

การประยุกต์ใช้ เทคนิคการจำลองสถานการณ์

ในการปรับปรุงการให้บริการรังสีรักษา กรณีศึกษา
โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่

The Application of Simulation Technique in Radiotherapy Service Improvement: The Case Study of Maharaj Nakorn Chiang Mai Hospital

อัฐรัฐ โกศยานนท์¹, ศ.พญ.อัมใจ ชิตาพนารักษ์², ผศ.ดร.ชมพูนท เกษมเศรษฐ์¹
Auttharat Kosayanon¹, Prof. Imjai Chitapanarux, M.D.², Asst. Prof. Chompoonoot Kasemset¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

²หน่วยรังสีรักษา ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine,
Chiang Mai University, Thailand

Abstract

Background: The Division of Radiation Oncology at Maharaj Nakorn Chiang Mai Hospital has a major role in take caring of patients from 8 provinces located at the northern area. The number of patients at this division has increased yearly, but the capability of radiotherapy service is limited. Thus, it is necessary to find improvement solutions for increasing the capability of this service in order to serve more patients.

Objective: To propose and evaluate improvement methods for increasing capability of radiotherapy service at Maharaj Nakorn Chiang Mai Hospital.

Materials and Methods: To propose and evaluate improvement solutions, it is impossible to conduct experiments under the real situation. Therefore, simulation technique, one tool of industrial engineering tools, was applied in this research. Using simulation, the simulation model for the radiotherapy service was developed. Then, this model was applied for testing the current situation and each solution. The results from the simulation tests can be used in decision making in order to select appropriate solutions for the real implementation in the future.

Result: The results from the simulation model of the treatment room no. 2 presented that the largest portion of the total operation time was at radiation process. Other operations are carried out by two technicians, so the number of technicians has an effect on long operation times. Therefore, improvements were proposed to increase the efficiency of the radiation machine and technicians. Three solutions were proposed as follows: (1) increasing the number of technicians from 2 to 3 persons; (2) investing a new technology radiation machine; and (3) adopting 3 technicians and investing a new machine. Then, simulation

experiments were conducted to present the results of each solution. The results showed that all solutions can improve the number of patients per day at this treatment room significantly as 9.28%, 56.06%, and 64.01%, respectively.

Conclusion: The results of this study can be concluded as follows. Firstly, for short term improvement, increasing the number of technicians from 2 to 3 persons is effective to be implemented with minor increasing in the number of patients per day as 9.28% or 2 to 3 patients comparing with the current number. Secondly, if the hospital wants to increase the number of patients per day at the optimized level, the hospital should consider the second solution that is only to invest a new technology radiation machine. With the second solution, 56.06% increasing in the number of patients per day will be achieved as equal to 13 patients increasing per day. In addition, the results from simulation tests did not present the significant difference between the second and third solutions, it can be concluded that the second solution is more appropriated to be implemented to the real system in the future. The second solution can be considered as a long term improvement plan for the hospital.

Keywords: Simulation, Health Care, Radiotherapy, Operations Improvement

บทคัดย่อ

หลักการและเหตุผล: หน่วยรังสีรักษา โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยศรีนครเชียงใหม่ มีหน้าที่ให้บริการรักษาผู้ป่วยครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ซึ่งจำนวนผู้ป่วยที่มาใช้บริการที่หน่วยนี้มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี ในขณะที่หน่วยรังสีรักษา มีความสามารถในการให้บริการผู้ป่วยที่จำกัด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการเพิ่มความสามารถของการให้บริการผู้ป่วย ณ หน่วยรังสีรักษาโรคมะเร็งให้เพิ่มมากขึ้น

วัตถุประสงค์: งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอและประเมินแนวทางในการเพิ่มความสามารถในการให้บริการด้านรังสีรักษา ณ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยศรีนครเชียงใหม่

วัสดุและวิธีการ: เนื่องจากการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุง และการประเมินผลแนวทางการปรับปรุง ไม่สามารถทำการทดลองในระบบการให้บริการจริงได้ งานวิจัยนี้จึงนำเอาเทคนิคการจำลองสถานการณ์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันในสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มาใช้ในการจำลองสถานการณ์ของระบบการให้บริการรังสีรักษา และใช้ตัวแบบจำลองนี้ในการประเมินผลแนวทางการปรับปรุง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์จากแต่ละแนวทางมาตัดสินใจเลือกแนวทางที่สามารถนำไปปรับใช้จริงได้ต่อไป

ผลการศึกษา: จากการจำลองสถานการณ์การให้บริการของห้องฉายรังสีที่ 2 พบว่า เวลาในกระบวนการส่วนใหญ่อยู่ที่ขั้นตอนการฉายรังสีเป็นหลัก ส่วนในขั้นตอนย่อยอื่นๆ พบว่า จำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคซึ่งทำงานร่วมกัน 2 คน เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เวลาของกระบวนการย่อยใช้เวลานาน ดังนั้น ทางเลือกในการปรับปรุงจึงเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสี และเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงใน 3 แนวทาง คือ (1) การเพิ่มเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคจาก 2 คนเป็น 3 คน (2) การเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีให้เป็นเครื่องรุ่นใหม่ที่สามารถทำงานได้ตามเทคนิคของเครื่องเดิม และ (3) การเพิ่มจำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคเป็น 3 คนพร้อมกับการเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีให้เป็นรุ่นใหม่ ผลจากการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่า ทั้งสามแนวทางสามารถเพิ่มจำนวนผู้ป่วยต่อวันที่เข้ารับการรักษาที่หน่วยนี้ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยทั้งสามแนวทางให้จำนวนผู้ป่วยต่อวันที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9.28, 56.06 และ 64.01 ตามลำดับ

ข้อสรุป: ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า หากโรงพยาบาลต้องการนำเอาแนวทางการปรับปรุงไปใช้จริง ในระยะสั้นการเพิ่มเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคจาก 2 คนเป็น 3 คน จะสามารถทำได้เร็วที่สุด และสามารถเพิ่มจำนวนผู้ป่วยจากเดิมได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่

การเพิ่มขึ้นจะมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 9.28 ซึ่งคิดเป็น 2 ถึง 3 คนต่อวัน แต่หากโรงพยาบาลต้องการเพิ่มจำนวนผู้ป่วยให้ได้มากที่สุด และคุ้มค่าที่สุด โรงพยาบาลควรพิจารณาแนวทางที่ 2 คือการใช้จำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคเท่าเดิม แต่ต้องลงทุนเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีเป็นเครื่องรุ่นใหม่ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการให้บริการผู้ป่วยเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมอย่างชัดเจนถึงร้อยละ 56.06 หรือคิดเป็นประมาณ 13 คนต่อวัน และเนื่องจากผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ไม่สามารถบอกได้ว่าจำนวนผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้นของแนวทางที่ 2 และ 3 มีความแตกต่างกัน ดังนั้น แนวทางที่ 2 จึงน่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการพิจารณาเป็นแผนระยะยาวสำหรับโรงพยาบาลต่อไป

คำสำคัญ: การจำลองสถานการณ์/ การให้บริการทางการแพทย์/ รังสีรักษา/ การปรับปรุงกระบวนการ

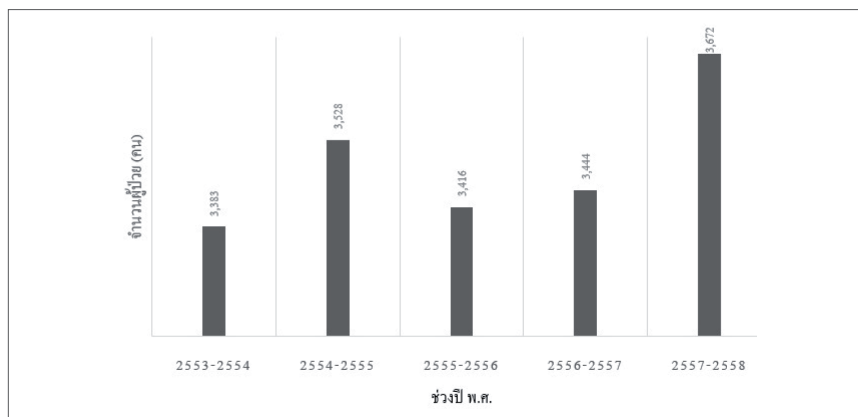
บทนำ (Introduction)

จากข้อมูลสถิติของสมาคมรังสีรักษาและมะเร็งวิทยาแห่งประเทศไทยประจำปี พ.ศ.2558 พบว่า คนไทยได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคมะเร็งเป็นอันดับหนึ่งโดยเฉลี่ยปีละประมาณ 60,000 คน⁽¹⁾ และมีแนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคนี้นเพิ่มขึ้นทุกปีในการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็ง วิธีการหนึ่งที่ได้รับการนิยมนิยม คือ การฉายรังสีรักษา ซึ่งเป้าหมายในการรักษาด้วยการฉายรังสีมี 2 ประเภท คือ การรักษาให้หายขาด (Curative) และการรักษาแบบประคับประคอง (Palliative) สำหรับผู้ป่วยที่ไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้

หน่วยรังสีรักษา ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งรับผิดชอบการให้บริการรังสีรักษา แก่ผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษา ณ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ ซึ่งครอบคลุมผู้ป่วยในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน

และแม่ฮ่องสอน โดยจำนวนผู้ป่วยที่มาใช้บริการที่หน่วยรังสีรักษา โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ มีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3,400 คน/ ปี ในช่วงปี พ.ศ.2557-2558 และมีแนวโน้มสูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 1

ณ หน่วยรังสีรักษา มีการให้บริการรังสีรักษา โดยมีห้องฉายรังสีทั้งหมดจำนวน 4 ห้อง โดยห้องฉายรังสีที่ 1 สามารถให้บริการผู้ป่วยเฉลี่ย 25.66 คน/ วัน ห้องฉายรังสีที่ 2 สามารถให้บริการผู้ป่วยเฉลี่ย 22.40 คน/ วัน ห้องฉายรังสีที่ 3 สามารถให้บริการผู้ป่วยเฉลี่ย 33.22 คน/ วัน และห้องฉายรังสีที่ 4 สามารถให้บริการผู้ป่วยเฉลี่ย 34.02 คน/ วัน ซึ่งแต่ละห้องจะให้บริการการฉายรังสีด้วยเทคนิคที่แตกต่างกันไป โดยจะแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 ผู้ป่วยจะถูกส่งรักษาตามอาการโดยมีแพทย์ประจำหน่วยเป็นผู้กำหนดเทคนิคของการรักษาให้แก่ผู้ป่วยแต่ละราย



ภาพที่ 1. สถิติการฉายรังสีย้อนหลังปี พ.ศ.2553-2558 (ที่มา: มะเร็งวิวัฒน์, 2559)

ตารางที่ 1 เทคนิคการฉายรังสีของแต่ละห้อง

ห้องที่	เทคนิค			
	2-DRT	3-DCRT	IMRT	IGRT
1				/
2	/	/	/	
3	/	/	/	/
4	/	/		

จากการเข้าไปสังเกตการณ์และเก็บข้อมูลเบื้องต้น พบว่า ห้องฉายรังสีที่ 2 สามารถให้บริการรองรับผู้ป่วยเฉลี่ยต่อวัน น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับห้องฉายรังสีอื่นๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการให้บริการผู้ป่วยได้เพียงพอต่อจำนวนผู้ป่วยที่ต้องการเข้ามารับการรักษา ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการจำกัดขอบเขตการศึกษาไว้ที่การให้บริการผู้ป่วยของห้องฉายรังสีรักษาห้องที่ 2 เพื่อให้ได้แนวทางในการเพิ่มความสามารถในการให้บริการผู้ป่วย และเนื่องจากการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงการให้บริการแก่ทางโรงพยาบาล จำเป็นจะต้องมีผลการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงที่เหมาะสม โดยไม่สามารถทำการทดลองจริงในระบบการให้บริการได้ ดังนั้น หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหการ คือ การจำลองสถานการณ์ จึงถูกนำมาช่วยในการหาแนวทางการปรับปรุงระบบ และทดสอบแนวทางในการปรับปรุง เพื่อให้ได้ผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นของแนวทางการปรับปรุง ในการพิจารณาเพื่อนำไปปรับใช้จริงต่อไป⁽²⁾

วัสดุและวิธีการ (Materials and Methods)

ในงานวิจัยนี้จะนำเอาหลักการทางวิศวกรรมอุตสาหการ มาทำการวิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุงระบบการให้บริการของหน่วยรังสีรักษา เพื่อหาแนวทางที่จะเพิ่มความสามารถในการให้บริการผู้ป่วยที่มีมารับการรักษา โดยใช้ทฤษฎีการจำลองสถานการณ์ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้⁽³⁾

1. กำหนดขอบเขตการศึกษา

เป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการทำการศึกษา โดยเริ่มจากการตั้งวัตถุประสงค์ของการศึกษาให้ชัดเจน ระบุระบบ และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง รวมถึงตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ใช้การในเปรียบเทียบทางเลือกต่างๆที่จะเกิดขึ้น กำหนดกรอบความคิด

ของการจำลองระบบและการสร้างแบบจำลอง และวางแผนการดำเนินงาน

2. การจัดหาและวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า

ทำการระบุข้อมูลที่ต้องการใช้ในการสร้างแบบจำลอง ทำการเก็บข้อมูลโดยการจับเวลาโดยตรง และการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบ หลังจากที่ได้เก็บข้อมูลจนครบถ้วนแล้ว จึงทำการนำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์หารูปแบบการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดค่าเข้าไปในแบบจำลองผ่านเครื่องมือ Input Analyzer ในโปรแกรม Arena เพื่อทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูล โดยใช้ทดสอบการกระจายตัว 2 วิธี คือวิธีที่ 1 การทดสอบโคโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) ใช้สำหรับทดสอบข้อมูลที่มีน้อยกว่า 50 ข้อมูล และวิธีที่ 2 การทดสอบแบบไคสแควร์ (Chi-Square Test) ใช้ทดสอบข้อมูลที่มีอย่างน้อย 50 ข้อมูล การระบุรูปแบบของข้อมูลนำเข้าจะพิจารณาค่า p-value กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการยอมรับสมมติฐานหลักของการทดสอบ เพื่อกำหนดรูปแบบการแจกแจงทางสถิติให้กับค่าปัจจัยนำเข้าแต่ละค่า⁽⁴⁾

3. การพัฒนาแบบจำลอง

ทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ผ่านโปรแกรม Arena และทำการตรวจสอบการทำงานของแบบจำลองโดยการไล่ขั้นตอนการทำงานของระบบไปที่ละขั้น⁽⁵⁾ เพื่อให้การทำงานของแบบจำลองตรงตามการทำงานที่เกิดขึ้นจริงของระบบ

4. การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองในแง่ของการทำงาน

ทำการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นว่า สามารถทำงานได้ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยทำการตรวจสอบโครงสร้างของแบบจำลอง ที่ละขั้นตอน ร่วมกับการให้ผู้เชี่ยวชาญ หรือผู้ที่ทำงานในระบบจริง มาทำการตรวจสอบการทำงานของแบบจำลองว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีการทำงานถูกต้องตามระบบจริงหรือไม่

5. การทดลองใช้งานแบบจำลองเพื่อเก็บผลเบื้องต้น

ทำการทดสอบแบบจำลองเบื้องต้น เพื่อที่จะนำผลจากการทดสอบไปใช้ในการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการกำหนดเงื่อนไขของการทดสอบให้ใกล้เคียงกับระบบจริงให้มากที่สุด

6. การยืนยันแบบจำลอง

ทำการทดสอบเพื่อยืนยันว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้แทนที่ระบบจริงได้ โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองใช้งานในขั้นตอนก่อนหน้า มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่เกิดจากระบบจริงในปัจจุบัน เพื่อยืนยันว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความเหมือนกับระบบจริงที่กำลังทำการศึกษายู่

7. การออกแบบการทดลองเพื่อหาแนวทางปรับปรุง

ในขั้นตอนนี้จะทำการออกแบบสถานการณ์ที่ใช้ในการทดสอบระบบเพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางในการปรับปรุงระบบ กำหนดเงื่อนไขของการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย จำนวนการทดลองซ้ำในแต่ละสถานการณ์ ช่วงเวลาของการจำลองสถานการณ์ และเงื่อนไขเริ่มต้นของการจำลองสถานการณ์

8. การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการทดลอง

ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองในสถานการณ์ต่างๆที่กำหนดขึ้น การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์จะอยู่ในรูปแบบของการคำนวณช่วงความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 เพื่อนำไปสู่การสรุปผลการศึกษา

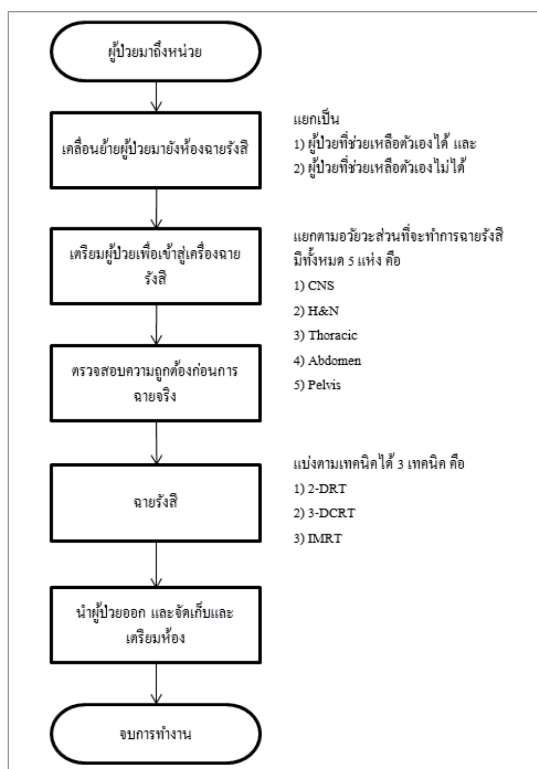
9. ทำการสรุปผลการศึกษาและเพิ่มเติมข้อเสนอแนะ

ทำการรวบรวมข้อมูลของการศึกษาทั้งหมดเพื่อนำเสนอและนำไปสู่การใช้งานต่อไป

ผลการศึกษา (Results)

1. ข้อมูลเบื้องต้นของการให้บริการในหน่วยรังสีรักษา

จากการเข้าไปสังเกตการณ์ในระบบการให้บริการผู้ป่วยของหน่วยรังสีรักษา โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ มีการให้บริการผู้ป่วยวันจันทร์ถึงศุกร์ ในเวลาราชการระหว่าง 8:00 – 16:00 น. โดยห้องฉายรังสีที่ 2 จะมีการให้บริการการฉายรังสีรักษาในเทคนิค 2-DRT 3-DCRT และ IMRT ผู้ป่วยที่มาเข้ารับบริการสามารถแบ่งได้เป็น ผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตนเองไม่ได้ และผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตัวเองได้ ซึ่งขั้นตอนการเข้ารับบริการที่หน่วยนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนในการฉายรังสีรักษา (ห้องฉายที่ 2)

เมื่อผู้ป่วยมาถึงห้องที่จะเข้ารับการรักษา จะมีการจัดเตรียมท่าทางของผู้ป่วยตามอวัยวะที่จะต้องรับการฉายรังสีซึ่งแบ่งเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มระบบประสาทกลาง (Central Nervous System, CNS) กลุ่มศีรษะและลำคอ (Head and Neck, H&N) กลุ่มกระดูกหลังส่วนอก (Thoracic) กลุ่มช่องท้อง (Abdomen) และกลุ่มช่วงล่างตั้งแต่กระดูกเชิงกรานลงไป (Pelvis) ซึ่งจะมีการเตรียมผู้ป่วย และใช้อุปกรณ์ที่ต่างกันตามอวัยวะส่วนที่จะทำการรักษา โดยขั้นตอนนี้มีนักรังสีเทคนิคทำงานร่วมกันสองคน ซึ่งผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตนเองไม่ได้ จะมีการใช้เวลาในขั้นตอนนี้มากกว่าผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตัวเองได้ หลังจากจัดเตรียมผู้ป่วยให้พร้อมที่จะรับการรักษา จะต้องมีการจำลองการฉายรังสีเพื่อตรวจสอบความถูกต้องก่อนทำการรักษาจริงตามแต่ละเทคนิค ซึ่งหลังจากเสร็จสิ้นการฉายรังสี นักเทคนิคทั้งสองคนจะช่วยกันนำผู้ป่วยออกจากเครื่องฉาย และจัดเตรียมห้องให้พร้อมสำหรับรักษาผู้ป่วยรายต่อไป โดยเวลาที่ใช้ในการรักษาของผู้ป่วยในแต่ละห้องจะมีความแตกต่างกันไป

2. ข้อมูลเบื้องต้นและผลการวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า

หลังจากการเข้าไปสังเกตการณ์การทำงานในหน่วยให้บริการและทำการจับเวลาในแต่ละขั้นตอนการทำงาน นำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสม โดยใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สามารถแสดงผลของการวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้าได้ดังตารางที่ 2 ถึง 6 โดยค่า p-value ที่นำเสนอในตารางมาจากการทดสอบสมมติฐานว่า ค่าที่ทำการทดสอบมีการแจกแจงแบบที่ระบุหรือไม่ โดยค่า p-value ที่มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่า รูปแบบการแจกแจงที่นำมาทดสอบ สามารถใช้แทนที่ชุดข้อมูลได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 2 ลักษณะการเข้ามาของผู้ป่วย (คน/วัน)

ห้องที่	p-value	รูปแบบการแจกแจงทางสถิติ
2	0.250	$16.5 + \text{LOGN}^1 (7.93, 7.14)$

ตารางที่ 3 เวลากระบวนการเตรียมผู้ป่วยแบ่งตามอวัยวะ (นาทีก)

อวัยวะ	p-value	รูปแบบการแจกแจงทางสถิติ
CNS	0.337	$\text{TRIA}^2 (0.5, 2.62, 4.5)$
HN	0.325	$\text{TRIA} (0.5, 3, 5.5)$
Thoracic	0.111	$1.5 + 5 * \text{BETA}^3 (1.32, 2.83)$
Abdomen	0.539	$\text{TRIA} (0.5, 2, 3.5)$
Pelvis	0.120	$\text{UNIF}^4 (0.5, 3.5)$

¹ LOGN (Mean, Std.Dev.) คือ การแจกแจงแบบ Lognormal โดยต้องมีการระบุค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Dev.) ในการจำลองค่าสำหรับการจำลองสถานการณ์

² TRIA (Min, Mode, Max) คือ การแจกแจงแบบ Triangle โดยต้องมีการระบุค่าที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ (Min) ค่าที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด หรือค่าฐานนิยม (Mode) และค่าที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ (Max) ในการจำลองค่าสำหรับการจำลองสถานการณ์

³ BETA (α , β) คือ การแจกแจงแบบ Beta ที่จะต้องทำการระบุค่าคงที่สำหรับการกำหนดรูปแบบกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็น 2 ค่า ได้แก่ ค่าอัลฟา (α) และค่าเบต้า (β) ในการจำลองค่าสำหรับการจำลองสถานการณ์

⁴ UNIF (Min, Max) คือ การแจกแจงแบบ Uniform ที่จะต้องทำการระบุค่าขอบเขตที่น้อยที่สุด (Min) และมากที่สุด (Max) ในการจำลองค่าสำหรับการจำลองสถานการณ์

ตารางที่ 4 เวลาของการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเข้าและออกจากห้องรักษา (นาทีก)

ผู้ป่วย	กระบวนการ	p-value	รูปแบบการแจกแจงทางสถิติ
Ambulant	นำผู้ป่วยเข้า	0.210	$\text{TRIA} (1.5, 2.36, 5.5)$
	นำผู้ป่วยออก	0.440	$\text{TRIA} (0.5, 2.42, 3.5)$
Non-Ambulant	นำผู้ป่วยเข้า	0.067	$\text{TRIA} (1.5, 4, 6.5)$
	นำผู้ป่วยออก	> 0.75	$\text{TRIA} (0.5, 2.36, 3.5)$

ตารางที่ 5 การกระจายตัวของเวลากระบวนการฉายรังสี (นาทีก)

Technique	p-value	Distribution
2-DRT	0.253	$\text{TRIA} (1.5, 3.6, 4.5)$
3-DCRT	0.075	$2.5 + \text{LOGN} (3.4, 2.57)$
IMRT	0.075	$3.5 + 18 * \text{BETA} (2.23, 1.15)$

ตารางที่ 6 เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง (นาทีก)

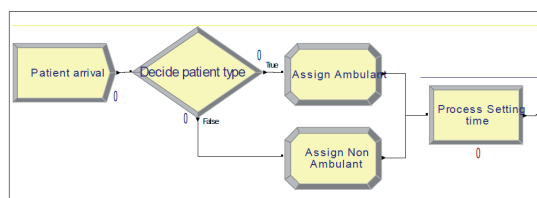
p-value	รูปแบบการแจกแจงทางสถิติ
0.083	$\text{NORM}^5 (0.92, 0.284)$

⁵ NORM (Mean, Std. Dev.) คือ การแจกแจงแบบปกติ ที่จะต้องทำการระบุค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ในการจำลองค่าสำหรับการจำลองสถานการณ์

3. แบบจำลองการให้บริการของห้องฉายรังสีที่ 2

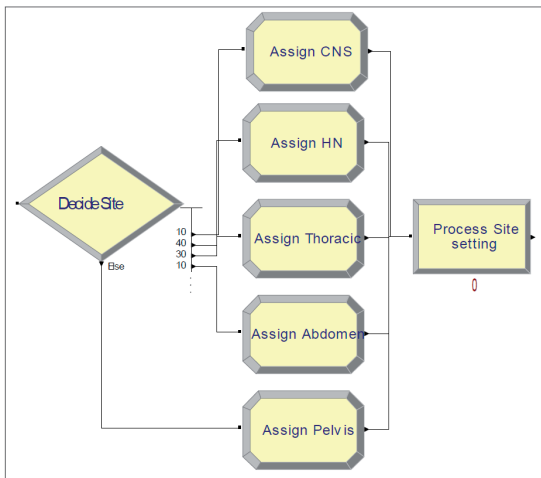
แบบจำลองระบบสำหรับการให้บริการรังสีรักษาของห้องฉายรังสีที่ 2 สามารถแบ่งได้เป็นทั้งหมด 6 ส่วนย่อย ดังนี้

ส่วนที่ 1 (ภาพที่ 3) เป็นการจำลองการเข้ามาของผู้ป่วยตามรูปแบบการแจกแจงทางสถิติที่นำเสนอในขั้นตอนก่อนหน้า โดยจะมีการจำลองการเข้ามาของผู้ป่วย จากนั้นทำการแบ่งผู้ป่วยเป็น 2 ประเภท ตามสัดส่วนที่ได้ทำการเก็บข้อมูลมา ซึ่งจะใช้เวลาในขั้นตอนของการเตรียมผู้ป่วยที่ต่างกัน



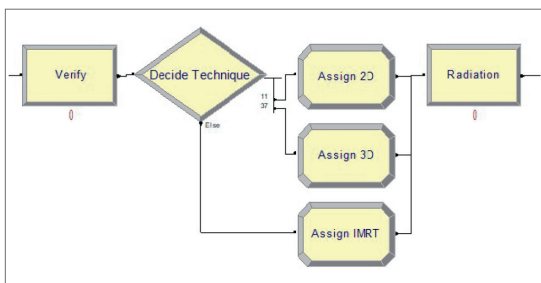
ภาพที่ 3 การจำลองการเข้ามาของผู้ป่วย และการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

ส่วนที่ 2 (ภาพที่ 4) หลังจากจำลองผู้ป่วยเป็นผู้ป่วยที่ช่วยตัวเองได้ และช่วยตัวเองไม่ได้แล้ว จะต้องมีการแบ่งผู้ป่วยไปตามตำแหน่งของอวัยวะที่จะทำการฉายรังสี และจะมีการเตรียมผู้ป่วยตามตำแหน่งอวัยวะซึ่งจะใช้เวลาเตรียมผู้ป่วยที่แตกต่างกันเช่นกัน



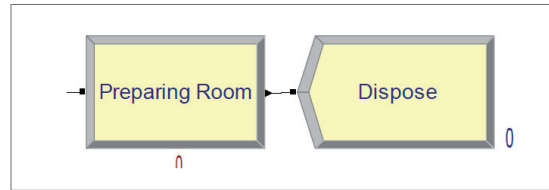
ภาพที่ 4 การจำลองกระบวนการเตรียมผู้ป่วยก่อนการรักษา

ส่วนที่ 3 (ภาพที่ 5) จะเป็นการจำลองในส่วนของการทดลองฉายรังสีเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและการฉายรังสีรักษาจริง ซึ่งจะต้องมีการแยกผู้ป่วยไปตามเทคนิคของการฉายรังสี ซึ่งจะใช้เวลาในการฉายรังสีที่แตกต่างกันไป



ภาพที่ 5 การจำลองการตรวจสอบความถูกต้องก่อนการฉายรังสี และการฉายรังสี

ส่วนที่ 4 (ภาพที่ 6) จะเป็นส่วนของการนำผู้ป่วยออกและจัดเตรียมห้องรักษาสำหรับผู้ป่วยรายต่อไป



ภาพที่ 6 จำลองการนำผู้ป่วยออกจากห้องรักษา และการจัดเตรียมห้องรักษา

4. ผลการตรวจสอบการทำงานของแบบจำลอง

หลังจากทำการสร้างแบบจำลองตามที่นำเสนอในหัวข้อก่อนหน้า ผู้วิจัยจะได้ทำการทดลองแบบจำลองด้วยการทดลองให้แบบจำลองทำงานและดูว่า การจำลองผู้ป่วยเข้าปรีกษาในแต่ละขั้นตอนถูกต้องหรือไม่ ซึ่งพบว่า แบบจำลองสามารถจำลองการเข้ามาของผู้ป่วยในระบบได้ถูกต้องตามขั้นตอนจริง และได้มีการแสดงแบบจำลองให้กับผู้เชี่ยวชาญในหน่วยงานเพื่อตรวจสอบขั้นตอนที่เกิดขึ้นในแบบจำลองว่ามีความถูกต้องตามขั้นตอนจริงในระบบการให้บริการ

5. ผลการทดลองใช้งานแบบจำลองเบื้องต้น และการยืนยันผลจากแบบจำลอง

จากนั้นทำการทดลองใช้งานแบบจำลองเบื้องต้น โดยการจำลองสถานการณ์ระบบการให้บริการผู้ป่วยใน 1 วัน (8 ชั่วโมงทำงาน) และทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 30 รอบของการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena จากนั้นทำการเก็บจำนวนผู้ป่วยที่ออกจากระบบทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ป่วยที่มารับการรักษาจริงในแต่ละวันของห้องฉายรังสีที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบโดยอาศัยการสร้างช่วงความเชื่อมั่นของจำนวนผู้ป่วยโดยเฉลี่ยที่ 95% ได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยจากระบบจริง และการจำลองสถานการณ์

ช่วงจำนวนผู้ป่วยเฉลี่ยจากระบบจริง (คน/วัน)	ช่วงจำนวนผู้ป่วยเฉลี่ยจากโปรแกรม ARENA (คน/วัน)
(21.92, 25.12)	(21.02, 22.34)

จากตารางที่ 7 จะพบว่า จำนวนผู้ป่วยจากการจำลองสถานการณ์จะอยู่ที่ 21.02 ถึง 22.34 คนต่อวัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ป่วยจริงที่ 21.92 ถึง 25.12 จะสามารถสรุปได้ว่า ค่าที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ไม่แตกต่างจากค่าจริงของระบบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยที่แสดงดังตารางมีค่าที่ซ้อนทับกัน ดังนั้น แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้แทนที่ระบบจริงได้

6. การวิเคราะห์ผลเพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุง

จากการจำลองสถานการณ์การให้บริการผู้ป่วยของห้องฉายรังสีที่ 2 พบว่า

- ความสามารถในการให้บริการผู้ป่วยอยู่ที่จำนวนเฉลี่ย 21.02 ถึง 22.34 คนต่อวัน
- เวลาที่ผู้ป่วยแต่ละคนอยู่ในกระบวนการโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 14.68 ถึง 16.25 นาที โดยแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยๆ ได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลจากการจำลองสถานการณ์ของห้องฉายรังสีที่ 2

กระบวนการ	เวลา กระบวนการ ⁶ (นาที/ คน)	คน หรือ เครื่อง เป็นหลัก
เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	(2.17, 2.58)	คน
เตรียมผู้ป่วย	(2.74, 2.86)	คน
ตรวจสอบความถูกต้อง	(0.90, 0.94)	คน+เครื่อง
ฉายรังสี	(7.75, 8.35)*	เครื่อง
นำผู้ป่วยออก	(2.10, 2.18)	คน

⁶ แสดงในรูปแบบของช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 8 ผลจากการจำลองสถานการณ์ แสดงให้เห็นว่า ข้อจำกัดของการให้บริการผู้ป่วยของห้องฉายรังสีที่ 2 สามารถสรุปได้ดังนี้

- เวลากระบวนการที่นานที่สุดอยู่ที่ขั้นตอนการฉายรังสี ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคนิค อาการ และอวัยวะของผู้ป่วย ณ ข้อจำกัดนี้ หากทำการปรับปรุงจะต้องเน้นที่เครื่องฉายรังสีเป็นหลัก

- กระบวนการย่อยๆ หลายกระบวนการเป็นการทำงานของเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค ซึ่งในปัจจุบันมีเจ้าหน้าที่ประจำการอยู่ 2 คน ดังนั้น อาจจะพิจารณาว่า จำนวนเจ้าหน้าที่ที่ทำงาน ณ ปัจจุบันมีความเหมาะสมหรือไม่

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงใน 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 การเพิ่มเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคจากเดิม 2 คนเป็น 3 คน และแนวทางที่ 2 คือการเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีที่ห้องฉายรังสีที่ 2 เนื่องจากเครื่องฉายรังสีที่ใช้งาน ณ ปัจจุบัน เป็นเครื่องเทคโนโลยีรุ่นเก่า ทำให้ใช้เวลาในการฉายรังสีนาน หากเปลี่ยนเป็นเครื่องที่มีความทันสมัยขึ้น จะสามารถลดเวลาในการฉายรังสีได้โดยในการศึกษานี้ จะพิจารณาการเปลี่ยนเป็นเครื่องฉายรังสีรุ่นใหม่ที่สามารถทำการรักษาได้ในเทคนิคที่เหมือนเครื่องเดิม

7. การจำลองสถานการณ์เพื่อทดสอบแนวทางการปรับปรุง

ทำการจำลองสถานการณ์โดยตั้งสถานการณ์สำหรับการปรับปรุงทั้งหมด 3 สถานการณ์ครอบคลุมในสองแนวทางการปรับปรุงดังนี้

- สถานการณ์ที่ 1 เพิ่มเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคเป็น 3 คน
- สถานการณ์ที่ 2 จะทำการเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีเป็นเครื่องรุ่นใหม่ โดยมีเวลาการรักษาที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แสดงดังตารางที่ 9 โดยเครื่องฉายรังสีรุ่นใหม่ในปัจจุบัน ในเครื่องเดียวกันจะถูกออกแบบมาให้สามารถทำการฉายรังสี ตั้งแต่เทคนิคธรรมดาไปจนถึงเทคนิคซับซ้อนไม่ว่าจะเป็น เทคนิคการรักษาแบบปรับความเข้มจากการเคลื่อนของวัสดุกำบังรังสีรูปซี่ (Intensity Modulated Radiotherapy) หรือ เทคนิคการรักษาแบบสี่มิติที่ฉายรังสีตามจังหวะการหายใจของผู้ป่วย (4D-radiotherapy) หรือเทคนิคการรักษาแบบปรับความเข้มชนิดหัวเครื่องหมุนรอบตัวผู้ป่วย (Volumetric Modulated Radiotherapy) อีกทั้งในบางรุ่น จะมีคุณสมบัติพิเศษ สามารถเพิ่มอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) พร้อมกับการใช้วิธีการฉายรังสีจริงที่ไม่มีอุปกรณ์กรองรังสี (Flattening Filter Free :FFF) ทำให้สามารถลดเวลาการฉายรังสีลง ส่งผลให้โอกาสการขยับตัวของผู้ป่วยระหว่างการฉายรังสีลดลงได้

- สถานการณ์ที่ 3 เพิ่มเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคเป็น 3 คน และเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีเป็นเครื่องรุ่นใหม่

ผลการศึกษาจากการจำลองสถานการณ์แนวทางการปรับปรุง สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 9 การกระจายตัวของเวลากระบวนการฉายรังสี (นาที)

Machine	Technique	รูปแบบการแจกแจงทางสถิติ*
เดิม	2-DRT	TRIA(1.5, 3.6, 4.5)
	3-DCRT	2.5 + LOGN(3.4, 2.57)
	IMRT	3.5 + 18 * BETA(2.23, 1.15)
ใหม่	2-DRT	0.5 + LOGN(1.9, 1.3)
	3-DCRT	TRIA(1.5, 3.48, 4.5)
	IMRT	0.5 + LOGN(4.14, 2.42)

*หมายเหตุ มาจากการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 10 ผลการจำลองสถานการณ์สำหรับแนวทางการปรับปรุง

แนวทาง	รายละเอียด	จำนวนผู้ป่วยโดยเฉลี่ย (คน/วัน)	เพิ่มขึ้นจากเดิมโดยเฉลี่ย
เดิม	เครื่องฉายเดิม นักเทคนิครังสี 2 คน	(21.94, 23.30)	-
1	เครื่องฉายเดิม นักเทคนิครังสี 3 คน	(24.15, 25.29)	9.28%
2	เครื่องฉายใหม่ นักเทคนิครังสี 2 คน	(34.27, 36.33)	56.06%
3	เครื่องฉายใหม่ นักเทคนิครังสี 3 คน	(35.87, 38.33)	64.01%

ผลที่แสดงดังตารางที่ 10 จะเห็นว่า ทุกแนวทางการปรับปรุง สามารถเพิ่มจำนวนผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษาได้มากขึ้นกว่าสถานการณ์เดิมอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ป่วยจะเพิ่มขึ้นได้มากที่สุดในสถานการณ์ที่ 3 รองลงมาคือ สถานการณ์ที่ 2 และน้อยที่สุดคือ สถานการณ์ที่ 1

บทวิจารณ์ (Discussion)

จากการจำลองสถานการณ์ ณ ระบบการให้บริการรักษาผู้ป่วยที่ห้องฉายรังสีที่ 2 พบว่าสามารถให้บริการผู้ป่วยได้โดยเฉลี่ยที่ประมาณ 21 ถึง 23 คน ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า ณ ห้องฉายที่ 2 มีการใช้เครื่องฉายรังสีเป็นรุ่นเก่า ซึ่งจะใช้เวลา

ในการฉายรังสีที่นาน และการใช้เจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคเพียง 2 คนจะทำให้กระบวนการที่ใช้คนทำงานเป็นหลักทำได้ช้า ดังนั้น การปรับปรุงจึงนำเสนอใน 3 สถานการณ์ คือ ⁽¹⁾ การเพิ่มเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคเป็น 3 คน ⁽²⁾ การใช้เจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค 2 คนเท่าเดิมแต่เปลี่ยนเครื่องฉายรังสีเป็นรุ่นใหม่ที่สามารถทำงานได้ตามเทคนิคแบบเดิม และ ⁽³⁾ ใช้เจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค 3 คนและใช้เครื่องฉายรังสีรุ่นใหม่ ซึ่งผลจากการจำลองสถานการณ์ พบว่า ทั้งสามทางเลือกสามารถเพิ่มจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาได้อย่างมีนัยสำคัญ

ซึ่งหากพิจารณาในแง่ความเป็นไปได้ในการนำแนวทางการปรับปรุงไปใช้งานจริง จะพบว่า สถานการณ์ที่ 1 การเพิ่มจำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค จะเป็นทางเลือกที่สามารถดำเนินการได้ง่ายที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพิจารณาเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีในสถานการณ์ที่ 2 และ 3 ซึ่งจะสามารถให้บริการผู้ป่วยได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.28 จากเดิม หรือเป็น 24 ถึง 25 คนต่อวัน

แต่หากโรงพยาบาลมีแผนในการเปลี่ยนเครื่องฉายรังสี จะพบว่า เมื่อเปลี่ยนเครื่องฉายรังสี สามารถใช้เจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคที่ 2 คนเท่าเดิมได้ เพราะเมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์ที่ 2 และ 3 จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาทั้งสองสถานการณ์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญ ดังนั้น หากโรงพยาบาลจะทำการเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีเป็นเครื่องรุ่นใหม่ การใช้เจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคจึงควรอยู่ที่จำนวน 2 คนเท่าเดิม ซึ่งจะทำให้โรงพยาบาลสามารถให้บริการผู้ป่วยได้เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 56.06% หรือเพิ่มเป็น 34 ถึง 36 คนต่อวัน

บทสรุป (Conclusion)

การศึกษาในงานวิจัยนี้ ต้องการนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ในเชิงวิศวกรรมอุตสาหกรรม เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงการให้บริการรังสีรักษาของหน่วยรังสีรักษาโรคมะเร็ง ณ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ ซึ่งการศึกษาระบบการให้บริการ การเก็บข้อมูลในหน่วย เพื่อนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ที่สามารถแทนที่ระบบจริงได้อย่างถูกต้อง จากนั้น จึงใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ความสามารถในการให้บริการผู้ป่วยในปัจจุบัน ซึ่งเน้นที่ห้องฉายรังสีที่ 2 เป็นหลัก ทำให้สามารถระบุข้อจำกัดของการให้บริการผู้ป่วยได้ คือ จำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค และเครื่องฉายรังสี จากนั้นจึงใช้แบบจำลองสถานการณ์มาทำการทดสอบแนวทางการปรับปรุง ด้วยการเพิ่มจำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค และการเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีเป็นรุ่นใหม่ พบว่า ทั้งสองแนวทางสามารถเพิ่มความสามารถในการให้บริการผู้ป่วยได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยหากไม่มีการเปลี่ยนเครื่องฉายรังสี โรงพยาบาลอาจพิจารณาเพิ่มจำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคจาก 2 คนเป็น 3 คน หรือ หากโรงพยาบาลมีแผนในการเปลี่ยน

เครื่องฉายรังสีให้เป็นรุ่นใหม่ขึ้น โรงพยาบาลสามารถเปลี่ยนเครื่องฉายรังสีโดยใช้จำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคที่ 2 คนเท่าเดิม ซึ่งจากการจำลองสถานการณ์ แม้ว่า ทุกแนวทางจะมีการเพิ่มความสามารถในการให้บริการผู้ป่วยได้ แต่การเปลี่ยนเครื่องฉายรังสี จะสามารถเพิ่มจำนวนผู้ป่วยที่มารับการรักษาได้มากกว่าการเพิ่มจำนวนเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นในการพิจารณาเปลี่ยนเครื่องฉายรังสี จะต้องพิจารณาในแง่ของงบประมาณในการลงทุน ซึ่งอาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการพิจารณา แต่หากโรงพยาบาลต้องการเพิ่มความสามารถในการให้บริการให้รวดเร็ว การเพิ่มเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิคน่าจะเป็นทางเลือกที่สามารถทำได้เร็วกว่าการพิจารณาเปลี่ยนเครื่องฉายรังสี

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยการสนับสนุนเจ้าหน้าที่ในหน่วยรังสีรักษา โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและการสนับสนุนในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง (References)

1. สมาคมรังสีรักษาและมะเร็งวิทยาแห่งประเทศไทย. สถิติจำนวนบุคลากร เครื่องมือและผู้ป่วยรังสีรักษาในประเทศไทย 2557-2558 [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 31 กรกฎาคม 2560]. เข้าถึงได้จาก <http://www.thastro.org/index.php/2014-03-27-01-07-52>.
2. Kasemset C. and Kachitvichyanukul V. (2007). Simulation-Based Procedure for Bottleneck Identification. AsiaSim, CCIS 5, pp. 46–55.
3. Banks J, Carson J, Nelson B. L. and Nicol D. Discrete-Event System Simulation. Prentice Hall. 2004; 4e.
4. ประจวบ กล่อมจิต และ กัญญา ทองสนธิ. การจำลองสถานการณ์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2554.
5. รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ. (2553). คู่มือสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena (ฉบับปรับปรุง). ซีเอ็ดดูเคชั่น. กรุงเทพฯ. หน้า 612.

