



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การพัฒนาแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางรักษาผู้ป่วยปากแหว่งและ เพดานโหว่

Development of a mathematical model for cleft lip and cleft palate patient treatment scheduling

โฆษิต อัครวงศาพัฒน์¹ กฤษณ์ ขวัญเงิน² ชวิศ บุญมี^{3*}

¹หลักสูตรบัณฑิตศึกษา/ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

³ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Kosit Akarawongsapat¹ Krit Khwanngern² Chawis Boonmee^{3*}

¹Gradute Program/Master's Degree Program in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

²Department of Surgery, Faculty of Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, 50200

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, 50200

* Corresponding author.

E-mail: chawis.boonmee@cmu.ac.th; Telephone: 053-944125-6

วันที่รับบทความ 9 เมษายน 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 8 มิถุนายน 2563 ; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 17 กรกฎาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 17 สิงหาคม 2563

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโรงพยาบาลหลาย ๆ แห่งได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับการจัดตารางการรักษาอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วย ทรัพยากรที่จำกัดและขั้นตอนที่หลากหลายในระบบ เช่นเดียวกับการรักษาผู้ป่วยโรคปากแหว่งเพดานโหว่ในประเทศไทยที่ยังคงประสบปัญหาการจัดตารางการรักษาที่มีสาเหตุมาจากการรักษาที่ซับซ้อนและกระบวนการรักษาที่ยาวนาน จากสถานการณ์เหล่านี้ในประเทศไทยงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีความประสงค์ที่จะนำเสนอรูปแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับปัญหาการจัดตารางรักษาโรคปากแหว่งเพดานโหว่ ซึ่งผู้ป่วยจะถูกกำหนดให้ทำการรักษาตามเวลาที่เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ของหัตถการและโรงพยาบาล ในขั้นตอนแรกรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบจำลองที่ได้ถูกนำเสนอมาก่อนหน้านี้ จากการเปรียบเทียบพบว่ารูปแบบที่นำเสนอมีความมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่ารูปแบบที่นำเสนอมาก่อนแล้วทั้งในส่วนของเวลาที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาและจำนวนของตัวแปร จากนั้นรูปแบบจำลองที่ได้ถูกนำเสนอ นั้นได้ถูกทำการพัฒนาภายใต้เงื่อนไขที่หลากหลาย อาทิเช่น ข้อจำกัดของกำลังการรักษา อายุการรักษา โรงพยาบาลหลายแห่ง เงื่อนไขของแพทย์ และช่วงเวลาการรักษาหลายช่วง ยิ่งไปกว่านั้นรูปแบบที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นยังได้ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์ถึง 3 ประการ อันประกอบด้วย ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างที่อยู่ของผู้ป่วยและโรงพยาบาล ค่าคะแนนความขึ้นชอตอบโรงพยาบาลที่มากที่สุด และระยะเวลาเสร็จสิ้นโดยรวมที่สั้นที่สุด โดยทั้งสามวัตถุประสงค์นี้ได้ถูกทำการสร้างให้อยู่ในรูปแบบเพียงหนึ่งวัตถุประสงค์ด้วยการใช้วิธีการปรับแบบถ่วงน้ำหนัก ตัวแบบจำลองที่พัฒนาแล้วนั้นได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยการแก้ปัญหาขนาดเล็ก จากนั้นนำแบบจำลองดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับปัญหาในกรณีจริงขนาดเล็ก จากการศึกษาวิเคราะห์ผลพบว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอนั้นสามารถทำการจัดตารางได้อย่างเหมาะสมภายใต้เงื่อนไขและกระบวนการที่กำหนดในเวลาอันสั้น งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างสูงในการช่วยเหลือแพทย์และพยาบาลในการจัดตารางรักษาสำหรับผู้ป่วยโรคปากแหว่งเพดานโหว่ในประเทศไทยได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ

การหาค่าที่ดีที่สุด การจัดตารางผู้ป่วย โรคปากแหว่งและเพดานโหว่ รูปแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม

Abstract

Nowadays, many hospitals usually face the treatment scheduling problem due to increasing the number of patients, resource limitations, and multiple procedures in the system. Also, the cleft lip and cleft palate patient treatment in Thailand is facing with scheduling problem, owing to the complicated treatment and long treatment procedure. According to this situation in Thai hospitals, this paper aims to propose a mixed integer linear programming model for cleft lip and cleft palate treatment scheduling problem, in which the patients are assigned to be treated at an appropriate time under the limitations of the procedure and the hospital. Firstly, the proposed mathematical model was compared with the previous model, in which the results found that the proposed model can be superior to the previous model in both solution time and the number of variables. Then, the proposed mathematical model was developed based on several conditions such as capacity limitations, age limitations, multiple hospitals, the doctor conditions, and multiple treatment periods. Moreover, the developed mathematical model determined three objective functions that compose of the shortest path between the patient's residence and the hospital, the highest preference score of patients to hospitals, and the minimization of the makespan. Three objective functions were formulated as the single objective function using the normalization and weight-sum method. The developed model was verified and validated by a small size generated data using the exact solver from Lingo 14.0. Finally, the developed model was applied to the small size real world case. The result found that the proposed mathematical model can schedule the treatment plan appropriately under the collected conditions and procedures with a short time. This paper will be of great significance in helping doctors or staff consider the cleft lip and cleft palate patient treatment scheduling in Thai hospitals as well.

Keywords

optimization; patient scheduling; cleft lip and cleft palate; mixed integer linear programming model

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดตารางรักษาผู้ป่วย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินกิจกรรมในหน่วยงานสายสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้จากการวางแผนโดยใช้เพียงบุคคล วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นสามารถประยุกต์ใช้กับหน่วยงานแพทย์ได้หลากหลายสถานการณ์ ไม่ว่าจะเป็นการจัดลำดับการใช้เครื่องฉายแสง การจัดตารางการใช้ห้องผ่าตัด การจัดลำดับผู้ป่วยที่เข้ามาตรวจสุขภาพในโรงพยาบาล ซึ่งเงื่อนไขการจัดตารางมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระบบการบริการของสถานรักษา นอกจากนั้นการแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถจัดการข้อมูลต่าง ๆ และทำการจำลองเงื่อนไขตามสถานการณ์จริงเพื่อให้เกิดการตัดสินใจเลือกแบบอัตโนมัติ สำหรับวิธีแก้ผลลัพธ์แบบแม่นยำ (Exact method) นั้นจะได้ค่าที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขที่สร้างขึ้น ทำให้ได้ลำดับ

การทำงานบุคลากรทางการแพทย์หรือการใช้เครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

กรณีภาวะปากแหว่งเพดานโหว่เป็นความผิดปกติของโครงสร้างกระดูกบริเวณช่องปากและฟัน โดยอุบัติการณ์การเกิดภาวะดังกล่าวของประชากรโลกอยู่ที่ 1 ต่อ 700 ในทารกแรกเกิด ปัญหาจากความผิดปกติก่อให้เกิดปัญหาหลายด้านทั้งผลที่กระทบต่อร่างกายและจิตใจ ในการบำบัดรักษานั้นได้มีการใช้เครื่องมือปรับโครงสร้างจมูก การทำเพดานเทียมเพื่อแก้ปัญหาระบบทางเดินอาหารในผู้ป่วยวัยทารก การเย็บริมฝีปาก เป็นต้น ในการผ่าตัดผู้ป่วยจะใช้เกณฑ์การพิจารณาได้แก่ น้ำหนัก เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว อายุ ซึ่งต้องอยู่ภายใต้ความปลอดภัยจึงจะสามารถเข้ารับการผ่าตัดได้ ขั้นตอนการศัลยกรรมแก้ไขริมฝีปากคนไข้จะต้องใช้อุปกรณ์ขึ้นรูปจมูกก่อนเพื่อให้จมูกมีความสมบูรณ์ นอกจากนั้นผู้ป่วยยังต้องได้รับการฝึกออกเสียงที่เป็นปกติมากที่สุด ผู้ป่วยภาวะปากแหว่งเพดานโหว่นั้นมีหลายกรณีซึ่งผู้ป่วยแต่ละรายจะได้รับการวินิจฉัยเพื่อกำหนดขั้นตอนการรักษาที่เหมาะสมและเฝ้า

ติดตามการรักษาต่อไป โดยการรักษาแต่ละหัตถการนั้นต้องอาศัยความร่วมมือจากสหสาขาวิชาชีพแพทย์และการรักษาตั้งแต่ผู้ป่วยในวัยทารกตลอดจนสามารถใช้ชีวิตได้อย่างปกติ จึงต้องมีการเฝ้าระวังสูงและการบำบัดรักษาที่ต่อเนื่อง จากความยุ่งยากดังกล่าวนี้สามารถนำมาสร้างเป็นรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาลำดับการรักษาเพื่อให้เกิดตารางนัดหมายที่ดีที่สุดต่อไปได้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางรักษาผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่นั้นได้ถูกนำเสนอขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 2019 โดย Wisittipanich และคณะ[1] ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาการจัดลำดับหัตถการที่กำหนดให้ผู้ป่วยล่วงหน้า โดยใช้วิธีผลรวมค่าถ่วงน้ำหนักในการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งเป็นวิธีอย่างง่ายแต่จะมีความยุ่งยากในการหาค่าถ่วงน้ำหนักเนื่องจากค่าที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์อาจมีความต่างกันเกินไป นอกจากนี้การรักษาผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่จะต้องใช้บุคลากรทางการแพทย์หลายสาขา ซึ่งแบบจำลองนี้ไม่ได้นำแพทย์มาร่วมพิจารณาจึงไม่สามารถระบุแพทย์ผู้ทำหัตถการได้

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เคยนำเสนอขึ้นในอดีต [1] โดยทำการปรับปรุงพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อลดจำนวนของตัวแปรและสมการเงื่อนไข และเพิ่มเงื่อนไขที่ยังไม่ได้นำมาพิจารณาเพื่อให้ความใกล้เคียงสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น ท้ายที่สุดงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พื้นฐานเพื่อต่อยอดงานวิจัยในอนาคต และจะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยเหลือในการจัดการตารางคนไข้ของหน่วยงานแพทย์ได้เบื้องต้น

2. ทบทวนวรรณกรรม

ปัญหาการจัดตารางการทำงานในหน่วยงานแพทย์นั้นได้รับการวิจัยเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการจัดการเวลาที่เข้ารับการรักษาของผู้ป่วยโดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการหาคำตอบ และหนึ่งในวิธีดังกล่าวได้มาจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาตามรูปแบบการทำงานในหน่วยงานแพทย์นั้น ๆ เช่น แผนกรังสีรักษาที่ทำการจัดลำดับการใช้เครื่องฉายแสง [2-3] การลำดับการใช้ห้องผ่าตัดของแผนกศัลยกรรม [4] การจัดตารางการใช้เตียงของผู้ป่วยใน [5-6] และอื่น ๆ ซึ่งล้วนเป็นการจัดสรรทรัพยากรที่มีความจำกัดภายใต้เงื่อนไขของหน่วยงานตามวัตถุประสงค์ของการจัดลำดับงาน

ปัญหาการจัดตารางคนไข้ที่ต่างกันอาจมีวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน เช่น การหาเวลาในการรักษาให้แล้วเสร็จหรือจัดให้คนไข้อยู่ในระยะเวลาที่เหมาะสม การจัดตารางเพื่อลดเวลาที่ว่างของเครื่องมือและบุคลากร [7] การเพิ่มระดับความพึงพอใจ (Satisfaction) การจัดทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อรับจำนวนคนไข้ได้สูงที่สุด ในส่วนของผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากแก้ปัญหานั้นถือมีความสำคัญ การจัดตารางส่วนใหญ่เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ เช่น งานวิจัยการใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาของ Zhao และคณะ[8] ที่ทำการจัดตารางเพื่อให้ได้ระยะเวลาในการรอไปยังแผนกรักษาถัดไปและระยะเวลาเสร็จสิ้นที่สั้นที่สุด ทั้งนี้การใช้วิธีผลรวมค่าถ่วงน้ำหนักในการแก้ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ แต่ละวัตถุประสงค์ของแบบจำลองจะมีความสอดคล้องและเป็นไปในทางเดียวกัน การสร้างเงื่อนไขของแบบจำลองนั้น Demeester และคณะ[7] สามารถจำแนกเงื่อนไขออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เงื่อนไขที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ (Soft Constraint) ซึ่งจะมีโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นได้ แต่จะส่งผลต่อค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และเงื่อนไขบังคับ (Hard Constraint) ซึ่งเป็นการบังคับไม่ให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการอย่างเด็ดขาด โดยทั่วไปการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อห้ามไม่ให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่ปกติเกิดขึ้น ซึ่งจะมีเกี่ยวข้องกับการจัดการเวลา จำนวนทรัพยากร และข้อบังคับทางหน่วยงานแพทย์ โดยคนไข้จะต้องได้รับหัตถการที่แพทย์กำหนดให้เท่านั้น ในส่วนของเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับเวลา เช่น ปัญหาการใช้ห้องผ่าตัด [5] ซึ่งจะไม่เกิดเหตุการณ์ที่ผู้ป่วยใช้ห้องผ่าตัดพร้อมกันกับผู้อื่น ซึ่งปกติในเวลาเดียวกันนั้นห้องผ่าตัดจะต้องมีผู้ป่วยเพียงคนเดียวเท่านั้น ส่วนกรณีของผู้ป่วยฉายรังสีนั้นการบำบัดรักษาจะต้องได้รับรังสีตามเวลาที่กำหนดก่อนถึงจะฉายรังสีให้คนไข้คนถัดไปได้ [3] งานวิจัยของ Kamran และคณะ[9] นั้นนอกจากพิจารณาผู้ป่วยเพื่อเป็นตัวเลือกในการตัดสินใจแล้ว แพทย์ พยาบาล ผู้ป่วย รวมถึงอุปกรณ์ทางการแพทย์ ได้ถูกนำมาพิจารณาในตัวแบบจำลองด้วยเช่นกัน โดยเพิ่มเติมเงื่อนไขที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่นำมาพิจารณา อาทิ การเลือกผู้ช่วยแพทย์เฉพาะทางโรคหัวใจทำงานคู่กับศัลยแพทย์หัวใจ รวมถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถใช้ร่วมกันในแต่ละหัตถการต่าง ๆ ได้ ปัญหาการจัดตารางรักษาที่แต่ละหัตถการมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ปัญหาที่ผู้ป่วย

จะต้องรับการรักษานั้นนั้นจะต้องทำการรักษาในหัตถการก่อนหน้าเสียก่อน [8] ทั้งนี้เงื่อนไขที่กำหนดส่วนใหญ่เป็นพื้นฐานของการจัดลำดับงานทั่วไป เพียงแต่เพิ่มเติมเงื่อนไขพิเศษในกรณีเฉพาะตามนโยบายของหน่วยงานแพทย์นั้น ๆ

จากการงานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปแบบ Mixed Integer Linear Programming (MILP) ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพในการหาค่าที่ดีที่สุดสากล (Global Optimal Solution) แต่เหมาะสมต่อการจำลองข้อมูลขนาดไม่มาก [10] จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีทางฮิวริสติกส์ (Heuristic method) ที่สามารถหาคำตอบได้ด้วยการจำลองข้อมูลขนาดใหญ่ ทั้งนี้การประยุกต์ใช้รูปแบบ MILP ได้ถูกนำมาใช้ในกรณีจริงของผู้ป่วยนอกที่เข้ารับการรักษาเร่งด่วน [2] เพื่อลดระยะเวลารอคอยนัดเพื่อรับการรักษาระยะที่สามารถเพิ่มอัตราเข้ารับการรักษาของผู้ป่วยได้ ส่วนงานวิจัยของ Alizadeh และคณะ [11] ซึ่งได้เปรียบเทียบการแก้ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ทำการกำหนดขึ้น จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการใช้ Genetic Algorithm ซึ่งผลการแก้ปัญหาทำให้ทราบว่า การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้หาคำตอบจากปัญหาที่มีขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ใช้ระยะเวลาในการหาค่าที่ดีที่สุดที่นานเกินไป

การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีการหาคำตอบแบบแม่นยำ (Exact method) จะได้คำตอบที่ดีที่สุด และเหมาะสมกับการจำลองข้อมูลขนาดไม่มากภายใต้ระยะเวลาในการประมวลผลที่ยอมรับได้ ซึ่งการใช้รูปแบบ MILP อาจให้ผลลัพธ์ที่ดีและใช้เวลาที่เร็วกว่าวิธีทางฮิวริสติกส์บางประเภท [12] อย่างไรก็ตามก็มีการประยุกต์ใช้จริงกับการฉายแสงผู้ป่วยโรคมะเร็ง ซึ่งอัตราการเข้ารับการรักษาของผู้ป่วยโรคมะเร็งอาจไม่มากเท่าอัตราการเข้ารับการรักษาผู้ป่วยทั่วไป [2]

อย่างไรก็ตามจากทบทวนวรรณกรรมนี้พบเป็นส่วนน้อยที่เป็นปัญหาการจัดตารางที่เจาะจงเฉพาะโรค และยังไม่พบการจัดตารางรักษาโรคปากแหว่งเพดานโหว่นอกจากแบบจำลองที่นำเสนอโดย Wisittipanich และคณะ [1] ที่พิจารณาเลือกโรงพยาบาลที่มีหลายแห่งให้แก่ผู้ป่วย ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าตัวแบบจำลองนี้สามารถนำมาปรับแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใน

การหาคำตอบได้ รวมถึงการเพิ่มเงื่อนไขที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงได้มากยิ่งขึ้น จึงมีความสนใจที่จะนำแบบจำลองดังกล่าวมาทำการพัฒนาต่อไป ท้ายที่สุดการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการจัดตารางผู้ป่วย จะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ดีกว่า และสามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาเป็นเครื่องมือการจัดตารางในหน่วยงานแพทย์ได้

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับจัดตารางนัดหมายผู้ป่วยภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ในงานวิจัยฉบับนี้ได้มีขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่ การศึกษาปัญหาและงานวิจัยในอดีต การปรับปรุงแบบจำลอง การเปรียบเทียบแบบจำลองก่อนและหลังการปรับปรุง การพัฒนาแบบจำลอง การทดสอบแบบจำลองที่ทำการพัฒนาขึ้น และประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริงโดยรายละเอียดต่าง ๆ แสดงดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์จากงานวิจัยในอดีต

ศึกษาการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดตารางผู้ป่วย สำหรับการพัฒนาแบบจำลองการจัดตารางรักษาผู้ป่วยภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ของ Wisittipanich และคณะ [1] ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ขณะที่ตัวแบบจำลองนี้ยังสามารถที่จะทำการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้น

3.2 การปรับปรุงแบบจำลอง

ข้อมูลที่ได้จากหัวข้อย่อย 3.1 จะได้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางรักษาผู้ป่วยภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ที่ถูกนำเสนอขึ้น ผู้วิจัยจะทำการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์และแก้ไข โดยการแก้ไขใหม่ภายใต้ข้อกำหนดและเงื่อนไขของแบบจำลองเดิม เพื่อเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบต่อไป

3.3 การเปรียบเทียบแบบจำลองด้วยข้อมูลเชิงตัวเลข

การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองเดิมและแบบจำลองหลังการปรับปรุงแก้ไขนั้นจะกำหนดข้อมูลเชิงตัวเลขและกำหนดเงื่อนไขเดียวกันกับงานวิจัยของ Wisittipanich และคณะ [1] และกำหนดจำนวนข้อมูลต่าง ๆ ขึ้นจากข้อมูลจริงของโรงพยาบาลกรณีศึกษา โดยกำหนดให้ขนาดของข้อมูลที่ใช้ใน

การทดสอบเป็นขนาดเล็ก รูปแบบจำลองจะถูกเขียนและประมวลผลคำตอบด้วยโปรแกรม LINGO 14.0

3.4 การพัฒนาแบบจำลอง

จากการปรับปรุงและเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วนั้น ทำการพัฒนาต่อโดยเพิ่มเงื่อนไขของแพทย์ในการร่วมพิจารณา รวมทั้งการปรับแก้ในส่วนของวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาการจัดตาราง และเพิ่มวิธีการแก้ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์

3.5 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนา

แบบจำลองที่พัฒนาแล้วนำมาทดสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลที่มีขนาดเล็ก โดยการตรวจสอบผลการจัดตารางที่ต้องตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และตรวจสอบความถูกต้องโดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นเป็นค่าที่น้อยที่สุดสำหรับข้อมูลที่กำหนด เมื่อตรวจสอบความถูกต้องแล้ว ตัวแบบจำลองนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาจากกรณีจริงที่มีขนาดเพิ่มขึ้นต่อไป

3.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับปัญหาจริงขนาดเล็ก

การทดสอบแบบจำลองที่ทำการพัฒนาขึ้นโดยสร้างข้อมูลจำนวนผู้ป่วย แพทย์ และอื่น ๆ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ขนาดข้อมูลกำหนดที่มากขึ้นแต่ไม่มากเกินไป โดยใช้โปรแกรม LINGO 14.0 ที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาขนาดเล็ก [13] ในการประมวลผลคำตอบ หลังการหาผลลัพธ์ได้แล้วนั้นจะทำการจัดทำเป็นตารางนัดหมายเพื่อใช้ในการสรุปผลต่อไป

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในอดีต [1]

ลักษณะปัญหาการจัดตารางผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่นั้น ผู้ป่วยต้องได้จะต้องรับหัตถการการรักษาจากแพทย์ที่แตกต่างกันหลายสาขาตั้งแต่วัยแรกเกิด จากข้อจำกัดที่แตกต่างกันในการทำหัตถการของโรงพยาบาลแต่ละแห่ง ทำให้ผู้ป่วยต้องไปรับการรักษาที่โรงพยาบาลหลายแห่ง ด้วยความซับซ้อนของกระบวนการรักษาอาจทำให้การนัดหมายแบบปกติไม่เต็มประสิทธิภาพ และผู้ป่วยอาจได้รับผลกระทบที่ร้ายแรงจากการรักษาไม่ตรงตามเวลาที่เหมาะสม จึงนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดตารางนัดหมายผู้ป่วยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยผู้ป่วยจะถูกนัดหมายไปยังโรงพยาบาลและช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดได้ แบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Wisittipanich และคณะ[1] ได้ถูกนำมา

ปรับปรุงใหม่ ซึ่งตัวแบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการหาผลรวมที่น้อยที่สุดของค่าน้ำหนักที่ได้จากระยะทางจากที่อยู่ของผู้ป่วยถึงโรงพยาบาลแต่ละแห่ง (Location Preference Weight) และระยะเวลาเสร็จสิ้นโดยรวม (Makespan) ที่สั้นที่สุด ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะกำหนดผู้ป่วยแต่ละคนไปรักษายังโรงพยาบาลที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากข้อกำหนดและสมมติฐานดังต่อไปนี้

- 1) ผู้ป่วยแต่ละคนจะต้องเริ่มต้นทำการรักษาที่อายุเท่ากับ 0 สัปดาห์เท่านั้น
 - 2) การนัดหมายหัตถการผู้ป่วยเป็นไปอย่างมีลำดับ ไม่มีการย้อนกลับ
 - 3) การเลือกเวลานัดหมายจะพิจารณาจำนวนผู้ป่วยสูงสุดที่สามารถรับได้ตามหัตถการของแต่ละโรงพยาบาล
 - 4) การจัดตารางผู้ป่วยจะพิจารณาค่าความเหมาะสม (Eligibility) ซึ่งจะจำกัดผู้ป่วยไม่ให้ถูกกำหนดนัดหมายไปยังโรงพยาบาลบางแห่ง
 - 5) ผู้ป่วยแต่ละรายสามารถรับการรักษาได้เพียงหัตถการเดียวต่อสัปดาห์
 - 6) ทุกหัตถการใช้เวลาเสร็จสิ้นภายในหนึ่งสัปดาห์
- หลังทำการปรับปรุงรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของ [1] แล้วตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงได้ดังต่อไปนี้

i ดัชนีของผู้ป่วยที่มารับการรักษา; $i \in P$

j, p ดัชนีของหัตถการทางการแพทย์; $j, p \in O$

k ดัชนีของโรงพยาบาล; $k \in H$

t ดัชนีของเวลากำหนดนัดหมาย; $t \in T$

โดยที่ P, O, H และ T เป็นเซตของผู้ป่วยทั้งหมด เซตของหัตถการทั้งหมด เซตของโรงพยาบาลทั้งหมด และเซตของเวลานัดหมายทั้งหมด ตามลำดับ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

x_{ijk} เท่ากับ 1 เมื่อคนไข้คนที่ i ถูกนัดหมายให้รับหัตถการการรักษาที่ j ที่โรงพยาบาล k ในสัปดาห์ที่ t เท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

ck_{ij} สัปดาห์ที่ผู้ถูกนัดหมายให้ผู้ป่วย i เพื่อมารับ
หัตถการที่ j โดยกำหนดให้เป็นค่าจำนวนเต็มบวก

พารามิเตอร์ (Parameters)

as_{ij} เท่ากับ 1 เมื่อกำหนดผู้ป่วย i รักษาในขั้นตอน j
เท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

e_{ijk} เท่ากับ 1 เมื่อผู้ป่วยคนที่ i ที่ขั้นตอน j เหมาะสม
ที่จะไปรักษาที่ โรงพยาบาล k
เท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

y_{ijp} เท่ากับ 1 เมื่อคนไข้คนที่ i ถูกกำหนดนัดหมายให้
ทำหัตถการที่ p หลังจากหัตถการที่ j
เท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

cap_{jkt} จำนวนผู้ป่วยสูงสุดที่สามารถรับทำหัตถการที่ j ที่
โรงพยาบาล k ในของเวลาที่ t

et_{jp} ระยะเวลาที่นัดหมายได้เร็วที่สุดของหัตถการ p ก่อน
หัตถการ j

lt_{jp} ระยะเวลาอย่างช้าที่สุดในการนัดทำหัตถการ p ก่อน
หัตถการ j

r_j เวล่านัดหมายผู้ป่วยที่เร็วที่สุดในการรับหัตถการการ
รักษาที่ j

d_j เวล่านัดหมายผู้ป่วยอย่างช้าที่สุดในการรับหัตถการ
การรักษาที่ j

Tp_t สัปดาห์นัดหมายผู้ป่วยที่เวลา t

C_{max} ระยะเวลาเสร็จสิ้นโดยรวมที่มากที่สุด

B จำนวนเต็มบวกค่ามาก

w_{ik} ค่าถ่วงน้ำหนักจากระยะทางของผู้ป่วย i ไปยัง
โรงพยาบาล k

รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic model)

$$MinZ = \alpha C_{max} + (1-\alpha) \sum_{i \in P} \sum_{j \in O} \sum_{k \in H} \sum_{t \in T} (x_{ijkt} w_{ik}) \quad (1)$$

$$\sum_{i \in T} \sum_{k \in H} x_{ijkt} = as_{ij}; \forall i, \forall j \quad (2)$$

$$x_{ijkt} \leq e_{ijk}; \forall i, j, k, t \quad (3)$$

$$\sum_{i \in P} x_{ijkt} \leq cap_{jkt}; \forall j, k, t \quad (4)$$

$$ck_{ij} as_{ij} = \sum_{t \in T} \sum_{k \in H} x_{ijkt} T_{p_t}; \forall i, j \quad (5)$$

$$C_{max} = Max\{ck_{ij}\}; \forall i, j \quad (6)$$

$$x_{ijkt} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

$$ck_{ij} \text{ integer} \quad (8)$$

$$ck_{ij} \geq r_j; \forall i, j \quad (9)$$

$$ck_{ij} \leq d_j; \forall i, j \quad (10)$$

$$-B(y_{ijp} - 1) + ck_{ip} - ck_{ij} \geq 1; \forall i, j, p \quad (11)$$

$$ck_{ip} - ck_{ij} \geq et_{jp}; \forall i, j, p \quad (12)$$

$$ck_{ip} - ck_{ij} \leq lt_{jp}; \forall i, j, p \quad (13)$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองแสดงดังสมการที่ (1) ซึ่งเป็น
การหาระยะเวลาเสร็จสิ้นโดยรวมที่สั้นที่สุดและการหาค่าที่
น้อยที่สุดของผลรวมค่าถ่วงน้ำหนักของระยะทางระหว่างผู้ป่วย
และโรงพยาบาล โดยค่า α เป็นค่าถ่วงน้ำหนักตั้งแต่ 0 ถึง 1

ส่วนเงื่อนไขของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ปรับปรุง
แก้ไขแล้วนั้น ส่วนที่นำมาจากแบบจำลองเดิมแสดงดังต่อไปนี้
โดยสมการที่ (2) แสดงถึงการกำหนดการรักษาของผู้ป่วยโดย
ต้องกำหนดทำที่โรงพยาบาลและเวลาเดียวกันเท่านั้น อสมการ
ที่ (3) แสดงถึงการจำกัดไม่ให้ผู้ป่วยถูกกำหนดไปยัง
โรงพยาบาลที่ไม่เหมาะสมได้ อสมการที่ (4) เป็นการจำกัด
จำนวนผู้ป่วยในแต่ละหัตถการในแต่ละโรงพยาบาลของแต่ละ
สัปดาห์ไม่ให้เกินค่าที่กำหนด สมการที่ (5) และสมการที่ (6)
แสดงถึงการกำหนดให้สัปดาห์นัดหมายที่มากที่สุดเท่ากับ
ระยะเวลาเสร็จสิ้นการรักษาโดยรวม เงื่อนไขที่ (7) แสดงถึง
การกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ x_{ijkt} เป็นค่า Binary และ
เงื่อนไขที่ (8) แสดงถึงการกำหนดตัวแปร ck_{ij} ให้เป็นเลข
จำนวนเต็มค่าบวก

โดยส่วนที่แตกต่างจากแบบจำลองเดิมนั้น หลังตัว
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาแก้ไขเพื่อให้จำนวนตัว
แปรลดลง ส่งผลให้รูปแบบของอสมการในข้อกำหนดเดิมถูก
แก้ไขใหม่ ได้แก่ อสมการที่ (9) และ (10) ซึ่งแสดงถึงการ
กำหนดสัปดาห์นัดหมายของผู้ป่วย โดยเวล่านัดหมายเร็วที่สุด
และอย่างช้าที่สุดต้องไม่เกินระยะเวลาที่กำหนดตามลำดับ
อสมการที่ (11) ซึ่งแสดงถึงการลำดับหัตถการให้เป็นไปตามที่
กำหนด อสมการที่ (12) และอสมการที่ (13) ที่แสดงถึงการ
กำหนดหัตถการนั้นต้องกำหนดให้มีระยะห่างจากหัตถการก่อน
หน้าตามช่วงระยะห่างที่กำหนด

4.2 ผลการเปรียบเทียบ

การเปรียบเทียบแบบจำลองกับงานวิจัยของ
Wisittipanich และคณะ[1] ได้ใช้ข้อมูลและกำหนดเงื่อนไข

เดียวกัน ผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองเดิมและแบบจำลองที่ได้รับการปรับปรุงได้มาจากการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 14.0 และผลการประมวลผลตอบในงานวิจัยใช้หน่วยประมวลผลโดย Intel i7-6700HQ CPU 2.60 GHz ขนาด RAM 12.0 GB

ผลการเปรียบเทียบพบว่าผลการประมวลผลคำตอบของตัวแบบจำลองที่ทำการแก้ไขนั้นใช้เวลา 90 วินาที ซึ่งใช้เวลาลดลงเป็นร้อยละ 53.36 เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ของแบบจำลองเดิม เมื่อพิจารณาจากค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงผลการทดสอบแบบจำลองเดิม และรูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบจากแบบจำลองหลังการปรับปรุง ภายใต้ข้อมูลและเงื่อนไขเดียวกันนั้นพบว่าจำนวนตัวแปรทั้งหมดลดลงร้อยละ 74.66 หน่วยความจำที่ใช้ในการประมวลผลใช้น้อยลงจากเดิมเป็นร้อยละ 77.56 จากค่าที่ลดลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการปรับปรุงแก้ไขตัวแบบจำลองเดิมเพื่อลดจำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการประมวลผลคำตอบ ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาทั้ง 2 แบบจำลองมีค่าเท่ากันที่ 29.5 การปรับปรุงเงื่อนไขของแบบจำลองจึงมีความถูกต้องตามเงื่อนไขเดิม

Solver Status Model Class: MILP State: Global Opt Objective: 29.5 Infeasibility: 2.91434e-016 Iterations: 1122870		Variables Total: 83443 Nonlinear: 0 Integers: 40775	
Extended Solver Status Solver Type: B-and-B Best Obj: 29.5 Obj Bound: 29.5 Steps: 6673 Active: 0		Constraints Total: 149433 Nonlinear: 0	
		Nonzeros Total: 337798 Nonlinear: 0	
		Generator Memory Used (K) 23467	
		Elapsed Runtime (hh:mm:ss) 00:03:13	

รูปที่ 1 ผลการทดสอบเชิงตัวเลขของแบบจำลองเดิม

Solver Status Model Class: MILP State: Global Opt Objective: 29.5 Infeasibility: 0 Iterations: 1416662		Variables Total: 21142 Nonlinear: 0 Integers: 21140	
Extended Solver Status Solver Type: B-and-B Best Obj: 29.5 Obj Bound: 29.5 Steps: 21678 Active: 0		Constraints Total: 23252 Nonlinear: 0	
		Nonzeros Total: 102381 Nonlinear: 0	
		Generator Memory Used (K) 5264	
		Elapsed Runtime (hh:mm:ss) 00:02:30	

รูปที่ 2 ผลการทดสอบเชิงตัวเลขของแบบจำลองหลังปรับปรุง

4.3 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากแบบจำลองก่อนพัฒนาซึ่งมีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective function) ได้แก่ การหาค่าที่น้อยที่สุดของผลรวมค่า Location Preference Weight และระยะเวลาเสร็จสิ้นโดยรวม ทั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ขึ้นมาใหม่ได้แก่ ผลรวมระยะทางที่น้อยที่สุดระหว่างผู้ป่วยและโรงพยาบาล (สมการที่ 14) ผลรวมอันดับความสำคัญที่น้อยที่สุดของโรงพยาบาลที่ผู้ป่วยต้องไปรับการรักษา (สมการที่ 15) และใช้วัตถุประสงค์จากแบบจำลองเดิม ได้แก่ ระยะเวลาเสร็จสิ้นโดยรวมที่สั้นที่สุด (สมการที่ 16)

$$Z_1 = \sum_{i \in P} \sum_{j \in O} \sum_{d \in D} \sum_{k \in H} \sum_{t \in T} x_{ijdk} w_{ik} \quad (14)$$

$$Z_2 = \sum_{i \in P} \sum_{j \in O} \sum_{d \in D} \sum_{k \in H} \sum_{t \in T} x_{ijdk} w_{ik} \quad (15)$$

$$Z_3 = \max_i (x_{ijdk} T_{p_i}) \quad (16)$$

โดยค่า w_{ik} เป็นระยะทางที่ผู้ป่วย i ไปถึงโรงพยาบาล k และค่า w_{pk} เป็นอันดับความสำคัญที่ผู้ป่วย i ต้องไปรับการรักษาที่โรงพยาบาล k

การแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ในหัวข้อที่ 4.1 ใช้วิธีผลรวมค่าน้ำหนัก (Weight-sum Method) ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองนี้ผู้วิจัยเสนอวิธีการถ่วงน้ำหนักแบบนอร์มัลไลเซชัน (Weight Normalization) เพื่อปรับฐานข้อมูลจากค่าที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์เป็นรูปแบบที่ไม่มีหน่วย (Uniform) และเพื่อให้ข้อมูลอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 [14] โดยการปรับฐานข้อมูลแสดงดังสมการที่ (17) ดังนี้

$$Z' = \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (17)$$

ค่า Z' ในแต่ละวัตถุประสงค์จะถูกปรับฐานโดยใช้ค่า Z_{\min} และ Z_{\max} เป็นผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาในแบบจำลองที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดตามลำดับ ค่าที่ได้จากการปรับฐานในแต่ละวัตถุประสงค์ถูกนำมารวมเป็นสมการเดียวกันและกำหนดค่า w_1 , w_2 และ w_3 ในการถ่วงน้ำหนักโดยที่ $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ ดังสมการที่ (18) ดังนี้

$$\text{Min}Z = w_1 Z'_1 + w_2 Z'_2 + w_3 Z'_3 \quad (18)$$

นอกจากนั้นตัวแบบจำลองนี้ได้เพิ่มความจำกัดของแพทย์เข้ามาพิจารณาในตัวแปรตัดสินใจ โดยการเพิ่มแพทย์เข้ามานั้นแพทย์แต่ละคนสามารถทำได้หลายเหตุการณ์ สามารถใช้ข้อมูลจำนวนแพทย์และความสามารถในการรับจำนวนผู้ป่วย (Case) สูงสุดต่อสัปดาห์ การเพิ่มแพทย์ในการพิจารณานั้นได้กำหนดดัชนีของแพทย์โดยใช้สัญลักษณ์ d (d เป็นสมาชิกของเซต D) สำหรับการระบุในตัวแปรตัดสินใจ (x_{ijkl}) และเพิ่มข้อกำหนดดังสมการต่อไปนี้

$$\sum_{i \in P} \sum_{j \in O} x_{ijkl} \leq mc_d; \forall d, k, t \quad (19)$$

$$\sum_{i \in P} x_{ijkl} \leq oc_{jd}; \forall j, d, k, t \quad (20)$$

$$x_{ijkl} \leq da_{dk}; \forall i, j, d, k, t \quad (21)$$

โดยสมการที่ (19) แสดงถึงการจำกัดของจำนวนผู้ป่วย (mc_d) ที่รับการรักษาในหนึ่งสัปดาห์ของแพทย์แต่ละคน สมการที่ (20) แสดงถึงการจำกัดจำนวนผู้ป่วยในแต่ละเหตุการณ์การรักษาของแพทย์แต่ละคน (oc_{jd}) ต่อหนึ่งสัปดาห์ สมการที่ (21) แสดงถึงแพทย์แต่ละคนที่ประจำการในแต่ละโรงพยาบาลโดยที่ประจำการโรงพยาบาลแห่งเดียวเท่านั้น โดยค่า da_{dk} เท่ากับ 1 เมื่อแพทย์คนที่ d ประจำการที่โรงพยาบาล k และเท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น จากการกำหนดเงื่อนไขดังกล่าวนี้สามารถนำมาแทนที่ข้อกำหนดใน

สมการที่ (4) จากแบบจำลองเดิมซึ่งเป็นข้อจำกัดจำนวนผู้ป่วยสูงสุดของเหตุการณ์หนึ่งต่อสัปดาห์ที่สามารถรับได้

จากสิ่งที่นำมาปรับเปลี่ยนและเพิ่มเติมดังกล่าว เมื่อนำมาจัดเรียงใหม่จะได้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาแล้วแสดงดังนี้

สมการวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$\text{Min}Z = w_1 Z'_1 + w_2 Z'_2 + w_3 Z'_3 \quad (22)$$

$$Z_1 = \sum_{i \in P} \sum_{j \in O} \sum_{d \in D} \sum_{k \in H} \sum_{t \in T} x_{ijkl} w_{ik} \quad (23)$$

$$Z_2 = \sum_{i \in P} \sum_{j \in O} \sum_{d \in D} \sum_{k \in H} \sum_{t \in T} x_{ijkl} w_{pk} \quad (24)$$

$$Z_3 = \max_i (x_{ijkl} T_{pt}) \quad (25)$$

$$Z'_1 = \frac{Z_1 - Z_{1\min}}{Z_{1\max} - Z_{1\min}} \quad (26)$$

$$Z'_2 = \frac{Z_2 - Z_{2\min}}{Z_{2\max} - Z_{2\min}} \quad (27)$$

$$Z'_3 = \frac{Z_3 - Z_{3\min}}{Z_{3\max} - Z_{3\min}} \quad (28)$$

สมการเงื่อนไข (Constraint)

$$\sum_{i \in P} \sum_{j \in O} x_{ijkl} \leq mc_d; \forall d, k, t \quad (29)$$

$$\sum_{i \in P} x_{ijkl} \leq oc_{jd}; \forall j, d, k, t \quad (30)$$

$$x_{ijkl} \leq da_{dk}; \forall i, j, d, k, t \quad (31)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{k \in H} \sum_{t \in T} x_{ijkl} = as_{ij}; \forall i, \forall j \quad (32)$$

$$x_{ijkl} \leq e_{ijk}; \forall i, d, j, k, t \quad (33)$$

$$-B(y_{ijp} - 1) + ck_{ip} - ck_{ij} \geq 1; \forall i, j, p \quad (34)$$

$$ck_{ij} \geq r_j; \forall i, j \quad (35)$$

$$ck_{ij} \leq d_j; \forall i, j \quad (36)$$

$$ck_{ip} - ck_{ij} \geq et_{jp}; \forall i, j, p \quad (37)$$

$$ck_{ip} - ck_{ij} \leq lt_{jp}; \forall i, j, p \quad (38)$$

$$ck_{ij} as_{ij} = \sum_{d \in D} \sum_{k \in H} \sum_{t \in T} x_{ijkl} T_{pt}; \forall i, j \quad (39)$$

$$x_{ijkl} \in \{0, 1\} \quad (40)$$

$$ck_{ij} \text{ integer} \quad (41)$$

4.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาโดยทำการกำหนดข้อมูลขนาดเล็กซึ่งประกอบไปด้วย ผู้ป่วยจำนวน 3 คนที่ต้องรับเหตุการณ์การรักษาคนละ 4 เหตุการณ์ โรงพยาบาลที่ทำการรักษาจำนวน 2 แห่ง โดยมีแพทย์ประจำโรงพยาบาล

ละ 2 คน กำหนดให้แพทย์สามารถทำหัตถการรักษาที่แตกต่างกันและจำนวนผู้ป่วยที่ได้รับในแต่ละหัตถการต่อสัปดาห์ดังตารางที่ 1 และกำหนดให้แพทย์ทุกคนสามารถรับผู้ป่วยทั้งหมดสูงสุด 2 คนต่อสัปดาห์

ส่วนข้อกำหนดในการแก้ปัญหาที่กำหนดให้ทุก ๆ หัตถการสามารถนัดหมายได้เร็วที่สุดที่สัปดาห์ที่ 1 และอย่างช้าที่สุดที่สัปดาห์ที่ 13 และหัตถการที่ 4 จะต้องนัดหมายถัดจากหัตถการที่ 3 เป็นเวลา 2 ถึง 4 สัปดาห์ กำหนดให้ผู้ป่วยทุกคนสามารถเข้ารับหัตถการการรักษาทุกหัตถการได้ทั้ง 2 โรงพยาบาล การรับหัตถการการรักษาแต่ละโรงพยาบาลนั้นได้กำหนดข้อมูลระยะทางในหน่วยกิโลเมตรและอันดับความสำคัญแสดงดังตารางที่ 2 โดยค่าอันดับความสำคัญที่สุดมีค่าเท่ากับ 1 และอันดับสำคัญรองลงมาเท่ากับ 2

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ป่วยสูงสุดที่สามารถรับได้ของแพทย์

แพทย์คนที่	ประจำโรงพยาบาลที่	จำนวนผู้ป่วยที่ได้รับต่อสัปดาห์			
		หัตถการรักษา (oc _{jd})			
		1	2	3	4
1	1	1	1	0	0
2	1	0	0	1	1
3	2	1	1	0	0
4	2	0	0	0	1

ตารางที่ 2 ระยะห่างและอันดับความสำคัญระหว่างผู้ป่วยและโรงพยาบาลสำหรับทดสอบความถูกต้อง

ผู้ป่วยคนที่ (i)	ค่าระยะทาง (wl _{ik})		ค่าอันดับความสำคัญ (wp _{ik})	
	โรงพยาบาลที่ (k)		โรงพยาบาลที่ (k)	
	1	2	1	2
1	21.88	11.97	1	2
2	4.58	20.25	1	2
3	25.15	13.38	1	2

		สัปดาห์						
		1	2	3	4	5	6	7
โรงพยาบาลที่ 1	แพทย์ 1	P2O1	P1O1		P1O2			
	แพทย์ 2		P2O2					
โรงพยาบาลที่ 2	แพทย์ 3	P3O1	P3O2					
	แพทย์ 4							P3O4

รูปที่ 3 ผลการจัดตารางผู้ป่วยจากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

จากรูปที่ 3 เป็นผลการแก้ปัญหา ซึ่งลำดับการนัดหมายมีความถูกต้องตรงตามข้อกำหนด โดยหัตถการที่ 4 ถูกนัดหมายในสัปดาห์ที่ 2 ถัดจากหัตถการที่ 3 ผู้ป่วยทั้ง 3 คนจะต้องมารับหัตถการที่ 3 จากแพทย์คนที่ 2 ที่โรงพยาบาลที่ 1 เท่านั้น โดยที่แพทย์สามารถรับคนไข้ในหัตถการนี้ได้สูงสุด 1 คนต่อสัปดาห์ การจัดตารางผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลทั้ง 2 แห่งทำให้ได้ผลรวมระยะทางเท่ากับ 171.13 กิโลเมตร ผลรวมอันดับความสำคัญเท่ากับ 15 และระยะเวลาเสร็จสิ้นโดยรวมเท่ากับ 7 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาผลรวม จากสมการที่ (22) ซึ่งใช้ค่าน้ำหนัก w_1 , w_2 และ w_3 ที่กำหนดเท่ากันเท่ากับ 0.33 ได้ผลรวมที่เท่ากับ 0.32 ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการแก้ปัญหาด้วยค่าน้ำหนักที่เท่ากัน ดังนั้นผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO 14.0 จึงมีความถูกต้องแบบจำลองจึงสามารถนำไปใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 3 รายการขั้นตอนการรักษาของผู้ป่วยทั้งหมด

ขั้นตอนรักษา	รายการผู้ป่วยที่กำหนด
O1	P1 P2 ... P20 (all patient)
O2	P4 P10 P13
O3	P6 P7 P9 P11 P14 P15 P16
O4	P1 P2 P3 P5 P8 P12 P17 P18 P19 P20
O5 O6 O7	P1 P2 P3 P4 P5 P8 P10 P12 P13 P17 P18 P19 P20

4.5 การกำหนดข้อมูลเชิงตัวเลข

สำหรับการทดสอบตัวแบบจำลองหลังการพัฒนานั้นผู้วิจัยได้ใช้ฐานข้อมูลของรายการหัตถการที่ผู้ป่วยต้องได้รับและข้อมูลของหัตถการการรักษาจากกรณีจริง โดยได้รับความกรุณาจากศูนย์แก้ไขความพิการบนใบหน้าและกะโหลกศีรษะ มูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริฯ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ การกำหนดข้อมูลเชิงตัวเลขขนาดเล็กได้แสดงดังนี้

- 1) ผู้ป่วยจำนวน 20 คน (P1,P2,...,P20)
- 2) หัตถการจำนวน 7 หัตถการ (O1,O2,...,O7)
- 3) แพทย์จำนวน 10 คน (D1,D2,...,D10)
- 4) โรงพยาบาลในเครือข่ายจำนวน 5 แห่ง (H1,...,H5)
- 5) กำหนดเวลาที่ใช้ในการจัดตารางทั้งหมด 30 สัปดาห์

ตารางที่ 4 ระยะทางและอันดับความสำคัญระหว่างผู้ป่วยและโรงพยาบาล

	ระยะทาง (กิโลเมตร) และ ความสำคัญ ($w_{1_{ik}}$, $w_{p_{ik}}$)				
	H1	H2	H3	H4	H5
	P1	21.89,1	11.97,2	21.72,5	19.93,4
P2	4.58,1	20.25,2	5.82,5	3.15,4	5.56,3
P3	26.01,1	10.84,2	25.55,4	24.31,5	26.44,3
P4	7.91,1	15.27,2	8.24,5	5.72,4	8.74,3
P5	14.61,1	4.59,2	13.62,5	13.8,4	14.62,3
P6	29.43,1	11.4,2	28.31,4	28.81,5	29.31,3
P7	22.36,1	9.02,2	21.95,4	20.62,5	22.82,3
P8	30.27,1	16.98,2	28.92,4	30.39,5	29.81,3
P9	19.1,1	13.73,2	17.69,4	19.71,5	18.48,3
P10	12.63,1	6.55,2	11.63,5	11.87,4	12.63,3
P11	10.5,1	19.17,2	11.33,4	8.35,5	11.48,3
P12	31.88,1	14.75,2	31.31,5	30.3,4	32.24,3
P13	1.69,1	17.94,2	0.28,5	3.21,4	1.21,3
P14	16.58,1	7.57,2	16.18,5	14.86,4	17.04,3
P15	34.45,1	20.99,2	33.09,4	34.62,5	33.94,3
P16	22.61,1	14.22,2	21.21,5	23.07,4	22.04,3
P17	18.34,1	1.98,2	17.34,5	17.58,4	18.34,3
P18	27.53,1	10.31,2	26.91,5	26.02,4	27.85,3
P19	2.18,1	17.63,2	0.76,5	3.57,4	1.64,3
P20	23.82,1	4.83,2	22.87,5	22.85,4	23.86,3

จากตารางที่ 3 เป็นรายการของหัตถการที่ผู้ป่วยแต่ละรายจะต้องได้รับในอนาคต รายการดังกล่าวของผู้ป่วยจะถูกนัดหมายไปยังโรงพยาบาลในช่วงเวลาตามเงื่อนไขของแบบจำลอง ตารางที่ 4 เป็นค่าระยะทางระหว่างที่อยู่อาศัยของผู้ป่วยและ

โรงพยาบาล และอันดับความสำคัญของโรงพยาบาลแต่ละแห่งสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย โดยค่าระยะทางถูกกำหนดให้มีความแตกต่างกันและกำหนดให้เป็นระยะทางในหน่วยกิโลเมตร ส่วนอันดับความสำคัญถูกกำหนดให้อยู่ในช่วงอันดับ 1 ถึง 5 โดยอันดับความสำคัญที่ 1 หมายถึงโรงพยาบาลแห่งนั้นมีอันดับความสำคัญมากที่สุดสำหรับการนัดหมายผู้ป่วยรายนั้น และอันดับความสำคัญรองลงมามีค่าเท่ากับ 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลเวลานัดหมายอย่างรวดเร็วและช้าที่สุดและระยะห่างของแต่ละหัตถการ และตารางที่ 6 เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแพทย์ ได้แก่ โรงพยาบาลที่แพทย์แต่ละคนประจำอยู่ จำนวนผู้ป่วยที่สามารถรับได้ในแต่ละหัตถการต่อสัปดาห์และจำนวนผู้ป่วยที่รับได้ทั้งหมดต่อสัปดาห์

ตารางที่ 5 อายุที่ต้องการในแต่ละหัตถการและระยะห่างในการนัดหมาย

ขั้นตอนการรักษา	เวลา (สัปดาห์ที่)		ระยะห่างในการนัดหมาย
	เร็วสุด	ช้าสุด	
O1	1	18	-
O2	1	18	-
O3	1	18	-
O4	1	18	-
O5	13	26	-
O6	14	28	หลัง O5 1 ถึง 2 สัปดาห์
O7	17	30	หลัง O5 4 ถึง 6 สัปดาห์

ตารางที่ 6 จำนวนผู้ป่วยสูงสุดที่สามารถรับได้ของแพทย์

แพทย์คนที่	ประจำโรงพยาบาลที่	จำนวนผู้ป่วยที่รับได้ต่อสัปดาห์							รวมทั้งหมด (mc_d)
		หัตถการรักษา (oc_{jd})							
		1	2	3	4	5	6	7	
1	1	5	0	0	0	0	0	0	5
2	1	5	0	0	0	0	0	0	5
3	1	0	0	0	0	2	5	5	5
4	1	0	0	0	0	0	5	5	5
5	1	0	0	0	0	0	5	5	5
6	2	0	0	0	0	2	5	5	5
7	2	0	0	5	0	0	0	0	5
8	3	0	0	5	5	0	0	0	5
9	4	0	0	5	5	0	0	0	5
10	5	0	5	2	5	0	0	0	5

4.6 ผลการทดสอบแบบจำลองที่พัฒนา

การแก้ปัญหาแบบจำลองที่มีหลายวัตถุประสงค์โดยใช้วิธีการ Weight Normalization และกำหนดค่าน้ำหนักเท่ากันที่ 0.33 จากการแก้ไขปัญหาละวัตถุประสงค์ทำให้ทราบค่าของช่วงค่าตอบที่เป็นไปได้ (Z_{min} , Z_{max}) ดังตารางที่ 7 โดยค่าดังกล่าวนำไปใช้สำหรับการปรับฐานและหาผลลัพธ์ต่อไป

ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม LINGO 14.0 ใช้เวลา 62 วินาที ในการประมวลผลหาค่าตอบ โดยผลตอบในแต่ละวัตถุประสงค์ ได้แก่ ผลรวมระยะทางระหว่างผู้ป่วยและโรงพยาบาล ผลรวมอันดับความสำคัญระหว่างผู้ป่วยและโรงพยาบาล และเวลาเสร็จสิ้นโดยรวม มีค่าเท่ากับ 1,075.45 กิโลเมตร 130 (ไม่มีหน่วย) และ 20 สัปดาห์ ตามลำดับ และค่าที่ทำการปรับฐานของแต่ละผลตอบมีค่าเท่ากับ 0.23 0.60 และ 0.00 ตามลำดับ

ผลลัพธ์จากการทดสอบนี้ถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของตารางการนัดหมายดังรูปที่ 4 ซึ่งได้ระบุถึงเหตุการณ์ที่ผู้ป่วยต้องได้รับในสัปดาห์ โรงพยาบาลที่ต้องไปรับการรักษาและแพทย์ที่รับผิดชอบ เช่น ผู้ป่วย P10 ที่ต้องรับเหตุการณ์ O1 ที่โรงพยาบาลที่ 1 ภายในสัปดาห์ที่ 3 โดยแพทย์ D1 เป็นผู้ทำ

เหตุการณ์ และต่อด้วยการรับเหตุการณ์ O5 ที่โรงพยาบาลที่ 1 ภายในสัปดาห์ที่ 14 โดยแพทย์ D3 เป็นผู้ทำเหตุการณ์ ผู้ป่วยทุกคนต้องได้รับเหตุการณ์ที่กำหนดไว้ทั้งหมดในตารางการนัดหมาย ขณะที่แต่ละสัปดาห์นั้นจะมีจำนวนผู้ป่วยที่ถูกนัดหมายสูงสุดไม่เกินที่กำหนดไว้ ซึ่งจำนวนผู้ป่วยสูงสุดที่รับได้ต่อสัปดาห์ไม่ว่าจะเป็นเหตุการณ์ใดก็ตาม แพทย์แต่ละคนถูกกำหนดให้สามารถทำเหตุการณ์ได้ 5 คนต่อสัปดาห์

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบแบบวัตถุประสงค์เดียว

ผลลัพธ์	การทดสอบเฉพาะวัตถุประสงค์			Zmin	Zmax
	Z1	Z2	Z3		
Z1	986.57	1,369.93	1,310.09	986.57	1,369.93
Z2	142	112	128	112	142
Z3	30	30	20	20	30

		สัปดาห์													
		1	2	3	4	...	12	13	14	15	16	17	18	19	20
โรงพยาบาลที่ 1	แพทย์ 1	P901	P101	P1001											
		P1201	P201												
		P1601	P301												
		P1701	P401												
		P1801	P1301												
	แพทย์ 2	P501	P801	P1501											
		P601	P1901												
		P701	P2001												
		P1101													
		P1401													
	แพทย์ 3							P205	P1005	P405	P105	P106	P1907	P1007	P507
								P1905	P1305	P505	P506	P406		P1307	
										P1006					
										P1306					
										P1906					
แพทย์ 4														P107	
														P407	
แพทย์ 5															
โรงพยาบาลที่ 2	แพทย์ 6							P1705	P305	P805	P806	P2007	P307	P807	P1807
								P2005	P1805	P1206	P1205			P1207	
									P1706	P306				P1707	
									P2006	P1806					
										P1503	P1103				
แพทย์ 7		P603													
		P703													
		P903													
แพทย์ 8		P1403													
		P1603													
โรงพยาบาลที่ 3	แพทย์ 8														
โรงพยาบาลที่ 4	แพทย์ 9														
โรงพยาบาลที่ 5	แพทย์ 10		P504	P402	P1002			P204							
			P1204	P1302	P104										
			P1704	P804	P304										
			P1804	P1904											
				P2004											

รูปที่ 4 ตารางนัดหมายการทำเหตุการณ์ของผู้ป่วยโรคปากแหว่งเพดานโหว่

การจัดตารางนี้เป็นารนัดหมายผู้ป่วยที่มีอายุเริ่มต้นเท่ากัน เมื่อถึงเวลาที่ผู้ป่วยต้องไปรับการรักษานั้นอายุของผู้ป่วยจะอยู่ภายในช่วงที่กำหนดไว้พอดี และจากการจัดตารางดังรูปที่ 4 นี้ ลำดับขั้นตอนการรักษาถัดไปของผู้ป่วยแต่ละคนเป็นไปอย่างมีลำดับ และระยะห่างระหว่างหัตถการถูกต้องตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยเฉพาะหัตถการที่ O6 และ O7 ซึ่งต้องมีระยะห่างจากขั้นตอนการรักษาที่ O5 อย่างน้อย 1 และ 4 สัปดาห์ตามลำดับและอย่างมากที่ 2 และ 6 สัปดาห์ตามลำดับ

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอโดย Wisittipanich และคณะ[1] ซึ่งเป็นแบบจำลองสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ที่พิจารณาโรงพยาบาลมากกว่าหนึ่งแห่ง ผลจากการปรับปรุงแก้ไขตัวแบบจำลองโดยการแก้ไขรูปแบบทางคณิตศาสตร์และทำการทดสอบด้วยข้อมูลจากโรงพยาบาลกรณีศึกษา พบว่าแบบจำลองหลังการปรับปรุงใช้เวลาหาผลลัพธ์ที่น้อยกว่าขณะที่การแก้ปัญหาจากแบบจำลองทั้ง 2 ได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันนอกจากนั้นการพัฒนาแบบจำลองที่มีหลายวัตถุประสงค์ ได้แก่ 1) การหาโรงพยาบาลที่ใกล้ผู้ป่วยมากที่สุด 2) การหาโรงพยาบาลที่มีอันดับความสำคัญมากที่สุด 3) การนัดหมายเพื่อให้เสร็จสิ้นการรักษาเร็วที่สุดที่เป็นไปได้ โดยใช้วิธีการ Weight Normalization นั้น แบบจำลองสามารถระบุถึงแพทย์ที่ทำหัตถการนั้นได้ ซึ่งต่อไปอาจนำตารางการทำงานของแพทย์เข้ามาพิจารณาในการนัดหมายผู้ป่วยและสามารถใช้ในการจัดตารางการทำงานของแพทย์ได้

แบบจำลองได้ถูกทดสอบด้วยข้อมูลเชิงตัวเลขที่กำหนดจากโรงพยาบาลในกรณีศึกษา โดยเป็นข้อมูลขนาดเล็กที่ประกอบไปด้วยผู้ป่วยเพียง 20 คน สำหรับการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม LINGO 14.0 นั้นยังคงมีประสิทธิภาพในการทดสอบแบบจำลองในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้สำหรับการประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในอนาคตควรกำหนดเงื่อนไขที่สอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น เช่น การรับหัตถการภายในสัปดาห์เดียวกันได้ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอายุของผู้ป่วย และอื่น ๆ พร้อมทำการทดสอบด้วยขนาดข้อมูลที่ใกล้เคียงกับกรณีจริง

หากทำการแก้ปัญหาการจัดตารางผู้ป่วยด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้เวลาหาผลลัพธ์ที่รวดเร็ว แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะเป็ประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้วางแผนรักษาผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ เพื่อลดความผิดพลาดในการนัดหมายที่ไม่ตรงตามความเหมาะสมและส่งผลเสียต่อผู้ป่วย อีกทั้งยังช่วยในการจัดตารางการทำงานของแพทย์ไปพร้อมกันได้ อย่างไรก็ตามสำหรับการแก้ปัญหาด้วยการจำลองข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ด้วยข้อจำกัดของการแก้ปัญหาแบบวิธีแมนตรงทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบที่นานเกินไป ในงานวิจัยในอนาคตควรที่จะพัฒนาวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศุภย์แก้ไขความพิการบนใบหน้าและกะโหลกศีรษะ มูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาโรคปากแหว่งและเพดานโหว่และข้อมูลการรักษาผู้ป่วย และขอขอบพระคุณศุภย์วิจัยวิศวกรรมการจัดการระบบบริการสุขภาพ (CHES) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wisittipanich W, Boonmee C, Khwanngern K, Chattinnawat W. A mathematical model for multi-Period surgical scheduling with capacity constraint. *The 8th International Conference on Global Optimization and Its Application Malaysia*; 2019; Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- [2] Conforti D, Guerriero F, Guido R. Optimization models for radiotherapy patient scheduling. *A Quarterly Journal of Operations Research*. 2007;6(3):263-78.
- [3] Burke EK, Leite-Rocha P, Petrovic SJapa. An integer linear programming model for the radiotherapy treatment scheduling problem. 2011.

- [4] Lin YK, Chou YY. A hybrid genetic algorithm for operating room scheduling. *Health care management science*. 2020 Jun;23(2):249-63.
- [5] Bastos LSL, Marchesi JF, Hamacher S, Fleck JL. A mixed integer programming approach to the patient admission scheduling problem. *European Journal of Operational Research*. 2019;273(3):831-40.
- [6] Ceschia S, Schaerf A. Local search and lower bounds for the patient admission scheduling problem. *Computers & Operations Research*. 2011;38(10):1452-63.
- [7] Demeester P, Souffriau W, De CP, Berghe GV. A hybrid tabu search algorithm for automatically assigning patients to beds. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2010 Jan 1;48(1):61-70.
- [8] Zhao L, Chien CF, Gen M. A bi-objective genetic algorithm for intelligent rehabilitation scheduling considering therapy precedence constraints. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2018 Jun;29(5):973-88.
- [9] Kamran MA, Karimi B, Dellaert N, Demeulemeester E. Adaptive operating rooms planning and scheduling: A rolling horizon approach. *Operations Research for Health Care*. 2019;22:100200.
- [10] Arisha A, Young P, Baradie M. *Job shop scheduling problem: an overview*. 2001.
- [11] Alizadeh R, Rezaeian J, Abedi M, Chiong R. A modified genetic algorithm for non-emergency outpatient appointment scheduling with highly demanded medical services considering patient priorities. *Computers & Industrial Engineering*. 2020;139.
- [12] Bolaji ALa, Bamigbola AF, Shola PB. Late acceptance hill climbing algorithm for solving patient admission scheduling problem. *Knowledge-Based Systems*. 2018;145:197-206.
- [13] Boonmee C, Kasemset C. การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าดีที่สุดในสำหรับการกระจายสินค้า กรณีศึกษา
โรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*. 2014;2:2-10.
- [14] Priddy KL, Keller PE. *Artificial Neural Networks: An Introduction*: SPIE Press; 2005.