป่วย)

กำหนดขอบเขตล่างและขอบเขตบนของปัจจัยในการทดลอง คือ กระสวยจำนวน 34-40 ตัว แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การจำลองสถานการณ์โดยใช้ SimRunner

จำลองสถานการณ์โดย Run Model และใช้ระยะเวลาในการ Run Model 60 นาที ผลการจำลองสถานการณ์โดยใช้ SimRunner แสดงดังรูปที่ 10

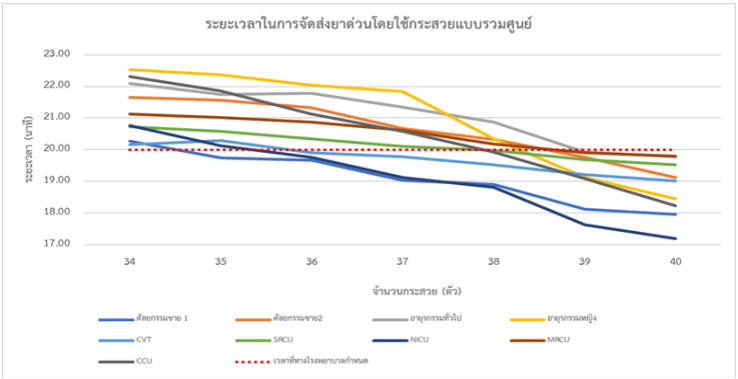
รูปที่ 10 ผลจากการจำลองสถานการณ์โดยใช้ SimRun

จากรูปที่ 10 แกน X คือ จำนวนกระสวยในการทดลองมีค่าระหว่าง 34-40 ตัว โดยเริ่มนับจำนวนกระสวยจากหมายเลข 1-7 เรียงตามลำดับและแกน Y คือ ระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วน การหาค่าที่ดีที่สุดใน SimRunner คือ การหาตัวเลือกหรือแนวทางการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้การทดลองที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองที่เหมาะสมที่สุดจะส่งผลต่อระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมเกิดขึ้นน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนด จากกราฟแกน Y แสดงเวลาที่แตกต่างระหว่างเวลาที่มากที่สุดและเวลาที่น้อยที่สุด ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้แสดงผลเป็นจำนวนลบ ซึ่งการทดลองด้วย SimRunner จะแสดงค่าลบซึ่งค่าลบมากที่สุด คือ จำนวนกระสวยที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการทดลองพบว่า จำนวนกระสวยที่เหมาะสมที่สุด คือ กระสวยจำนวน 39 ตัวและเพื่อยืนยันผลการทดลองจึงได้ทำการจำลองสถานการณ์อีกครั้งด้วยการ Run Model ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่ากระสวย 39 ตัวจะทำให้ระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วนลดลงและทำให้ทุกหอผู้ป่วยสามารถจัดส่งยาด่วนได้ภายในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาล กำหนด โดยจะนำเสนอ 9 หอผู้ป่วยที่ไม่สามารถจัดส่งยาด่วนได้ภายในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนด (จากการทดลองใช้กระสวย 34 ตัว) ได้แก่ ศัลยกรรมชาย 1 ศัลยกรรมชาย2 อายุรกรรมทั่วไป อายุรกรรมหญิง CVT SRCU NICU MRCU และ CCU ที่เป็นผลทดลองจากรูปที่ 7

ตารางที่ 1 ระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วนโดยใช้กระสวยแบบรวมศูนย์

จำนวนกระสวย	ระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วน (นาที)								
	ศัลยกรรมชาย 1	ศัลยกรรมชาย2	อายุรกรรมทั่วไป	อายุรกรรมหญิง	CVT	SRCU	NICU	MRCU	CCU
กระสวย 34 ตัว	20.27	21.65	22.09	22.53	20.16	20.73	20.76	21.13	22.32
กระสวย 35 ตัว	19.74	21.56	21.74	22.37	20.28	20.58	20.12	21.01	21.85
กระสวย 36 ตัว	19.67	21.33	21.78	22.03	19.90	20.34	19.76	20.87	21.12
กระสวย 37 ตัว	19.03	20.67	21.35	21.84	19.78	20.11	19.12	20.61	20.58
กระสวย 38 ตัว	18.91	20.32	20.87	20.34	19.52	19.98	18.81	20.18	19.93
กระสวย 39 ตัว	18.12	19.76	19.93	19.12	19.21	19.69	17.63	19.91	19.09
กระสวย 40 ตัว	17.96	19.13	19.78	18.44	19.01	19.52	17.18	19.80	18.23

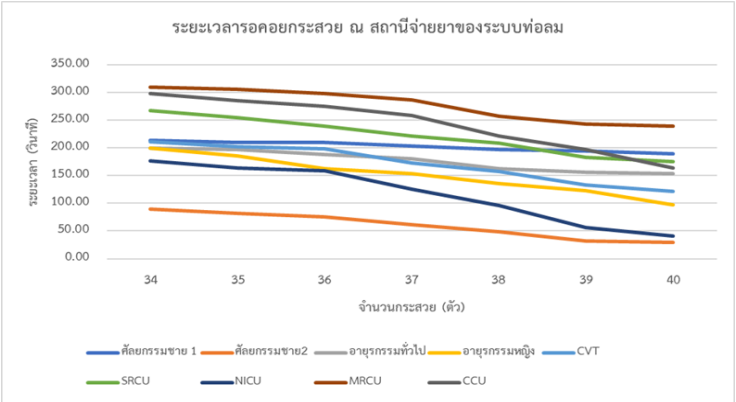


รูปที่ 10 ระยะเวลาในการจัดส่งยาด่วนโดยใช้กระสวยแบบรวมศูนย์

สำหรับผลการทดลองระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลม แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 12 แสดงแนวโน้มระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลม

ตารางที่ 2 ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลม

จำนวนกระสวย	ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลม (วินาที)								
	ศัลยกรรมชาย 1	ศัลยกรรมชาย2	อายุรกรรมทั่วไป	อายุรกรรมหญิง	CVT	SRCU	NICU	MRCU	CCU
กระสวย 34 ตัว	213.45	89.97	200.18	199.65	211.23	267.80	176.23	309.78	298.34
กระสวย 35 ตัว	210.34	82.34	197.32	186.12	202.31	254.31	163.42	305.55	286.30
กระสวย 36 ตัว	209.76	74.98	188.21	163.21	198.34	239.34	159.09	298.20	275.12
กระสวย 37 ตัว	204.31	61.11	181.23	154.10	173.25	221.13	125.53	286.56	259.10
กระสวย 38 ตัว	197.39	48.31	162.91	135.90	156.98	209.43	96.66	256.91	221.23
กระสวย 39 ตัว	195.21	32.14	156.59	123.50	132.67	183.41	56.98	243.45	196.87
กระสวย 40 ตัว	190.21	29.96	153.78	97.64	122.20	175.50	41.12	240.01	163.38



รูปที่ 11 ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลม

ผลการจำลองสถานการณ์จากตารางที่ 2 และรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนกระสวยตั้งแต่ 34-40 ตัว ทำให้ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมลดลงตามลำดับ กระสวย 39 ตัวและกระสวย 40 ตัว สามารถทำให้ระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนดซึ่งกระสวย 39 ตัวสอดคล้องกับผลการทดลองจากการจำลองสถานการณ์โดยใช้ SimRunner

การใช้กระสวยแบบรวมศูนย์ 39 ตัวร่วมกันภายในตึก 13 ชั้นเป็นค่าที่ดีที่สุดเนื่องจากบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ทั้งหมด คือ สามารถลดระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดและสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนดได้และกระสวย 39 ตัวเป็นจำนวนทรัพยากรที่น้อยกว่าที่ทางโรงพยาบาลสั่งจากบริษัททำให้ต้นทุนในการติดตั้งระบบท่อลมลดลง

5. สรุปผล

5.1 สรุปผล

จากการวิเคราะห์การจำลองสถานการณ์ทั้ง 2 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ใช้กระสวยแบบแยกศูนย์ คือ ใช้กระสวย 2 ตัวต่อ 1 หอผู้ป่วยซึ่งตึก 13 ชั้นมีหอผู้ป่วย 17 หอผู้ป่วย วิธีนี้จะใช้กระสวยทั้งหมด 34 ตัว วิธีที่ 2 ใช้กระสวยแบบรวมศูนย์ คือ ใช้กระสวยร่วมกันทั้งตึก 13 ชั้นโดยใช้กระสวย 34 ตัว จากผลการจำลองสถานการณ์พบว่าทั้งสองวิธีไม่สามารถจัดส่งยาด่วนได้ตามระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนด ควรที่จะเพิ่มจำนวนกระสวย เพื่อลดระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดและเพื่อสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนด ดังนั้น วิธีที่ 1 ใช้กระสวยแบบแยกศูนย์ คือ เพิ่มกระสวยเป็น 3 ตัวต่อ 1 หอผู้ป่วย ตึก 13 ชั้นมีหอผู้ป่วย 17 หอผู้ป่วย วิธีนี้จะใช้กระสวย 51 ตัวซึ่งเป็นจำนวนกระสวยที่มากเกินกว่าที่ทางโรงพยาบาลสั่งจากบริษัท อาจจะทำให้ต้นทุนในการติดตั้งระบบท่อลมเพิ่มขึ้นจึงสนใจที่จะพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ของวิธีที่ 2 คือการใช้กระสวยแบบรวมศูนย์เริ่มจำลองสถานการณ์โดยการใช้ SimRunner ในโปรแกรม ProModel โดยกำหนดให้เพิ่มจำนวนกระสวยทีละ 1 ตัว ดังนั้นจำนวนกระสวยในการทดลองมีค่าระหว่าง 34-40 ตัว จากผลการทดลองพบว่ากระสวยจำนวน 39 ตัวเป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับระบบท่อลมของตึก 13 ชั้น โรงพยาบาลสงขลานครินทร์และทำการยืนยันผลการทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์อีกครั้งด้วยการ Run Model พบว่ากระสวยจำนวน 39 ตัวสามารถจัดส่งยาด่วนอยู่ในระยะเวลาที่ทางโรงพยาบาลกำหนดได้ครบทุกหอผู้ป่วยและสามารถลดระยะเวลารอคอยกระสวย ณ สถานีจ่ายยาของระบบท่อลมให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนกระสวยที่น้อยที่สุดที่จะใช้ในท่อลมจัดส่งยาเพียงปัจจัยเดียว ดังนั้นควรจะศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมและ

ควรศึกษาวิธีการใช้กระสวยแบบแยกศูนย์โดยพิจารณาจุดรวมแยกอาคารและจำลองสถานการณ์ครอบคลุมทุกอาคารของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.นพ.เรืองศักดิ์ ลีธนาภรณ์ คณบดีคณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.นพ.กิตติพงศ์ เรียบร้อย ผู้อำนวยการโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ดร.พญ.ภาสุรี แสงศุภวานิชและเภสัชกรหญิงเปญจมาภรณ์ อภิรมย์รักษ์ หัวหน้าฝ่ายเภสัชกรรมและเจ้าหน้าที่ฝ่ายเภสัชกรรม โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ สำหรับการสนับสนุนและเอื้อเฟื้อข้อมูลรวมถึงคำแนะนำข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์จนทำให้บทความสำเร็จลงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] โรงพยาบาลสงขลานครินทร์, “ประวัติโรงพยาบาล,” [ออนไลน์]. Available: http://hospital.psu.ac.th. [10 กรกฎาคม 2563].

[2] โรงพยาบาลนพรัตนราชธานี, “ระบบท่อลมภายในโรงพยาบาล,” [ออนไลน์].Available: http://www.nopparat.go.th. [22 กรกฎาคม 2563].

[3] Bowden “Simulation Optimization” in Simulation U-sing ProModel, 1992, pp. 286.

[4] Alkın Yurtkuran Erdal Emel “Simulation Based Decisin-Making for Hospital Pharmacy Management”, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference.

[5] Lene Berge Holm and Fredrik A. Dahl “Simulating the Influence of A 45% Increase in Patient Volume on the Emergency Department of Akershus University Hospital”, Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference.

[6] Mark W. Isken and Steven J. Littig. “Simulation Analysis of Pneumatic Tube Systems”, Journal of Medical Systems, 2002.

[7] Shaghayegh Norouzzadeh, Nancy Riebling, Lawrence Carter and Joseph Conigliaro “Simulation Modeling to Optimize Healthcare Delivery in an Outpatient Clinic”, Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference.