วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน
Thai Journal of Operations Research

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2562)

บทความวิจัย

- Simulated Annealing for the Route Planning of Advisors in the RMUTL Cooperative Education Program — 1
  Parida Jewpanya
- การพยากรณ์ค่าความเรียบผิวในกระบวนการกลึง S45C ด้วยแผนแบบผิวตอบสนอง — 13
  พงศ์ธร รักซ้อน และ ศิรประภา ดีประดิษฐ์
- การสร้างแบบจำลองตารางงานของพยาบาลด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็มกรณีศึกษา: โรงพยาบาลค่ายสรรพสิทธิประสงค์ — 20
  โยธิญา โยธี และ รตี โบจรัส
- การหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม — 30
  บุษบา สมีแจ่ม, พัชรี แก้วทอง และ โรจนี หอมชาลี

สนับสนุนโดย

NIDA คณะสถิติประยุกต์
คณะสถิติประยุกต์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
Operations Research Network of Thailand

จัดทำโดย คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ISSN 2287-0210

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research)

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2562)

เจ้าของ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ผู้รับผิดชอบดำเนินการ เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน

ที่ปรึกษา 1. ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.นราศรี ไววนิชกุล

2. คณบดีคณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

บรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจ์นภา อมรัชกุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์)

กองบรรณาธิการ 1. ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ประชุม สุวัตถี (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์)

2. ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

3. ศาสตราจารย์ ดร.วรทัศร์ ขจิตวิชยานุกูล (มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์)

4. รองศาสตราจารย์ ดร.วิชิต หล่อจีระชุณห์กุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์)

5. รองศาสตราจารย์ ดร.พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

6. รองศาสตราจารย์ ดร.วลัยลักษณ์ อัตธีรวงศ์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

7. ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

8. รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

ผู้ประสานงาน นายบุญชนะ เมฆโต

สำนักงาน คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ เลขที่ 118 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม. 10240 โทร.02-7273078 Fax. 02-7274061

e-mail : orjournal.th@gmail.com

website : http://www.orjournal.org

กำหนดออก ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม)

การเผยแพร่ เป็นวารสารอิเล็คทรอนิกส์ เผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

การอุดหนุน ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายจ่ายเงินทุนคณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

บรรณาธิการแถลง

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research, TJOR) เกิดขึ้นจากความร่วมมือของคณาจารย์ และนักวิจัยในเครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research Network of Thailand, OR-NET) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีคุณภาพในระดับชาติ วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานเป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ซึ่งมีกรอบเวลาในการออกเล่มปีละ 2 ฉบับ ฉบับแรกระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายนของปี และฉบับที่ 2 ระหว่าง เดือนกรกฎาคม-เดือนธันวาคมของปี ซึ่งวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (เล่มที่ 14) ของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดบทความและวารสารฉบับเต็มได้ที่เว็บไซต์ https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index คณะผู้จัดทำและกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้วิจัย ผู้สนใจ และผู้เกี่ยวข้องในแวดวงวิชาการต่อไป

หากคุณค่าทางความรู้ที่ผู้อ่านได้รับจากการรวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านการวิจัยดำเนินงานในวารสารเล่มนี้ บรรณาธิการขออุทิศความดีดังกล่าวแด่บรรณาธิการคนแรก คือ รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ เนียมมณี ผู้ร่วมก่อตั้งเครือข่ายการวิจัยดำเนินงานและวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน นอกจากนี้ ทางเครือข่ายการวิจัยดำเนินงานขอร่วมไว้อาลัยกับการจากไปของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์ ซึ่งเป็นหนึ่งในสมาชิกเริ่มต้นและเป็นกำลังสำคัญของเครือข่ายตลอดมา

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานได้รับการจัดกลุ่มวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ดัชนีอ้างอิงวารสารไทย(Thai-Journal Citation Index Centre) อยู่ในวารสารกลุ่มที่ 2 ซึ่งจะมีผลตั้งแต่วันที่ 4 พฤษภาคม 2559 ไปจนถึง 31 ธันวาคม 2562

กาญจ์นภา อมรัชกุล

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

บรรณาธิการแถลง

บทความวิจัย

Simulated Annealing for the Route Planning of Advisors in the RMUTL Cooperative Education Program 1
Parida Jewpanya

การพยากรณ์ค่าความเรียบผิวในกระบวนการกลึง S45C ด้วยแผนแบบผิวตอบสนอง 13
พงศ์ธร รักซ้อน และ ศิรประภา ดีประดิษฐ์

การสร้างแบบจำลองตารางงานของพยาบาลด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็มกรณีศึกษา: โรงพยาบาลค่ายสรรพสิทธิประสงค์ 20
โยธิญา โยธี และ รตี โบจรัส

การหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม 30
บุษบา สมีแจ่ม, พัชรี แก้วทอง และ โรจนี หอมชาลี

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

Simulated Annealing for the Route Planning of Advisors in the RMUTL Cooperative Education Program

Parida Jewpanya*

Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Thailand 63000

Received: 15 March 2019; Revised: 3 May 2019; Accepted: 17 September 2019

Abstract

The Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL) is Thailand's leading university in the field of science and technology. The university focuses on producing graduates who are ready for workplaces through a hands-on learning system. RMUTL incorporates a Cooperative Education Program (CO-OP) in the learning system which aims to gives students an opportunity to receive career training in industries. The students in the final academic year are required to attain this program for a semester to be prepared for the workplace. During the students' internship period, the RMUTL CO-OP has a team of advisors who need to visit those students in the industries at least two times to give the students advice on their projects and working life. The current visiting plan is created based on the planner experience which sometimes ineffective in term of costs. Therefore, in this study, a mixed-integer linear programming model is formulated to help the planner find an optimal route for the advisors. The objective is to minimize the total cost of the advisor's visitation. Moreover, we propose a simulated annealing heuristic (SA) to solve the problem. We generate benchmark instances and solved them by SA. Computational results show the excellent performance of SA in terms of solution quality and computational efficiency.

Keywords: Cooperative education program, simulated annealing heuristic, mixed-integer linear programming

* Corresponding author. E-mail: parida.jewpanya@gmail.com

Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

1. Introduction

The Cooperative Education Program (CO-OP) is an internship program that gives students an opportunity to receive career training as they work with professionals in their major fields of study [1]. The students who attend this program are encouraged to build essential knowledge and skills such as teamwork and problem-solving in the real-world experience. Moreover, it supports the development of graduates and making them more employable and adaptable at the workplace [2].

The organization in CO-OP program consists of competitive industry leaders and higher education institutions "cooperating" with each other to provide hands-on work experience to full-time actively enrolled students within a degree-seeking program [3]. Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL) requires students in the final academic year to attain the CO-OP program for four months (one semester). The students are eligible to apply to CO-OP after completing a minimum requirement of the university. The RMUTL CO-OP allows the students to select the industry by themselves under the direction of the department's CO-OP advisors. Then, the RMUTL CO-OP coordinator will contact the chosen industry and process the application. During the student's 'internship' period, the industries are requested to assign students the project related to their field of study. This project offers students the opportunity to gain real-world experience in both theory and practical skill.

The RMUTL CO-OP has a team of advisors who come from different departments and have different expertise. Those advisors are required to visit the students in the industries at least two times during the students' internship period. The purpose of this visit is to give the students advice on their projects and working life. Moreover, the visit can bring out a stronger relationship between university and industries. To arrange this activity, the CO-OP coordinators have a responsibility to plan visiting routes for the advisors in each department by manually created a route base on the planner experience which sometimes ineffective in term of costs and time.

The coordinators desire a good solution to help them make significant improvements on planning this activity. Due to the dynamic of the visiting locations, there is no methodology or repeatable process that available for the coordinator which can be applied directly. Therefore, in this paper, we propose the model for assigning and routing advisors visitation to industries. The proposed model is modified from the vehicle routing problem (VRP) model which can be described as the problem of designing optimal delivery or collection of routes from a depot to some customers subject to side constraints [4, 5]. In using the model, we incorporate guidelines concerning capacity, flow balance, and available travel schedules of advisors. The model's objective is to minimize the total cost.

The combinatorial nature of VRP makes this type of problem an NP-hard problem. Thus, studies with the same intrinsic complexity usually use

heuristic and meta-heuristic solution approaches. In this paper, we propose a simulated annealing heuristic that incorporates several neighborhood structures to improve the performance on solving the CO-OP instances. The performance of the proposed SA in solving CO-OP instances is verified by comparing its solution quality and computational time with those obtained by GUROBI. This study provides a decision support tool for the CO-OP coordinators mainly at the operational decision-making level.

This paper organized as follow. Section 2 presents the literature review. Section 3 provides problem statement and mathematical model formulation. Section 4 shows the detailed descriptions of the proposed SA algorithm. The solution representation scheme is also explained. Section 5 shows a comparative analysis of SA and GUROBI results and presents the sensitivity. Finally, Section 6 concludes the paper and presents future research directions.

2. Literature review

The vehicle routing problem (VRP) and its variants play an important role in many distribution and transportation systems, as well as the costs associated with operating vehicles [4, 6, 7]. VRP can be described as the process of determining optimal routes from one depot to some geographically scattered customers, subject to side constraints [8]. One of the classical versions of VRP is the capacitated vehicle routing problem (CVRP), wherein a vehicle must satisfy a certain vehicle capacity restriction [9]. Subsequently, when a total distance or time restriction is also imposed on CVRP, the problem becomes a distance-constrained capacitated vehicle routing problem (DCVRP) [10]. Another special variant of VRP is an open vehicle routing problem (OVRP), in which the route does not require vehicles to return to the depot to avoid adding extra mileage to the compensation model [11, 12].

VRP has been studied extensively over the past few decades by using different approaches [4], including the exact method, heuristic method and metahueristic have been used to solve VRP and its extensions [13]. The basic VRP model, known as the NP-hard problem, uses the exact method to determine the optimal solution; however, this method is considerably difficult and usually requires a long computational time. Therefore, heuristic and evolutionary computing methods have been applied to determine a near-optimal solution in a reasonable amount of time such as: (1) simulated annealing, (2) Tabu search, (3) genetic algorithms, (5) particle swarm optimization, and (6) some recently developed hybrid heuristic algorithms. For further information one may refer to works of Yu, Jewpanya [14], Osman [15], Barbarosoglu and Ozgur [4], Lee, Jung [16], Baker and Ayechew [17], Kachitvichyanukul [18], Berger and Barkaoui [19] and Berger and Barkaoui [20].

In practice several variants of the problem exist because of the diversity of operating rules and constraints encountered in real-life applications. This study focuses on the development of the routing problem, which is motivated by the problem faced in the real case. Although routing

problems have been studied and solved using a variety of methods, the proposed problem has several unique requirements.

3. Problem definition and model formulation

This study considers the vehicle routing problem. *D* is a set of a depot that is designated as the starting and end location, that is, *D* = {0}. A set *F* is a set of industries, *F* = {1, 2... | *F* |}. Each industry is allowed to visit at most once. A visiting time t_i is associated with industry $i \in F$. *V* is a set of vehicles, *V*= {1, 2, 3, ..., |V|}. A set of routes is constructed such that all industries will be visited. The starting location and the ending location of the routes are fixed.

Parameters:

t_i	Visiting time at a factory *i*
d_{ij}	Travel distance from location *i* to *j*
h_{ij}	Travel time from location *i* to *j*
VCAP	Number of industries allowed per route
CDIST	Cost per unit distance
CRENT	Renting cost of vehicle per day
CADV	Allowances for an advisor per day
CHOT	Cost of hotel renting per day
N	Number of advisors assigned in each route
W	Working hours per day
M	Big number

Variables:

D_v	Number of days of each route *v*
S_{iv}	Start time of a visit to industry *i* in route *v*
x_{ijv}	1, if a visit to industry *i* is followed by a visit to factory *j* by route *v*; 0, otherwise

The objective of the problem is to determine the number of routes and the best vehicle routes for advisors to visit industries. The sum of the travel costs is minimized consisting of the cost of vehicles, the allowance and hotel renting cost of advisors.

$$Min \sum_{\forall i,j \in F \cup D} \sum_{v \in V} x_{ijv} \cdot d_{ij} \cdot CDIST + \sum_{\forall v \in V} D_v \cdot (CRENT + N \cdot CADV) + \sum_{\forall v \in V} (D_v - 1) \cdot N \cdot CHOT$$

Constraints:

$$\sum_{\forall k \in F \cup D} \sum_{\forall v \in V} x_{k,k,v} = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{\forall j \in F, i \neq j} x_{j,i,v} - \sum_{\forall j \in F, i \neq j} x_{i,j,v} = 0 \quad , \forall i \in F, \forall v \in V \quad (2)$$

$$S_{jv} \geq S_{iv} + t_i + t'_{ij} - M(1 - x_{ijv}) \quad , \forall i, j \in F, \forall v \in V \quad (3)$$

$$S_{jv} \geq t'_{ij} \cdot x_{ijv}, \forall i \in D, \forall j \in F, \forall v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{\forall i \in F \cup D} x_{ijv} \leq 1, \qquad \forall v \in V, \forall j \in D \quad (5)$$

$$\sum_{\forall i \in F \cup D} \sum_{\forall v \in V} x_{ijv} = 1, \qquad \forall j \in F \quad (6)$$

$$\sum_{\forall i \in F \cup D} \sum_{\forall j \cup F} x_{ijv} \leq VCAP, \quad \forall v \in V \quad (7)$$

$$D_v \cdot W \geq S_{jv} + t'_{ji} \cdot x_{jiv}, \forall i \in D, \forall j \in F, \forall v \in V \quad (8)$$

Constraint (1) guarantees that a vehicle does not travel inside itself. Constraint (2) is the connectivity of each route. Constraint (3) determines the timeline of each route. Constraint (4) makes sure that the start service time at the first visited industry of each route should be greater than the traveling time from depot 0 to *j*. Constraint (5) ensures that vehicle *v* can be used only one time. Constraint (6) provides that an industry is visited at most once. Constraint (7) confirms that the total visited industry does not exceed the number of industries allowed in each route. Constraint (8) determines the number of the day used in each route.

4. Simulated Annealing (SA)

The SA algorithm is a local search-based heuristic algorithm that is capable of avoiding being trapped in a local optimum and can explore a wider area of the search space. SA was introduced by Metropolis, Rosenbluth [21] and popularized by Kirkpatrick, Gelatt [22]. SA has been successfully used to solve several problems such as location routing problem (LRP) [23], vehicle routing problem [14], and team orienteering problem (TOP) [24].

SA typically starts with an initial solution. At each iteration, the algorithm randomly selects a neighborhood move to generate a new solution from the current solution. The neighborhood moves that are normally used in SA are swap, reverse, and insert. In the SA searching process, the new solution is generated by one of these moves. If the new solution is better than the current solution, it replaces the current solution. The search process resumes from the new current solution. However, a small probability is calculated using the Boltzmann function in which a worse solution is accepted as the new current solution.

4.1 Solution representation

The solution representation consists of routes of advisors, that is represented by permutation numbers consisting of $|F|$ industries, which are denoted by the set {1, 2, ..., $|F|$} and N_{dummy} zeros. The parameter N_{dummy} for the route is equal to $|V|-1$. The N_{dummy} is the number of zero added to the solution representation that are used to terminate routes. Figure 1 illustrates the solution representation.

Industries				Dummy zeros		
1	2	...	$\|F\|$	0	0	0

Figure 1 The solution representation

To demonstrate the solution and route construction, we give an example with a small instance consisting of seven industries and four vehicles. The solution representation is shown at Figure 2.

Industries							Dummy zeros		
1	2	3	4	5	6	7	0	0	0

Figure 2 The example of a solution representation

Figure 3 presents an example of a solution. The first vehicle starts from depot. The vehicle visits industries 1 and 2. The industry 2 is followed by a zero; thus, the first route is terminated. The second vehicle visits only industry 6 and followed by a zero; thus, the second route is terminated. The third vehicle services industries 4 and 7. Finally, the fourth vehicle visits industries 3 and 5.

1	2	0	6	0	4	7	0	3	5

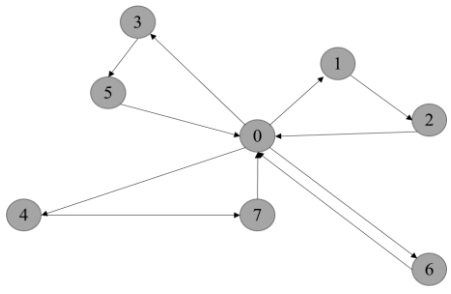


Figure 3 The example of a solution

4.2 Initial solution

An important factor for obtaining an effective initial solution is the effective utilization of vehicle. To generate the initial solution, we try to produce a feasible solution with a greedy strategy. Such a strategy is inspired by the probabilistic nearest neighbor heuristic approach. The steps of this method are described as follows.

***Step* 1.** Gather all the new information for the current period, including data of factory locations. The coordinator determined the amount of time each person can work.

***Step* 2.** Clusters the industries based on a region. For example, the industries that located in the same province are assigned into the same cluster.

***Step* 3.** Assign a vehicle route to each cluster. The order of visiting is arbitrary.

***Step* 4.** Determine the number of days and travel cost of each route.

4.3 Neighborhood moves

The proposed SA algorithm incorporates three neighborhood structures to explore different possibilities of route combination. We independently use all neighborhoods the routes. These neighborhood structures are explained as follows.

Swap move: The swap procedure starts by taking random i^{th} and j^{th} positions of a solution and systematically swapping the numbers in these two positions. For example, the swap procedure is applied to the routes in Figure 3. The 2nd and 4th positions of the solution are randomly selected. The numbers appearing in these positions are 2 and 6, respectively. These numbers are then systematically swapped. After finishing the swap operation, the pickup route is updated to {1, 6, 0, 2, 0, 4, 7, 0, 3, 5}.

Reverse move: The reverse procedure operates by reversing the direction of numbers in the position between two randomly chosen i^{th} and j^{th} positions of a solution. For example, the 3nd and 6th positions of the solution in Figure 3 are chosen. The numbers in the positions between these random positions are 0, 6, 0, 4. The direction of these numbers is then reversed. Here, the solution is updated to {1, 2, 4, 0, 6, 0, 7, 0, 3, 5}.

Insertion move: This insert operator is executed by randomly selecting the ith and j^{th} positions of a solution and then inserting an ith number in front of the jth position. Using the same example with the previous, the 5th and 1st positions are randomly selected from solution in Figure 3. The numbers in these positions are 0 and 1. In this case, 0 is inserted in front of 1. Therefore, the solution is updated to {0, 1, 2, 0, 6, 4, 7, 0, 3, 5}.

4.4 Parameters used

The SA algorithm uses five parameters, namely, I_{iter}, T_0, T_f, K and α, to search for the best solution. I_{iter} denotes the number of iterations that proceed at a particular temperature. T_0 and T_f represent the initial and final temperatures, respectively, and K is the Boltzmann constant used in the calculation of the probability of accepting a worse solution. Lastly, α is the cooling rate coefficient to control the cooling process.

4.5 SA Procedure

Algorithm 1 describes the steps of the SA heuristics. The search mechanism starts with an initial solution and follows the SA searching process to improve it. The SA searching process starts at setting the current temperature T to the initial temperature T_0. The best solution X_{best} and the current solution X are set to be the initial solution. The best objective value is set to be the objective value of solution X. Here, R_t is the probability of choosing neighborhood t, $t \in$ {swap, reverse, insert}. R_t is set to be 1/3.

The process continues to generate a new solution Y from the current solution X by the neighborhood moves in each iteration at a particular temperature. Let Δ be the objective value difference between Y and X. If $\Delta < 0$, then Y is better than X; thus, Y replaces X as the current solution; otherwise, the new neighborhood solution is accepted with a probability calculated by the Boltzmann function, $\exp(-\Delta/KT)$. The next temperature is that the current temperature decreases to αT. The SA algorithm is terminated if the current temperature is below or equal to the final temperature T_f.

Algorithm 1. SA

```
1:  Input: I_iter, T_0, T_f, α, K, InitialSolution;
2:  Output: Objective;
3:      I ⟵ 0; T ⟵ T_0; F_best ⟵ obj (X), X ⟵ InitialSolution; X_best ⟵ X;
4:      R_t ⟵ 1/3 for all t in {swap, reverse, insert};
5:      While T < T_f;
6:          I ⟵ 1; N_t ⟵ 0 and O_t ⟵ Ø for all t in {swap, reverse, insert};
7:          While I ≤ I_iter;
8:              r ⟵ random ( 0, 1);
9:              If (r ≤ R_swap) then
10:             Generate a new solution Y from X by swap move;
11:             Else if (R_swap < r ≤ R_swap+ R_reverse) then
12:             Generate a new solution Y from X by reverse move;
13:             Else Generate a new solution Y from X by insertion move;
14:             End if
15:         Δ ⟵ obj (Y) – obj (X);
16:         If (Δ ≤ 0) then X ⟵ Y;
17:         Else r ⟵ random ( 0, 1);
18:         If (r < exp(–Δ/KT)) then X ⟵ Y; End if
19:         End if
20:         If ( obj (X) < F_best ) then X_best ⟵ X; F_best ⟵ obj (X); End if
21:         I ⟵ I + 1;
22:         End while
23:     T = αT;
24:     End while
25:
```

5. Computational study

5.1 Instances

We generate the CO-OP instances from real geographical distances of industries in Thailand. Those industries have accepted the students from the industrial engineering department of RMUTL, Tak, to attend the CO-OP program. The dataset contains 8 to 100 industries, with a total of 40 instances. The problem parameter values are shown in Table 1.

Table 1 the problem parameter values

Scale	No. of industries	No. of instances	No. of Vehicle	VCAP	CDIST	CRENT	CADV	CHOT	N	W
Small	8	5	3	4, 5, 6, 7, 8	4	1800	240	750	2	12
	11	5	3	6, 7, 8, 9, 11						
	17	5	6	3, 6, 11, 15, 17						
Medium	25	5	6	6, 12, 15, 20, 25						
	30	5	6	6, 10, 15, 20, 30						
	50	5	6	10, 20, 30, 40, 50						
Large	80	5	10	10, 20, 40, 60, 80						
	100	5	10	20, 30, 50, 80, 100						

5.2 Parameter settings

We conduct the experiment to select the best combination of SA parameters. We use the same methodology as reported in Yu, Lin [23], who introduced a simple method for selecting the parameter combination. The method first introduces several values for each parameter. The process then tests the combinations of these parameter values and selects the combination that can obtain the lowest average cost for solving problem instances. In the proposed algorithm, the parameter values tested are as follows:

I_{iter} = 500, 800, and 1000;

T_0 = 3, 5, 7;

T_f = 0.1, 0.01, 0.001;

α = 0.8, 0.9, 0.99;

K = 1, 1/2, 1/3, 1/4.

The results indicate that the best solution quality can be obtained from the parameter values: I_{iter} = 500, T_0, = 5, T_f = 0.001, α = 0.99, K = 1.

5.3 Computational results

5.3.1 The results of the small-scale CO-OP instances

To confirm optimality, we compare the results from the proposed SA with those obtained from GUROBI. GUROBI is a commercial optimization solver for linear programming (LP). The commercial solver was terminated after 4 hours if it could not find an optimal solution. Tables 2 report the best objective values and computational time (CPU) of the small-scale instances, respectively. The respective optimality gap is calculated by equation (9), where *Solution* represents the best solution value of SA. The *BKS* denotes the solutions obtained by GUROBI.

$$Gap\ (\%) = \frac{Solution - BKS}{BKS} \times 100 \qquad (9)$$

Comparative results in Table 2 show that the average gap upon the best-known solution is -0.06% for small-scale instances. As for computational time, SA can obtain the solution in an average 1.82 s. In summary, the proposed SA obtains six optimal solutions same as the GUROBI solutions and five solutions better than GUROBI solutions.

Table 2 Comparison of CO-OP solution for small-scale instances

No.	Instance ID	Objective values		%Gap	Computational time	
		Gurobi	SA		Gurobi	SA
1	S8_4	26460*	26460	0.00	22.08	1.45
2	S8_5	23544*	23544	0.00	23.09	1.16
3	S8_6	23544*	23544	0.00	27.36	1.18
4	S8_7	20580*	20580	0.00	10.84	1.26
5	S8_8	18276*	18276	0.00	9.39	1.19
6	S11_6	27808*	27808	0.00	6173.94	1.36
7	S11_7	27808	27808	0.00	34065.20	1.52
8	S11_8	27256	27256	0.00	42273.10	1.26
9	S11_9	27256	27256	0.00	14428.80	1.64
10	S11_11	21916	21916	0.00	14406.80	1.65
11	S17_6	68188	68068	-0.18	38193.00	3.89
12	S17_11	61600	61468	-0.21	44947.30	2.57
13	S17_13	61516	61368	-0.24	39232.00	2.57
14	S17_15	61428	61368	-0.10	43213.70	2.42
15	S17_17	55800	55720	-0.14	43684.80	2.17
	Average	**36865.33**	**36829.33**	**-0.06**	**21380.76**	**1.82**

5.3.2 The results of the medium and large-scale CO-OP instances

For the medium and large-scale CO-OP instances, GUROBI fails to find the solution within 4 hours. The proposed SA is tested on medium and large-scale CO-OP instances. We evaluate the performance of SA over the initial solution using the percentage of the relative improvement (Improv), which is calculated by equation (10); *SASolution* is the best solution values obtained by SA and *InitialSolution* is the solution obtained from the initial solutions.

$$\text{Improv } (\%) = \frac{InitialSolution - SASolution}{InitialSolution} \times 100 \qquad (10)$$

Tables 3 and 4 display the performance of SA compared to the initial solution in solving the medium and large scale instances, respectively. We offer two observations about the objective values and CPU. First, Table 3 shows that the best objective values of the medium-scale instances obtained by SA are improved from initial solution by an average of 9.25%. For the large-scale instances, Table 4 reports that the best SA solutions are better than the initial solutions by an average of 7.39%. However, as for computational time, the initial solution can obtain the solution faster than SA.

Table 3 Comparison of CO-OP solution for medium-scale instances

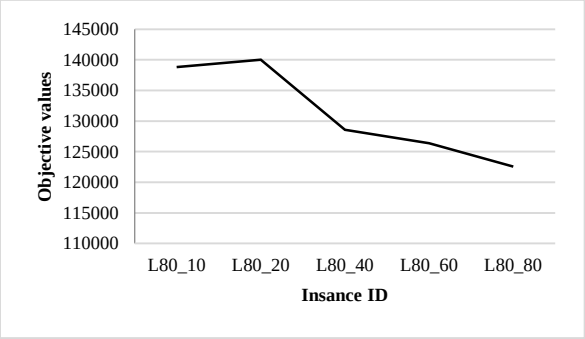
No.	Instance ID	Objective values		%Gap	Computational time	
		Initial Solution	SA		Initial Solution	SA
1	M25_6	75612	62968	16.72	0.58	2.40
2	M25_12	60560	53936	10.94	0.51	2.28
3	M25_15	60500	55044	9.02	0.73	2.14
4	M25_20	60780	51184	15.79	0.66	2.23
5	M25_25	54624	48032	12.07	0.62	2.17
6	M30_6	86936	75948	12.64	0.55	2.56
7	M30_10	67512	65316	3.25	0.69	2.62
8	M30_15	61204	58348	4.67	0.79	2.48
9	M30_20	61620	57004	7.49	0.53	2.27
10	M30_30	55448	51132	7.78	0.93	2.36
11	M50_10	117424	106540	9.27	0.61	3.51
12	M50_20	105968	94228	11.08	0.49	3.53
13	M50_30	91892	88104	4.12	0.96	3.44
14	M50_40	96216	86832	9.75	0.15	3.00
15	M50_50	85728	82120	4.21	0.80	2.97
	average	**76134.93**	**69115.73**	**9.25**	**0.64**	**2.66**

Table 4 Comparison of CO-OP solution for large-scale instances

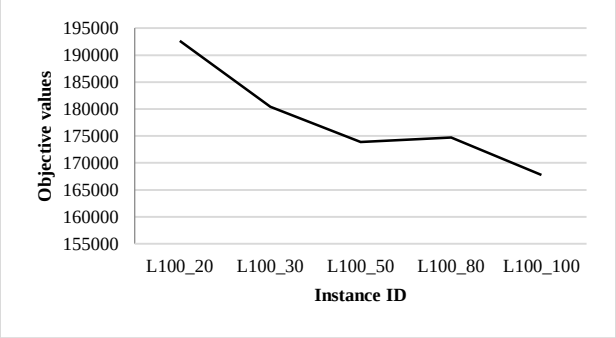
No.	Instance ID	Objective values		%Gap	Computational time	
		Initial Solution	SA		Initial Solution	SA
1	L80_10	176436	138804	21.33	1.62	9.73
2	L80_20	150420	140004	6.92	1.25	9.13
3	L80_40	135076	128556	4.83	1.65	8.78
4	L80_60	135336	126380	6.62	1.58	8.80
5	L80_80	129172	122580	5.10	1.38	8.87
6	L100_20	206736	192624	6.83	1.77	19.31
7	L100_30	196860	180412	8.36	1.85	20.18
8	L100_50	184620	173880	5.82	1.79	20.64
9	L100_80	181768	174728	3.87	1.92	23.00
10	L100_100	175144	167736	4.23	1.85	21.30
	average	**167156.80**	**154570.40**	**7.39**	**1.67**	**14.97**

5.4 Sensitivity analysis

To provide more insight on the problem, we conducted sensitivity analysis on the impact of the number of industries allowed in each route. The large-scale instances are tested with five values of VCAP. The first set of data consists of 80 industries. VCAP equals to 10, 20, 40, 60 and 80 industries are allowed in each route. The second set of data consists of 100 industries. VCAP equals to 20, 30, 50, 80 and 100 industries are allowed in each route. Figure 4 (a) and (b) illustrate that the higher value of VCAP can give the lower total costs. According to the results, the CO-OP planner should consider to increase the number of industries visited in one route.



(a)



(b)

Figure 4 Sensitivity analysis on the number of industries allowed in each route (VCAP)

6. Conclusions and further work

This paper has proposed a new model for routing the advisors in the RMUTL CO-OP program. The model has applications in a wide range of settings, including planning, and strategic environments. Moreover, the model gives consulting firm management a method for calibrating the impact of a number of industries allowed in each route on the total costs.

Since the routing for CO-OP is a new problem, we have generated three sets of benchmark instances including small-scale, medium-scale and large-scale instances. The proposed SA is used to solve three set of instances. The results show that the proposed SA outperforms GUROBI both in solution quality and solution time. Furthermore, GUROBI fails to solve medium- and large-scale instances, whereas the proposed SA heuristic solves all instances in the three sets. When the RMUTL implemented the solution in its routing planning process, it realized travel cost savings. Moreover, the sensitivity analysis shows that when the number of factories allowed in each route is increasing, it causes the lower total cost.

Future studies may consider CO-OP with more practical constraints. They can take uncertainty of traveling and service times into account so as to bring the problem closer to reality. Alternatively, they can focus on developing exact methods or different heuristics that exploit the problem characteristics for solving CO-OP instances.

References

[1] Mason, R.E., "Cooperative occupational education and work experience in the curriculum," 1989: ERIC.

[2] Blair, B.F., M. Millea, and J. Hammer, "The impact of cooperative education on academic performance and compensation of engineering majors," *Journal of Engineering Education*., 93(4): p. 333-338, 2004.

[3] Thiel, G.R. and N.T. Hartley, "Cooperative education: A natural synergy between business and academia," *SAM Advanced Management Journal*, 62(3): p. 19, 1997.

[4] Barbarosoglu, G. and D. Ozgur, "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem," *Computers & Operations Research*, 26(3): p. 255-270, 1999.

[5] Eksioglu, B., A.V. Vural, and A. Reisman, "The vehicle routing problem: A taxonomic review," *Computers & Industrial Engineering*, 57(4): p. 1472-1483, 2009.

[6] Christofides, N., "The vehicle routing problem," *Revue française d'automatique, informatique, recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 10(V1): p. 55-70, 1976.

[7] Desrochers, M., J. Desrosiers, and M. Solomon, "A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows," *Operations research*, 40(2): p. 342-354, 1992.

[8] Laporte, G., "The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms," *European journal of operational research*, 59(3): p. 345-358, 1992.

[9] Toth, P. and D. Vigo, "Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem," *Discrete Applied Mathematics*, 123(1-3): p. 487-512, 2002.

[10] Kek, A.G., R.L. Cheu, and Q. Meng, "Distance-constrained capacitated vehicle routing problems with flexible assignment of start and end depots," *Mathematical and Computer Modelling*, 47(1-2): p. 140-152, 2008.

[11] Schrage, L., "Formulation and structure of more complex/realistic routing and scheduling problems," *Networks*, 11(2): p. 229-232, 1981.

[12] Sariklis, D. and S. Powell, "A heuristic method for the open vehicle routing problem," *Journal of the Operational Research Society*, 51(5): p. 564-573, 2000.

[13] Laporte, G., " Fifty Years of Vehicle Routing," *Transportation Science*, 43(4): p. 408-416, 2009.

[14] Yu, V.F., P. Jewpanya, and A.A.N.P. Redi, "Open vehicle routing problem with cross-docking," *Computers & Industrial Engineering*, 94: p. 6-17, 2016.

[15] Osman, I.H., "Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem," *Annals of operations research*, 41(4): p. 421-451, 1993.

[16] Lee, Y.H., J.W. Jung, and K.M. Lee, "Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain," *Computers & Industrial Engineering*, 51(2): p. 247-256, 2006.

[17] Baker, B.M. and M. Ayechew, "A genetic algorithm for the vehicle routing problem" *Computers & Operations Research,* 30(5): p. 787-800, 2003.

[18] Kachitvichyanukul, V., "Particle swarm optimization and two solution representations

for solving the capacitated vehicle routing problem," *Computers & Industrial Engineering*, 56(1): p. 380-387, 2009.

[19] Berger, J. and M. Barkaoui, "A hybrid genetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem," *Genetic and evolutionary computation conference*, Springer, 2003

[20] Berger, J. and M. Barkaoui, "A new hybrid genetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem," *Journal of the operational Research Society*, 54(12): p. 1254-1262, 2003.

[21] Metropolis, N., et al., "Equation of State Calculations by Fast Computing Machines,". *The Journal of Chemical Physics*, 21(6): p. 1087, 1953.

[22] Kirkpatrick, S., J.C. Gelatt, and M. Vecchi, "Optimization by simmulated annealing," *science*, 220(4598): p. 671-680, 1983.

[23] Yu, V.F., et al., "A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem," *Computers & Industrial Engineering*, 58(2): p. 288-299, 2010.

[24] Lin, S.-W. and V.F. Yu, "A simulated annealing heuristic for the team orienteering problem with time windows," *European Journal of Operational Research*, 217(1): p. 94-107, 2012.

การพยากรณ์ค่าความเรียบผิวในกระบวนการกลึง S45C ด้วยแผนแบบผิวตอบสนอง

พงศ์ธร รักซ้อน[*1] และ ศิรประภา ดีประดิษฐ์[2]
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา อ.พระนครศรีอยุธยา
จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

Received: 18 June 2019; Revised: 19 September 2019; Accepted: 30 September 2019

บทคัดย่อ

S45C เป็นเหล็กที่นิยมใช้กันอย่างมาก เนื่องจากถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่าต่ำสุดและสร้างแบบจำลองทางสถิติเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าความเรียบผิวในกระบวนการกลึง S45C โดยใช้แผนแบบการทดลองแบบบ็อก-เบห์นเคน โดยมีปัจจัยควบคุมทั้งสิ้น 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนและระยะป้อนลึก จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการกลึง S45C ได้แก่ ความเร็วรอบเท่ากับ 300 เมตรต่อนาที อัตราการป้อนเท่ากับ 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบและระยะป้อนลึก 0.10 มิลลิเมตรส่งผลทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.5477 ไมครอนและค่าความพึงพอใจโดยรวมเท่ากับ 0.98911

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, พื้นผิวตอบสนอง, บ็อก-เบห์นเคน, กระบวนการกลึง, เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง, S45C

* Corresponding author. E-mail: pongthornruksorn@gmail.com
[1] อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
[2] อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

The Prediction of Surface Roughness in the S45C Turning Process by Using Response Surface Design

Pongthorn Ruksorn[*1] and Siraprapha Deepradit[2]

Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University,

Phranakhon Si Ayutthaya, Phranakhon Si Ayutthaya 13000

Received: 18 June 2019; Revised: 19 September 2019; Accepted: 30 September 2019

Abstract

S45C is increasing on demand because it has been applied in various fields. The objective of the research was to study appropriate setting of parameters to minimize the surface roughness and the statistical model for surface roughness prediction in the S45C turning process by using Box-Behnken experimental design. Three control factors were investigated including spindle speed, feed rate and depth of cut. The results indicated that the appropriate setting to minimize the surface roughness were spindle speed at 300 meters per minute, feed rate at 0.20 millimeter per round, depth of cut at 0.10 millimeter. The appropriate setting produced the surface roughness of 0.5477 micrometer and the composite desirability equaled 0.98911.

Keywords: Design of Experiment, Response Surface, Box-Behnken, Turning Process, Medium Carbon Steel, S45C

* Corresponding author. E-mail: pongthornruksorn@gmail.com

1 Lecturer in Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

2 Lecturer in Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

1. บทนำ

อุตสาหกรรมในปัจจุบันต่างให้ความสำคัญกับกระบวนการผลิตขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยการตัดเฉือนโลหะให้มีขนาดและความเรียบผิวตามรูปทรงที่ต้องการ โดยการกลึงเป็นกระบวนการกัดแต่งตัดเฉือนเนื้อโลหะที่มีรูปทรงกระบอก [1] ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกระบวนการกลึงเหล็กแต่ละชนิดให้ได้ตามขนาดและความเรียบผิวตามแบบงานที่กำหนดจะมีปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวของเหล็ก ทั้งนี้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวของเหล็ก อาทิเช่น ความเร็วรอบ อัตราการป้อน ระยะป้อนลึก เม็ดมีดและสารหล่อเย็น [2-5]

S45C จัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ดังรูปที่ 1 ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา [6-10] จะเห็นได้ว่า สามารถชุบแข็งได้ง่าย ทนทานต่อการเสียดสีและความล้าได้ดี มีความแข็งแรงสูง มีโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกลเหมาะสำหรับทำชิ้นส่วนพื้นฐานได้หลายชนิด เช่น เพลาข้อเหวี่ยง ข้อต่อลูกรัดแกนไฮดรอริค เครื่องมือทางด้านการเกษตร งานเครื่องจักรกล รวมทั้งชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมรถยนต์และแม่พิมพ์ ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกลของ S45C เช่น Bo et al. (2012), Bo et al. (2014) และ Cao et al. (2010) ได้ทำการศึกษาวิธีการดัดแปลงพื้นผิวนาโนคริสตัลอัลตราโซนิก (Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification; UNSM) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของ S45C ได้แก่ ความแข็งแรง ทนทานต่อการเสียดสีและความล้าได้ดีขึ้น [6-8] ส่วน Kida et al. (2013) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กกับค่าความเค้นของ S45C จากการศึกษาพบว่า ค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กมีค่าลดลงจะส่งผลทำให้ค่าความเค้นมีค่าสูงขึ้น [9] นอกจากนี้ Sun et al. (2013) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติเชิงกลของ S45C โดยการเชื่อมด้วยเลเซอร์ จากผลการศึกษาพบว่า S45C โครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติเชิงกลที่ทนต่อความร้อนจากการเสียดสีได้ดี [10]

S45C จึงเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างมาก จากงานวิจัยของ พงศ์ธร (2561) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวในกระบวนการกลึง S45C ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึง S45C มี 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนและระยะป้อนลึก [11] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย จุฬาลักษณ์และสุรสิทธิ์ (2560) ได้ใช้แผนแบบผิวตอบสนองแบบบ็อก-เบห์นเคนในหาสภาวะที่เหมาะและสร้างแบบจำลองทางสถิติเพื่อพยากรณ์ค่าความเรียบผิวในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม [12] ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลกระทบของปัจจัยดังกล่าวที่มีผลต่อความเรียบผิว (Surface Roughness; Ra) ในการกลึง S45C และสร้างตัวแบบจำลองทางสถิติของค่าความเรียบผิว โดยแผนแบบผิวตอบสนองแบบบ๊อก- เบห์นเคน [13] รวมถึงการหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของการกลึงที่ทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่าต่ำที่สุด เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดระดับของปัจจัยในการกลึง S45C ที่มีความเหมาะสม



รูปที่ 1 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C

2. ระเบียบงานวิจัย

2.1 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ชิ้นงานที่ใช้สำหรับกลึงคือ S45C มีความแข็งอยู่ที่ช่วง 25-35 รอกเวลล์ซี ซึ่งทุกชิ้นงานตัวอย่างเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่มีคุณสมบัติทางโลหะวิทยาที่เหมือนกันที่มีความยาว 100 มิลลิเมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร

2. ทุกชิ้นงานตัวอย่างทำการกลึงปอกชิ้นออก 3 มิลลิเมตร ระยะทำการกลึงปอก 50 มิลลิเมตร

3. เม็ดมีดที่ใช้ในการกลึง คือ เม็ดมีดเซอร์เมต รหัส TNGG160404R-C NS9530

4. ใช้เครื่องวัดความเรียบผิว รุ่น Mitutoyo sj-310 ในการวัดความเรียบผิว

2.2 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกระบวนการกลึง S45C ที่มีความยาว 100 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร โดยทำการกลึงปอกชิ้นออก 3 มิลลิเมตร ระยะทำการกลึงปอก 50 มิลลิเมตร ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้ใช้แผนแบบการทดลองด้วยแผนแบบผิวตอบสนอง (Response Surface Design) แบบบ็อก-เบห์นเคน (Box-Behnken) ทำการศึกษาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ (A) อัตราการป้อน (B) และระยะป้อนลึก (C) โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่าต่ำสุดและสร้างแบบจำลองทางสถิติเพื่อใช้พยากรณ์ค่าความเรียบผิวของ S45C โดยทำการแบ่งระดับของปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ กลางและสูง มีการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลางซึ่งทำซ้ำ จำนวน 5 การทดลอง มีรอบทำซ้ำ 3 รอบ ทำให้งานวิจัยนี้ใช้จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 51 ตัวอย่าง ดังสรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในแผนแบบการทดลอง

ปัจจัย	หน่วย	ระดับ		
		ต่ำ	กลาง	สูง
A	เมตรต่อนาที	150	225	300
B	มิลลิเมตรต่อรอบ	0.20	0.25	0.30
C	มิลลิเมตร	0.1	0.2	0.3

2.3 ผลการทดลองและวิจารณ์

แผนแบบการทดลองแบบบ็อก-เบห์นเคนในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab ในการพยากรณ์สมการ ก่อนที่จะนำสมการไปใช้จะต้องทำการทดสอบข้อสมมติที่เกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์การถดถอยและวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมการถดถอย [13-14] เพื่อทดสอบความเหมาะสมของสมการ โดยที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะสามารถทำได้และรูปแบบสมการจะเหมาะสม เมื่อข้อสมมติทั้ง 4 ประการนี้เป็นจริง นั่นคือ

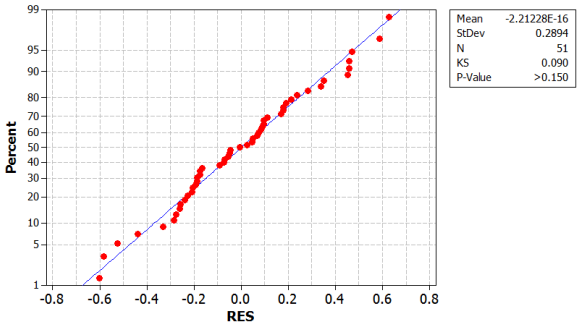
1. ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ
2. ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์
3. ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่
4. ความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

กรณีตรวจสอบข้อสมมติที่ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติจะใช้กราฟพล็อตความน่าจะเป็นปรกติ โดยการทดสอบคอลโมโกรอฟสมีร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) ซึ่งมีสมมุติฐานดังนี้

H_0: ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ

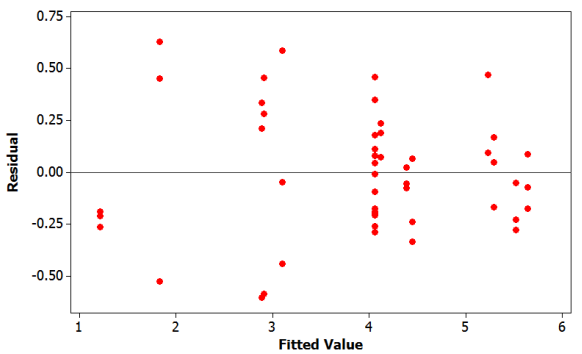
H_1: ความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงปรกติ

ทั้งนี้จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักก็ต่อเมื่อค่าพี (p-value) มีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 [15]



รูปที่ 2 กราฟพล็อตความน่าจะเป็นปรกติของความคลาดเคลื่อนสำหรับค่าความเรียบผิว (Normal Probability Plot)

จากรูปที่ 2 กราฟพล็อตความน่าจะเป็นปรกติ พบว่า การทดสอบการแจกแจงปรกติโดยการทดสอบคอลโมโกรอฟสมีร์นอฟ ค่าพีมีค่าเท่ากับ 0.150 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลักได้ นอกจากนี้กราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสามารถสรุปได้ว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ



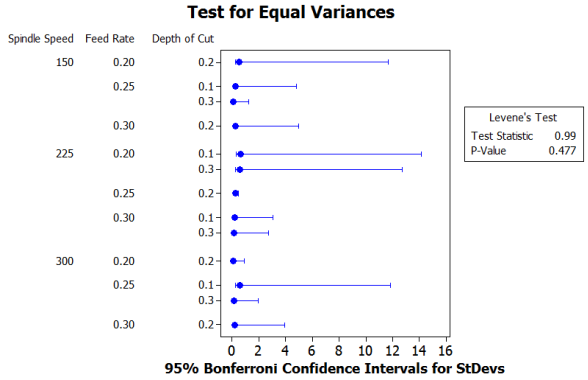
รูปที่ 3 กราฟความคลาดเคลื่อนและค่าประมาณสำหรับค่าความเรียบผิว

จากรูปที่ 3 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการกระจายรอบเส้นศูนย์กราฟอย่างสมดุลและความกว้างของแถบค่อนข้างคงที่ แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนค่อนข้างคงที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการตรวจสอบว่า ข้อสมมติที่ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่หรือไม่ โดยการทดสอบของเลวีน (Levene's Test) [16] ซึ่งมีสมมุติฐานดังนี้

H_0: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่

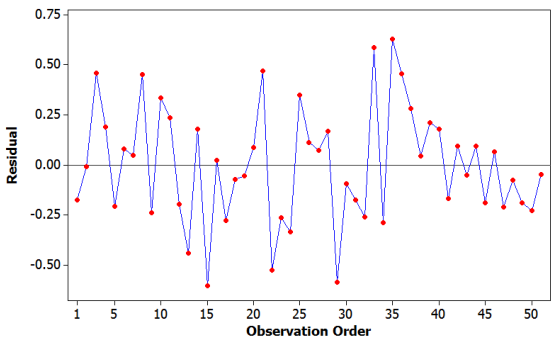
H_1: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่

ทั้งนี้จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักก็ต่อเมื่อค่าพีมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 [15]



รูปที่ 4 การทดสอบค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

การทดสอบค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนโดยการทดสอบของเลวีนจากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab พบว่า ค่าพีมีค่าเท่ากับ 0.477 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลัก นั่นคือ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 5 กราฟความคลาดเคลื่อนและลำดับเวลาที่เก็บข้อมูลสำหรับค่าความเรียบผิว

จากรูปที่ 5 กราฟความคลาดเคลื่อนและลำดับเวลาที่เก็บข้อมูลมีลักษณะไม่มีรูปแบบและกระจายอย่างสุ่ม แสดงว่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

เมื่อทำการตรวจสอบข้อสมมติของความคลาดเคลื่อนของสมการแล้ว จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอย โดยได้กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% (ระดับนัยสำคัญ 0.05) และตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับการทดสอบภาวะพร่องสารูป (Lack – of – Fit; LOF) ดังนี้

H_0: สมการเหมาะสมแล้ว (There's no LOF)

H_1: สมการขาดความเหมาะสม (There's LOF)

ทั้งนี้จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักก็ต่อเมื่อค่าพีมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 [15]

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนแบบการทดลองแบบบ็อก-เบห์นเคน

Source	df	SS	MS	F	P-value
Regression	9	72.52	8.06	78.88	0.000
Linear	3	67.05	22.35	218.81	0.000
Square	3	1.25	0.42	4.09	0.012
Interaction	3	4.21	1.40	13.74	0.000
Residual Error	41	4.19	0.10		
Lack–of-Fit	3	0.69	0.23	2.50	0.074
Pure Error	38	3.50	0.10		
Total	50				

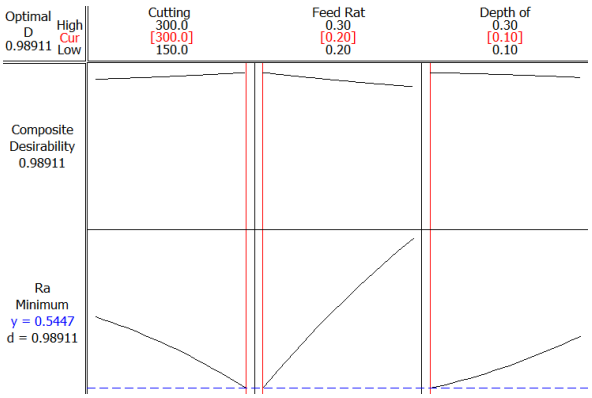
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากแผนแบบการทดลองแบบบ็อก-เบห์นเคนในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ค่าพีของ Lack-of-Fit มีค่าเท่ากับ 0.074 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 นั่นคือ สมการมีความเหมาะสม ดังนั้นสมการของพื้นผิวตอบสนองของค่าความเรียบผิว คือ

$$\text{Surface Roughness} = -4.6439 - 0.0271A + 61.9942B + 3.5943C - (3.2026 \times 10^{-5})A^2 - 88.1267B^2 + 13.9767C^2 + 0.1159AB + 0.0360AC - 59.6167BC \quad (1)$$

ค่าความเรียบผิวมีค่าการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination; R^2) เท่ากับ 93.34% หมายความว่า ปัจจัยควบคุม (ความเร็วรอบ อัตราการป้อนและระยะป้อนลึก) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ค่าความเรียบผิว) ได้ร้อยละ 93.94

2.4 การเลือกสภาวะที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้นำสมการดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 6 จะได้สภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่าต่ำสุด คือ A = 300 เมตรต่อนาที B = 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ และ C = 0.10 มิลลิเมตร ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าความเรียบผิวต่ำสุดเท่ากับ 0.5477 ไมครอนและค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบสนอง (Composite Desirability) เท่ากับ 0.98911 ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบสนองมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบสนองนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ [14]



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer

3. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบจำลองทางสถิติของค่าความเรียบผิว โดยแผนแบบผิวตอบสนองแบบบ็อก-เบห์นเคน รวมถึงการหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของการกลึงที่ทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่าต่ำสุด ซึ่งระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าความเรียบผิวจากกระบวนการกลึง S45C คือ ความเร็วรอบเท่ากับ 300 เมตรต่อนาที อัตราการป้อนเท่ากับ 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบและระยะป้อนลึกเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร ส่งผลทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่าเท่ากับ 0.5477 ไมครอนและค่าความพึงพอใจโดยรวมเท่ากับ 0.98911

4. ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาการสึกหรอของเม็ดมีดเซอร์เมตในกระบวนการกลึง S45C ซึ่งงานวิจัยของ Tiwari et al. (2018) [17] ได้ทำการศึกษาการสึกหรอของเม็ดมีดคาร์ไบด์ในกระบวนการกลึง S45C ที่ระดับของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนและระยะป้อนลึกที่จะทำให้ S45C มีค่าความเรียบผิวที่ต่ำสุด ทั้งนี้เป็นแนวทางในการศึกษาในอนาคต

5. เอกสารอ้างอิง

[1] ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, *กระบวนการผลิต.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2559.

[2] กัมพล เพชรคง, *ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม.* ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. ครุศาสตร์อุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.

[3] ธวัชชัย อาจปรุ, *การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กหล่อเหนียว FCD450.* ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. ครุศาสตร์อุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.

[4] มณเฑียร พลศรีลาภ, *การศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็ก S50C.* ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. ครุศาสตร์อุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2554.

[5] I. Asilturk and H. Akkus, “Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method,” *Measurement.,* Vol. 44, pp.1697-1704, 2011.

[6] B. Wu, P. Wang, Y. S. Pyoun, J. Zhang and R. Murakami, “Effect of ultrasonic nanocrystal surface modification on the fatigue behaviors of plasma-nitrided S45C steel,” *Surface & Coating Technology.*, Vol. 213, pp.271-277, 2012.

[7] B. Wu, J. Zhanga, L. Zhanga, Y. S. Pyoun and R. Murakami, “Effect of ultrasonic nanocrystal surface modification on surface and fatigue properties of quenching and tempering S45C steel,” *Applied Surface Science*., Vol. 321, pp.318–330, 2014.

[8] X. J. Cao, Y. S. Pyoun and R. Murakami, “Fatique properties of a S45C steel subjected to ultrasonic nanocrystal surface modification,” *Applied Surface Science*., Vol. 256, pp.6297-6303, 2010.

[9] K. Kida, E.C. Santos, M. Uryu, T. Handa, J.A. Rozwadowska and K. Saruwatari, “Changes in magenetic field intensities around fatigue crack tips of medium carbon low alloy steel (S45C, JIS),” *International Journal of Fatigue.*, Vol. 56, pp33-41, 2013.

[10] Y. F. Sun, Y. Konishi, M. Kamai and H. Fujii, “Microstructure and mechanical properties of S45C steel prepared by laser-assisted friction stir welding,” *Materials and Design.*, Vol. 47, pp.842-849, 2013.

[11] พงศ์ธร รักซ้อน. “การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิวในกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C,” *ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2561*. 23-26 กรกฎาคม. โรงแรมสุนีย์ แกรนด์ โฮเทล แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์: 936-938, 2561.

[12] จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล และ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์. “การพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวในการกลึงอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 5083 โดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบสนอง.” *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2560*. 2-3 มีนาคม. โรงแรมบาริออส รีสอร์ท เขาใหญ่: 196-203, 2560.

[13] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, *การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด , 2551.

[14] D.C. Montgomery, 7th ed., *Design and Analysis of Experiment*. New York: John Wiley & Sons, 2009.

[15] D.C. Montgomery, G.C. Runger and N.F. Hubele, 5th ed., *Engineering Statistics*. New York: John Wiley & Sons, 2012.

[16] ดวงพร หัชชะวณิช, "การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 และอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน," *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง.,* ปีที่ 23 (ฉบับ 1), หน้า 17-28, 2557.

[17] R. Tiwari, D. Das, A. Sahoo, R. Kumar, R. Das and B. Routara, “Experimental investigation on surface roughness and tool in hard turning JIS S45C steel,” *Materials Today.*, Proceedings 5, pp. 24535–24540, 2018.

การสร้างแบบจำลองตารางงานของพยาบาลด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็มกรณีศึกษา: โรงพยาบาลค่ายสรรพสิทธิประสงค์

โยธิญา โยธี[1] และ รตี โบจรัส[*2]
ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ
จ.อุบลราชธานี 34190

Received: 2 August 2019; Revised: 23 September 2019; Accepted: 30 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองการทำงานของพยาบาลด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม กรณีศึกษา : โรงพยาบาลค่ายสรรพสิทธิประสงค์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดจำนวนวันหยุดของพยาบาลให้มากที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่โรงพยาบาลกำหนด ด้วยโปรแกรม Lingo พร้อมทั้งเปรียบเทียบการจัดตารางด้วยโปรแกรมกับการจัดตารางโดยหัวหน้าพยาบาล จากการศึกษาพบว่าการจัดตารางการทำงานของพยาบาลด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็มสามารถจัดตารางการทำงานได้เหมาะสมกับภาระงานแต่ละคนโดยมีจำนวนวันหยุดมากที่สุดและสอดคล้องตามเงื่อนไขที่โรงพยาบาลกำหนด

คำสำคัญ : กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม การจัดตารางการทำงานของพยาบาล

*Corresponding author. E-mail : ratee.b@ubu.ac.th

[1,2]ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Nurse scheduling model by integer linear programming A case study: The Fort Sunpasitthiprasong hospital

Yothiya Yothee[1] and Ratee Bojaras[*1]
Department of Mathematics Statistics and Computer, Faculty of sciences, Ubonratchathani university, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

Received: 2 August 2019; Revised: 23 September 2019; Accepted: 30 September 2019

Abstract

In this research, we formulate the model of nurse scheduling by using integer linear programming (A case study: The Fort Sunpasitthiprasong hospital). The objectives of the model are to maximize the number of nurse s'day-offs subject to the hospital's rules with Lingo and compare to the schedule create manually by the head of nursing staffs. The results show an effective scheduling because it satisfied all of the hospital's rules with the maximum of nurse s'day-offs.

Keywords: integer linear programming, nurse scheduling

*Corresponding author. E-mail : ratee.b@ubu.ac.th

[1]Department of Mathematics Statistics and Computer, Faculty of sciences, Ubonratchathani University

1. บทนำ

ปัญหาการจัดตารางการทำงานเป็นปัญหาที่ทุกหน่วยงานต้องพบเจอเช่น การจัดตารางเรียนตารางสอนในสถานศึกษา การจัดตารางการทำงานของพนักงานบริษัท การจัดตารางเดินรถบรรทุกน้ำมันจากคลังน้ำมันแห่งหนึ่งไปยังสถานีจำหน่ายน้ำมันแต่ละแห่ง การจัดเส้นทางการเดินรถประจำทาง และปัญหาการจัดตารางการทำงานของพยาบาลในโรงพยาบาล เป็นต้น

สำหรับการทำงานของพยาบาลในโรงพยาบาลขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละแผนก ตารางงานที่ดีและเหมาะสมจะทำให้พยาบาลสามารถดูแลคนไข้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการจัดตารางการทำงานของพยาบาลจึงมีความละเอียดอ่อนมากกว่าการจัดตารางงานประเภทอื่นๆ เนื่องจากจำเป็นต้องคำนึงถึงระเบียบและเงื่อนไขของโรงพยาบาล จำนวนวันทำงานของแต่ละคนที่มีความเหมาะสม จำนวนพยาบาลที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงการผลัดเปลี่ยนช่วงเวลาการทำงานของพยาบาลแต่ละคนตามข้อตกลงที่โรงพยาบาลกำหนด

โดยทั่วไปหัวหน้าพยาบาลจะเป็นผู้จัดตารางการทำงานแต่อาจพบปัญหาจำนวนชั่วโมงการทำงานมีความแตกต่างกันมาก ทำให้พยาบาลบางคนเกิดความเหนื่อยล้าทางร่างกายและจิตใจ เพื่อแก้ปัญหานี้เราจึงศึกษาตัวแบบการจัดตารางการทำงานพยาบาลด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็มเพื่อกำหนดจำนวนวันหยุดของพยาบาลให้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่โรงพยาบาลกำหนดด้วยโปรแกรม Lingo

จากข้อมูลของโรงพยาบาลค่ายสรรพสิทธิประสงค์ พบว่ามีรูปแบบการจัดตารางการทำงานของพยาบาลจำนวน 3 รูปแบบ คือ การจัดเวลาทำงานช่วงเวลาละ 8 ชั่วโมง (สำหรับพยาบาลระดับปฏิบัติงานทั่วไป) การจัดเวลาการทำงานช่วงเวลาละ 24 ชั่วโมง (สำหรับพยาบาลระดับผู้บริหาร) และการจัดเวลาการทำงานช่วงเวลาเสริม (สำหรับพยาบาลที่มีจำนวนวันทำงานมากกว่า 20 วันในหนึ่งเดือน) แต่งานวิจัยนี้เราต้องการจัดตารางการทำงานของพยาบาลช่วงเวลาละ 8 ชั่วโมงในหนึ่งวัน แบ่งเป็นช่วงเวลาเช้า บ่าย และดึก โดยมีจำนวนพยาบาลแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา คือแบบ A มีจำนวนพยาบาล 5 คน (สำหรับแผนกเล็กจำนวนผู้ป่วยน้อย) และแบบ B มีจำนวนพยาบาล 10 คน (สำหรับแผนกใหญ่ จำนวนผู้ป่วยมาก)

2. ตัวแบบการจัดตารางการทำงานพยาบาลด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดตารางทำงานของพยาบาลมีการพัฒนาและปรับปรุงมานานกว่า 30 ปีที่ผ่านมา [1] ซึ่งส่วนมากจะใช้โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical programming) โปรแกรมเชิงเป้าหมาย (goal programming) โปรแกรมเชิงข้อจำกัด (constraint programming) ปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) วิธีฮิวริสติก (heuristics) และวิธีการเมตาฮิวริสติก (meta heuristics) [2-4] แต่งานวิจัยนี้นำเสนอการจัดตารางงานด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่เป็นรูปแบบหนึ่งของโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical programming) เนื่องจากเราสามารถสร้างฟังก์ชันจุดประสงค์และข้อกำหนดเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นได้ โดยมีชนิดของตัวแปรเป็นตัวแปรการตัดสินใจ และแบบจำลองของปัญหาอยู่ในรูปแบบอย่างง่าย

งานวิจัยของ Ruzzakiah, Maya และ Wallace [1, 5-6] ศึกษาการจัดตารางการทำงานของพยาบาลด้วยเทคนิควิธีที่แตกต่างกัน แต่ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์และฟังก์ชันเงื่อนไขตามลักษณะเฉพาะของแต่ละปัญหา

สำหรับแนวทางในการดำเนินงานวิจัยนี้เราได้ศึกษาแบบจำลองการจัดตารางการทำงานของพยาบาลจาก Maya [5] และปรับแบบจำลองให้ตรงกับความต้องการของพยาบาล โดยไม่ขัดต่อระเบียบการปฏิบัติงานของโรงพยาบาลค่ายสรรพสิทธิประสงค์ จากนั้นคำนวณหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lingo และนำตารางการทำงานที่ได้จากการใช้โปรแกรมไปเปรียบเทียบกับตารางการทำงานจริงที่จัดโดยหัวหน้าพยาบาล

2.2 ข้อมูลการจัดตารางการทำงาน

จากการสอบถามข้อมูลการจัดตารางการทำงานโดยหัวหน้าพยาบาล พบว่ามีการแบ่งจำนวนพยาบาลเป็น

2 รูปแบบคือ แบบ A (สำหรับแผนกเล็ก จำนวนผู้ป่วยน้อย) มีพยาบาลจำนวน 5 คนและแบบ B (สำหรับแผนกใหญ่ จำนวนผู้ป่วยมาก) มีพยาบาลจำนวน 10 คน ซึ่งทั้งสองรูปแบบมีข้อปฏิบัติในการจัดตารางการทำงาน ดังนี้ .

1. ในหนึ่งวัน แบ่งช่วงเวลาการทำงานเป็น 3ช่วงคือ ช่วงเช้า 08.00 – 16.00 น. ช่วงบ่าย 16.00 – 24.00 น. และช่วงดึก 24.00 – 08.00 น. ซึ่งมีชั่วโมงทำงานช่วงละ 8 ชั่วโมง

2. รูปแบบ A ต้องมีพยาบาลทำงานในแต่ละช่วงเวลาอย่างน้อย 1 คน รูปแบบ B ต้องมีพยาบาลทำงานในแต่ละช่วงเวลา อย่างน้อย 2 คน

3. ในหนึ่งเดือน (30 วัน) พยาบาลแต่ละคนมี วันทำงานจำนวน 20 วัน และมีวันหยุดจำนวน 10 วัน ใน เดือนที่มี 31 วัน จะมีวันหยุด 11 วัน

4. พยาบาลแต่ละคนต้องทำงานอย่างน้อย 140 ชั่วโมงในหนึ่งเดือน

5. ในหนึ่งวัน พยาบาลแต่ละคนจะทำงานเพียงช่วงเวลาเดียวเท่านั้น

6. รูปแบบการทำงานจะหลีกเลี่ยงลักษณะการทำงานแบบหยุดงาน-ทำงาน-หยุดงาน เนื่องจากจะทำให้ตารางการทำงานไม่ต่อเนื่อง

7. พยาบาลแต่ละคนไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาดึกแล้วตามด้วยช่วงเวลาเช้าในวันถัดไปได้

8. พยาบาลแต่ละคนไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาดึกแล้วตามด้วยช่วงเวลาบ่ายในวันถัดไปได้

9. พยาบาลแต่ละคนไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาบ่ายแล้วตามด้วยช่วงเวลาดึกในวันถัดไปได้

10. พยาบาลแต่ละคนสามารถทำงานในช่วงเวลาเช้าตามด้วยช่วงเวลาบ่ายได้ แต่ห้ามทำงานในรูปแบบนี้ติดต่อกันเกิน 3 วัน

11. ในหนึ่งเดือน (30 วัน) พยาบาลแต่ละคนจะได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงานในช่วงเวลาเช้า จำนวน 7 วัน ถึง 9 วัน ช่วงเวลาบ่าย จำนวน 7 วัน ถึง 9 วัน และช่วงเวลาดึก จำนวน 6 วัน ถึง 8 วัน

12. ใน 1 สัปดาห์ พยาบาลแต่ละคนจะได้รับวันหยุดอย่างน้อย 1 วัน

13. พยาบาลแต่ละคนไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาดึกเป็นเวลาสองคืนติดต่อกันได้

2.3 สัญลักษณ์และตัวแปรตัดสินใจ

กำหนดให้

V คือ เซตของจำนวนพยาบาล $(V = 1, 2, ..., n)$

โดยกำหนดค่า $n = 5$ ในแบบ A

และค่า $n = 10$ ในแบบ B

W คือ เซตของจำนวนวัน $(W = 1, 2, ..., 30)$

j คือ ดัชนีของพยาบาล $(j \in V)$

i คือ ดัชนีของวัน $(i \in W)$

ตัวแปรตัดสินใจ

$$M_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าพยาบาลคนที่ } j \text{ ได้รับมอบหมายให้ทำงานช่วงเวลาเช้าในวันที่ } i \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

$$E_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าพยาบาลคนที่ } j \text{ ได้รับมอบหมายให้ทำงานช่วงเวลาบ่ายในวันที่ } i \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

$$N_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าพยาบาลคนที่ } j \text{ ได้รับมอบหมายให้ทำงานช่วงเวลาดึกในวันที่ } i \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าพยาบาลคนที่ } j \text{ ได้หยุดงานในวันที่ } i \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

2.4 ฟังก์ชันจุดประสงค์และข้อจำกัด

เราสร้างแบบจำลองตารางการทำงานสำหรับพยาบาลจำนวน 5 คน (สำหรับรูปแบบ A) และ 10 คน (สำหรับรูปแบบ B) ด้วยฟังก์ชันจุดประสงค์

1. เพิ่มจำนวนวันหยุดของพยาบาลให้มากที่สุด

$$Max\ Z = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{30} D_{ij} \qquad (1)$$

(กำหนด $n = 5$ หรือ 10 ตามรูปแบบ A หรือ B)

2. จัดภาระงานของพยาบาลให้น้อยที่สุด

$$Min\ C = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{30}\left(M_{ij} + E_{ij} + N_{ij}\right) \qquad (2)$$

โดยมีเงื่อนไขข้อจำกัด ดังต่อไปนี้

1. ในแต่ละวันของทุกช่วงเวลา ต้องการพยาบาลอย่างน้อย 1 คน (รูปแบบ A) และพยาบาลอย่างน้อย 2 คน (รูปแบบ B)

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^{n} M_{ij} &\geq k \\ \sum_{j=1}^{n} E_{ij} &\geq k \\ \sum_{j=1}^{n} N_{ij} &\geq k\end{aligned} \qquad (3)$$

$i = 1, 2, ..., 30$

กำหนด $k = 1$ (รูปแบบ A) และ $k = 2$ (รูปแบบ B)

2. พยาบาลแต่ละคน ทำงานได้เพียงช่วงเวลาเดียวต่อวันเท่านั้น

$$M_{ij} + E_{ij} + N_{ij} + D_{ij} = 1 \qquad (4)$$

$i = 1, 2, ..., 30$ และ $j = 1, 2, ..., n$

3. รูปแบบการทำงานต้องหลีกเลี่ยงลักษณะการทำงานแบบ หยุดงาน-ทำงาน-หยุดงาน

$$D_{ij} + \left(M_{i+1,j} + E_{i+1,j} + N_{i+1,j}\right) + D_{i+2,j} \leq 2 \qquad (5)$$

$i = 1, 2, ..., 28$ และ $j = 1, 2, ..., n$

4. พยาบาลแต่ละคนไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาดึกแล้วตามด้วยช่วงเวลาเช้าในวันถัดไปได้

$$N_{ij} + M_{i+1,j} \leq 1 \qquad (6)$$

$i = 1, 2, ..., 29$ และ $j = 1, 2, ..., n$

5. พยาบาลแต่ละคนไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาดึกแล้วตามด้วยช่วงเวลาบ่ายในวันถัดไปได้

$$N_{ij} + E_{i+1,j} \leq 1 \qquad (7)$$

$i = 1, 2, ..., 29$ และ $j = 1, 2, ..., n$

6. พยาบาลแต่ละคนไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาบ่ายแล้วตามด้วยช่วงเวลาดึกในวันถัดไปได้

$$E_{ij} + N_{i+1,j} \leq 1 \qquad (8)$$

$i = 1, 2, ..., 29$ และ $j = 1, 2, ..., n$

7. ในแต่ละเดือน พยาบาลแต่ละคนจะได้รับวันหยุดมากที่สุด ไม่เกิน 10 วัน

$$\sum_{i=1}^{30} D_{ij} \leq 10 \qquad (9)$$

$j = 1, 2, ..., n$

8. พยาบาลแต่ละคนสามารถทำงานในช่วงเวลาเช้าตามด้วยช่วงเวลาบ่ายได้ แต่ห้ามทำติดต่อกันเกิน 3 วัน

$$\begin{aligned}&\left(M_{ij} + E_{ij}\right) + \left(M_{i+1,j} + E_{i+1,j}\right) \\ &+ \left(M_{i+2,j} + E_{i+2,j}\right) \leq 3\end{aligned} \qquad (10)$$

$i = 1, 2, ..., 28$ และ $j = 1, 2, ..., n$

9. ในแต่ละเดือน พยาบาลแต่ละคนได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงานในช่วงเวลาเช้าและช่วงเวลาบ่าย ตั้งแต่ 7 วัน ถึง 9 วัน และช่วงเวลาดึก ตั้งแต่ 6 วันถึง 8 วัน

$$\begin{aligned}7 \leq \sum_{i=1}^{30} M_{ij} &\leq 9 \\ 7 \leq \sum_{i=1}^{30} E_{ij} &\leq 9 \\ 6 \leq \sum_{i=1}^{30} N_{ij} &\leq 8\end{aligned} \qquad (11)$$

$j = 1, 2, ..., n$

10. ในหนึ่งสัปดาห์ พยาบาลแต่ละคนจะได้รับวันหยุดอย่างน้อย 1 วัน

$$\begin{aligned}&D_{ij} + D_{i+1,j} + D_{i+2,j} + D_{i+3,j} \\ &+ D_{i+4,j} + D_{i+5,j} + D_{i+6,j} \geq 1\end{aligned} \qquad (12)$$

$i = 1, 2, ..., 24$ และ $j = 1, 2, ..., n$

11. พยาบาลแต่ละคนไม่สามารถทำงานในช่วงเวลาดึกสองคืนติดต่อกันได้

$$N_{ij} + N_{i+1,j} \leq 1 \qquad (13)$$

$i = 1, 2, ..., 28$ และ $j = 1, 2, ..., n$

12. ตัวแปร M_{ij}, E_{ij}, N_{ij} และ D_{ij} เป็นตัวแปรตัดสินใจ

$$M_{ij}, E_{ij}, N_{ij}, D_{ij} \in \{0, 1\} \qquad (14)$$

$i = 1, 2, ..., 30$ และ $j = 1, 2, ..., n$

จากปัญหาและเงื่อนไขการจัดตารางการทำงานพยาบาลทั้งสองแบบ คือ แบบ A และแบบ B มีข้อแตกต่างกัน คือ จำนวนพยาบาลอย่างน้อย ในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้

ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ (1)-(2) และเงื่อนไข (3)-(14) มาใช้จัดตารางการทำงานด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางการทำงานที่จัดโดยหัวหน้าพยาบาล

3. ผลการวิจัย

เราจะแสดงตารางการทำงานของพยาบาลแบบ A (จำนวนพยาบาล 5 คน) และแบบ B (จำนวนพยาบาล 10 คน) ด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม โดยมีฟังก์ชันจุดประสงค์ 2 ข้อคือ การเพิ่มจำนวนวันหยุดให้มากที่สุดและเพื่อจัดภาระงานของพยาบาลให้น้อยที่สุด พร้อมทั้งแสดงตารางการทำงานจริงที่จัดโดยหัวหน้าพยาบาล เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกัน

3.1 ตารางการทำงานของพยาบาลแบบ A (จำนวนพยาบาล 5 คน)

จากตารางที่ 1 และ 2 ซึ่งมีฟังก์ชันจุดประสงค์ต่างกัน มีรูปแบบการจัดตารางแตกต่างกันของพยาบาลแต่ละคน เช่น ตารางที่ 1 พยาบาลคนที่ 1 ทำงานในช่วงเวลาดึก ในขณะที่ผลจากตารางที่ 2 พยาบาลคนที่ 1 ทำงานในช่วงเวลาบ่าย แต่โดยภาพรวมของตารางงานพบว่าพยาบาลทุกคนจะได้รับวันหยุดเท่ากันคือ 10 วัน มีช่วงเวลาทำงานเช้า 7 วัน ช่วงบ่าย 7 วัน และช่วงดึก 6 วัน เท่ากัน และไม่มีการทำงานในชวงเวลาดึกตามดวยชวงเวลาเชาหรือชวงเวลาบ่ายของวันถัดไป ไมมีการทำงานในชวงเวลาบายตามดวยชวงเวลาดึก ซึ่งสอดคลองกับเงื่อนไขที่ (3)-(14) เวลาที่ใช้ประมวลผลการจัดตารางแบบ A ทั้งสองตารางใช้เวลารวม 2.04 วินาที

ตารางที่ 1 ตารางการทำงานที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์คือ เพิ่มจำนวนวันหยุดให้มากที่สุด

DAYS	NURSES				
	1	2	3	4	5
1	M	N	D	E	M
2	M	D	E	E	N
3	N	M	E	E	D
4	D	N	D	E	M
5	D	D	M	E	N
6	M	D	N	E	D
7	N	M	D	D	E
8	D	N	D	M	E
9	E	D	M	N	D
10	E	M	N	D	D
11	E	N	D	M	M
12	E	D	D	M	N
13	E	M	E	N	D
14	M	N	E	D	D
15	N	D	E	D	M
16	D	D	M	E	N
17	D	E	N	M	D
18	E	M	D	N	D
19	M	N	D	D	E
20	N	D	M	D	E
21	D	E	N	D	M
22	D	E	D	M	N
23	D	E	M	N	D
24	M	D	N	D	E
25	N	E	D	M	M
26	D	E	E	N	M
27	M	M	E	D	N
28	N	E	M	M	D
29	D	D	M	N	E
30	E	M	N	D	E

M : ช่วงเวลาเช้า; **E** : ช่วงเวลาบ่าย; **N** : ช่วงเวลากลางคืน; **D** : วันหยุด

ตารางที่ 2 ตารางการทำงานที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์คือ จัดภาระงานของพยาบาลให้น้อยที่สุด

DAYS	NURSE				
	1	2	3	4	5
1	M	N	D	E	D
2	N	D	E	M	E
3	D	E	M	N	M
4	M	E	E	D	N
5	N	E	D	M	D
6	D	E	M	N	E
7	E	D	N	D	M
8	M	E	D	D	N
9	N	M	D	E	D
10	D	N	E	M	E
11	E	D	M	N	D
12	M	E	N	D	E
13	N	E	D	D	M
14	D	D	M	E	N
15	M	M	N	E	D
16	E	N	D	M	D
17	D	D	M	N	E
18	D	M	N	D	E
19	E	N	D	M	D
20	M	D	E	N	D
21	N	D	M	D	E
22	D	D	N	E	M
23	D	M	D	E	N
24	M	N	E	D	D
25	N	0	E	D	M
26	D	M	E	D	N
27	E	M	D	N	D
28	E	N	D	D	M
29	E	D	M	M	N
30	D	M	N	E	D

M : ช่วงเวลาเช้า; E : ช่วงเวลาบ่าย; N : ช่วงเวลากลางคืน; D : วันหยุด

ตารางที่ 3 ตารางสรุปช่วงเวลาทำงาน วันหยุดและจำนวนวันทำงาน

Nurse	Working Times			Days Off	Working Days
	Morning	Evening	Night		
1	7	7	6	10	20
2	7	7	6	10	20
3	7	7	6	10	20
4	7	7	6	10	20
5	7	7	6	10	20

ตารางที่ 3 เป็นตารางสรุปการทำงานในหนึ่งเดือน พบว่าทุกคนได้รับมอบหมายงานเท่ากัน มีจำนวนวันทำงานในชวงเวลาเชาและชวงเวลาบาย 7 วัน ชวงเวลาดึก 6 วัน และมีจำนวนวันหยุดเท่ากัน

ตารางที่ 4 ตารางการทำงานของพยาบาล จัดโดยหัวหน้าพยาบาล

DAYS	NURSES				
	1	2	3	4	5
1	M	N	D	D	M
2	D	E	N	M	M
3	N	D	E	M	M
4	E	M	D	N	M
5	D	N	D	E	M
6	E	N	M	D	D
7	E	M	N	D	D
8	E	D	M	N	M
9	D	D	E	M	M
10	M	N	D	E	M
11	N	M	D	D	M
12	D	E	M	N	M
13	M	D	N	E	D
14	M	D	N	E	D
15	N	M	E	D	M
16	E	N	D	D	M
17	D	E	M	N	M
18	D	D	N	E	M
19	N	D	E	D	M
20	E	M	D	N	D
21	E	N	D	M	D
22	D	N	M	E	M
23	D	E	N	D	M
24	M	D	E	N	M
25	N	D	D	E	M
26	N	E	M	D	M
27	D	D	N	M	D
28	D	M	E	N	D
29	N	E	D	M	M
30	M	D	E	D	M

M : ช่วงเวลาเช้า; E : ช่วงเวลาบ่าย; N : ช่วงเวลากลางคืน; D : วันหยุด

ตารางที่ 5 ตารางสรุปช่วงเวลาทำงาน วันหยุดและจำนวนวันทำงานจัดโดยหัวหน้าพยาบาล

Nurse	Working Times			Days Off	Working Days
	Morning	Evening	Night		
1	6	7	7	10	20
2	6	7	7	10	20
3	6	7	7	10	20
4	6	7	7	10	20
5	22	0	0	8	22

จากตารางที่ 4 และ 5 ที่จัดโดยหัวหน้าพยาบาลไม่สอดคลองตามเงื่อนไขที่ (6)-(8) เช่น พยาบาลคนที่ 1 - 4 มีจำนวนวันหยุดเทากัน 10 วันและมีจำนวนวันทำงานในชวง

เวลาเชา 6 วัน ชวงเวลาบายและชวงเวลาดึก 7 วัน แต่พยาบาลคนที่ 5 มี จำนวนวันหยุดทั้งหมด 8 วัน และมีการทำงานในชวงเวลาเชาทั้งหมด 22 วัน

3.2 ตารางการทำงานของพยาบาลแบบ B (จำนวนพยาบาล 10 คน)

จากตารางที่ 6 และ 7 มีฟังก์ชันจุดประสงค์ต่างกัน มีรูปแบบการจัดตารางแตกต่างกันของพยาบาลแต่ละคน เช่นเดียวกับรูปแบบ A และสอดคลองตามเงื่อนไขทั้งหมดของโรงพยาบาล เวลาที่ใช้ประมวลผลการจัดตารางแบบ B ใช้เวลารวม 11.72 วินาที

ตารางที่ 6 ตารางการทำงานที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์คือ เพิ่มจำนวนวันหยุดให้มากที่สุด

Days	Nurses									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	M	D	E	N	D	E	N	M	E	D
2	N	E	M	D	E	D	D	N	M	M
3	D	E	N	M	M	D	E	D	D	N
4	M	D	D	N	N	M	E	M	E	D
5	N	M	E	D	D	N	D	E	M	D
6	D	N	M	E	E	D	M	D	N	M
7	E	D	D	E	M	D	N	M	D	N
8	E	D	D	M	N	M	D	N	E	D
9	D	D	E	N	D	N	E	D	M	M
10	M	D	E	D	M	D	E	E	N	N
11	N	E	M	M	N	E	D	E	D	D
12	D	E	N	N	D	E	D	M	M	D
13	D	M	D	D	D	E	M	N	N	E
14	E	N	E	D	D	M	N	D	D	M
15	M	D	M	E	E	N	D	D	E	N
16	N	E	N	E	E	D	M	M	M	D
17	D	M	D	M	M	E	E	N	N	E
18	E	N	D	D	N	M	E	D	D	M
19	M	D	M	D	D	N	E	E	D	N
20	N	E	N	M	D	D	M	E	E	D
21	D	M	D	N	M	E	N	D	E	D
22	E	N	D	D	N	M	D	D	M	E
23	E	D	M	E	D	N	M	E	N	M
24	M	E	N	M	M	D	N	E	D	E
25	E	M	D	N	N	D	D	M	D	E
26	D	N	E	D	D	M	M	N	E	D
27	D	D	M	D	E	N	N	D	M	E
28	M	M	N	E	E	D	D	M	N	E
29	N	M	D	E	M	E	D	N	D	M
30	D	N	E	M	E	M	M	D	D	N

M : ช่วงเวลาเช้า; E : ช่วงเวลาบ่าย; N : ช่วงเวลากลางคืน; D : วันหยุด

ตารางที่ 7 ตารางการทำงานที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์คือ จัดภาระงานของพยาบาลให้น้อยที่สุด

Days	Nurses									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	M	D	E	N	D	E	N	M	E	D
2	N	E	M	D	E	D	D	N	M	M
3	D	E	N	M	M	D	E	D	D	N
4	M	D	D	N	N	M	E	M	E	D
5	N	M	E	D	D	N	D	E	M	D
6	D	N	M	E	E	D	M	D	N	M
7	E	D	D	E	M	D	N	M	D	N
8	E	D	D	M	N	M	D	N	E	D
9	D	D	E	N	D	N	E	D	M	M
10	M	D	E	D	M	D	E	E	N	N
11	N	E	M	M	N	E	D	E	D	D
12	D	E	N	N	D	E	D	M	M	D
13	D	M	D	D	D	E	M	N	N	E
14	E	N	E	D	D	M	N	D	D	M
15	M	D	M	E	E	N	D	D	E	N
16	N	E	N	E	E	D	M	M	M	D
17	D	M	D	M	M	E	E	N	N	E
18	E	N	D	D	N	M	E	D	D	M
19	M	D	M	D	D	N	E	E	D	N
20	N	E	N	M	D	D	M	E	E	D
21	D	M	D	N	M	E	N	D	E	D
22	E	N	D	D	N	M	D	D	M	E
23	E	D	M	E	D	N	M	E	N	M
24	M	E	N	M	M	D	N	E	D	E
25	E	M	D	N	N	D	D	M	D	E
26	D	N	E	D	D	M	M	N	E	D
27	D	D	M	D	E	N	N	D	M	E
28	M	M	N	E	E	D	D	M	N	E
29	N	M	D	E	M	E	D	N	D	M
30	D	N	E	M	E	M	M	D	D	N

M : ช่วงเวลาเช้า; E : ช่วงเวลาบ่าย; N : ช่วงเวลากลางคืน; D : วันหยุด

ตารางที่ 8 ตารางสรุปช่วงเวลาทำงาน วันหยุดและจำนวนวันทำงาน

Nurse	Working Times			Days Off	Working Days
	Morning	Evening	Night		
1	7	7	6	10	20
2	7	7	6	10	20
3	7	7	6	10	20
4	7	7	6	10	20
5	7	7	6	10	20
6	7	7	6	10	20
7	7	7	6	10	20
8	7	7	6	10	20
9	7	7	6	10	20
10	7	7	6	10	20

ตารางที่ 8 เป็นตารางสรุปการทำงานในหนึ่งเดือน พบว่าทุกคนได้รับมอบหมายงานเท่ากัน มีจำนวนวันทำงานในชวงเวลาเชาและชวงเวลาบาย 7 วัน ชวงเวลาดึก 6 วัน และมีจำนวนวันหยุดเท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งหมด เช่นเดียวกับตารางที่ 3

ตารางที่ 9 ตารางการทำงานของพยาบาล จัดโดยหัวหน้าพยาบาล

DAYS	NURSES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	M	N	D	D	M	N	D	D	M	M
2	D	E	N	M	D	E	N	M	M	M
3	N	D	E	M	N	D	E	M	M	M
4	E	M	D	N	E	M	D	N	M	M
5	D	N	D	E	D	N	D	E	M	M
6	E	N	M	D	E	N	M	D	D	D
7	E	M	N	D	E	M	N	D	D	D
8	E	D	M	N	E	D	M	N	M	M
9	D	D	E	M	D	D	E	M	M	M
10	M	N	D	E	M	N	D	E	M	M
11	N	M	D	D	N	M	D	D	M	M
12	D	E	M	N	D	E	M	N	M	M
13	M	D	N	E	M	D	N	E	D	D
14	M	D	N	E	M	D	N	E	D	D
15	N	M	E	D	N	M	E	D	M	M
16	E	N	D	D	E	N	D	D	M	M
17	D	E	M	N	D	E	M	N	M	M
18	D	D	N	E	D	D	N	E	M	M
19	N	D	E	D	N	D	E	D	M	M
20	E	M	D	N	E	M	D	N	D	D
21	E	N	D	M	E	N	D	M	D	D
22	D	N	M	E	D	N	M	E	M	M
23	D	E	N	D	D	E	N	D	M	M
24	M	D	E	N	M	D	E	N	M	M
25	N	D	D	E	N	D	D	E	M	M
26	N	E	M	D	N	E	M	D	M	M
27	D	E	N	M	D	E	N	M	D	D
28	D	M	E	N	D	M	E	N	D	D
29	N	E	D	M	N	E	D	M	M	M
30	M	D	E	D	M	D	E	D	M	M

M : ช่วงเวลาเช้า; E : ช่วงเวลาบ่าย; N : ช่วงเวลากลางคืน; D : วันหยุด

ตารางที่ 9 พบว่าตารางงานของพยาบาลคนที่ 2 ในวันที่ 6-7 มีการทำงานในชวงเวลาดึกตามดวยชวงเวลาเชา ซึ่งไมสอดคลองตามเงื่อนไขที่ (6)

ตารางที่ 10 ตารางสรุปช่วงเวลาทำงาน วันหยุดและจำนวนวันทำงาน จัดโดยหัวหน้าพยาบาล

Nurse	Working Times			Days Off	Working Days
	Morning	Evening	Night		
1	6	7	7	10	20
2	6	7	7	10	20
3	6	7	7	10	20
4	6	7	7	10	20
5	6	7	7	10	20
6	6	7	7	10	20
7	6	7	7	10	20
8	6	7	7	10	20
9	22	0	0	8	22
10	22	0	0	8	22

จากตารางที่ 10 พบวาพยาบาลคนที่ 1 - 8 มีจำนวนวันหยุดเทากัน 10 วันและมีจำนวนวันทำงานในชวงเชา 6 วัน ชวงเวลาบายและชวงเวลาดึก 7 วัน แต่พยาบาลคนที่ 9-10 มี จำนวนวันหยุดทั้งหมด 8 วัน และมีการทำงานในชวงเวลาเชาทั้งหมด 22 วัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ (9)

4. สรุป

งานวิจัยนี้เราจัดตารางการทำงานของพยาบาล กรณีศึกษา : โรงพยาบาลคายสรรพสิทธิประสงค จังหวัดอุบลราชธานี โดยสอบถามขอมูลการจัดตารางงานของหัวหน้าพยาบาลและนำขอมูลที่ได้มาสรางแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่มีชนิดของตัวแปรแบบ ศูนย-หนึ่ง หรือเรียกว่าปญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบทวิภาคและใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo หาคำตอบที่เหมาะที่สุด

จากผลการจัดตารางพบว่า เราสามารถจัดตารางการทำงานที่มีจำนวนวันทำงาน ช่วงเวลาทำงานแต่ละช่วงเท่ากันและมีจำนวนวันหยุดมากที่สุด ทั้งยังสอดคล้องตามเงื่อนไขที่โรงพยาบาลกำหนด ซึ่งแตกต่างจากตารางงานที่จัดโดยหัวหน้าพยาบาลที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขบางข้อ หากนำผลที่ได้ไปใช้จัดตารางงานจริงอาจทำให้พยาบาลลดความเหนื่อยล้าทางร่างกาย และสามารถดูแลคนไข้ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มมีความเหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางงานของพยาบาลและสามารถขยายขอบเขตการศึกษากับปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรมากขึ้นได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหัวหนากองการ ผูตรวจการพยาบาลและธุรการฝายพยาบาล โรงพยาบาลคายสรรพสิทธิประสงค จังหวัดอุบลราชธานี ที่ใหขอมูลการจัดตารางการทำงานของพยาบาล

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Jenal R, Ismail WR, Yeun LC, Oughaline A, “A cyclical nurse schedule using Goal Programming,” ITB *Journal of Science*, Vol. 43, pp. 151-164, 2011.

[2] Burke, E.K., de Causmaecker, P., van den Berghe, G. & van Landeghem, H., “The State of The Art of Nurse Scheduling”, *Journal of Scheduling*, 7, pp. 441-499, 2004.

[3] Cheang, B., Li, H., Lim, A. & Rodrigues, B., "Nurse Scheduling Problems – A Bibliographic Survey", *European Journal of Operational Research*, 151, pp. 447-460, 2003.

[4] Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M. & Sier, D., "Staff Scheduling And Scheduling: A Review of Applications, Methods and Models", *European Journal of Operational Research*, 153(1), pp. 3-27, 2004.

[5] M. Widyastiti, A. Aman and T. Bakhtiar, "Nurses Scheduling by Considering the Qualification using Integer Linear Programming," *TELKOMNIKA*. Vol. 14, pp. 933–940, 2016.

[6] W. Agyei, W. O.D and E.A. Andaam, "Modeling Nurse Scheduling Problem Using 0-1 Goal Programming: A Case Study Of Tafo Government Hospital, Kumasi-Ghana," *International Journal of Scientific and Technology Research*, Vol. 4, pp. 5-10, 2015.

การหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม

บุษบา สมีแจ่ม[1] พัชรี แก้วทอง[2] และ โรจนี หอมชาลี[*3]

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

Received: 17 July 2019; Revised: 4 December 2019; Accepted: 16 December 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม จำนวน 13 แห่ง ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด วิเคราะห์ข้อมูลและประมวลตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม LINGO ผลการวิจัยพบว่า โรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคามควรเลือกใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาดความจุ 1,200 และ 400 กิโลกรัม/วัน บนตำแหน่งที่ตั้งทั้งหมด 2 แห่ง คือ โรงพยาบาลมหาสารคาม และโรงพยาบาลนาดูน ตามลำดับ โดยมีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 16,108 บาท/วัน และโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่โรงพยาบาลมหาสารคาม ได้แก่ โรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลโกสุมพิสัย โรงพยาบาลเชียงยืน โรงพยาบาลแกดำ โรงพยาบาลกันทรวิชัย โรงพยาบาลกุดรัง และโรงพยาบาลชื่นชม โดยมีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 1,030.11 กิโลกรัม/วัน โรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่โรงพยาบาลนาดูน ได้แก่ โรงพยาบาลนาดูน โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย โรงพยาบาลวาปีปทุม โรงพยาบาลนาเชือก โรงพยาบาลยางสีสุราช มีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 180.17 กิโลกรัม/วัน นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความไวของตัวแบบโดยการผันแปรค่าปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวัน พบว่า ตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผาที่เปิดบริการไม่เปลี่ยนแปลงมาก และแม้โรงพยาบาลจะมีปริมาณขยะติดเชื้อสูงขึ้นถึง 30% ก็ยังคงมีต้นทุนโดยรวมต่ำกว่าการจ้างเหมาให้บริษัทเอกชนดำเนินการเผากำจัด

คำสำคัญ: การหาตำแหน่งที่ตั้ง เตาเผาขยะติดเชื้อ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ การโปรแกรมจำนวนเต็ม

* Corresponding author. E-mail: rojanee.h@msu.ac.th

[1,2] นิสิตหลักสูตร วท.บ. (สถิติ) ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[3] อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Location of Infectious Waste Incinerator of the Hospital in Maha Sarakham Province

Budsaba Sameejam[1] Patcharee Kaewthong[2] and Rojanee Homchalee[*3]
Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University
Kantarawichai, Maha Sarakham 44150

Received: 17 July 2019; Revised: 4 December 2019; Accepted: 16 December 2019

Abstract

This research aims to develop mathematical model for locating the infectious waste incinerator for 13 hospitals in Maha Sarakham province. The mathematical model was developed as an Integer Programming with minimizing the total cost. This mathematical model was solved by LINGO. The result showed that there should be two locations of infectious waste incinerators in Mahasarakham hospital and Nadun hospital with a capacity of 1,200 and 400 kg/day, respectively. The total cost is minimized to 16,108 baht/day. The hospitals that should transport the infectious waste to the incinerator located in Mahasarakham hospital are Mahasarakham hospital, Borabue hospital, Kosum Phisai hospital, Chiang Yuen hospital, Kae Dam hospital, Kantharawichai hospital, Kut Rang hospital, and Chuenchom hospital, with the total amount of 1,030.11 kg/day. Moreover, the hospitals that should transport the infectious waste to the incinerator located in Nadun hospital are Nadun hospital, Phayakkhaphum Phisai hospital, Wapi Pathum hospital, Na Chueak hospital, and Yang Si Surat hospital, with the total amount of 180.17 kg/day. Additionally, when analyzing the sensitivity of the model by varying the average amount of infectious waste per day, it is found that the location and the size of incinerator are not much changed. Although the hospital has a 30% increasing amount of infectious waste, it still has a lower total cost than hiring a private company to handle.

Keywords: Location, Infectious waste incinerator, Mathematical model, Integer Programming.

* Corresponding author. E-mail: rojanee.h@msu.ac.th

[1,2] Undergraduate students in B.Sc. (Statistics), Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University

[3] Lecturer in Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University

1. บทนำ

ประเทศไทยมีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี มีสถานพยาบาล ได้แก่ โรงพยาบาล ศูนย์บริการสาธารณสุข สถานีอนามัย คลินิก ทั้งที่เป็นของรัฐและเอกชนจำนวนมากกว่า 37,000 แห่ง ซึ่งมีจำนวนเตียงประมาณ 140,000 เตียง แม้ว่าความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์จะมีมากขึ้น แต่ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลกลับมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของประชากร เจ้าหน้าที่และแพทย์ในโรงพยาบาลต้องใช้วัสดุสำหรับการรักษาผู้ป่วย ส่งผลให้มีขยะของเสียเกิดขึ้นจากโรงพยาบาลที่เรียกว่า ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล (Hospital Waste) ขยะติดเชื้อเหล่านี้จัดเป็นขยะอันตราย (Hazardous Waste) เนื่องจากมีทั้งขยะติดเชื้อที่สามารถแพร่เชื้อโรคได้ รวมทั้งของเสียที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี ยาเสื่อมสภาพ สารเคมีอันตราย ของมีคม ซากสัตว์ทดลอง ฯลฯ ทั้งนี้สถานพยาบาลส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการเก็บรวบรวมและกำจัดให้ถูกต้อง ขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลจึงได้ถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมปะปนกับขยะชุมชนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรคซึ่งมีผลต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน โดยเฉพาะสุขภาพอนามัยของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานเก็บขนหรือพนักงานในสถานที่เผากำจัด ซึ่งได้เกิดการเจ็บป่วยด้วยโรคต่างๆ เช่น โรคตับอักเสบ โรคระบบทางเดินหายใจ โรคพยาธิ หรือแม้แต่การติดเชื้อโรคเอดส์ นอกจากนี้ยังเกิดความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อโรค ทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองทั่วไป [1]

สำหรับจังหวัดมหาสารคาม พบว่า มีโรงพยาบาลประจำอำเภอ จำนวน 13 แห่ง มีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 1,210.28 กิโลกรัม/วัน ทุกโรงพยาบาลมีระบบการจัดการขยะติดเชื้อ และจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการขนส่งและกำจัด โดยประเมินผลการดำเนินงานการจัดการขยะติดเชื้อตามมาตรฐานกฎกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2545 [2]

การขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล (รพ.สต.) มากำจัดยังโรงพยาบาลแม่ข่ายซึ่งเป็นโรงพยาบาลประจำอำเภอ พบว่า จังหวัดมหาสารคามมีการขนส่งขยะติดเชื้อ 2 รูปแบบ ดังนี้ 1) โรงพยาบาลแม่ข่ายจำนวน 11 แห่ง ไปให้บริการรับขยะติดเชื้อที่ รพ.สต. ได้แก่ โรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลนาเชือก โรงพยาบาลนาดูน โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลแกดำ โรงพยาบาลกันทรวิชัย โรงพยาบาลโกสุมพิสัย และโรงพยาบาลเชียงยืน โรงพยาบาลยางสีสุราช โรงพยาบาลวาปีปทุม โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย 2) รพ.สต. นำขยะติดเชื้อส่งไปที่โรงพยาบาลแม่ข่าย จำนวน 2 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลกุดรัง และโรงพยาบาลชื่นชม นอกจากนี้ยังพบว่า ที่พักขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลได้มาตรฐานทุกแห่ง และในส่วนของ รพ.สต. ทุกอำเภอ ก็ได้ดำเนินการปรับปรุงให้ได้มาตรฐานครบทุกแห่งเช่นเดียวกัน โดยใช้งบประมาณดำเนินการเอง และบางแห่งได้รับงบประมาณสนับสนุนจากโรงพยาบาลประจำอำเภอ เช่น รพ.สต. ในพื้นที่อำเภอนาเชือก ซึ่งได้รับงบประมาณสนับสนุนจากโรงพยาบาลในการจัดสร้างที่พักขยะจำนวน 1 แห่ง ด้วยงบประมาณ 50,000 บาท แต่สำหรับการเผากำจัดขยะติดเชื้อนั้น ทุกโรงพยาบาลใช้วิธีจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการดำเนินการ [3]

จากปัญหาที่โรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคามได้ส่งขยะติดเชื้อให้หน่วยงานเอกชนนำไปกำจัดแทนการกำจัดเองภายในโรงพยาบาล ซึ่งมีงบประมาณในการกำจัดค่อนข้างสูง ผู้วิจัยจึงได้สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดสรรที่เหมาะสมสำหรับขนส่งและกำจัดขยะติดเชื้อ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจ้างเหมาให้บริษัทเอกชนนำไปกำจัด รวมถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการบริหารจัดการ เพื่อให้เกิดการประหยัดสูงสุดกับโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ (Facility Location) ซึ่งใช้วิธีการดำเนินงานวิจัยที่ทั้งคล้ายคลึงและแตกต่างกันไป เช่น การวิเคราะห์ที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของอุตสาหกรรมต้มกลั่นสุราขาว กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี พบว่า ในภาคตะวันตกเป็นภูมิภาคที่มีอุตสาหกรรมต้มกลั่นสุราขาวอยู่มาก โดยจังหวัดที่มีอุตสาหกรรมต้มกลั่นสุราขาวมาก คือ กาญจนบุรีและราชบุรี การที่จังหวัดกาญจนบุรีมีอุตสาหกรรมต้มกลั่นสุราขาวอยู่มากที่สุด เนื่องจากเป็นพื้นที่แหล่งวัตถุดิบของอุตสาหกรรมต้มกลั่นสุราขาว คือ กากน้ำตาล ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลที่มีมากถึง 7

โรงงาน การหาที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของอุตสาหกรรมต้มกลั่นสุราขาวในพื้นที่ดังกล่าวพิจารณาจากระยะทาง จะทำให้ประหยัดค่าขนส่งวัตถุดิบและสะดวกต่อการจัดการวัตถุดิบ เพราะกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบที่สูญเสียน้ำหนักได้ [4] อีกงานวิจัยหนึ่งได้ประยุกต์ใช้วิธี Center of Gravity ในการศึกษาความเหมาะสมของที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในเขตภูมิภาค กรณีศึกษาบริษัท ABC ซึ่งทำให้ได้ตำแหน่งในเบื้องต้น แต่เนื่องจากตำแหน่งที่ระบุด้วยวิธีดังกล่าวอยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีระบบโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม จึงได้ทำการพิจารณาหาตำแหน่งที่เหมาะสม ภายในรัศมี 50 กิโลเมตร โดยใช้ลักษณะของสินค้าที่เป็น Fast Move และความเร็วของการใช้งานรถบรรทุกเป็นข้อกำหนดขนาดของรัศมี ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งที่เหมาะสมได้ 3 ตำแหน่งคือ RDC1 RDC2 และ RDC3 [5]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้นำหลักการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) มาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น การหาทำเลที่ตั้งและจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม กรณีศึกษา บริษัท ยัม เรสเทอรองตส์ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นผู้ให้บริการ ผู้บริหาร และผู้ให้สิทธิแฟรนไชส์ ร้าน KFC และ Pizza Hut ในประเทศไทย โดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาวิธีจัดการที่ดีที่สุดในการลดต้นทุนเพื่อปรับปรุงและออกแบบระบบการกระจายสินค้า เพื่อแก้ปัญหาระบบการขนส่งของจังหวัดต่างๆ และเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้วิจัยได้ทำการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ เช่น ปริมาณการขนส่งสินค้าแต่ละชนิด ข้อมูลค่าบริหารคลังสินค้า ปริมาณการเก็บสินค้าคงคลัง และต้นทุนการกระจายสินค้าของแต่ละช่องทาง เป็นต้น จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ถึงปัญหา และนำเสนอตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการกระจายสินค้า เพื่อหาจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมและมีต้นทุนต่ำที่สุด [6] มีงานวิจัยที่วิเคราะห์ด้วยวิธีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาทั้งปัจจัยเชิงปริมาณและปัจจัยเชิงคุณภาพ และมีการให้น้ำหนักความสำคัญของฟังก์ชันแต่ละวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าภูมิภาคในประเทศไทย พบว่า ควรเลือกพื้นที่จังหวัดชลบุรี นครราชสีมา สุราษฎร์ธานี และลำปาง เพื่อเป็นที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าส่วนภูมิภาค [7]

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งคลังสำหรับการจัดการวัสดุอันตราย ซึ่งเป็นการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์และการดำเนินงานที่มีผลกระทบระยะกลางและระยะยาว โดยพิจารณาว่าคลังจัดเก็บมีความเสี่ยงซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการรวมถึงอุบัติเหตุ การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ และไฟฟ้าดับ เป็นต้น จึงมีการศึกษาเพื่อลดความเสี่ยงของระบบในการจัดเก็บและการขนส่งภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณ ปัญหาได้ถูกกำหนดเป็นรูปแบบการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อกำหนดที่ตั้งคลังเก็บที่ดีที่สุด ปริมาณของวัสดุอันตรายที่จัดเก็บในแต่ละคลังเก็บ แผนการขนส่งที่เหมาะสมที่สุด และแผนฉุกเฉินสำหรับรอบรับการหยุดชะงักในการดำเนินงานของคลัง ผลเฉลยแสดงให้เห็นว่าสามารถการลดความเสี่ยงได้ 8.33% และการประหยัดต้นทุน 1.92% เมื่อเทียบกับการจัดสรรแบบเดิมซึ่งไม่คำนึงถึงการหยุดชะงักในการดำเนินงานของคลัง [8]

กรณีการจัดการขยะของเสียทางการแพทย์นั้น จะมีการออกกฎหมายและวิธีการกำจัดเป็นการเฉพาะ ประเทศที่พัฒนาแล้วหลายแห่งมีกฎหมายด้านการแพทย์ แต่ยังมีการละเลยการดำเนินการตามกฎหมาย ทำให้การคัดแยกขยะทางการแพทย์ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร โดยเฉพาะขยะติดเชื้อซึ่งต้องถูกกำจัดด้วยการเผา ทำให้ต้นทุนการกำจัดสูงและส่งผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาทบทวน พบว่า การดำเนินงานที่เป็นมาตรฐานของพนักงานสถานพยาบาลในการคัดแยกขยะนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจัดการขยะทางการแพทย์ [9] นอกจากนี้ยังพบว่า บางประเทศยังจัดการขยะของเสียทางการแพทย์ไม่เหมาะสม ปริมาณขยะทางการแพทย์บางส่วนถูกกำจัดด้วยวิธีเช่นเดียวกับขยะในครัวเรือน จึงต้องสร้างความเข้าใจและความร่วมมือระหว่างการดำเนินงานในทุกระดับตั้งแต่รัฐบาลระดับชาติและท้องถิ่น ไปจนถึงพนักงานในสถานพยาบาลทั้งของรัฐและเอกชน [10]

จากการทบทวนวรรณกรรมยังพบอีกว่า มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ใน

พื้นที่สาธารณสุข เขต 6 ซึ่งประกอบด้วย 8 จังหวัด คือ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และเลย มีจำนวนโรงพยาบาลชุมชนทั้งสิ้น 107 แห่ง โรงพยาบาลทุกแห่งจะมีการกำจัดขยะติดเชื้อด้วยการเผาในเตาเผา พบว่าโรงพยาบาลมีเตาเผาหลากหลายขนาด ทั้งสภาพดีและชำรุด โดยขั้นตอนการกำจัดขยะติดเชื้อเริ่มจากการคัดแยกขยะติดเชื้อออกจากขยะทั่วไปก่อน จากนั้นจึงนำไปทำลายต่อไป โดยโรงพยาบาลชุมชนมีปริมาณขยะติดเชื้อ 10–20 กิโลกรัม/วัน ได้ส่งขยะติดเชื้อให้เอกชนนำไปกำจัดแทนการกำจัดเองภายในโรงพยาบาล เนื่องจากเตาเผาชำรุดและขาดงบประมาณในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ งานวิจัยจึงได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยมีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรม LINGO พบว่า มีการเลือกที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 อยู่ที่โรงพยาบาลเชียงยืนเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 800 กิโลกรัม/เตา/วัน ตำแหน่งที่สอง คือโรงพยาบาลสว่างแดนดิน โดยมีเตาเผาขนาดความจุ 800 กิโลกรัม/เตา/วัน และตำแหน่งสุดท้ายที่โรงพยาบาลเอราวัณ เลือกเตาเผาขนาดความจุ 400 กิโลกรัม/เตา/วัน ผลเฉลยที่ได้ให้ต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 29,821 บาท/วัน [11]

ทั้งนี้การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อเป็นกระบวนการที่ยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากต้องรวมปัจจัยทางสังคมและสิ่งแวดล้อมที่ยากต่อการตีความและปัจจัยด้านต้นทุนที่ต้องมีการจัดสรรทรัพยากร อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับกฎระเบียบหลายประการ จึงมีงานวิจัยที่พิจารณาปัจจัยหลายอย่าง เช่น โครงสร้างพื้นฐาน ปัจจัยทางธรณีวิทยาและสิ่งแวดล้อม ในการเลือกที่ตั้งสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยโดยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytical Hierarchy Process: FAHP) หลังจากนั้นได้รวมกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming: GP) เป็นแบบจำลอง FAHP-GP ซึ่งสามารถนำไปสู่การเลือกสถานที่ใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งพิจารณาทั้งการรวมกันของปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งยากต่อการตีความและปัจจัยด้านต้นทุนซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดสรรทรัพยากร [12]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวจะเห็นว่าได้มีการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) [13] สำหรับหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีการบริหารจัดการขยะที่ยังไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควรและมีต้นทุนสูงจากการดำเนินการจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการกำจัดขยะติดเชื้อ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

พื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ประกอบไปด้วย 13 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองมหาสารคาม อำเภอโกสุมพิสัย อำเภอกันทรวิชัย อำเภอบรบือ อำเภอแกดำ อำเภอเชียงยืน อำเภอนาดูน อำเภอนาเชือก อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย อำเภอวาปีปทุม อำเภอยางสีสุราช อำเภอกุดรัง และอำเภอชื่นชม โดยมีโรงพยาบาลประจำอำเภอจำนวน 13 แห่ง ตามลำดับ จากการสำรวจปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละโรงพยาบาล พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษาพยาบาล ซึ่งในแต่ละโรงพยาบาลมีข้อจำกัดในเรื่องของสถานที่กำจัดขยะติดเชื้อที่ไม่เพียงพอ มีต้นทุนในการบริหารจัดการขยะติดเชื้อที่เพิ่มขึ้น

จากการสัมภาษณ์ข้อมูลจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด (สสจ.) พบว่า การจัดการขยะติดเชื้อควรดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพและครอบคลุมปริมาณขยะติดเชื้อที่กระจายอยู่ตามโรงพยาบาลต่างๆ ซึ่งห่างไกลออกไป และหากจะตัดสินใจให้โรงพยาบาลกลับมาจัดการขยะติดเชื้อเองตามแนวทางเดิมแทนการจ้างเหมาบริษัทเอกชนดังเช่นปัจจุบัน การวิจัยนี้จึงเสนอว่า ไม่จำเป็นต้องดำเนินการทุกโรงพยาบาล สามารถใช้หลักการรวบรวมขยะติดเชื้อมาจัดการร่วมกัน โดย สสจ. ได้ให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า อย่างน้อยหนึ่งในแหล่งกำจัด/เผาขยะติดเชื้อ ควรเป็นโรงพยาบาล

มหาสารคาม ซึ่งเป็นศูนย์รวมและมีปริมาณขยะติดเชื้อมากที่สุด และเพื่อให้เกิดความสะดวกสำหรับโรงพยาบาลที่อยู่ห่างไกล จึงอาจกำหนดโรงพยาบาลที่เป็นแหล่งกำจัด/เผาขยะติดเชื้อเพิ่มเติมได้อีก 1-2 แห่ง เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านการขาดแคลนบุคลากรที่เป็นวิศวกรควบคุมเตาเผา

ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาโดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ รวมทั้งปริมาณการจัดสรรขยะติดเชื้อเพื่อการกำจัด

3.2 การออกแบบวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลของทฤษฎีและแนวความคิดพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งจากเอกสาร หนังสือ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบการจัดการขยะติดเชื้อจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดและโรงพยาบาล

3. พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ

4. เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ได้แก่

4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลและสัมภาษณ์ข้อมูลจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดและโรงพยาบาล เกี่ยวกับลักษณะและขนาดของเตาเผาขยะติดเชื้อ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ความจุหรือความสามารถในการเผาขยะ ปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล เป็นต้น

4.2 วิเคราะห์หาค่าต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ โดยพิจารณาจากขนาดของรถบรรทุก อัตราการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง และอื่นๆ

4.3 วิเคราะห์หาค่าต้นทุนการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยพิจารณาจากมูลค่าเตาเผาตามขนาดความจุ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าสาธารณูปโภค ค่าบำรุงรักษา ค่าจ้างบุคลากร เป็นต้น

4.4 หาระยะทางจริงระหว่างโรงพยาบาลแต่ละแห่งจาก Google Map โดยเป็นระยะทางตามเส้นทางหลัก

5. วิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผลตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม LINGO

6. วิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยการผันแปรค่าปริมาณขยะติดเชื้อที่คาดว่าอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ และพิจารณาผลกระทบที่มีต่อต้นทุนโดยรวม รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผาที่เปิดบริการ

4. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) สำหรับการหาคำตอบของปัญหา โดยกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อและต้นทุนการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อ ดังนี้

เซต (Sets)

I แทน เซตของโรงพยาบาล

J แทน เซตของตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

K แทน เซตขนาดของเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตัวแปรกำหนดค่า (Parameters)

F_k แทน ต้นทุนการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดที่ k

S_k แทน ความจุ/ความสามารถในการเผาขยะของเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดที่ k (กิโลกรัม/วัน)

D_i แทน ปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล i (กิโลกรัม/วัน)

C แทน ต้นทุนค่าขนส่งขยะติดเชื้อ (บาท/กิโลเมตร)

d_{ij} แทน ระยะทางระหว่างโรงพยาบาล i กับที่ตั้งเตาเผาขยะตำแหน่งที่ j (กิโลเมตร)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

X_{ij} เท่ากับ 1 ถ้าขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล i ถูกส่งไปยังเตาเผาที่ตำแหน่งที่ j และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

Y_j เท่ากับ 1 ถ้าเตาเผาขยะติดเชื้อตำแหน่งที่ j เปิดให้บริการ และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

Z_{kj} เท่ากับ 1 ถ้าเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดที่ k เปิดให้บริการ ในตำแหน่งที่ j และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Min\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}Cd_{ij}X_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}F_kZ_{kj}\right) \quad (1)$$

เงื่อนไข (Constraints)

$$\sum_{j=1}^{J}X_{ij}=1 \quad ;\forall i \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{K}Z_{kj}=Y_j \quad ;\forall j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{I}D_iX_{ij}\le\sum_{k=1}^{K}S_kZ_{kj} \quad ;\forall j \quad (4)$$

$$X_{ij}\le Y_j \quad ;\forall i,j \quad (5)$$

$$X_{ij}\in\{0,1\} \quad (6)$$

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

$$Z_{kj}\in\{0,1\} \quad (8)$$

สมการเงื่อนไขของตัวแบบ ประกอบด้วย สมการ (2) แสดงเงื่อนไขกำหนดให้โรงพยาบาลแต่ละแห่งสามารถส่งขยะติดเชื้อไปยังเตาเผาตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการ (3) เป็นการกำหนดให้โรงพยาบาลที่ได้รับเลือกเปิดเตาเผาจะต้องใช้เตาเผาแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น สมการ (4) เป็นการระบุว่าปริมาณขยะติดเชื้อจากทุกโรงพยาบาลที่ได้รับบริการจากเตาเผาตำแหน่งใดๆ จะต้องมีปริมาณรวมไม่เกินกำลังการเผาของเตานั้นๆ และสมการ (5) เป็นการกำหนดให้โรงพยาบาลแต่ละแห่งไม่สามารถนำขยะติดเชื้อไปเผาที่เตาที่ยังไม่เปิดให้บริการ ส่วนสมการ (6)-(8) เป็นสมการกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจแบบ Binary

5. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

ในปี พ.ศ. 2561 จังหวัดมหาสารคามมีขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชน รวมทั้ง 13 แห่ง เฉลี่ยเท่ากับ 1,210.28 กิโลกรัม/วัน โดยโรงพยาบาลที่มีขยะติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลมหาสารคาม 694.23 กิโลกรัม/วัน รองลงมาคือ โรงพยาบาลบรบือ 121.28 กิโลกรัม/วัน ส่วนโรงพยาบาลที่มีขยะติดเชื้อน้อยที่สุด คือ โรงพยาบาลกุดรังและโรงพยาบาลชื่นชม เท่ากับ 6.35 และ 3.39 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม ปี 2561

ที่	โรงพยาบาล	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/วัน)
1	โรงพยาบาลมหาสารคาม	694.23
2	โรงพยาบาลบรบือ	121.28
3	โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย	52.86
4	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	104.83
5	โรงพยาบาลวาปีปทุม	55.95
6	โรงพยาบาลเชียงยืน	52.86
7	โรงพยาบาลแกดำ	12.43
8	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	31.74
9	โรงพยาบาลนาเชือก	31.28
10	โรงพยาบาลนาดูน	21.48
11	โรงพยาบาลยางสีสุราช	18.60
12	โรงพยาบาลกุดรัง	6.35
13	โรงพยาบาลชื่นชม	6.39
	รวม	1,210.28

ที่มา: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม

งายวิจัยนี้จึงมีแนวคิดให้มีการรวมขยะติดเชื้อจากแต่ละโรงพยาบาลประจำอำเภอ เพื่อนำมาเผายังเตาเผาที่ตั้งอยู่ในโรงงานพยาบาลเช่นเดียวกับการดำเนินการในช่วงก่อนหน้าที่ยังไม่มีการจ้างเหมาบริษัทเอกชน ทั้งนี้แนวคิดดังกล่าวจะต้องมีการหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาลที่เปิดให้บริการเตาเผา และหาคำตอบว่าโรงพยาบาลใดควรส่งขยะติดเชื้อมาเผายังเตาเผาที่ตั้งอยู่ในโรงพยาบาลใด โดยพิจารณาทั้งระยะทางระหว่างโรงพยาบาล ดังตารางที่ 2 และต้นทุนที่เกี่ยวข้องทั้งต้นทุนการขนส่งและต้นทุนการดำเนินงานเตาเผา

ตารางที่ 2 ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลประจำอำเภอในจังหวัดมหาสารคาม (กิโลเมตร)

โรงพยาบาล	มหาสารคาม	บรบือ	⋯	ชื่นชม
มหาสารคาม	0	28.7	⋯	55.4
บรบือ	28.7	0	⋯	81.9
⋮	⋮	⋮	0	⋮
ชื่นชม	55.4	81.9	⋯	0

ตารางที่ 3 โครงสร้างต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ

โครงสร้างต้นทุน	คิดเป็นมูลค่า (บาท/วัน)
1. ต้นทุนคงที่ (Fixed Costs)	
1.1 มูลค่ารถบรรทุกรวมตู้	1,095.51
1.2 ค่าตรวจสภาพและต่อทะเบียน	0.68
1.3 ค่าภาษีประจำปี	6.16
1.4 ค่าธรรมเนียมตาม พ.ร.บ.	5.01
1.5 ค่าประกันภัยรถยนต์	32.21
1.6 ค่าเช่าอุปกรณ์ GPS	16.67
1.7 ถังดับเพลิง	0.38
1.8 เงินเดือนพนักงานขับรถ	300.00
รวมต้นทุนคงที่ (Fixed Costs)	1,456.62
2. ต้นทุนผันแปร (Variable Costs)	
2.1 ค่าบำรุงรักษายานพาหนะ	13.70
2.2 ค่าบำรุงรักษาตู้บรรจุขยะติดเชื้อ	27.40
2.3 เบี้ยเลี้ยงพนักงานขับรถ	66.67
2.4 เชื้อเพลิงขนส่ง	545.80
รวมต้นทุนผันแปร (Variable Costs)	653.57
รวมต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ	2,110.19

รถบรรทุกขยะติดเชื้อ เป็นรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ ตอนหน้าเป็นหัวเก๋ง ชนิดหน้าสั้น มีประตูเปิด–ปิด 2 บาน ล็อคได้ทั้งสองข้าง สามารถนั่งปฏิบัติงานได้ ไม่น้อยกว่า 3 ที่นั่ง รวมทั้งพนักงานขับรถ มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานครบชุด ตอนหลังเป็นตู้บรรทุกขยะมูลฝอยติดเชื้อขนาดความจุไม่น้อยกว่า 6 ลูกบาศก์เมตร พร้อมระบบทำความเย็น และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการยกภาชนะรองรับขยะมูลฝอยติดเชื้อใส่ตู้บรรทุก

ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์และรวบรวมข้อมูลต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคามโดยครอบคลุมตามโครงสร้างต้นทุน ดังตารางที่ 3 และคำนวณออกมาเป็นมูลค่าต่อวัน ตามหลักการที่ว่าทางโรงพยาบาลมีการรวบรวมและขนส่งขยะติดเชื้อทุกวัน พบว่า ต้นทุนคงที่ในการขนส่ง คิดเป็นมูลค่า 1,456.62 บาท/วัน ต้นทุนผันแปรในการขนส่ง คิดเป็นมูลค่า 653.57 บาท/วัน รวมต้นทุนในการขนส่งขยะติดเชื้อ คิดเป็นมูลค่า 2,110.19 บาท/วัน

จากนั้นได้พิจารณามูลค่าเชื้อเพลิงขนส่ง โดยคิดจากระยะทางไป-กลับโดยเฉลี่ยในการขนส่งขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเท่ากับ 120 กิโลเมตร อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของพาหนะขนส่ง 6 กิโลเมตร/ลิตร และราคาน้ำมันดีเซล 27.29 บาท/ลิตร [14] แล้วคิดออกมาเป็นต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งขยะติดเชื้อ เท่ากับ 17.58 บาท/กิโลเมตร

สำหรับเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณาในการวิจัยครั้งนี้มี 3 ขนาด คือ ความจุหรือกำลังการเผา 400 800 และ 1,200 กิโลกรัม/วัน มูลค่าเตาเผาเท่ากับ 1.2 1.8 และ 2.2 ล้านบาท ตามลำดับ โดยเตาเผาแต่ละแบบมีอายุการใช้งาน 10 ปี เท่ากัน ดังตารางที่ 4 และประเมินค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการดำเนินงานเตาเผาตามโครงสร้างต้นทุน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ขนาดและรายละเอียดของเตาเผาขยะติดเชื้อ

รายละเอียด	เตาเผาแบบที่ 1	เตาเผาแบบที่ 2	เตาเผาแบบที่ 3
ความจุ (กก./วัน)	400	800	1,200
ราคา (ล้านบาท)	1.2	1.8	2.2
อายุการใช้งาน (ปี)	10	10	10

ที่มา: [11]

ตารางที่ 5 โครงสร้างต้นทุนการดำเนินงานเตาเผาขยะติดเชื้อ

ค่าใช้จ่าย (บาท/วัน)	เตาเผาแบบที่ 1	เตาเผาแบบที่ 2	เตาเผาแบบที่ 3
(1) ค่าเสื่อมราคา	329	439	603
(2) ค่าดำเนินการเผา	800	860	920
(3) ค่าบำรุงรักษา	280	350	420
(4) ค่าสาธารณูปโภค	660	730	800

(5) ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	800	1,500	2,100
(6) ค่าจ้างวิศวกร	650	650	650
(7) ค่าจ้างนักวิชาการ	600	600	600
รวม	3,893	4,903	5,867

ที่มา: (1)-(4) อ้างอิงจาก [11]
(5) อ้างอิงจาก [14]
(6)-(7) อ้างอิงจาก [15]

เนื่องจากการดำเนินงานเตาเผาจะต้องมีวิศวกรผู้ควบคุมและมีเจ้าหน้าที่ในตำแหน่งนักวิชาการสาธารณสุขในการกำกับดูแล ต้นทุนการดำเนินการจึงต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ซึ่งคิดจากค่าจ้างรายเดือนวิศวกรและนักวิชาการสาธารณสุข เท่ากับ 19,500 และ 18,000 บาท/เดือน ตามลำดับ เมื่อรวมค่าใช้จ่ายทุกส่วนและคิดเป็นต้นทุนการดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อแบบที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 3,893 4,903 และ 5,867 บาทต่อวัน ตามลำดับ

5.2 ผลเฉลยของตัวแบบ

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่รวบรวมได้ ผู้วิจัยได้นำมาประมวลผลตัวแบบจำนวนเต็มดังกล่าวด้วยโปรแกรม LINGO ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า จำนวนตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เปิดบริการมี 2 แห่ง คือที่ โรงพยาบาลมหาสารคาม และโรงพยาบาลนาดูน ดังตารางที่ 6 และรูปที่ 1 ทั้งนี้ผลเฉลยดังกล่าวทำให้มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด เท่ากับ 16,108 บาท/วัน

ตำแหน่งที่ 1 เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่โรงพยาบาลมหาสารคาม ด้วยขนาดความจุ 1,200 กิโลกรัม/วัน โดยมีโรงพยาบาลที่ขนส่งขยะติดเชื้อมาเผาจำนวน 8 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลโกสุมพิสัย โรงพยาบาลเชียงยืน โรงพยาบาลกันทรวิชัย โรงพยาบาลแกดำ โรงพยาบาลกุดรัง และโรงพยาบาลชื่นชม รวมปริมาณขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 1,030.11 กิโลกรัม/วัน

ตำแหน่งที่ 2 เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่โรงพยาบาลนาดูน ด้วยขนาดความจุ 400 กิโลกรัม/วัน มีโรงพยาบาลที่ขนส่งขยะติดเชื้อมาเผาจำนวน 5 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลนาดูน โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย โรงพยาบาลวาปีปทุม โรงพยาบาลนาเชือก และโรงพยาบาลยางสีสุราช รวมปริมาณขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 180.17 กิโลกรัม/วัน

ตารางที่ 6 ตำแหน่ง ขนาดเตาเผา และโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมาเผากำจัด

ตำแหน่งโรงพยาบาลที่เปิดเตาเผา	ขนาดเตาเผาที่เปิด (กก./วัน)	โรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมาเผากำจัด	ปริมาณขยะติดเชื้อรวม (กก./วัน)
รพ.มหาสารคาม	1,200	รพ.มหาสารคาม รพ.บรบือ รพ.โกสุมพิสัย รพ.เชียงยืน รพ.แกดำ รพ.กันทรวิชัย รพ.กุดรัง รพ.ชื่นชม	1,030.11
รพ.นาดูน	400	รพ.นาดูน รพ.พยัคฆภูมิพิสัย รพ.วาปีปทุม รพ.นาเชือก รพ.ยางสีสุราช	180.17



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมาเผากำจัด

5.3 ผลการวิเคราะห์ความไว

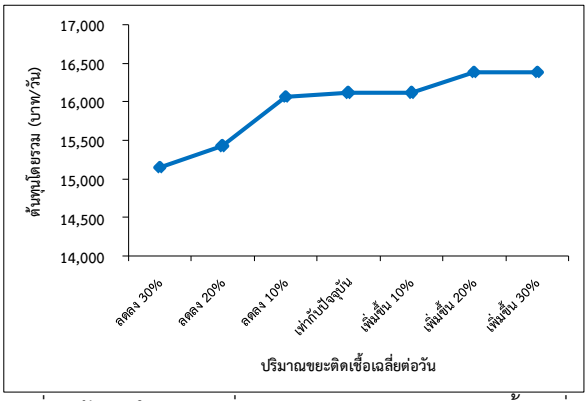
จากผลเฉลยของตัวแบบ พบว่า จำนวนตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เปิดให้บริการ 2 แห่ง ด้วยขนาด 1,200 และ 400 กิโลกรัม/วัน ทำให้มีความจุหรือกำลังการเผารวมถึง 1,600 กิโลกรัม/วัน ซึ่งสามารถรองรับปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันในปัจจุบันที่มีเพียง 1,210.28 กิโลกรัม/วัน ได้ แต่เนื่องด้วยปริมาณขยะติดเชื้อจะขึ้นอยู่กับปริมาณผู้ป่วย ซึ่งอาจมีเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยการผันแปรค่าปริมาณขยะติด

เชื้อเฉลี่ยต่อวัน เพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อต้นทุนโดยรวม รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผาที่เปิดบริการ

ตารางที่ 7 ตำแหน่ง ขนาดเตาเผา และปริมาณขยะติดเชื้อที่ส่งมาเผากำจัด เมื่อผันแปรค่าปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวัน

ปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวัน	ตำแหน่งโรงพยาบาลที่เปิดเตาเผา	ขนาดเตาเผาที่เปิด (กก./วัน)	จำนวนโรงพยาบาลและปริมาณขยะที่ส่งมาเผากำจัด (กก.)
เท่ากับปัจจุบัน	รพ.มหาสารคาม	1200	8 (1,030.11)
	รพ.นาดูน	400	5 (180.17)
เพิ่มขึ้น 10%	รพ.มหาสารคาม	1200	8 (1,098.21)
	รพ.นาดูน	400	5 (198.19)
เพิ่มขึ้น 20%	รพ.มหาสารคาม	1200	7 (1,090.60)
	รพ.นาดูน	400	6 (361.74)
เพิ่มขึ้น 30%	รพ.มหาสารคาม	1200	7 (1,181.48)
	รพ.นาดูน	400	6 (391.89)
ลดลง 10%	รพ.มหาสารคาม	1200	13 (1,089.25)
ลดลง 20%	รพ.มหาสารคาม	800	7 (727.06)
	รพ.นาดูน	400	6 (241.16)
ลดลง 30%	รพ.มหาสารคาม	800	8 (721.08)
	รพ.นาดูน	400	5 (126.12)

ผลจากการวิเคราะห์ความไว ดังตารางที่ 7 พบว่า เมื่อปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% เตาเผาที่ควรเปิดให้บริการยังคงมี 2 แห่ง คือที่โรงพยาบาลมหาสารคามและโรงพยาบาลนาดูน ด้วยขนาดเตาเผา 1,200 และ 400 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ แต่โรงพยาบาลที่ขนส่งขยะติดเชื้อมาเผากำจัดและปริมาณขยะรวมจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กรณีปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันลดลง 10% ควรเปิดเตาเผาเพียงแห่งเดียว คือที่โรงพยาบาลมหาสารคาม ด้วยขนาดเตาเผา 1,200 กิโลกรัม/วัน เนื่องจากปริมาณขยะรวมมีเพียง 1,089.25 กิโลกรัม/วัน แต่หากปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันลดลง 20% และ 30% เตาเผาที่ควรเปิดให้บริการยังคงมี 2 แห่ง คือที่โรงพยาบาลมหาสารคามและโรงพยาบาลนาดูน แต่ด้วยขนาดเตาเผา 800 และ 400 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ



รูปที่ 2 ต้นทุนโดยรวมเมื่อผันแปรค่าปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวัน

เมื่อพิจารณาค่าต้นทุนโดยรวม ดังรูปที่ 2 พบว่า เมื่อปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น 10% จะไม่ทำให้ต้นทุนโดยรวมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งเท่ากับ 16,108 บาท/วัน เนื่องจากการเปิดเตาเผาและการขนส่งขยะติดเชื้อไปเผากำจัดของแต่ละโรงพยาบาลให้ผลเฉลยเหมือนกับกรณีปัจจุบัน แต่หากปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น 20% และ 30% ต้นทุนโดยรวมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 16,386 บาท/วัน เท่ากัน ส่วนกรณีปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันลดลง 10% 20% และ 30% จะทำให้ต้นทุนโดยรวมลดลงเรื่อยๆ เท่ากับ 16,063 15,422 และ 15,144 บาท/วัน ตามลำดับ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดเตาเผาและการขนส่งขยะติดเชื้อไปเผากำจัด

6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนในจังหวัดมหาสารคาม โดยการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด แต่ยังสามารถให้บริการเผาขยะติดเชื้อได้ครอบคลุมปริมาณขยะที่มีอยู่ในแต่ละวัน โดยประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO

จากผลการวิจัยที่ได้ หากทางโรงพยาบาลมีบุคลากรในการควบคุมเตาเผาขยะติดเชื้อ สามารถที่จะจัดการเผาขยะติดเชื้อที่โรงพยาบาลได้ และ รพ.สต.ในพื้นที่ สามารถส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่เตาเผาที่เปิดให้บริการตามผลการตัดสินใจของตัวแบบ ด้วยต้นทุนโดยรวมเท่ากับ 16,108 บาท/วัน

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับต้นทุนในการจ้างเหมาบริษัทเอกชนเพื่อรับไปกำจัด เมื่อพิจารณาจากอัตราค่าบริการต่ำที่สุดที่ต้องจ่ายให้บริษัทเอกชน เท่ากับ 8.9 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นต้นทุนรวม 10,771.49 บาท/วัน ซึ่งน้อยกว่าต้นทุนในการกำจัดเอง แต่หากบริษัทเอกชนคิดอัตราค่าบริการสูงที่สุด ซึ่งเท่ากับ 15 บาท/กิโลกรัม จะคิดเป็นต้นทุนรวมสูงถึง 18,154.2 บาท/วัน ซึ่งสูงกว่าการกำจัดเองด้วยเตาเผาของโรงพยาบาล และแม้โรงพยาบาลจะมีปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันสูงขึ้นถึง 30% ก็ยังคงมีต้นทุนโดยรวมต่ำกว่าการจ้างเหมาบริษัทเอกชนดำเนินการเผากำจัด

อีกทั้งการจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการดำเนินการเผากำจัดขยะติดเชื้อนั้น บริษัทเอกชนผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการอย่างมีมาตรฐานตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545 ซึ่งระบุว่าในการเก็บและหรือขนมูลฝอยติดเชื้อ ต้องจัดให้มีเจ้าหน้าที่รับผิดชอบในการเก็บและหรือขนมูลฝอยติดเชื้อ อย่างน้อยหนึ่งคน โดยเจ้าหน้าที่ดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติสำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรีหรือเทียบเท่าในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ในด้านสาธารณสุข สุขาภิบาล ชีววิทยาและวิทยาศาสตร์การแพทย์ ด้านใดด้านหนึ่ง ส่วนการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ ต้องจัดให้มีเจ้าหน้าที่รับผิดชอบในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ อย่างน้อยสองคน โดยคนหนึ่งต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดข้างต้น ส่วนอีกคนหนึ่งต้องมีคุณสมบัติสำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรีหรือเทียบเท่าในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ในด้านสุขาภิบาล วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และวิศวกรรมเครื่องกล ด้านใดด้านหนึ่ง หากบริษัทเอกชนผู้รับจ้างไม่มีพนักงานที่คุณสมบัติตรงตามข้อกำหนด อาจทำให้การดำเนินการไม่เป็นไปตามมาตรฐาน แม้ว่าจะมีสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ ยานพาหนะขนส่งและเตาเผาที่ได้มาตรฐานแล้วก็ตาม อีกทั้งในระหว่างขนส่งผู้ขับขี่ยานพาหนะขนมูลฝอยติดเชื้อและผู้ปฏิบัติงานประจำยานพาหนะขนมูลฝอยติดเชื้อ ต้องระมัดระวังมิให้มูลฝอยติดเชื้อและภาชนะสำหรับบรรจุมูลฝอยติดเชื้อตกหล่นในระหว่างการขนส่ง [16] ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่

ทั้งนี้ หากไม่สามารถควบคุมมาตรฐานการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อของบริษัทเอกชนผู้รับจ้างได้ โรงพยาบาลสามารถดำเนินการคัดแยก จัดเก็บ และเผากำจัดขยะติดเชื้อเอง หรือขนส่งไปเผากำจัดยังโรงพยาบาลที่มีและเปิดดำเนินการเตาเผา ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายและกลยุทธ์ในการจัดการมลพิษจากมูลฝอยติดเชื้อที่ระบุว่า กระทรวงสาธารณสุขควรทบทวนนโยบายในการก่อสร้างเตาเผามูลฝอยติดเชื้อประจำสถานพยาบาลของรัฐในสังกัดให้ครบทุกแห่งทั่วประเทศ โดยควรปรับเปลี่ยนเป็นการดำเนินงานก่อสร้างที่พักรวมซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิเพื่อรวบรวมมูลฝอยติดเชื้อก่อนขนส่งไปกำจัด ณ ศูนย์กำจัดรวม รวมทั้งเร่งรัดในการออกกฎกระทรวงฉบับใหม่ และกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการมาตรฐาน ในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ เพื่อให้ท้องถิ่นและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติในอนาคต รวมทั้งการเพิ่มขีดความสามารถของบุคลากรในการควบคุมดูแลการดำเนินงานระบบเก็บขนและกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ [17]

ผลการวิจัยที่ได้นี้จึงเป็นประโยชน์สำหรับผู้บริหารที่เกี่ยวข้องเพื่อสามารถนำไปเปรียบเทียบประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการขยะที่เหมาะสม สำหรับรองรับการขยายตัวและปริมาณขยะติดเชื้อที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยระบบโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้โปรแกรม LINGO ในการประมวลผลข้อมูล

8. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (19 ตุลาคม 2561). *เตาเผามูลฝอยติดเชื้อในไทย*. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/envi_incinerate.html

[2] สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, "คู่มือแนวทางการพัฒนาสถานบริการสาธารณสุขให้ได้มาตรฐานด้านการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ฉบับปรับปรุง 2/02/60," กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ, 2545.

[3] สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, "ขยะมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดมหาสารคาม," กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2560.

[4] พรเพิ่ม แซ่โง้ว, "การวิเคราะห์ที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของอุตสาหกรรมต้มกลั่นสุราขาว กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553.

[5] ปรีชา ประเสริฐสกุลไชย, "การศึกษาความเหมาะสมของศูนย์กระจายสินค้าในเขตภูมิภาค กรณีศึกษาบริษัท ABC," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2553.

[6] จินตนา แซ่ฉั่ว, "การศึกษาหาทำเลที่ตั้งและจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม กรณีศึกษา บริษัท ยัมเรสเทอรองตส์ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2557.

[7] ปรางประเสริฐ น้อยสังข์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล, "การเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าภูมิภาคในประเทศไทยโดยการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงปริมาณร่วมกับปัจจัยเชิงคุณภาพด้วยฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 5 (ฉบับที่ 1), หน้า 60-70, 2560.

[8] J. Fan, et al., "Reliable location allocation for hazardous materials," *Information Sciences*, vol. 501, pp. 688-707, 2019.

[9] E. S. Windfeld and M. S-L. Brooks, "Medical waste management-A review," *Journal of Environmental Management*, vol. 163, pp. 98-108, 2015.

[10] M. M. A. El-Salam, "Hospital waste management in El-Beheira Governorate, Egypt," *Journal of Environmental Management*, vol. 91, pp. 618-629, 2010.

[11] อนุชา ศรีบุรัมย์, "วิธีแก้ปัญหาการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 1 (ฉบับที่ 2), หน้า 51-59, 2556.

[12] N. Wichapa and P. Khokhajaikiat, "Solving multi-objective facility location problem using the fuzzy analytical hierarchy process and goal programming: a case study on infectious waste disposal centers," *Operations Research Perspectives,* vol. 4, pp. 39-48, 2017.

[13] B. Render, et al., *Quantitative Analysis for Management*, 11 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2012.

[14] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (12 เมษายน 2562). *ราคาน้ำมัน*. Available: http://27.254.37.81/epposite/index.php/th/petroleum/price/oil-price?

[15] สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. (12 เมษายน 2562). *ประกาศเปิดสอบบรรจุเข้ารับราชการ*. Available: https://www.jobthaiweb.com/showgov_ID.php?govID=26891

[16] กระทรวงสาธารณสุข. (2 ธันวาคม 2562). *กฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545*. Available: https://www.moph.go.th/

[17] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2 ธันวาคม 2562). *ข้อมูลการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ*. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_infectious.htm

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research, TJOR) เป็นวารสารทางวิชาการ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่งานวิจัยและบทความทางวิชาการทางเว็บไซต์ โดยได้รับการจัดกลุ่มวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ดัชนีอ้างอิงวารสารไทย TCI อยู่ในวารสารกลุ่มที่ 2 โดยวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ประมาณเดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคม ของทุกปี ซึ่งบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารไทยการวิจัยดำเนินงานมี 3 ลักษณะ

1. บทวิเคราะห์หรือบทวิจารณ์ (Review Paper) เพื่ออธิบายการพัฒนาในหัวข้อการวิจัยดำเนินงานในช่วงที่ผ่านมา
2. บทความที่เน้นการประยุกต์ใช้ความรู้หรือวิธีการด้านการวิจัยดำเนินงาน เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในภาครัฐและเอกชน หรือองค์กรที่ไม่แสวงผลกำไร
3. บทความที่เน้นทฤษฎีหรือวิธีการด้านวิจัยดำเนินงานที่พัฒนาขึ้นจากแนวคิดของผู้วิจัย หรือเพิ่มเติมองค์ความรู้เดิม

ขอบเขตเนื้อหาบทความ

ทฤษฎี (Theory) และระเบียบวิธี (Methodology) ของบทความที่สามารถส่งตีพิมพ์ในวารสารไทยการวิจัยดำเนินงานแบ่งเป็น 9 กลุ่มคือ

- Continuous Optimization
- Discrete Optimization
- Stochastic Processes and Statistics
- Simulation
- Heuristics and Meta-heuristics
- Production, Manufacturing and Logistics
- Decision Support in Manufacturing and Logistics
- Computational Intelligence in Manufacturing
- Data Analytics

หลักเกณฑ์ในการลงตีพิมพ์ต้นฉบับของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน

2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น

3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเองไม่ได้ลอกเลียน หรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม

4. ผู้เขียนต้องเขียนต้นฉบับตามรูปแบบที่กำหนดเท่านั้น

5. ผู้เขียนต้องแก้ไขบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ตามข้อเสนอแนะของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) จนกว่าผู้ทรงคุณวุฒิหรือบรรณาธิการจะยอมรับบทความของท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิมีสิทธิ์ปฏิเสธบทความได้หากบทความไม่มีคุณภาพเพียงพอ

6. หลังจากผู้เขียนได้แก้ไขบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่งก่อนการตีพิมพ์

ขั้นตอนการส่งต้นฉบับบทความ

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน

2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น

3. กรณียังไม่ได้เป็นสมาชิกของระบบ Thai Journals Online (ThaiJO) ให้ลงทะเบียนผ่านเว็บไซต์ http://www.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index โดยเลือกเมนู register กรอกข้อมูลให้ครบถ้วนแล้วส่งข้อมูล ให้จำชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านไว้ สำหรับเข้าระบบครั้งต่อไป

4. กรณีเป็นสมาชิกของระบบ Thai Journals Online (ThaiJO) แล้ว ให้เข้าสู่เว็บไซต์ http://www.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index เลือกเมนู Log in เพื่อเข้าสู่ระบบ และเริ่มต้นการส่งบทความโดย สามารถดาวโหลดคู่มือการส่งบทความผ่านระบบ Thai Journals Online ที่ https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index โดยให้ส่งบทความต้นฉบับเป็นไฟล์นามสกุล .doc และ .pdf

5. กองบรรณาธิการวารสารรับต้นฉบับบทความ ผ่านทางระบบการส่งต้นฉบับในเว็บไซต์ หรือผ่านทางอีเมล์ orjournal.th@gmail.com

6. กองบรรณาธิการวารสารพิจารณาบทความขั้นต้น แล้วแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้นิพนธ์ หากบทความนั้น ผ่านการพิจารณาขั้นต้น กองบรรณาธิการจะส่งบทความนั้น ให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องพิจารณาบทความ และกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้นิพนธ์ภายใน 30 วัน หากมีการ

แก้ไขให้ผู้นิพนธ์แก้ไขบทความตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน และนำผลงานที่แก้ไขปรับปรุงแล้วส่งให้แก่บรรณาธิการ/ผู้ประสานงานวารสาร ภายในระยะเวลาที่กำหนดหลังได้รับแจ้งผลการพิจารณา

7. สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิโดยไม่มีการแก้ไข นำส่งกองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่ในวารสารตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้กองบรรณาธิการจะทำหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ของท่านเป็นลายลักษณ์อักษร

**หมายเหตุ ต้นฉบับบทความที่ไม่สมบูรณ์ หรือรูปแบบไม่ถูกต้อง จะถูกส่งคืนผู้เขียนบทความเพื่อแก้ไข ก่อนส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาต่อไป

รูปแบบและการจัดพิมพ์

1. บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ละภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว และความยาวไม่เกิน 25 บรรทัด หรือไม่เกิน 1 หน้ากระดาษขนาด A4 (8.27 นิ้ว * 11.69 นิ้ว)

2. บทความทั้งหมดควรมีความยาวไม่เกิน 10 หน้ากระดาษ (รวมบทคัดย่อภาษาไทย บทคัดย่อภาษาอังกฤษและบรรณานุกรม)

3. พิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Windows รูปแบบตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร ขนาด 14 แบบธรรมดา โดยจัดหน้าเป็นแบบ 2 คอลัมน์

4. รายละเอียดรูปแบบการจัดพิมพ์และการตั้งค่าต่างๆ นั้นสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index เข้าเมนู Submission ▶ Click >>>>> Article Template

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ผู้ประสานงานวารสารฯ

นายบุญชนะ เมฆโต โทรศัพท์: 02-727-3078 โทรสาร 02-3744061
E-mail: orjournal.th@gmail.com
คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
เลขที่ 118 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม.10240

NIDA WISDOM for Change
GSAS Graduate School of Applied Statistics
Operations Research OR-NET Network of Thailand

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน
(Thai Journal of Operations Research, TJOR)

ขอเชิญร่วมส่งบทความวิจัย

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานเป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ที่เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ คือประมาณเดือนมิถุนายน และธันวาคมของทุกปี โดยมุ่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีคุณภาพดี และเป็นบทความที่ต้องมีการพัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัย (Original Paper) โดยมีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) เป็นผู้ประเมินบทความ



Submission NOW

TCI Tier2

Our Scope

- Continuous Optimization
- Discrete Optimization
- Stochastic Process and Statistics
- Simulation
- Heuristics and Meta-heuristics
- Production, Manufacturing and Logistics
- Decision Support in Manufacturing and Logistics
- Computational Intelligence in Manufacturing
- Data Analytics

ส่งบทความได้ที่ คุณบุญชนะ เมฆโต
คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
โทร 02-727-3078 โทรสาร 02-374-4061
อีเมล์ : orjournal.th@gmail.com
Website : https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา อมรัชกุล
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ประชุม สุวัตถี
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร. วรท์ศร์ ชจิตวิชยานุกูล
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร. วิชิต หล่อจีระชุณห์กุล
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร. ฟิรยุทธ์ ชาญเศรษฐกุล
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร. วลัยลักษณ์ อัตธีรวงศ์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา เศรษฐนันท์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น


OR-NET