

Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT)

Thai-Nichi Institute of Technology

Vol.9 No.2

July - December 2021



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2564

ISSN 2774-0617 (Online)

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล

Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT)

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564 Vol. 9 No. 2 July - December 2021

ISSN (Online) 2774-0617

ความเป็นมา

ด้วยสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น มีนโยบายสนับสนุนการเผยแพร่บทความจากผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้แก่สังคม โดยเฉพาะภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม จึงได้จัดทำวารสารวิชาการ คือ วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล (เดิมชื่อ วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีคุณภาพ
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ทางการวิจัยในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อพัฒนาศักยภาพทางการวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์กฤษดา วิศวธีรานนท์

ขอบเขตเนื้อหา

บทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้แก่ เทคโนโลยีวิศวกรรม เทคโนโลยีอุตสาหกรรม เทคโนโลยีวัสดุศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์เคมี และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

กำหนดออกเผยแพร่

วารสารตีพิมพ์เผยแพร่ราย 6 เดือน (ปีละ 2 ฉบับ)

- ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน
- ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม

เจ้าของ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (Thai-Nichi Institute of Technology : TNI)

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

1771/1 Pattanakarn Rd., Suanluang, Bangkok 10250

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

กองบรรณาธิการ

- | | |
|--|---|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.ธนารักษ์ ชีระมันคง | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.บุญเจริญ ศิริเนาวกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 4. ศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ รัตนยานนท์ | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 5. ศาสตราจารย์ ดร.วราพงศ์ ตั้งศรีรัตน์ | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 6. ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกฉลิติน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 7. ศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.จีรานุช เสี่ยมศักดิ์ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.ปริทรรศน์ พันธุ์บรรยงก์ | สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน | สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น |

คณะกรรมการดำเนินงาน

- | | |
|---|------------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์ | 8. นางสาวจุฑามาศ ประสพสันต์ |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิ สุขเจริญ | 9. นางสาวสุพิศ บายคายคม |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ | 10. นางสาวรชนี นารินทร์ |
| 4. ดร.ประมุข บุญเสียง | 11. นายอศิรา พรหมสุทธิ |
| 5. ดร.ศรายุทธ นนท์ศิริ | 12. นางสาวพิมพ์รต พิพัฒน์กุล |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อนุญาหงษ์ | 13. นางสาวอารีสา จิระเวชถาวร |
| 7. ดร.เอิบ พงษ์พวง | |

การติดต่อกองบรรณาธิการ

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Tel. 0-2763-2600 (Ext. 2704, 2752)

Website : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal> E-mail : JEDT@tni.ac.th

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน

กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบใด ๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์พุลพร แสงบางปลา

ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เตชะอำไพ

ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา

รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณนะเดช

ศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์

ดร.ธีรพล ศีลาวรรณ

ศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ วูวงศ์

ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์

รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ ญาณภีร์

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา

รองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ สุพิทักษ์

ดร.รังสิมา ชลคุป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภัทรชัย ชมพันธุ์

รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล

ดร.บุญทริกา เกษมสันติธรรม

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต สุขสวัสดิ์

ดร.สรรพงศ์ ทานอก

รองศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปต์เชษฐียร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำพล วรดิษฐ์

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปริทรรศน์ พันธุ์บรรยงค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดัดกรรณ์ ตันเจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.วัชราภรณ์ อิลิชัยกุล

ดร.พรหมพักตร์ บุญรักษา

ดร.เจนจบ วีระพานิชเจริญกิจ

ศาสตราจารย์ ดร.รัชนีกร ธรรมวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสน์ ทิมทรัพย์

รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักพงษ์ จันทเปรมจิตต์

สมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และ

อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

University of Arizona, USA

มหาวิทยาลัยนานาชาติแสตมฟอร์ด

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

มหาวิทยาลัยบูรพา

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัลนี้ เป็นฉบับแรกในชื่อใหม่และแบบปกใหม่ แต่เป็นเล่มที่ 2 ปีที่ 9 นับตั้งแต่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ได้ดำเนินการจัดทำวารสารนี้ เพื่อเป็นสื่อนำเสนอผลงานวิจัยของอาจารย์ นักวิจัย และนักศึกษา จากสถาบันการศึกษาทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ จึงมีทั้งบทความที่เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษในฉบับเดียวกัน จากการรักษาคุณภาพและมาตรฐาน ด้านบทความวิจัย ทำให้วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล (Journal of Engineering and Digital Technology: JEDT) ได้รับการรับรองจาก ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย หรือ Thai-Journal Citation Index Centre (TCI: <https://tci-thailand.org>) ระดับ Tier 1 เป็นเวลา 4 ปี นับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 – 31 ธันวาคม 2567 ทางกองบรรณาธิการมีความภูมิใจ และขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งผลงานที่มีคุณภาพมาลงในวารสารนี้

This is the first issue under the new name and new designed cover page of Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT). However, this issue has been the second edition of the 9th year since Thai-Nichi Institute of Technology officially published this journal. The aim of this journal is to be a media for presenting research results of professors, researchers and students from educational institutions both domestically and internationally. Therefore, there are both Thai and English articles in the same issue. Because of the maintaining quality and standards of published research articles, JEDT is accredited by Thai-Journal Citation Index Centre (TCI: <https://tci-thailand.org>) as Tier 1 group for 4 years from January 1, 2021 to December 31, 2024. The editorial team is proud and would like to express the sincere gratitude to all the authors who have submitted quality work to this journal.

รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์
บรรณาธิการ

สารบัญ

- 1 Adaptive Pseudocoloring Method based on Color Image Scale for Emotional Art Image
Thitiporn Lertrusdachakul, Kanakam Ruxpaitoon, Kasem Thiptarajan
- 11 An Improvement of Product Locations in the Warehouse: A Case Study of Srithai Superware Korat Company Limited
Sununta Ananchaisap, Chumpol Monthatipkul
- 25 A Plant Layout Improvement to Increasing Productivity: A Case Study Downlight Manufacturer
Patomphong Homsri
- 37 A Study of Air Quality Effect by Creating a Device Detect PM2.5, TVOC and CO₂-eq
Vissavavit Rachnarong
- 49 Human and Luggage Analysis for Abandoned Object Detection
Patinya Tantawiwat, Trairat Sabaichai, Datchakorn Tancharoen, Nattachai Watcharapinchai, Sitapa Rujikietgumjorn
- 61 Performance Evaluation of Consecutive Collision Avoidance Technique for Binary Tree Algorithm
Warakorn Srichavengsup, Kanticha Kittipeerachon, Titichaya Thanamitsomboon, Worawut Chitkachornwanich, Chatree Thongwan
- 68 Potential of Biogas Production by Co-Digestion between Physical Pretreatment Sugar Cane Leaf and Cow Dung
Nisa Pakvilai, Monthip Jankaew, Vanatpornratt Sawasdee
- 77 The Design and Development of Public Bus Complaint Classification Process for Service Problem Tagging
Chakkarin Santirattanaphakdi, Suphakit Niwattanakul



Adaptive Pseudocoloring Method based on Color Image Scale for Emotional Art Image

Thitiporn Lertrusdachakul^{1*} Kanakarn Ruxpaitoon² Kasem Thiptarajan³

^{1*,2,3}*Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: thitiporn@tni.ac.th

Received: 13 May 2021; Revised: 9 June 2021; Accepted: 20 July 2021

Published online: 13 December 2021

Abstract

Color can dramatically affect and arouse the emotions. In this paper, we propose a pseudocoloring method by applying the color psychology of color image scale to create an emotional art image. The proposed technique utilizes two key color groups, image segmentation, shape-preserving piecewise cubic Hermite interpolation with uniform lightness difference, Gaussian filter and morphological gradient to develop an adaptive color mapping of grayscale image. The key color groups of the desired emotion are extracted from the color image scale and the color map is generated from the interpolation results in CIELAB color space for each key color group to the segmented area. The simulation results show that the smooth gradient of key colors impressively transfers an implicative emotion of the image. In addition, soft transition between key color groups by smoothing at the edge of segmented area makes the image more artistic appeal. The emotional art image of the proposed pseudocoloring method could enrich the digital decoration and color therapy in both artifactual and natural images.

Keywords: Pseudocoloring, Color image scale, Emotional art image, Color gradient



I. INTRODUCTION

Pseudocoloring is a widely used technique to artificially assign colors for colorization of a grayscale image or modification of an existing color image. The technique is typically applied as a means of enhancing a visual appeal and highlighting specific features in the image. The color can be used to indicate the value of image data for qualitative and quantitative visualization. Pseudocoloring facilitates human interpretation in various applications of satellite, thermal and medical images. Many previous researches are both in applications of pseudocoloring [1]–[5] and pseudocoloring techniques [6]–[10]. For the research on the application of pseudocoloring, Sankaran et al. [1] utilize pseudocolor in visible-near infrared and thermal imaging for detection of Huanglongbing (HLB) disease in citrus trees. Several researchers work on applying pseudocolor for noninvasive diagnosis and industrial inspection. Li et al. [2] efficiently segment brain Magnetic Resonance (MR) image by using pseudocolor based segmentation with NAMS model (Non-symmetry and Anti-packing Model with Squares). In [3], adaptive pseudocolor enhancement method of radiographic testing (RT) image is proposed for a steam turbine manufacturing enterprise. The proposed method is based on the image processing in hue, saturation, and intensity (HSI) color space and the self-transformation of pixels. For pseudocoloring techniques, HSI and RGB color transformation are basically used which could be user-selected color mapping, linear or non-linear mapping, mathematically formulated transformation, histogram-based color mapping and function-based color mapping [6]. Other techniques are also developed to improve the efficiency for the specific purpose. In [7], nonlinear pseudocolor coding method based on gradient value is proposed to effectively highlight the disease areas in medical images.

The automated pseudocoloring based on contourlet transform is developed in [8] for efficient Content Based Image Retrieval (CBIR). Moreover, multiple generative adversarial networks (Multi-GANs) [9] is recently introduced to create more realistic characteristics of the generated pseudocolor images. Pseudocoloring can be in the form of global and local color transfer between images [10]. The process generally involves histogram interpolation, luminance and texture matching. In this paper, we propose a new alternative application of pseudocoloring to automatically create an emotional art image. The proposed pseudocoloring method exploits the principle of color image scale with a unique image processing approach to convey the image impression. Our findings facilitate in the creation of emotive artwork for both professional and nonprofessional designers. The embellishment for more attractive and interesting design through the use of visual arts becomes less time and effort. The expressive art could also affect a person's mood and enhance in healing the emotional problem in the color therapy.

II. RESEARCH METHODOLOGY

Color can evoke the emotions without awareness of subjects [11]. In this paper, we apply the color psychology by means of color image scale [12] to generate the emotional art image using pseudocoloring method. The proposed pseudocoloring technique begins with converting the emotion to key colors and then creates adaptive color mapping according to the content of grayscale image.

A. Emotion to Key Colors Conversion

The color image scale in [12] organizes the color combinations based on warm-cool and soft-hard axes and arranges them into 23 groups of emotions as illustrated in Figure 1. The color image chart shown in Figure 1 indeed consists of 160 key image words and

their color combinations which will be applied in this stage. We select the desired emotion from these key image words and use its color combination to produce two tones of color groups. Each group has 4 to 6 key colors sorted in ascending order of lightness. Four emotions of romantic, pretty, sporty and dynamic are simulated in the experiment and their color combinations are shown in Figure 2.

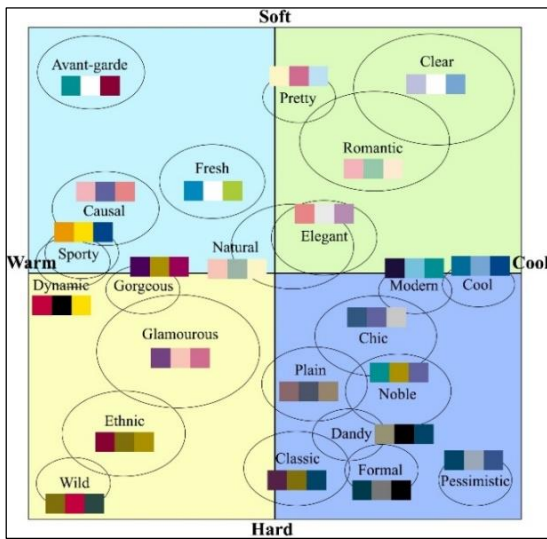


Figure 1: Color image chart.



Figure 2: Color combinations of the simulated emotions.

B. Adaptive Color Mapping

The overview of the proposed pseudocoloring technique is described in Figure 3. First, we segment the grayscale image into low intensity and high intensity using Otsu's thresholding method [13] which is an efficient way to perform automatic image thresholding. In this technique, the optimal threshold is determined by minimizing intra-class intensity variance, or more practically in computation, by maximizing inter-class variance. Therefore, the algorithm searches for the threshold t that maximizes the function of inter-class intensity variance $\sigma_b^2(t)$ described in (1).

$$\sigma_b^2(t) = W_0(t)W_1(t)[\mu_0(t) - \mu_1(t)]^2 \quad (1)$$

Where $W_0(t)$ and $W_1(t)$ are the probabilities of the two classes separated by a threshold t , and $\mu_0(t)$ and $\mu_1(t)$ are means of these two classes.

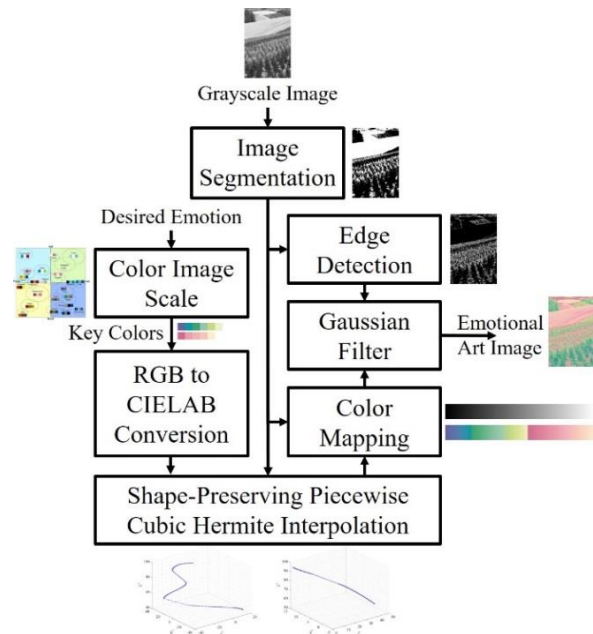


Figure 3: The overview of the proposed pseudocoloring technique.

The key colors obtained from the color image scale [12] are converted into CIELAB color space with CIE standard illuminant D65. The CIE 1976 $L^*a^*b^*$ is used

because it is a standard device-independent color space and is modeled based on the sensitivity of the three types of cone cells in the human eye. Where L^* is the luminance or brightness of the color and has the values in the range $[0, 100]$ from black to white. a^* is the amount of red or green tones with the values in range $[-100, 100]$ or $[-128, 127]$ from green to red/magenta while b^* is the amount of blue varying to yellow tones in the range $[-100, 100]$ or $[-128, 127]$. Then the first key color group is mapped to the low intensity area and the second key color group is mapped to the high intensity one. The shape-preserving piecewise cubic Hermite (pchip) interpolation [14] with uniform lightness difference is used to expand each key color group to the intensity of the segmented area. The pchip interpolates using a piecewise cubic Hermite interpolating polynomial which has the advantages of smooth connection, preserving monotonicity and the shape of the data. Moreover, if the data is not smooth, pchip has no overshoots and less oscillation comparing to the cubic spline data interpolation. The color mapping algorithm is the relative luminance mapping between grayscale of segmented image and the results of the interpolation. Finally, Gaussian filter is applied at the edge between low intensity and high intensity areas to smooth the transition between two pseudocolor groups. The Gaussian smoothing kernel with standard deviation of 1 obtained from the 2-D Gaussian function shown in (2) is selected with the square filter of size 5×5 for soft blurring.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Where x and y are the distance from the origin in horizontal and vertical axes, respectively, and σ (sigma) is the standard deviation of the Gaussian distribution. Boundary padding uses replication of the nearest

border pixel to avoid the artifacts around the boundary of the image.

For edge detection process, morphological gradient is applied to the binary image resulting from the image segmentation. The operation of morphological edge detection is described in (3) which is equal to the difference between dilation and erosion of the image.

$$Edge = (A \oplus SE) - (A \ominus SE) \quad (3)$$

Where A is the resulting binary image of the image segmentation process and SE is the structuring element shown in Figure 4. The dilation and erosion of A by SE are denoted $A \oplus SE$ and $A \ominus SE$, respectively. The internal and external boundaries of the high intensity regions can be then extracted as the edge and smoothing areas between two key color groups.

0	1	0
1	1	1
0	1	0

Figure 4: The structuring element for morphological edge detection.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The key colors and their lightness of simulated emotions are shown in Figure 5. The top row and the bottom row of each emotion depict the first group and the second group of key colors, respectively. The key colors in each group are arranged in an ascending order of lightness to prepare for the interpolation process as the lightness value shown in Figure 5. Figure 6 illustrates the example of grayscale image and binary image of segmentation process using Otsu's thresholding method. The low intensity pixels are in the black area while the high intensity pixels are in the white area of

binary image. The example results of shape-preserving piecewise cubic Hermite (pchip) interpolation are demonstrated in Figure 7. The graphs show the interpolation results in CIELAB color space with uniform lightness difference for romantic and dynamic emotions of the image shown in Figure 6.

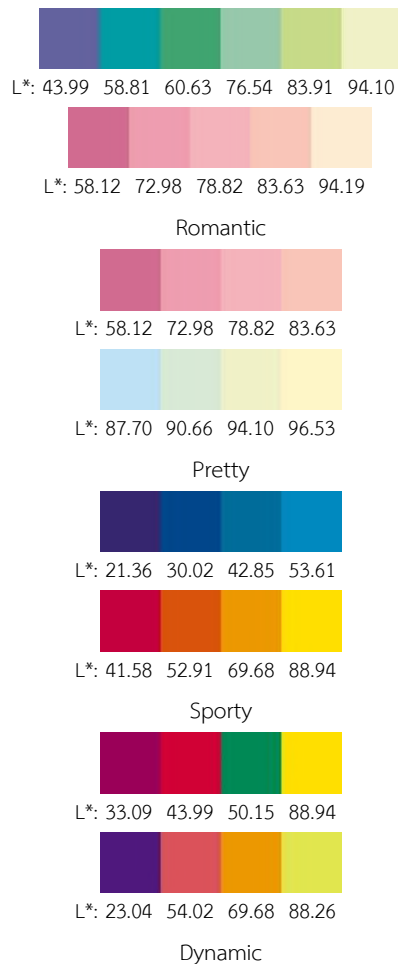


Figure 5: The key colors and their lightness (L*) of the simulated emotions (top: the 1st group of key colors; bottom: the 2nd group of key colors).

Figure 8 shows the color maps of all simulated emotions for the grayscale image shown in Figure 6. Figure 9 describes the edge between low intensity and high intensity areas of the segmented image in Figure 6. These edges are determined by using morphological gradient.



Grayscale image



Binary image

Figure 6: The example of grayscale image and binary image used in the experiment.

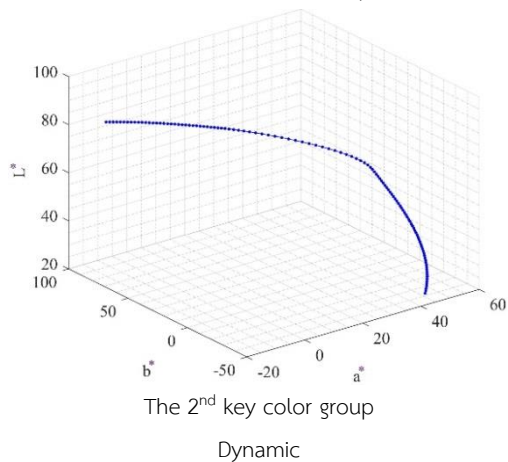
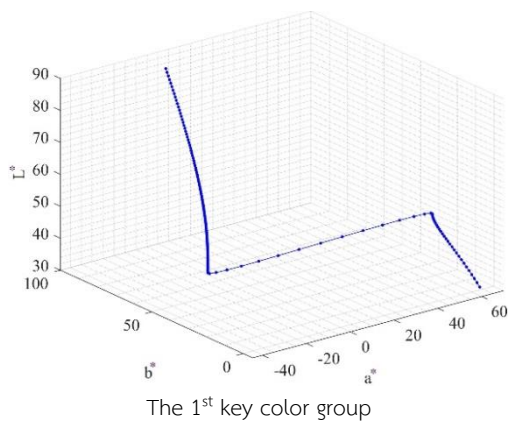
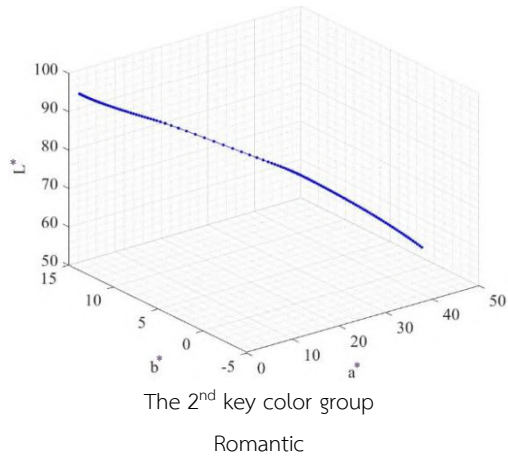
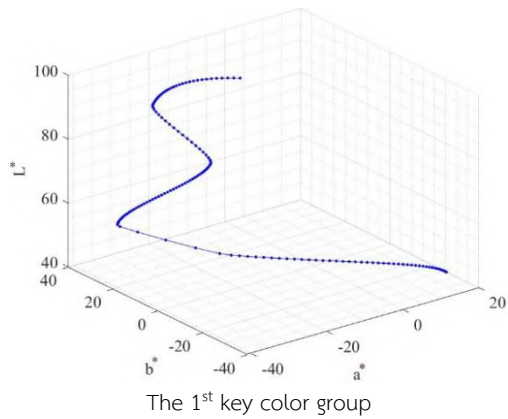


Figure 7: The results of pchip in CIELAB color space of the image shown in Figure 6.

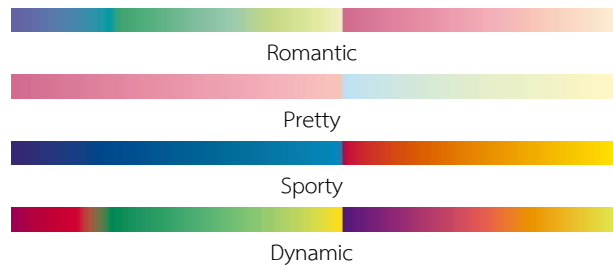
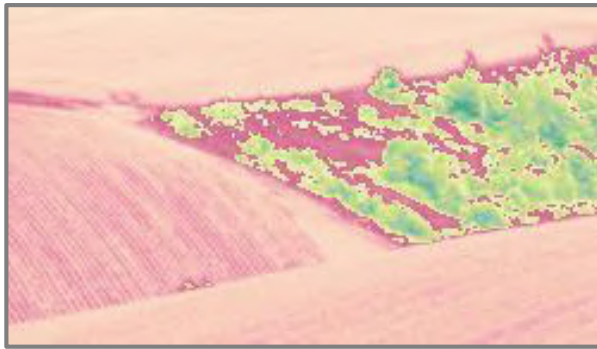


Figure 8: Color maps of all simulated emotions for the image shown in Figure 6.

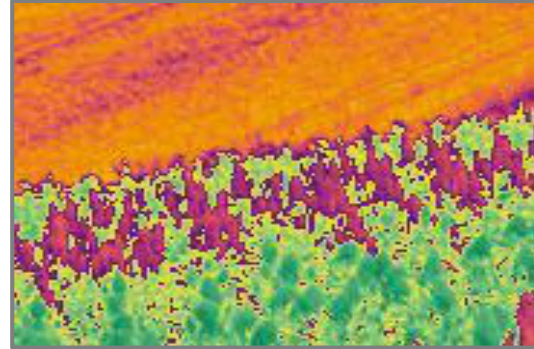


Figure 9: The edge between low intensity and high intensity areas of segmented image in Figure 6.

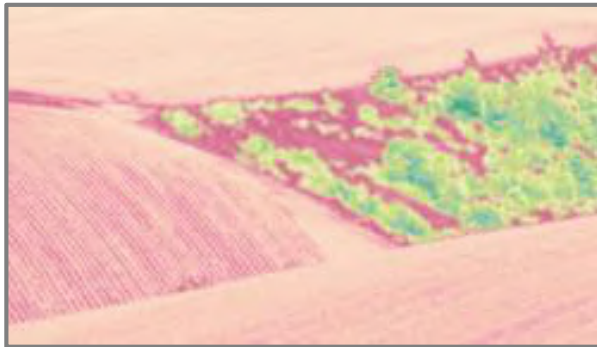
Figure 10 shows pseudocolor images of romantic and dynamic emotions comparing before and after applying Gaussian filter at the edge in the gray box area. It can be seen that smooth transition between two tones of key color groups makes the image softer and more artistic while still keeping texture and detail in other areas. The wide regions in pink tone of romantic and orange tone of dynamic remain the sharp details. The final results of pseudocolor images for pretty and sporty emotions of image in Figure 6 are shown in Figure 11.



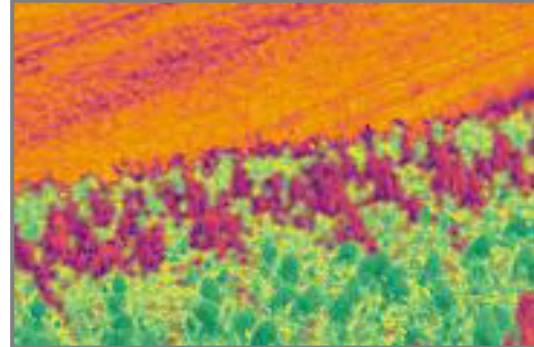
Before applying Gaussian filter



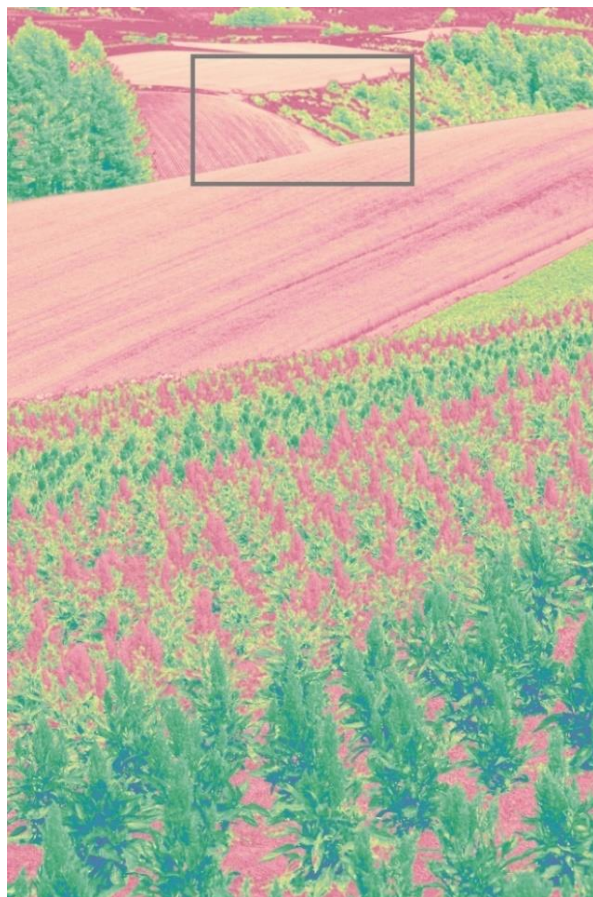
Before applying Gaussian filter



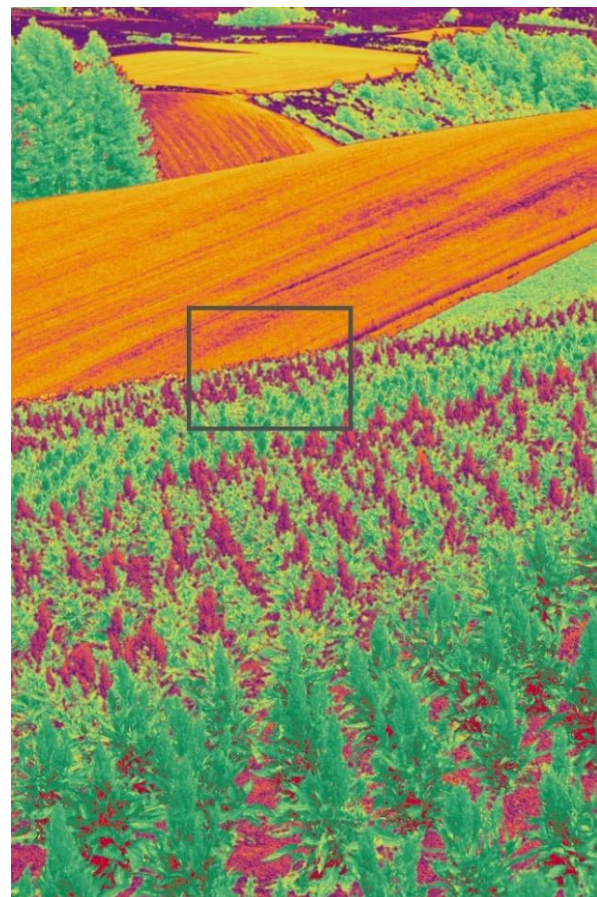
After applying Gaussian filter



After applying Gaussian filter



Pseudocolor image of romantic emotion



Pseudocolor image of dynamic emotion

Figure 10: The comparison results of pseudocolor images before and after applying Gaussian filter at the edge.



Pretty



Sporty

Figure 11: The results of pseudocolor images for pretty and sporty emotions of the image shown in Figure 6.

Figures 12 and 13 show other examples of emotional art images and color maps using the

proposed pseudocoloring method. In our technique, the color map will adaptively change according to the image content and keep smooth lightness variation to enhance the visual quality of sequential colors. The lightness of pseudocolor is also consistent with the grayscale. The gradient of key colors and the soft transition between key color groups bring significantly emotional art and impressed images as shown in the example results of Figures 10 to 13.

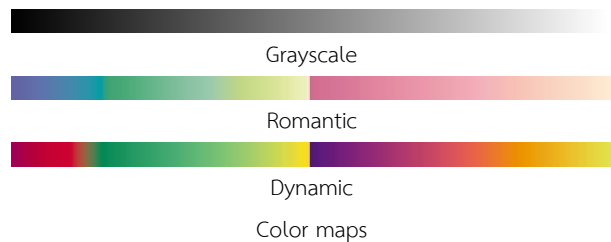


Grayscale image with low texture



Romantic

Dynamic



Color maps

Figure 12: The example results of emotional art images with low texture and color maps.

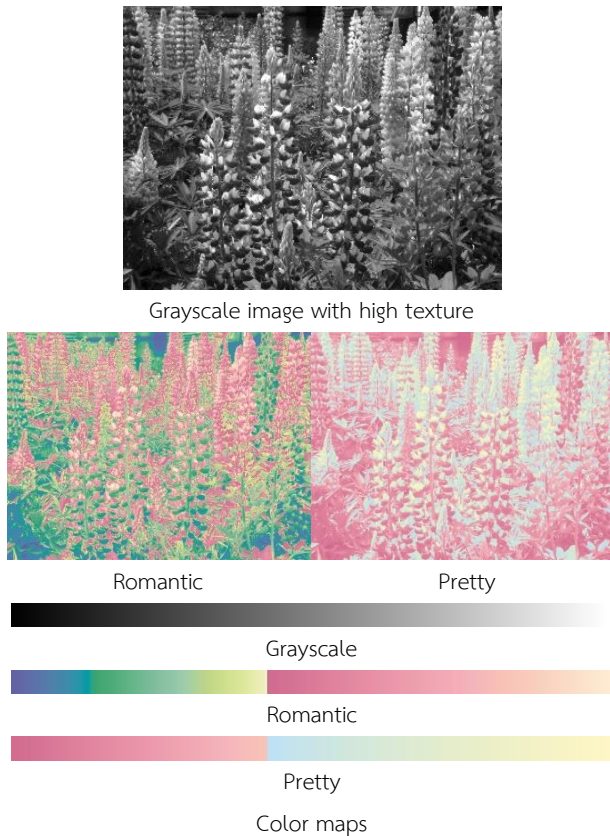


Figure 13: The example results of emotional art images with high texture and color maps.

Although romantic emotion can map to both images in Figures 12 and 13, in practice we recommend the emotion of high color variation (i.e., dynamic) for low texture image in Figure 12 and low color variation (i.e., pretty) for high texture image in Figure 13. This is to balance the visual perception of color and image detail for the best result. In addition, the emotional perception of an art image is quite complicated. Therefore, the objective evaluation should be investigated more in the future.

IV. CONCLUSION

In the proposed pseudocoloring method, we create an emotional art image by applying the color image scale and a particular approach of image processing. The grayscale image is segmented using Otsu's thresholding method and adaptively mapped to the

interpolated key colors extracted from the color image scale. We preserve smooth lightness variation in the interpolation and smooth transition between segmented areas of different color tones by using Gaussian filter. Four emotions of romantic, pretty, sporty and dynamic are simulated in the experiment as a guideline for further application. The results of smooth gradients of emotive colors can convey an impressive emotional art image.

REFERENCES

- [1] S. Sankaran, J. M. Maja, S. Buchanon, and R. Ehsani, "Huanglongbing (citrus greening) detection using visible, near infrared and thermal imaging techniques," *Sensors*, vol. 13, no. 2, pp. 2117–2130, Feb. 2013, doi: 10.3390/s130202117.
- [2] H. Li, C. Chen, S. Fang, and S. Zhao, "Brain MR image segmentation using NAMS in pseudo-color," *Comput. Assist. Surg.*, vol. 22, no. sup1, pp. 170–175, Oct. 2017, doi: 10.1080/24699322.2017.1389395.
- [3] H. Jiang, Y. Zhao, J. Gao, and Z. Gao, "Adaptive pseudo-color enhancement method of weld radiographic images based on HSI color space and self-transformation of pixels," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 88, no. 6, Jun. 2017, doi: 10.1063/1.4985007.
- [4] J. J. McCann and V. Vonikakis, "Calculating retinal contrast from scene content: A program," *Front. Psychol.*, vol. 8, Jan. 2018, Art. no. 2079, doi: 10.3389/fpsyg.2017.02079.
- [5] R. Doi, "Maximizing the accuracy of continuous quantification measures using discrete packtest products with deep learning and pseudocolor imaging," *J. Anal. Methods Chem.*, vol. 2019, Apr. 2019, Art. no. 1685382, doi: 10.1155/2019/1685382.
- [6] Y. Zheng, "X-ray image processing and visualization for remote assistance of airport luggage screeners," M. S. thesis, Dept. Elec. Eng., Univ. Tennessee, Knoxville, USA, 2004.
- [7] L. Jinxiu, L. Junli, and W. Ping, "Pseudocolor coding of medical images based on gradient," in *Proc. 1st Int. Conf. Bioinform. Biomed. Eng.*, Jul. 2007, pp. 932–935, doi: 10.1109/ICBBE.2007.242.



- [8] R. Jayadevan, K. N. Latha, and K. A. Navas, "Automated pseudo-coloring of grayscale images based on contourlet transform," in *Proc. IEEE Nat. Conf. Commun. Signal Process. Netw.*, Palakkad, India, Oct.10-12, 2014, pp. 1–6, doi: 10.1109/NCCSN.2014.7001146.
- [9] M. Zare, K. B. Lari, M. Jampour, and P. Shamsinejad, "Multi-GANs and its application for pseudo-coloring," in *Proc. 4th Int. Conf. Pattern Recognit. Image Anal. IPRIA 2019.*, Tehran, Iran, Mar. 6–7, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/PRIA.2019.8786027.
- [10] R. Jayadevan, K. N. Latha, K. A. Navas, and A. Ananthan, "A review on recent pseudo-coloring techniques," *Int. J. Sci. Technol. Eng.*, vol. 1, no. 11, pp. 344–348, May 2015.
- [11] S. Moharreri, N. J. Dabanloo, and K. Maghooli, "Detection of emotions induced by colors in compare of two nonlinear mapping of heart rate variability signal: Triangle and parabolic phase space (TPSM, PPSM)," *J. Med. Biol. Eng.*, vol. 39, pp. 665–681, Jan. 2019, doi: 10.1007/s40846-018-0458-y.
- [12] H. Nagumo, *New Color Image Chart*. Tokyo, Japan: Graphicsha, 2016.
- [13] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, Jan. 1979.
- [14] F. N. Fritsch and R. E. Carlson, "Monotone piecewise cubic interpolation," *SIAM J. Numer. Anal.*, vol. 17, no. 2, pp. 238–246, 1980.

การปรับปรุงการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด

สุนันทา อนันต์ชัยทรัพย์^{1*} ชุมพล มณฑาทิพย์กุล²

^{1,2}หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล: sununta.ana@gmail.com

รับต้นฉบับ: 28 มิถุนายน 2564; รับบทความฉบับแก้ไข: 19 สิงหาคม 2564; ตอรับบทความ: 7 กันยายน 2564
เผยแพร่ออนไลน์: 13 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงการจัดพื้นที่วางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้าของกรมของบริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด เพื่อการแก้ปัญหาในพื้นที่จัดวางสินค้าไม่เหมาะสมของงานวิจัยนี้ ส่งผลกระทบบังการส่งมอบสินค้าให้ไม่ตรงตามกำหนด 100% โดยงานวิจัยนี้ใช้หลักการ ABC Classification ในการจัดความสำคัญของสินค้าร่วมกับหลักการตัวแบบการใช้โปรแกรมเชิงเส้น และสินค้าที่มีปริมาณการเคลื่อนไหวบ่อยควรวางบริเวณใกล้ประตู เพื่อกำหนดตำแหน่งที่วางสินค้าภายในคลังสินค้าให้เหมาะสม และลดระยะทางในการหยิบสินค้าตามเอกสารคำสั่งซื้อต่อเดือน โดยการจัดพื้นที่ตำแหน่งโซนสินค้าใหม่ พบว่าสามารถลดระยะทางรวมในการหยิบสินค้าตามเอกสารใบสั่งซื้อ 22.54% ของระยะทางรวมในการหยิบสินค้าต่อเดือน ลดค่าไฟฟ้าของโพลีคลิฟท์ในการวิ่งหยิบสินค้าทั้งหมดต่อเดือน 22.54% และลดต้นทุนรวมในการหยิบสินค้าต่อเดือนตามเอกสารคำสั่งซื้อจากการวางตำแหน่งโซนสินค้า 2.22% ของต้นทุนรวมในการหยิบสินค้าต่อเดือน

คำสำคัญ: การจัดการคลังสินค้า การแบ่งประเภทสินค้าคงคลัง ตัวแบบการใช้โปรแกรมเชิงเส้น



An Improvement of Product Locations in the Warehouse: A Case Study of Srithai Superware Korat Company Limited

Sununta Ananchaisap^{1*} Chumpol Monthatipkul²

^{1,2}*Master of Science Program in Logistics and Supply Chain Management, Graduate School of Management and Innovation, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: sununta.ana@gmail.com

Received: 28 July 2021; Revised: 19 August 2021; Accepted: 7 September 2021

Published Online: 13 December 2021

Abstract

The objectives of this research are gaining knowledge and improving the layout of the product in Srithai Superware Korat exhibition warehouse. The current improper layout of the product in this warehouse leads to the problem of not achieving 100% on time delivery. This research will use both the ABC Classification system and the line programming module to rearrange the product priority and products that move frequently should be considered to be placed nearest to the door. The expected result for this implementation of this exhibition product layout is a decreasing distance of picking products in the warehouse for each order every month. The result of this research is firstly, the distance of picking the product in the warehouse decreased by 22.54%. Secondly, the electricity bill for the forklift decreased by 22.54%. Lastly, the total cost of the picking product process decreased by 2.22% per month.

Keywords: Warehouse management, ABC analysis, Linear programming

1) บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทเมลามีนเกิดขึ้นครั้งแรกที่ประเทศสวีเดนและกระจายไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก จากกรณีศึกษาของบริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด เป็นผู้ผลิตและผู้จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทเมลามีน ตั้งอยู่ที่ นครราชสีมา (สำนักงานใหญ่) และมีสาขาสุโขทัย กรุงเทพฯ ในอดีตคลังสินค้ามาทรมที่จัดตั้งขึ้นในพื้นที่โคราช มีวัตถุประสงค์สำหรับการจัดเก็บสินค้าที่มีตำหนิหรือเหลือจากการส่งออก คลังสินค้านี้ได้เปลี่ยนจากการจัดเก็บสินค้าที่มีตำหนิหรือเหลือจากการส่งออก มาเป็นการผลิตสินค้าสำเร็จรูปเพื่อตอบสนองให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า แทนการรอคอยสินค้าที่มีตำหนิอาจเกิดจากกระบวนการผลิตหรือของเหลือจากการส่งออกเท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าในปัจจุบันได้เพียงพอ จึงต้องมีการผลิตสินค้าใหม่เข้าไปเติมเต็มความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว จากการวางตำแหน่งสินค้าในคลังสินค้ามาทรม ณ ปัจจุบัน พบว่า การวางตำแหน่งสินค้าในคลังสินค้ามาทรมแบบปัจจุบันที่ไม่มีหลักการ หรือใช้ทฤษฎีเข้ามาช่วยในการจัดเรียงสินค้า ส่งผลให้ระยะเวลาในการหยิบสินค้า (SKU) ของพนักงานคลังสินค้าต่อคำสั่งซื้อ และต้นทุนในการหยิบสินค้าต่อหน่วยตามเอกสารคำสั่งซื้อสูง รวมทั้งการใช้พื้นที่ในคลังสินค้าไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด ซึ่งแผนกคลังสินค้ามาทรมได้ตั้งตัวชี้วัดผลงาน (KPI) ส่งมอบสินค้าให้ตรงตามกำหนด 100% แต่มีบางใบเอกสารสั่งซื้อ ที่ไม่สามารถส่งมอบได้ตรงเวลา จากสถิติย้อนหลังไป 3 เดือน เดือนตุลาคม 2562 สามารถส่งมอบได้ 97%, เดือนพฤศจิกายน 2562 สามารถส่งมอบได้ 95% และเดือนธันวาคม 2562 สามารถส่งมอบได้ 96% ซึ่งไม่เป็นไปตามที่ทางแผนกคลังสินค้าตั้ง KPI ไว้ ส่งผลทำให้ต้องเลื่อนการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้า เห็นได้ว่าการบริหารจัดการคลังสินค้านี้มีความสำคัญต่อกระบวนการทำงาน และส่งผลทำให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การจัดการพื้นที่วางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้านี้ เป็นกิจกรรมที่มีต้นทุนที่สูงและมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากการจัดพื้นที่วางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้ามาทรมอย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยสร้างความได้เปรียบทางธุรกิจในการแข่งขันทางธุรกิจ และในแง่ของภาพลักษณ์ทางธุรกิจได้

2) วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและปรับปรุงการจัดพื้นที่การวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้ามาทรม รวมทั้งหน่วยรวมวัสดุ (Unit Load) สำหรับคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา
2. เพื่อสามารถส่งมอบสินค้าได้ทันตามกำหนดเวลาของลูกค้า
3. เพื่อหาระยะทางรวมต่อเดือนในการหยิบสินค้าตามใบเอกสารคำสั่งซื้อที่สั้นที่สุด

3) ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1) การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management)

การจัดการคลังสินค้า หมายถึง การจัดระเบียบในด้านการเคลื่อนย้าย การจัดเก็บ การวางและการรักษาสินค้าอย่างเป็นระบบ มีระเบียบแบบแผน เพื่อป้องกันและรักษาสินค้าให้อยู่ในสภาพที่ดี ด้วยต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำ เพื่อช่วยในการดำเนินงาน และกำไรให้กับกิจการ การดำเนินงานในลักษณะนี้จะเกิดจากการบริหารทรัพยากร ทั้งหมดภายในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานของคลังสินค้า ระบบการตรวจติดตามสถานะและการสื่อสารภายในคลังสินค้า

อุปกรณ์ขนถ่ายสินค้าหรือเคลื่อนย้ายสินค้าเป็นสิ่งสำคัญที่จะสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการทำงานของคลังสินค้า หรือสามารถกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพของการจัดการคลังสินค้าขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ในการขนถ่ายเป็นสำคัญอุปกรณ์ในการขนถ่ายที่ดีและเหมาะสมจะสามารถทำให้พนักงานทำงานได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำและไม่เกิดความเสียหายกับตัวสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ พนักงานสามารถนำสินค้าไปจัดเก็บได้อย่างรวดเร็วและมีความคล่องตัวในการทำงาน [1]

3.2) การวางผังคลังสินค้า (Warehouse Layout)

การตัดสินใจจัดวางคลังสินค้ามีความสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพของคลังสินค้า ได้แก่ ค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดการวัสดุต้นทุนพื้นที่และความสามารถในการจัดเก็บ โดยการพัฒนาของอัลกอริทึมที่กำหนดความลึกของช่องทางสำหรับจำนวนของระดับการจัดเก็บความลึกด้านข้างและความกว้างตามยาวของคลังแบบสามมิติเพื่อลดพื้นที่และต้นทุนการจัดการวัสดุ ซึ่งการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงของชุดพารามิเตอร์ต่อการตัดสินใจเค้าโครงที่เหมาะสมที่สุด [2]

3.3) การจัดกลุ่มสินค้าคงคลังด้วยระบบ ABC (ABC Analysis)

การควบคุมสินค้าคงคลังนั้นมีหลายวิธีที่จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด หนึ่งในนั้นคือ การวิเคราะห์แบบเอบีซี (ABC Analysis) ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการจัดการสินค้าคงคลัง ซึ่งหัวใจหลักของการวิเคราะห์แบบเอบีซีนั้น ก็คือทำให้ความสำคัญสินค้าตามมูลค่า ไม่ว่าจะเป็นมูลค่าความสำคัญของการใช้งานหรือมูลค่าของเงิน (Use Money) โดยจะมีการแบ่งประเภทสินค้าคงคลังเป็นกลุ่ม ๆ ตามมูลค่าของสินค้าออกเป็น 3 กลุ่ม คือ A, B และ C ตามลำดับความสำคัญ ซึ่งจะพิจารณาจากปริมาณและมูลค่าของสินค้าคงคลังเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง เพื่อลดภาระในการควบคุมดูแลสินค้าคงคลังที่มีจำนวนมาก ๆ [3]

3.4) แนวคิดระบบ Warehouse Management System (WMS)

ระบบบริหารคลังสินค้า เป็นระบบที่ครอบคลุมการจัดการทุกอย่างในคลังสินค้า ตัวอย่างเช่น การรับสินค้าด้วยเอกสารการรับสินค้า และจัดพิมพ์แผ่นสติ๊กเกอร์แสดงที่เก็บสินค้า และการสร้างเอกสารรายการหยิบสินค้าเพื่อจัดส่ง เป็นต้น การจัดการของระบบบริหารคลังสินค้าก่อให้เกิดประโยชน์มากมาย เช่น การควบคุมปริมาณการสต็อกสินค้าที่ขึ้น การเก็บรวบรวมข้อมูลแบบอัตโนมัติ เป็นส่วนสำคัญที่สุดของระบบบริหารคลังสินค้า เพราะกลไกนี้คือการตรวจสอบเพื่อยืนยัน และตรวจสอบความถูกต้องในตัวเอง [4]

3.5) แนวคิดการจัดการโลจิสติกส์แบบลีน (Lean in Logistics)

โลจิสติกส์ภายในและภายนอกกระบวนการ ออกแบบมาเพื่อรองรับการไหลอย่างต่อเนื่องของวัสดุการผลิตและดำเนินการจัดส่งให้กับลูกค้าปลายทาง ในขณะเดียวกันก็ดูแลรักษาเวลาสถานที่ คุณภาพ และต้นทุนที่เหมาะสม นอกจากนี้กระบวนการโลจิสติกส์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในองค์กรจะต้องได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับการกำจัดของเสียที่ไม่จำเป็นและกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม [5]

การลดความสูญเปล่าในกระบวนการคลังสินค้าโดยใช้แนวคิดลีน “การประยุกต์ใช้เทคนิคแบบลีนที่ประสบความสำเร็จ (ในคลังสินค้า) จะนำไปสู่การลดระยะเวลาการรอคอยสินค้า (ส่วนเวลาที่ไม่งจำเป็นของขั้นตอนการสั่งซื้อจนถึงการจัดส่ง) เวลาในการหยิบคำสั่งซื้อและเวลาในการจัดการวัสดุสิ่งนี้สามารถทำได้โดยการลดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าและปรับปรุงความเร็วและการไหลในคลังสินค้า” เพื่อยืนยันอีกครั้ง [6]

3.6) ตัวแบบการใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ คือ การตั้งรูปแบบในเชิงสมการหรืออสมการแทนระบบของปัญหา โดยจะมีการตั้งค่าตัวแปรขึ้นมาชื่อเป็นเชิงปริมาณ เพื่อสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ และสามารถคำนวณค่าคำตอบของตัวแปรได้ โดยตัวแปรในที่นี้คือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) เพื่อให้ได้คำตอบไปใช้ในการวางแผนและประกอบการตัดสินใจของผู้บริหารต่อไป ดังนั้น จึงมีการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบ โดยขั้นตอนการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ แทนระบบของปัญหา (Model Formulation) [7]

การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (Binary Integer Linear Programming) กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม คือ เครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเช่นเดียวกับ LP โดยแบบจำลอง IP ประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ เหมือนกับแบบจำลอง LP แต่มีอีก 1 เงื่อนไขเพิ่มเติมที่แตกต่างจาก LP คือ กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจบางตัวแปรหรือทุกตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนเต็ม ประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น และเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ที่อาจเป็นสมการเชิงเส้นหรืออสมการเชิงเส้น [8]

3.7) ทฤษฎีต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity Based Costing)

การดำเนินการคิดต้นทุนตามกิจกรรมจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบที่ไม่ใช่ทางการเงินขององค์กร ดังนั้น การคิดต้นทุนตามกิจกรรมเป็นทฤษฎีจึงรวมพื้นที่ต่าง ๆ ของบริษัท เพื่อดำเนินการจัดสรรต้นทุนค่าเสียหายได้ดีขึ้น วิธีการคิดต้นทุนตามกิจกรรมเป็นวิธีที่มีประโยชน์สำหรับการจัดสรรต้นทุนที่แม่นยำยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามขั้นตอนของวิธีการเปิดเผยจุดอ่อนการวิเคราะห์พฤติกรรมต้นทุนอย่างแม่นยำต้องใช้การวัดจำนวนมากและเครื่องมือวัดยังก่อให้เกิดต้นทุนอีกด้วย โดยวิธีการคิดต้นทุนตามกิจกรรมถูกนำมาใช้เพื่อสร้างการวิเคราะห์ความสามารถในการทำกำไรของคลังสินค้าของบริษัท ข้อมูลนี้ใช้เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละคลังสินค้าและข้อตกลงของลูกค้า การจัดลำดับความสำคัญเป็นสิ่งสำคัญ [9]

3.8) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้า ของร้านน้ำเพชร กลาส แอนด์ อลูมิเนียม พบว่าปัญหา คือ สินค้ามีการจัดเก็บไม่เป็นระเบียบ ส่งผลให้ใช้เวลานานในการค้นหาสินค้า

และสินค้าที่ถูกจัดเก็บไว้เป็นเวลานานเกิดความชำรุด ดังนั้นจึงได้มีการเก็บข้อมูลรายการสินค้า เพื่อคัดแยกประเภทสินค้า พบว่าสินค้าภายในร้านมี 13 ประเภท แบ่งออกได้ทั้งหมด 93 ชนิด สามารถจัดประเภทสินค้าหลัก ๆ ได้ 3 ประเภท จากนั้นใช้การวิเคราะห์ ABC Classification และ Visual Control เพื่อใช้ในการคัดแยก การจัดหมวดหมู่สินค้า เรียงลำดับความสำคัญ [10]

ศึกษาการวางแผนผังคลังสินค้าสำเร็จรูปด้วยเทคนิค ABC Analysis กรณีศึกษา บริษัท AAA จำกัด เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค ABC Analysis ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า บริษัทกรณีศึกษา บริษัท AAA จำกัด เพื่อศึกษาการลดระยะเวลาในการหยิบสินค้าโดยผู้วิจัยประยุกต์ใช้การจัดเรียงสินค้า ABC Analysis โดยการออกแบบและวางแผนผังคลังสินค้า ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยผลการศึกษาพบว่าปัญหาที่เกิดจากการใช้เวลาในการเดินทางหยิบสินค้าซึ่งเกิดจากการขาดประสิทธิภาพในระบบการจัดเก็บสินค้า จึงทำให้ใช้เวลานานในการเดินทางหยิบสินค้า การจัดเรียงสินค้าด้วยเทคนิค ABC ทำให้พนักงานใช้เวลาในการเดินทางหยิบสินค้าน้อยลง [11]

ศึกษาการวางแผนตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานภายในคลังสินค้าและวางแผนการเลือกตำแหน่ง (Location) ในการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสมภายในคลังสินค้า โดยมีวัตถุประสงค์คือพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางในการลดระยะทางในการทำงานและหาตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสม โดยใช้หลักการตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางไว้ใกล้ประตู ร่วมกับโปรแกรมด้วยภาษา Visual และใช้โปรแกรม Lingo รุ่นที่ 17.0 ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของการจัดวางสินค้าจากการจัดวางตำแหน่งสินค้าใหม่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการคลังสินค้าเพิ่มขึ้น [12]

ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเก็บวัตถุดิบในคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัท นิปอน เอ็กซ์เพรส เอ็นอีซี โลจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด วัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการวางแผนผังคลังสินค้าที่เหมาะสม เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การจัดการคลังจัดเก็บวัตถุดิบ และเพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าของบริษัท กรณีศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อนำเอามาทำการวิเคราะห์ ในครั้งนี้คือ แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) การ

วางแผนผังคลังสินค้า และเทคนิคการแบ่งกลุ่มสินค้าแบบ ABC Classification ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการแบ่งประเภทของสินค้า โดยเลือกวิธีการจัดเรียงแบบการเคลื่อนไหวสินค้าเร็วเคลื่อนไหวสินค้าปานกลาง และเคลื่อนไหวสินค้าช้า โดยการเอาปริมาณของการจัดส่งสินค้าในแต่ละวันของปี พ.ศ. 2558 มาใช้ทำการวิจัย การปรับปรุงในครั้งนี้ทำให้ค่าเฉลี่ยในการหยิบสินค้าเพื่อการจัดเตรียมส่งให้กับลูกค้าในแต่ละพาเลทลดลงเหลือเท่ากับ 8.7 นาที [13]

ศึกษาแนวทางการออกแบบผังการจัดเก็บสินค้าของบริษัท ABC จำกัด เพื่อทำการปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าให้เป็นหมวดหมู่เดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้เกิดการปฏิบัติงานกิจกรรมคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพและให้มีการจัดวางสินค้าในพื้นที่ที่เหมาะสม มีความสะดวกต่อการจัดเก็บรวมถึงการหยิบสินค้าเพื่อจ่าย อีกทั้งยังช่วยลดขั้นตอนความยุ่งยากในการค้นหาสินค้า ผลการวิจัยพบว่าได้ข้อสรุปจากการจัดทำประชุมกลุ่มโดยให้แบ่งสินค้าเป็นหมวดหมู่สินค้า 10 กลุ่ม และใช้โปรแกรมเชิงเส้น Linear Programing โดยวิธีการของ Excel Solver มากำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางสินค้าทั้ง 10 กลุ่ม และมีการวิเคราะห์ในการจำแนกประเภทสินค้าตามทฤษฎี ABC analysis เพื่อให้ทราบถึงระดับความสำคัญของกลุ่มสินค้าในแต่ละประเภท หลังจากทำการปรับปรุงพื้นที่ผังการจัดวางสินค้าให้เป็นหมวดหมู่ [14]

4) วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อหาแนวทางในการจัดวางตำแหน่งสินค้าในคลังสินค้ามาตรฐานของบริษัทกรณีศึกษา ส่งผลให้ลดระยะทางรวมต่อเดือนในหยิบสินค้าตามใบเอกสารคำสั่งซื้อในคลังสินค้ามาตรฐาน และสามารถดำเนินงานภายในคลังสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ 1 มกราคม 2561 – 31 ธันวาคม 2562 มีกระบวนการและขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

4.1) ศึกษาข้อมูลคลังสินค้ามาตรฐานและรูปแบบการจัดเก็บสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา

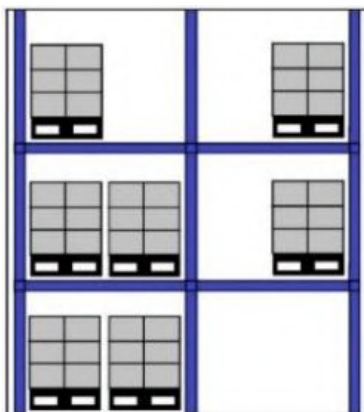
คลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษา ตั้งอยู่ที่ เขตนิคมอุตสาหกรรม-สุรนารี นครราชสีมา คลังสินค้ามาตรฐานมีพื้นที่ ประมาณ 1,941 ตารางเมตร คลังสินค้าแบ่งโซนสินค้า A1 ถึง K ดังรูปที่ 1 และภายในคลังสินค้านี้มีจำนวนชั้นวาง 3 ชั้น ในแต่ละ Location สามารถวางได้ 6 พาเลท ดังรูปที่ 2 โดยในคลังสินค้าสามารถวางพาเลทได้ทั้งหมดประมาณ 1,062 พาเลท

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	J									
	I2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	I1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	H2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	H1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	G2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	G1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	F2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	F1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7										
8	E2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	E1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	D2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	D1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10										
	C2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	C1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11										
K										
	B2	1	2	3	4	5	6	7	8	
	B1	1	2	3	4	5	6	7	8	
	A2	1	2	3	4	5	6	7		
	A1	1	2	3	4	5	6	7		

↑ ↓
Door

รูปที่ 1 : ภาพแสดงแผนผังคลังสินค้ามทกรรม

แหล่งที่มา : คลังสินค้ามทกรรม บริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด



รูปที่ 2 : แสดงปริมาณการจัดเก็บสินค้าบนชั้นวางสินค้าในคลังสินค้า

แหล่งที่มา : คลังสินค้ามทกรรม บริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด

กระบวนการจัดการภายในคลังสินค้ามทกรรมของบริษัท ทรณีศึกษา มีดังนี้

การจัดการสินค้าคงคลังของบริษัท ทรณีศึกษา มีการใช้ระบบ ออราเคิล (Oracle) ในการปฏิบัติงานภายในคลังสินค้า ตั้งแต่ กระบวนการรับสินค้าจากฝ่ายผลิตจนถึงกระบวนการส่ง สินค้าออกจากคลัง โดยข้อมูลทั้งหมดสามารถเชื่อมต่อกันได้ทุก แผนก ในการจัดการสินค้าภายในคลังยังไม่ได้มีการนำระบบการ จัดการคลังสินค้า เข้ามาช่วยในการบริหารสินค้าคงคลัง ทำให้ การจัดการสินค้าคงคลังภายในคลังสินค้าของบริษัท ทรณีศึกษา อาจจะมีประสิทธิภาพในการดำเนินงานบางส่วน

4.2) วิเคราะห์สภาพปัญหาที่พบและเสนอแนวทางการแก้ไข ปัญหา

4.2.1) สภาพปัญหาปัจจุบันที่พบในคลังสินค้ามทกรรมของ บริษัท ทรณีศึกษา ดังนี้

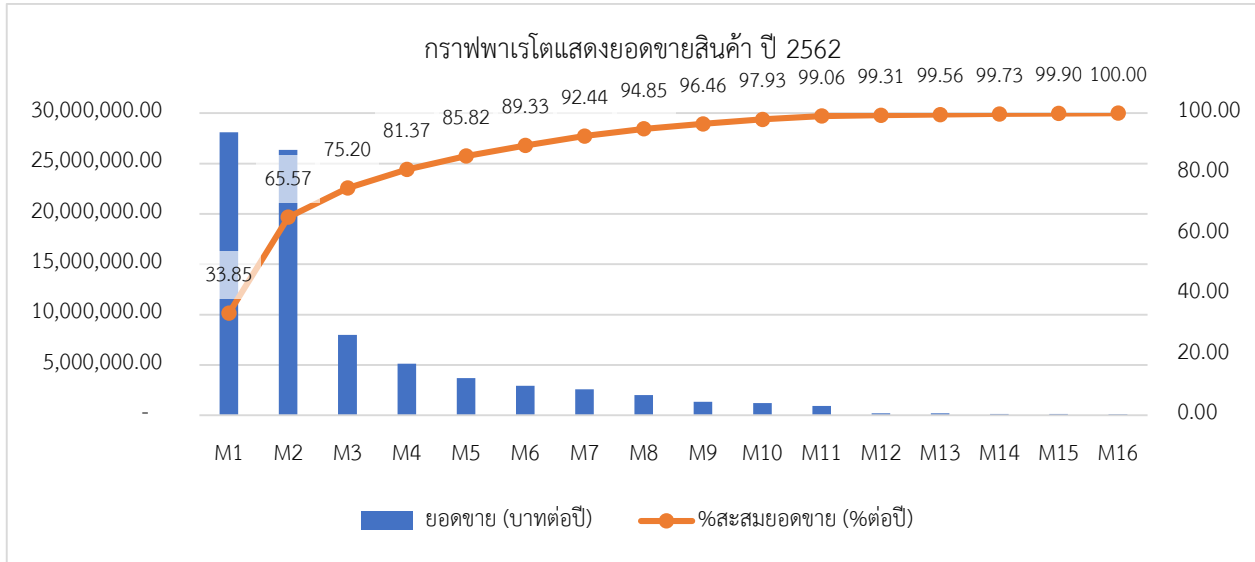
จากการวางตำแหน่งสินค้าในคลังสินค้ามทกรรม ณ ปัจจุบัน ของบริษัท ทรณีศึกษา พบว่า การวางตำแหน่งสินค้าในคลังสินค้า มทกรรมแบบปัจจุบันที่ไม่มีหลักการ หรือใช้ทฤษฎีเข้ามาช่วยใน การจัดเรียงสินค้า ส่งผลให้ระยะเวลาในการหยิบสินค้า (SKU) ของพนักงานคลังสินค้าต่อคำสั่งซื้อใช้เวลานาน เนื่องจาก ระยะทางในการหยิบสินค้าไกลจากประตู ไม่สามารถส่งมอบ สินค้าได้ตรงตามกำหนดในบางครั้ง และต้นทุนในการหยิบสินค้า ต่อหน่วยตามเอกสารคำสั่งซื้อสูง รวมทั้งการใช้พื้นที่ในคลังสินค้า ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด

4.2.2) แนวทางการแก้ไขปัญหา

1) รูปแบบการจัดประเภทสินค้า (SKU) การจัดเก็บสินค้า ผู้วิจัยสามารถแบ่งกลุ่มสินค้า โดยแบ่งประเภทสินค้าในคลังสินค้า ทั้งหมดเป็น 18 SKU ของแต่ละประเภท ประกอบด้วย M1, M2, M3, ..., M18 ได้ทำการศึกษาการจัดกลุ่มสินค้าตามปริมาณ ยอดขายสินค้าในปี 2562 และ 2561 โดยใช้หลักการจัดประเภท สินค้าตามลำดับความสำคัญของสินค้า (ABC Analysis/Pareto Rule) จากการศึกษาค้นคว้านี้ทำให้พบว่า ในช่วงระยะเวลา 2 ปีที่

ผ่านมา (ปี 2561-2562) พฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าของลูกค้า ใน 3 อันดับแรกไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงการซื้อสินค้าไปจากเดิม คือ สินค้า M1, M2 และ M3 ดังรูปที่ 3 ดังนั้น การจัดวาง

ตำแหน่งสินค้าในคลังสินค้าจึงสามารถจัดเรียงสินค้าแบบกำหนด ตำแหน่งตายตัวได้ (Fixed Location)



รูปที่ 3 : แสดงกราฟพาร์โตแสดงยอดขายสินค้า ปี 2562

แหล่งที่มา : คลังสินค้ากรม บริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด

2) การใช้หลักการของตัวแบบการใช้โปรแกรมเชิงเส้น ร่วมกับหลักการจัดวางสินค้าที่มีปริมาณการเคลื่อนไหวบ่อยควรวางบริเวณใกล้ประตู การใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น คือ สมการที่ใช้หาตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้าอย่างเหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละประเภท โดยคำนึงถึงระยะทางในการรับสินค้าเข้าคลังและการนำสินค้าออกจากคลัง รวมถึงความถี่ในการจัดเก็บสินค้ามาใช้ในการพิจารณาด้วยหลักการของการใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นร่วมกับหลักการจัดวางสินค้าที่มีปริมาณการเคลื่อนไหวบ่อยควรวางบริเวณใกล้ประตู มาปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณดังสมการ [15] คือ

สร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ดัชนี (Indices)

i = ดัชนีของประเภทสินค้า โดย ($i = 1, 2, 3, \dots, I$)

j = ดัชนีของโซน โดย ($j = 1, 2, 3, \dots, J$)

พารามิเตอร์ (Import parameter)

R_i = ความถี่การรับสินค้าเข้าคลังต่อเดือนของสินค้า i (พาเลท)

P_i = ความถี่การหยิบสินค้าออกจากคลังต่อเดือนของสินค้า i (พาเลท)

E_{ij} = ระยะทางในการเคลื่อนที่ต่อเดือนของสินค้า i จากประตูไปยังโซน j (กิโลเมตร)

Q_i = ความต้องการพื้นที่จัดเก็บสินค้าต่อเดือนของสินค้า i (พาเลท)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

X_{ij} = ตัวแปรตัดสินใจของสินค้า i ที่ได้รับเลือกวางสินค้าในโซน j

$$\text{Binary} \begin{cases} 1 \text{ ยอมรับผลิตภัณฑ์ } i \text{ เก็บในโซน } j \\ 0 \text{ ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ } i \text{ เก็บในโซน } j \end{cases}$$

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

มีจุดประสงค์เพื่อหาระยะทางรวมที่น้อยที่สุดในการหยิบสินค้า i ต่อใบเอกสารคำสั่งซื้อในโซน j

$$\min Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J E_{ij} x_{ij} (R_i + P_i)$$

ข้อจำกัดหรือเงื่อนไข (Constraints)

1) ผลรวมในการเลือกวางสินค้า i และโซน j ทั้งหมด จะต้อง มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 โซน โดยการกำหนดโซน j จำนวน

25 โชน สามารถปรับเปลี่ยนได้จำนวนโชนการวางสินค้าตามขนาดของคลังสินค้าแต่ละบริษัท ดังสมการที่ 1

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} \leq 25 \quad (1)$$

2) ผลรวมทั้งหมดของสินค้า i ที่ได้รับเลือกวางสินค้าในโชน j จะต้องมีค่าเท่ากับความต้องการพื้นที่จัดเก็บสินค้าของสินค้า i ดังสมการที่ 2

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = q_i \quad (2)$$

3) สินค้า i ที่ได้รับเลือกวางสินค้าในโชน j เมื่อ 1 ยอมรับผลิตภัณฑ์ i เก็บในโชน j หาก 0 ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ i เก็บในโชน j ดังสมการที่ 3

$$X_{ij} = (0,1) \quad (3)$$

4.3) การวิเคราะห์ต้นทุนในการหยิบสินค้าตามเอกสารคำสั่งซื้อ (Order) ณ ตำแหน่งของโชนวางสินค้าภายในคลังสินค้า

ขั้นตอนการคำนวณต้นทุนฐานกิจกรรม [16] มีดังนี้

- 1) การกำหนดกิจกรรมในคลังสินค้า
- 2) คำนวณหาต้นทุนของปัจจัยหรือทรัพยากร ที่ใช้ในกิจกรรมโลจิสติกส์ทั้งหมด
- 3) การนำต้นทุนของทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละด้าน ที่คำนวณได้มากระจายตามแต่ละกิจกรรมตามจำนวนครั้งที่ปฏิบัติงานจริง

4) นำข้อมูลต่าง ๆ จากการเก็บข้อมูลและฝ่ายอื่น ๆ มาคำนวณต้นทุนแต่ละกิจกรรม

5) การเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง และปริมาณงานของแต่ละกิจกรรม

6) การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของกิจกรรม โดยนำต้นทุนรวมของแต่ละกิจกรรมมาหารด้วย ปริมาณการปฏิบัติงานจริง

5) ผลการการวิจัย

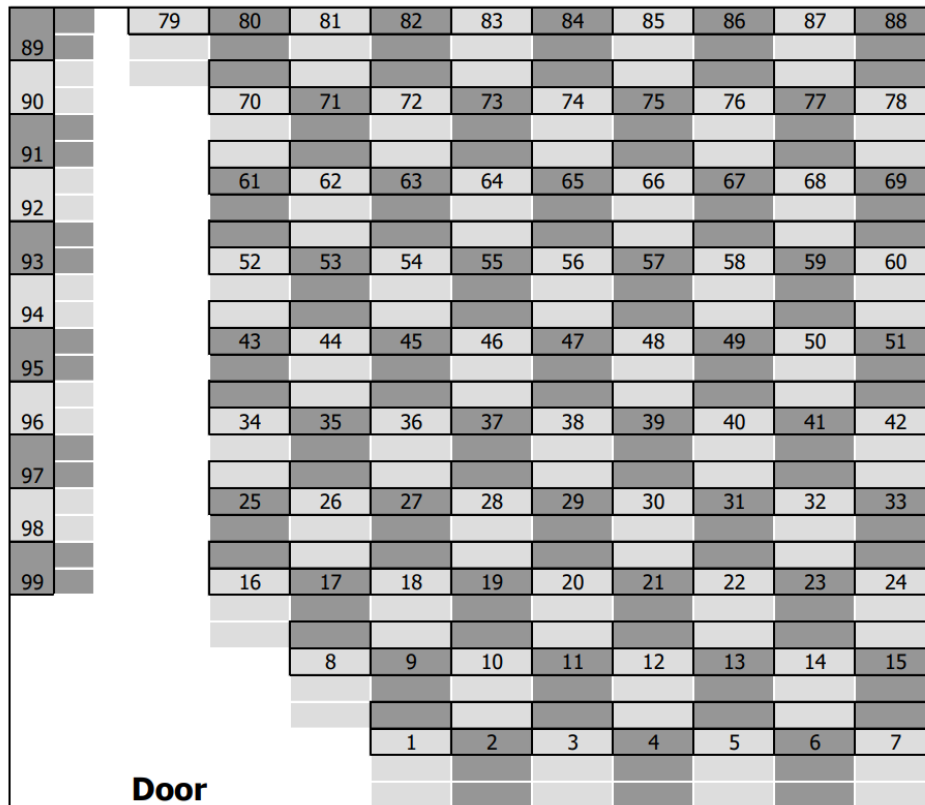
ในงานวิจัยครั้งนี้จะจำลองสถานการณ์การวางตำแหน่งสินค้า ปัจจุบันเปรียบเทียบการวางตำแหน่งสินค้าโดยใช้หลักการ ABC Analysis ร่วมกับหลักการของตัวแบบการใช้โปรแกรมเชิงเส้น เพื่อนำไปสู่การหาตำแหน่งที่วางสินค้าภายในคลังสินค้าให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

5.1) การวิเคราะห์แนวทางในการเลือกวางตำแหน่งสินค้าในคลังสินค้าโดยใช้หลักการของตัวแบบการใช้โปรแกรมเชิงเส้น

การแบ่งโชนแผนผังคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา สามารถแบ่งโชนได้ทั้งหมด 99 โชน ดังรูปที่ 4 และระยะทางการหยิบสินค้าในแต่ละโชน ดังตารางที่ 1 รวมทั้งปริมาณการเคลื่อนไหวสินค้าในแต่ละเดือน ดังตารางที่ 2 โดยข้อมูลจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งการวางสินค้าภายในคลังสินค้าที่เหมาะสม ทำให้ระยะทางการหยิบสินค้าต่อเดือนสั้นที่สุด

ตารางที่ 1 : แสดงระยะทางต่อกิโลเมตรในการเดินไป-กลับหยิบสินค้าแต่ละประเภท (โชน)

E_{ij}	Product							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
2	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031
3	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
4	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044
5	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051	0.0051
6	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057
7	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063
8	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018
9	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037
10	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043
.
.
.
99	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030



รูปที่ 4 : แสดงการแบ่งโซนแผนผังคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา

ตารางที่ 2 : แสดงปริมาณการเคลื่อนไหวรายการสินค้าแต่ละประเภท

สินค้า (i)	ความต้องการพื้นที่ในคลังพาเลทต่อเดือน (q _i)	จำนวนพาเลทที่รับเข้าคลังต่อเดือน (R _i)	จำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือน (P _i)
M1	16	218	273
M2	28	196	245
M3	4	189	236
M4	13	104	130
M5	3	54	68
M6	5	98	123
M7	4	28	35
M8	2	63	79

แหล่งที่มา : คลังสินค้ากรม บริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด

ในการทดสอบสมการที่กล่าวมาข้างต้น นำมาคำนวณบนโซลเวอร์ โปรแกรมแอด-อินในเอ็กเซล ทางผู้วิจัยจึงได้จำลองการหยิบสินค้าจำนวน 8 รายการจากสินค้าทั้งหมด 18 รายการ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสินค้าเอและบี คิดเป็นสัดส่วน 44.44% ของจำนวนสินค้าทั้งหมด โดยมีสัดส่วนของยอดขายเท่ากับ 94.75% ของยอดขายสินค้าทั้งหมด และโซน จำนวน 25 โซนจากโซน

ทั้งหมด 99 โซน คิดเป็นสัดส่วน 25.25% ของพื้นที่ภายในคลังสินค้า ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการใช้พื้นที่วางสินค้ากลุ่มเอและบีในคลังสินค้า ทำให้สามารถใช้ประโยชน์สำหรับพื้นที่ภายในคลังสินค้าให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด โดยไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ทั้งหมด 99 โซนในการคำนวณครั้งนี้ จากนั้นจะกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณบนโซลเวอร์ (Solver Parameters V2020) โปรแกรมแอด-อิน ในเอ็กเซล เพื่อทำการหาระยะทางรวมต่อเดือนในหยิบสินค้า (หน่วย : พาเลท) ตามใบเอกสารคำสั่งซื้อออกจากคลังสินค้าที่สั้นที่สุด

ซึ่งผลลัพธ์ระยะทางในการหยิบสินค้าต่อใบเอกสารคำสั่งซื้อที่สั้นที่สุด มีค่า 37.1362 กิโลเมตรต่อเดือนสำหรับระยะทางรวมต่อการหยิบสินค้า 1 ชั้น ซึ่งในคลังสินค้ามทรมมีจำนวน 3 ชั้น มีระยะทางรวมในการหยิบสินค้าสำหรับทั้ง 3 ชั้น เท่ากับ 111.4086 กิโลเมตรต่อเดือน ที่คำนวณได้จากการรันในโซลเวอร์ โปรแกรมแอด-อิน ของเอ็กเซลตามสมการ พบว่าตำแหน่งในการวางสินค้าแต่ละโซนของทั้ง 3 ชั้นเป็นตำแหน่งโซนเดียวกัน และแสดงผลการเลือกโซนสินค้าที่ทำให้ได้ระยะทางในการหยิบสินค้าต่อใบเอกสารคำสั่งซื้อที่สั้นที่สุด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 : แสดงการเลือกตำแหน่งของโชนในการวางสินค้า 8 รายการ (To-Be)

X_{ij}	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
X ₁	1	0	0	0	0	0	0	0
X ₂	1	0	0	0	0	0	0	0
X ₃	1	0	0	0	0	0	0	0
X ₄	0	1	0	0	0	0	0	0
X ₅	0	1	0	0	0	0	0	0
X ₆	0	0	0	1	0	0	0	0
X ₇	0	0	0	0	0	1	0	0
X ₈	1	0	0	0	0	0	0	0
X ₉	0	1	0	0	0	0	0	0
X ₁₀	0	1	0	0	0	0	0	0
X ₁₁	0	1	0	0	0	0	0	0
X ₁₂	0	0	0	1	0	0	0	0
X ₁₃	0	0	0	1	0	0	0	0
X ₁₄	0	0	0	0	0	0	0	1
X ₁₅	0	0	0	0	0	0	1	0
X ₁₆	1	0	0	0	0	0	0	0
X ₁₇	0	1	0	0	0	0	0	0
X ₁₈	0	1	0	0	0	0	0	0
X ₁₉	0	1	0	0	0	0	0	0
X ₂₀	0	0	1	0	0	0	0	0
X ₂₁	0	0	0	1	0	0	0	0
X ₂₂	0	0	0	0	0	1	0	0
X ₂₃	0	0	0	0	1	0	0	0
X ₂₄	0	0	0	0	0	0	0	0
X ₂₅	0	1	0	0	0	0	0	0
q_i	5	9	1	4	1	2	1	1



รูปที่ 5 : แสดงแนวทางการเลือกตำแหน่งของโชนในการวางสินค้า 8 รายการภายในคลัง (To-Be)

เพื่อความเข้าใจทางผู้วิจัยขอให้นำค่าที่ได้มาลงแผนผังคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ดังรูปที่ 6

5.2) เปรียบเทียบการเลือกตำแหน่งของโซนในการวางสินค้าภายในคลังสินค้า ณ ปัจจุบัน (AS-IS) กับแนวทางการเลือกตำแหน่งของโซนในการวางสินค้าภายในคลังสินค้า (To-Be)

ระยะทางรวมในการหยิบสินค้าในแต่ละโซนตามเอกสารใบสั่งซื้อ ณ ปัจจุบัน (AS-IS) เท่ากับ 47.9406 กิโลเมตรต่อเดือน สำหรับระยะทางรวมต่อการหยิบสินค้า 1 ชั้น ซึ่งในคลังสินค้ามทกรรมมีจำนวน 3 ชั้น มีระยะทางรวมในการหยิบสินค้าสำหรับ

ทั้ง 3 ชั้น เท่ากับ 143.8218 กิโลเมตรต่อเดือน โดยการวางสินค้าภายในคลังสินค้าใหม่ (To-Be) จะมีระยะทางรวมในการหยิบสินค้าในแต่ละโซนตามเอกสารใบสั่งซื้อ เท่ากับ 37.1362 กิโลเมตรต่อเดือนสำหรับระยะทางรวมต่อการหยิบสินค้า 1 ชั้น ซึ่งในคลังสินค้ามทกรรมมีจำนวน 3 ชั้น มีระยะทางรวมในการหยิบสินค้าสำหรับทั้ง 3 ชั้น เท่ากับ 111.4086 กิโลเมตรต่อเดือน สามารถลดระยะทางรวมในการหยิบสินค้าตามเอกสารใบสั่งซื้อประมาณ 22.54% ของระยะทางรวมในการหยิบสินค้าต่อเดือน ดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6

Door	25								
	16 M5	17 M6	18 M4	19 M2	20 M2	21 M2	22 M1	23 M1	24 M1
		8 M4	9 M4	10 M4	11 M2	12 M2	13 M2	14 M1	15 M1
			1 M7	2 M8	3 M6	4 M3	5 M2	6 M2	7 M2

รูปที่ 6 : แสดงตำแหน่งของโซนในการวางสินค้า 8 รายการภายในคลัง ณ ปัจจุบัน (AS-IS)

5.3) เปรียบเทียบการวิเคราะห์การเลือกตำแหน่งของโซนในการวางสินค้าภายในคลังสินค้าเมื่อยอดขายเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis)

โดยจะจำลองสถานการณ์เมื่อยอดขายสินค้ามีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเลือกสินค้าในกลุ่ม A คือ M1, M2, M3 ที่มียอดขายมากที่สุด รวมทั้งมีการเคลื่อนไหวมากที่สุดเช่นกัน ดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5 เมื่อเทียบกับสินค้าประเภทอื่น

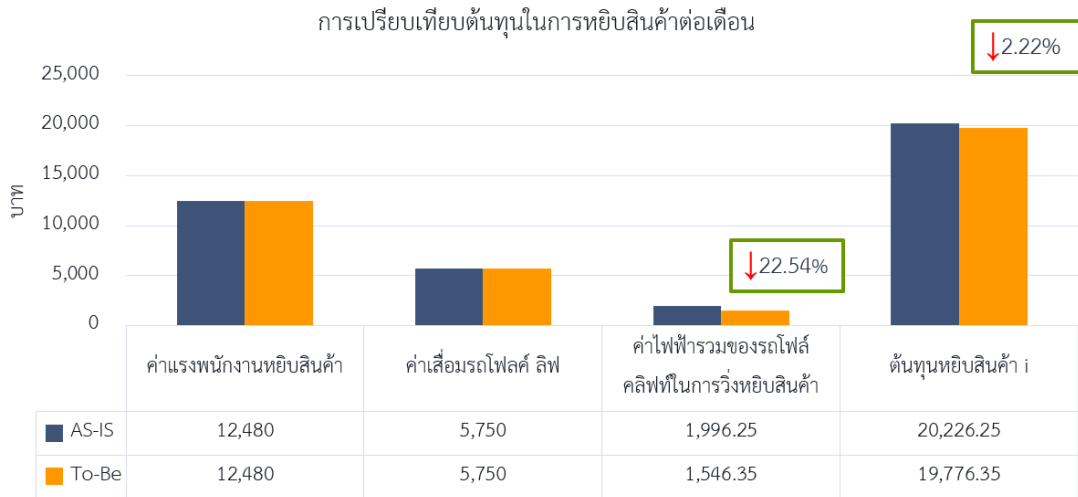
ตารางที่ 4 : แสดงการเปลี่ยนแปลงของยอดขายเพิ่มขึ้น 5% และลดลง 5% ของจำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือน

สินค้า	ความต้องการพื้นที่ในคลังพาเลทต่อเดือน (q_i)	จำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือนเพิ่มขึ้น 5%	จำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือนลดลง 5%
M1	16	287	259
M2	28	258	233
M3	4	248	224

ตารางที่ 5 : แสดงการเปลี่ยนแปลงของยอดขายเพิ่มขึ้น 10% และลดลง 10% ของจำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือน

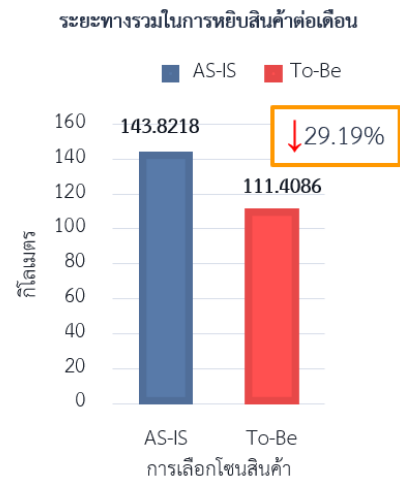
สินค้า	ความต้องการพื้นที่ในคลังพาเลทต่อเดือน (q_i)	จำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือนเพิ่มขึ้น 10%	จำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือนลดลง 10%
M1	16	303	246
M2	28	272	221
M3	4	262	212

จากการทดลองเมื่อมียอดขายของจำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือนเปลี่ยนแปลงไป โดยทำการคำนวณบนโซลเวอร์พบว่า การเลือกตำแหน่งของสินค้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ยังคงเป็นตำแหน่งเดิม ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงยอดขายเพิ่มขึ้นหรือลดลง ไม่เกิน 10% ของจำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือน ทางบริษัทไม่ต้องการปรับปรุงพื้นที่ในการวางสินค้าใหม่ เนื่องจากไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานภายในคลังสินค้า

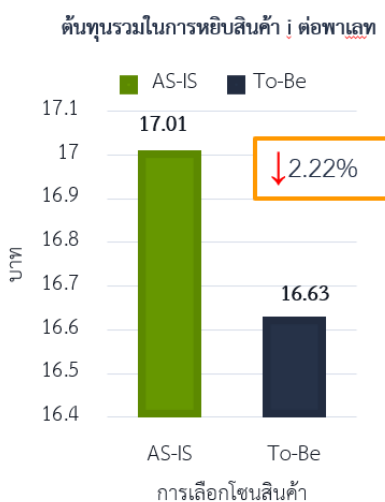


รูปที่ 7 : แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการหีบสินค้ารวมต่อเดือนตามการเลือกสินค้า AS-IS กับ To-Be (หน่วย : บาท)

เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนการหีบสินค้ารวมต่อเดือน ตามการเลือกสินค้า ณ ปัจจุบัน (AS-IS) กับตามแนวทางการเลือกสินค้าใหม่ (To-Be) พบว่า ค่าแรงพนักงานหีบสินค้ากับค่าเสื่อมรถโพล์คลิฟท์คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางการหีบสินค้ารวมในแต่ละเดือน สำหรับค่าใช้จ่ายที่ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางการหีบรวมในแต่ละเดือน คือ ต้นทุนค่าไฟฟ้าสำหรับรถโพล์คลิฟท์ในการวิ่งหีบสินค้า สามารถลดค่าไฟฟ้าของโพล์คลิฟท์ในการวิ่งหีบสินค้าทั้งหมดต่อเดือน คิดเป็น 22.54% ดังรูปที่ 7 และ 8 โดยลดระยะทางรวมในการหีบสินค้าต่อเดือน คิดเป็น 29.19% ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 : แสดงการเปรียบเทียบระยะทางรวมในการหีบสินค้าต่อเดือนตามการเลือกสินค้า AS-IS กับ To-Be



รูปที่ 8 : แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนรวมในการหีบสินค้าต่อพลาเททตามการเลือกสินค้า AS-IS กับ To-Be

สามารถลดระยะทางรวมในการหีบสินค้าต่อคำสั่งซื้อได้ 22.54% ของระยะทางรวมในการหีบสินค้าตามคำสั่งซื้อต่อเดือนโดยพื้นที่ภายในคลังสินค้าใช้พื้นที่ทั้งหมด 1,941 ตารางเมตร ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายการใช้พื้นที่ภายในคลังสินค้าเท่ากับ 262,035 บาทต่อเดือน เมื่อเทียบการปรับปรุงการวางตำแหน่งของสินค้าใหม่ (To-Be) ซึ่งใช้พื้นที่ในการวางสินค้ากลุ่มเอและบี จะมีการใช้พื้นที่ 25.25% ของค่าใช้จ่ายพื้นที่ภายในคลังสินค้าทั้งหมด คิดเป็น 490.1025 ตารางเมตร มีค่าใช้จ่ายการใช้พื้นที่ภายในคลังสินค้าเท่ากับ 66,163.84 บาทต่อเดือนพบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายการใช้พื้นที่ทั้งหมดได้ 195,871.16 บาท หรือ คิดเป็น 74.75% ของค่าใช้จ่ายพื้นที่ภายในคลังสินค้าทั้งหมด

6) สรุปการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงการจัดพื้นที่วางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้ามาทกรรมของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อการแก้ปัญหาในพื้นที่จัดวางสินค้าไม่เหมาะสมของงานวิจัยนี้ โดยใช้หลักการ ABC Classification ในการจัดความสำคัญของสินค้าร่วมกับหลักการตัวแบบการใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม และสินค้าที่มีปริมาณการเคลื่อนไหวบ่อยควรวางบริเวณใกล้ประตู ผลการวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่ารูปแบบการวางตำแหน่งสินค้าในคลังสินค้า ณ ปัจจุบัน (AS-IS) ระยะทางรวมในการหยิบสินค้าเอกสารใบสั่งซื้อ 143.8218 กิโลเมตรต่อเดือน และรูปแบบการปรับปรุงตำแหน่งสินค้าในคลัง (To-Be) ระยะทางรวมในการหยิบสินค้าตามเอกสารใบสั่งซื้อ เท่ากับ 111.4086 กิโลเมตรต่อเดือน สามารถลดระยะทางรวมในการหยิบสินค้าตามเอกสารใบสั่งซื้อ ประมาณ 22.54% และเมื่อมียอดขายที่เปลี่ยนแปลงไป เพิ่มขึ้นหรือลดลง ไม่เกิน 10% ของจำนวนพาเลทที่ออกจากคลังต่อเดือน การวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้าแบบปรับปรุงแล้ว (To-Be) ยังสามารถใช้ได้โดยที่ทางบริษัทกรณีศึกษาไม่ต้องทำการจัดพื้นที่ของคลังสินค้าใหม่ โดยต้นทุนรวมในการหยิบสินค้าต่อเดือนตามเอกสารคำสั่งซื้อจากการวางตำแหน่งสินค้าใหม่ต่ำกว่าต้นทุนรวมในการหยิบสินค้าต่อเดือนตามเอกสารคำสั่งซื้อจากการวางตำแหน่งสินค้า ณ ปัจจุบัน 2.22% ของต้นทุนรวมในการหยิบสินค้าต่อเดือน เมื่อเทียบค่าไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าลิฟท์ในการวิ่งหยิบสินค้าทั้งหมดต่อเดือน ตามแนวทางการเลือกสินค้าใหม่ (To-Be) สามารถลดค่าไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าลิฟท์ในการวิ่งหยิบสินค้าทั้งหมดต่อเดือน คิดเป็น 22.54% ของค่าไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าลิฟท์ในการวิ่งหยิบสินค้าทั้งหมดต่อเดือน

7) ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการฝึกอบรมและสร้างความเข้าใจให้ผู้ปฏิบัติงานหลังจากมีการปรับปรุงตำแหน่งวางสินค้าในคลัง ให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงครั้งนี้
2. ควรมีระบบการจัดการคลังสินค้า (WMS) ที่เหมาะสมกับบริษัท เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานในคลังสินค้าให้มากขึ้น
3. ควรมีการใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศ (IT) เช่น บาร์โค้ด (Barcode) หรือ ระบบอาร์เอฟไอดี (RFID) เข้ามาช่วยบริหารจัดการสินค้าภายในคลังสินค้า เพื่อช่วยในการหยิบสินค้าแต่ละ

คำสั่งซื้อให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งช่วยในการระบุตำแหน่งของสินค้าในแต่ละโซน

4. การศึกษาครั้งต่อไปอาจจะต้องมีการศึกษาสินค้าชนิดอื่นร่วมด้วย เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลไปใช้กับคลังสินค้าประเภทอื่นได้ เนื่องจากในการศึกษารั้งนี้ เป็นเพียงการศึกษาการวางตำแหน่งสินค้าชนิดเดียวเท่านั้น ไม่ได้ศึกษาสินค้าชนิดอื่นร่วมด้วย

5. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เรื่องการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ในการหยิบสินค้าภายในคลังสินค้า นำมาใช้ร่วมกับการเลือกตำแหน่งของโซนสินค้าที่เหมาะสมที่สุด ส่งผลทำให้ระยะเวลาการดำเนินงานภายในคลังสินค้ามีประสิทธิภาพขึ้น

REFERENCES

- [1] C. Monthatipku. (2009). Warehouse management (in Thai). [Online]. Available: http://www.pnkreis.com/images/column_1293076041/warehousemgt%201.pdf
- [2] V. Rakesh and G. K. Adil, "Layout optimization of a three dimensional order picking warehouse," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 1155–1160, 2015.
- [3] N. Chaladyam, P. Chusorn, and Y. Tongprasit. (2005). ABC Analysis (in Thai). [Online]. Available: http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_15_.pdf
- [4] W. Watthananukul, *IT Logistics Management*. Bangkok, Thailand: SE-Education (in Thai), 2009, pp. 1–194.
- [5] M. Baudin, *Lean Logistics: The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods*. New York, NY, USA: Productivity Press, 2005, pp. 1–30.
- [6] F. C. Garcia. (2003). Applying Lean Concepts in a Warehouse Operation. [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.4808&rep=rep1&type=pdf>
- [7] R. Pisuchpen. (2020). Operations Research 1 (in Thai). Available: <https://edufarm.ku.ac.th/course/info.php?id=389&lang=th>
- [8] A. Ritvirool, *Linear programming and integer programming and their applications in agro-industry*. Bangkok, Thailand: Aksorn Sobhon (in Thai), 2012, pp. 1–203.
- [9] T. Kivi, "Implementing Activity-based Costing: Consequences of Accounting's Role; a Warehouse Company Case," M.S. thesis, Dept. Accounting and Control, Åbo Akademi Univ., Turku, Finland, 2020. [Online]. Available: <https://www.doria.fi/handle/10024/176904>



- [10] P. Setsathien and K. Kredphon, "Increasing efficiency of warehouse management," (in Thai), *Rajabhat Rambhai Barni Res. J.*, vol. 13, no. 2, pp. 65–72, 2019. [Online]. Available: <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/RRBR/article/view/208158/144355>
- [11] W. Chuanpent, "The layout design of finished goods in warehouse by ABC analysis case study of AAA Company Ltd.," (in Thai), M.S. thesis, Dept. Logistics and Supply Chain Manage., Sripatum Univ., Bangkok, Thailand, 2017. [Online]. Available: <https://shorturl.asia/ZALit>
- [12] I. Sansampankul, "Planning in advance for determine appropriate location for product in the warehouse canned foods industry case study," (in Thai), M.S. thesis, Dept. Logistics and Supply Chain Manage., King Mongkut's Univ. Technol. Thonburi, Bangkok, Thailand, 2019.
- [13] V. Netaumporn, "The improvement of storage location for raw material warehouse: A case study of Nippon Express Nec Logistics (Thailand) Co., Ltd.," (in Thai), M.S. thesis, Dept. Logistics and Supply Chain Manage., Burapha Univ., Chon Buri, Thailand, 2016. [Online]. Available: http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/57920035.pdf
- [14] W. Karakam, "Approach of warehouse storage management layout for ABC Company Ltd.," (in Thai), M.S. thesis, Dept. Logistics and Supply Chain Manage., Burapha Univ., Chon Buri, Thailand, 2016. [Online]. Available: http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/57750027.pdf
- [15] M. Srikan, "Efficiency improvedment of location assignment of products in a warehouse: A case study of Srithai Superware Public Company Limited, Suksawad Branch," (in Thai), M.S. thesis, Dept. Logistics Manage., King Mongkut's Univ. Technol. Thonburi, Bangkok, Thailand, 2012. [Online]. Available: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_Doi=10.14457/KMUTT.the.2012.8
- [16] Pongsawan. "Activity Based Costing." (in Thai). WORDPRESS. com. <https://shorturl.asia/v836s> (accessed Jun. 1, 2021).

การปรับปรุงผังโรงงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษาผู้ผลิตคอมพิวเตอร์

ปฐมพงษ์ หอมศรี*

*วุฒิวิศวกรอุตสาหกรรมและผู้ตรวจสอบอาคาร บริษัท เอสพีพี ดีไซน์ แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด, ชลบุรี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล: sppdesignandengineering@gmail.com

รับต้นฉบับ: 11 มิถุนายน 2564; รับบทความฉบับแก้ไข: 18 กรกฎาคม 2564; ตอรับบทความ: 17 สิงหาคม 2564

เผยแพร่ออนไลน์: 13 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงผังโรงงานและกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานผลิตคอมพิวเตอร์เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง เนื่องจากกระยะทางและเวลาในการขนย้ายวัสดุเป็นเวลานาน มีขั้นตอนที่เป็นคอขวดในกระบวนการทำให้เกิดความสูญเปล่าเนื่องจากการรอคอย การวิจัยเริ่มศึกษาตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการและปัญหาของโรงงานตัวอย่าง โดยใช้การวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของแต่ละแผนก เช่น ระยะทางและเวลาในการขนย้ายวัสดุรอบเวลาการผลิต และรอบเวลาความต้องการของลูกค้าเพื่อจัดสมดุลสายการประกอบในแผนกประกอบ จากนั้นออกแบบและวางผังโรงงาน ปรับชั้นการทำงานและสมดุลสายการประกอบใหม่ ผลที่ได้จากการปรับปรุงโรงงานในครั้งนี้พบว่าสามารถลดระยะทางและเวลาในการขนย้ายวัสดุลงได้ 33 เมตร คิดเป็น 27.04% และลดเวลาลงได้ 43 นาที คิดเป็น 24.57% ตามลำดับ และผลการปรับปรุงการจัดสมดุลสายการประกอบ โดยใช้หลักการ ECRS พบว่าสามารถลดรอบเวลารวมขั้นตอนการประกอบขึ้นส่วนลงจากเดิม 64.08 วินาที เป็น 61.36 วินาที เป็นเวลาที่ลดลง 2.72 วินาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 4.24% อัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 2,234 ชิ้นต่อวัน เป็น 3,037 ชิ้นต่อวัน เป็นจำนวนชิ้นที่เพิ่มขึ้น 803 ชิ้นต่อวัน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น 35.94% และสามารถลดจำนวนพนักงานลงได้ 2 คน จากจำนวนพนักงาน 10 คน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 25% ทำให้โรงงานแห่งนี้สามารถรองรับกับปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตเป็นอย่างดี

คำสำคัญ : การเพิ่มผลผลิต การออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ การจัดสมดุลสายการประกอบ



A Plant Layout Improvement to Increasing Productivity: A Case Study Downlight Manufacturer

Patomphong Homsri*

*Senior Professional Engineer and Building Inspector, SPP Design and Engineering Co., Ltd., Chon Buri, Thailand

*Corresponding Author. E-mail address: sppdesignandengineering@gmail.com

Received: 11 June 2021; Revised: 18 July 2021; Accepted: 17 August 2021

Published online: 13 December 2021

Abstract

The purpose of the study is to improve factory's layout and production process, leading to the more effective processes of downlight lamp and to reduce cost. Because of the long distance and duration of transferring materials, the bottleneck process caused the delay. The study covers the analysis of the sample factory's need and problems, using systematic layout planning, collecting fundamental information of each department such as duration and distance for transferring materials, cycle of customers' needs for balancing assembly line, designing and setting out the factory, and adjusting the process and balance of assembly lines. The consequences of improving the factory reveal the reduced distance in transferring materials by 33 meters or 27.04% and the reduced duration by 43 minutes or 24.57% accordingly. Moreover, the results of improvement in balancing assembly line by using ECRS show the reduction of cycle time in assembly lines by 64.08 seconds to 61.36 seconds, total of reduced cycle time is 2.7 seconds or 4.24%. The productivity has been increased from 2,234 to 3,037 per day. The total increased output is 803 pieces or 35.94% per day and reduce 2 from 10 workers or 25%. These lead to the ability of the factory to support the increasing purchased orders from customers in the future properly.

Keywords: Productivity, Systematic layout planning, Assembly line balancing

1) บทนำ

นับตั้งแต่เกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) อย่างแพร่หลายทั่วโลกส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของผู้คนและทำให้กิจกรรมทางเศรษฐกิจและกิจกรรมการผลิตของประเทศต่าง ๆ นั้นเกิดการหยุดชะงักพร้อมทั้งรายได้และกำลังซื้อที่ลดลงรุนแรงทำให้เกิดการลุกลามเป็นวิกฤติทางเศรษฐกิจทั่วโลก [1] ในสภาวะการณ์แบบนี้สิ่งหนึ่งที่ได้คือผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับการดำเนินงานเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงโดยมีเป้าหมายคือการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการผลิตในองค์กร

สำหรับโคโม่ไฟตาวนไไลท์นั้นได้ถูกจัดอยู่ในประเภทของโคโม่ไฟฟ้าสำหรับใช้ภายในอาคารซึ่งมีด้วยกันหลายประเภท ปัจจุบันมีการแข่งขันกันทั้งด้านราคาและต้นทุนที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นผู้ประกอบการจึงต้องทำการปรับตัวเพื่อให้รอดพ้นจากสภาวะวิกฤตดังกล่าว [2] โรงงานสำหรับกรณีศึกษาในครั้งนี้เป็นโรงงานผลิตโคโม่ไฟตาวนไไลท์ที่มียอดขายโดยเฉลี่ย 50 ล้านบาทต่อปี ซึ่งปัจจุบันโรงงานดังกล่าวมีการจัดผังโรงงานที่ไม่มีประสิทธิภาพทำให้เป็นอุปสรรคในการไหลของวัสดุที่ไม่ไหลลื่น กล่าวคือการจัดวางกระบวนการต่าง ๆ ยังเป็นอุปสรรคและกีดขวางไม่ไหลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ใช้เวลาในการขนย้ายวัสดุเป็นเวลานานระหว่างแผนก ต้นทุนในกระบวนการผลิตสูงและยอดการผลิตต่ำเมื่อเทียบกับคำสั่งซื้อของลูกค้า ด้วยเหตุผลนี้จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการพัฒนาและแก้ไขปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยการลดต้นทุนในกระบวนการลงตามที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการออกแบบผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning, SLP) [3] และการจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing) [4] เพื่อให้การออกแบบผังโรงงานและปรับปรุงกระบวนการผลิตเกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเพื่อลดต้นทุนทำให้สามารถแข่งขันด้านราคากับคู่แข่งในตลาดได้ในอนาคต

2) ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

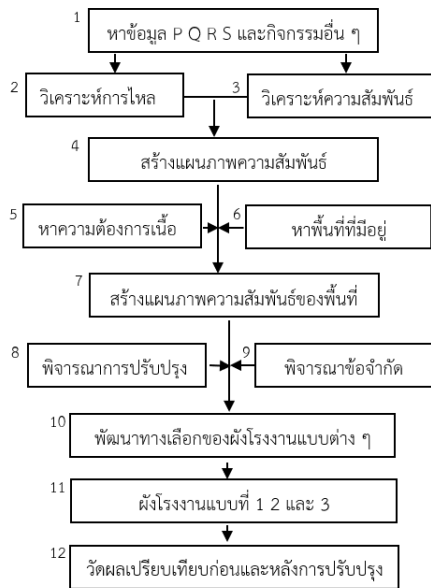
2.1.1) การวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning, SLP) เป็นวิธีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบเพื่อรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นในการผลิตมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพทำได้โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานขั้นต้นที่จำเป็นได้แก่ผลิตภัณฑ์ (Product: P) การพยากรณ์ขาย (Quantity: Q) กรรมวิธีหรือกระบวนการผลิต (Routing: R) สิ่งสนับสนุนการผลิต

(Supporting Service: S) และเวลาที่ใช้ในการผลิต (Time: T) จากนั้นทำการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของวัสดุ (Material Flow) ที่สัมพันธ์กัน แล้วลงบันทึกในแบบฟอร์มแผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) ของกิจกรรมต่าง ๆ กิจกรรมใดมีลักษณะการทำงานที่ต้องติดต่อกันบ่อยครั้ง จะมีความสำคัญมากกว่าความสัมพันธ์พื้นฐานเฉพาะการไหลของวัสดุแต่เพียงอย่างเดียว จากนั้นก็เปลี่ยนเป็นแผนภูมิเป็นรูปสัญลักษณ์แทนโดยเขียนในรูปของแผนภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรม (Relationship Diagram) จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ที่ต้องการโดยสมดุลกับพื้นที่ที่หาได้ แล้วนำรูปลักษณะพื้นที่ดังกล่าวมาเขียนแทนสัญลักษณ์เดิมเพื่อสร้างเป็นแผนภาพความสัมพันธ์ของพื้นที่ (Space Relationship Diagram) หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนตำแหน่งของแผนภาพความสัมพันธ์ของพื้นที่ ภายใต้ปัจจัยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ และข้อจำกัดเชิงปฏิบัติ เพื่อให้เหมาะสมกับอาคารโรงงาน การจัดเปลี่ยนตำแหน่งสามารถทำให้มีทางเลือกการวางผังตามแผนงานได้หลาย ๆ แบบ แล้วทำการประเมินผลในเชิงของต้นทุนและองค์ประกอบการพิจารณาที่สามารถพิสูจน์ได้เพื่อให้ได้มาซึ่งการวางผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุด และทำการวัดผลเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการปรับปรุง [5] ดังรูปที่ 1

2.1.2) การจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing) เป็นการจัดการงานให้กับสถานีงานต่าง ๆ ภายในโรงงานที่มีกระบวนการผลิตที่ต่อเนื่องกันตลอดสายการผลิต เพื่อให้ภาระงานในแต่ละสถานีมีความสมดุลกัน คือให้มีเวลามาตรฐานในการทำงานของแต่ละสถานีงานมีความใกล้เคียงกันหรือเท่า ๆ กัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดขั้นตอนบางขั้นตอนหรือจำนวนสถานีงานที่ไม่จำเป็นรวมหรือผนวกเข้าไว้กับขั้นตอนหรือสถานีงานที่มีความคล้ายกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในการจัดสมดุลสายการประกอบจะต้องอ้างอิงจากเวลาความต้องการของลูกค้า (Takt Time) และแบ่งรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) ให้มีเวลาใกล้เคียงหรือเท่ากับเวลาความต้องการของลูกค้า และนอกจากนี้แล้วการจัดสมดุลสายการประกอบจะต้องทำให้พนักงานเกิดการรอคอยในกระบวนการผลิตให้น้อยที่สุด

2.1.3) การลดความสูญเปล่าในแผนกประกอบงานโดยใช้หลักการของ ECRS [6] ECRS เป็นหลักการที่ช่วยลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานจากแนวคิดการปรับปรุงการทำงาน 4 แนวทางอันได้แก่ E คือ Eliminate เป็นการกำจัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็น, C คือ Combine เป็นการรวมงานเข้าด้วยกัน,

R คือ Rearrange เป็นการจัดลำดับงานใหม่ และ S คือ Simplify การทำให้วิธีการทำงานนั้นให้ง่ายขึ้น



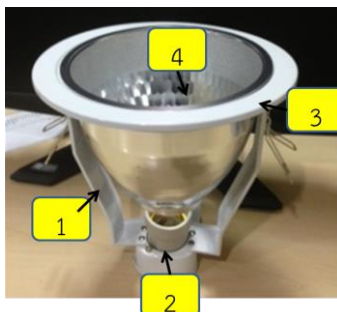
รูปที่ 1 : ขั้นตอนการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ

3) วิธีดำเนินการวิจัย

3.1) การเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของโรงงาน

การเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของโรงงานเพื่อศึกษาสภาพปัญหาที่มีอยู่ในปัจจุบันมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่เลือกมาศึกษาในกระบวนการผลิตมี 2 ผลิตภัณฑ์คือ โคมไฟดาวนไลท์ที่มีขนาด 4 นิ้ว และขนาด 5 นิ้ว โดยมีส่วนประกอบหลักทั้งหมด 4 ส่วนด้วยกันดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 : ส่วนประกอบของโคมไฟดาวนไลท์

1) ขา ทำหน้าที่จับยึดโคมเงา ขั้วหลอดไฟ และฝาวงหน้าเข้าไว้ด้วยกันเพื่อให้ชุดโคมไฟมีความแข็งแรง

2) ขั้วหลอดไฟ ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสไฟฟ้าจากภายนอกเข้าสู่ตัวหลอดจนเกิดปฏิกิริยาให้หลอดติดไฟ

3) ฝาวงหน้า ทำหน้าที่จับยึดเมื่อทำการติดตั้งโคมไฟดาวนไลท์กับฝาเพดาน

4) โคมเงา ทำหน้าที่ให้สะท้อนแสงช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี เพราะยังแสงที่ออกจากหลอดไฟไปสะท้อนกับโคมเงาสูงจะช่วยกระจายแสงได้อย่างทั่วถึงในปริมาณที่เพียงพอกับพื้นที่ที่ติดตั้งโคมไฟดาวนไลท์

3.1.1) ข้อมูลผังโรงงานและแผนกในกระบวนการผลิต การวิจัยนี้ได้แบ่งหน้าที่และพื้นที่ปฏิบัติงานของกระบวนการผลิตแต่ละแผนกเป็น 7 แผนก โดยมีสภาพทั่วไปของโรงงานแต่ละแผนกมีพื้นที่การจัดเรียงที่แตกต่างกันโดยมีการไหลของวัสดุแสดงดังลูกศรโดยเริ่มตั้งแต่คลังวัตถุดิบส่งวัตถุดิบที่เป็นหลักไปยังแผนกตัดชอย เมื่อตัดชอยเสร็จวัตถุดิบส่งต่อไปยังแผนกแผนกอาร์คเพื่อเชื่อมเหล็กให้ติดกันด้วยไฟฟ้าและเมื่อผลิตเสร็จวัตถุดิบก็จะส่งไปยังแผนกพันสีเมื่อพันสีเสร็จแล้วก็จะถูกส่งมายังแผนกประกอบงาน สำหรับชิ้นส่วนที่เป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปก็จะส่งจากคลังวัตถุดิบมาที่แผนกประกอบงาน และเมื่อประกอบงานเสร็จเรียบร้อยก็จะถูกส่งไปยังแผนกจัดเตรียมรอการส่งมอบต่อไป ดังแสดงหน้าที่ของแต่ละแผนกในผังโรงงานก่อนทำการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนี้

1) แผนกคลังวัตถุดิบ ทำหน้าที่จัดเก็บวัตถุดิบเพื่อส่งมอบไปยังแผนกตัดชอย

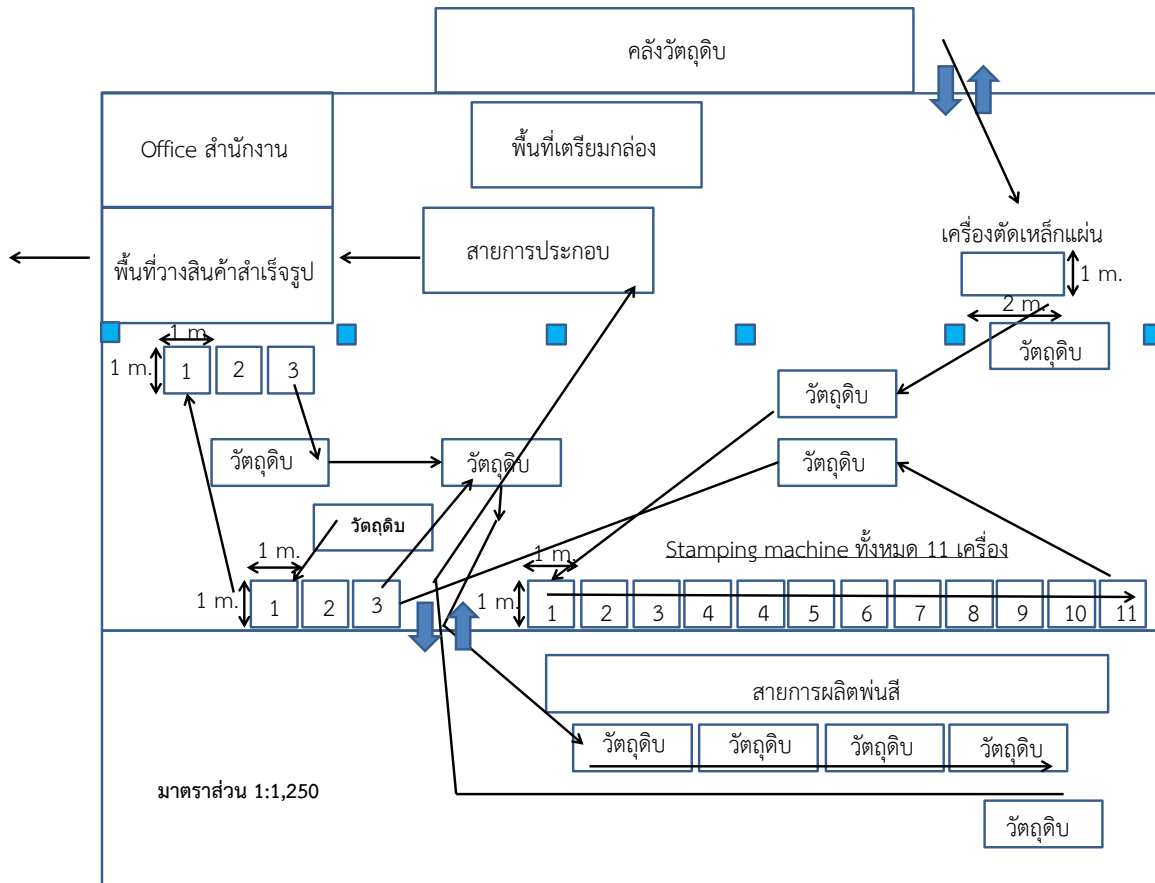
2) แผนกตัดชอย ทำหน้าที่ตัดชอยแผ่นเหล็กตามแบบและขนาดต่าง ๆ แล้วทำการจัดเรียงลงบนพาเลทเพื่อส่งมอบไปยังแผนกขึ้นรูป

3) แผนกอาร์ค ทำหน้าที่เชื่อมชิ้นงานด้วยไฟฟ้าแล้วทำการจัดเรียงลงบนถาดเพื่อส่งไปยังแผนกพันสี

4) แผนกพันสี ทำหน้าที่พันสีให้กับชิ้นงานโดยการแขวนที่ราวพร้อมทั้งพันสีและอบสีเพื่อให้สีแห้งและส่งมอบไปยังแผนกประกอบ

5) แผนกประกอบงาน ทำหน้าที่ประกอบตัวโครงหลอดไฟดาวนไลท์โดยนำวัสดุทั้งจากแผนกพันสีและแผนกคลังวัตถุดิบเข้ามาประกอบเมื่อประกอบเสร็จก็จะส่งมอบไปยังแผนกจัดเตรียมรอการส่งมอบ

6) แผนกจัดเตรียมรอการส่งมอบ ทำหน้าที่จัดเก็บงานสำเร็จรูปสำหรับรอการจัดส่งไปยังลูกค้าต่อไป



รูปที่ 3 : ผังโรงงานและแผนกในกระบวนการผลิต (ก่อนปรับปรุง)

3.1.2) การศึกษากระบวนการผลิต

การศึกษาระบบการผลิตพบว่า มีระยะทางในการขนย้ายชิ้นงานระหว่างแผนกมีระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุยาวและใช้เวลานาน และในส่วนของแผนกประกอบงานมีกระบวนการที่เป็นจุดคอขวดในกระบวนการ

- กระบวนการของแผนกประกอบงาน

1) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิต (Line Efficiency) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 [7]

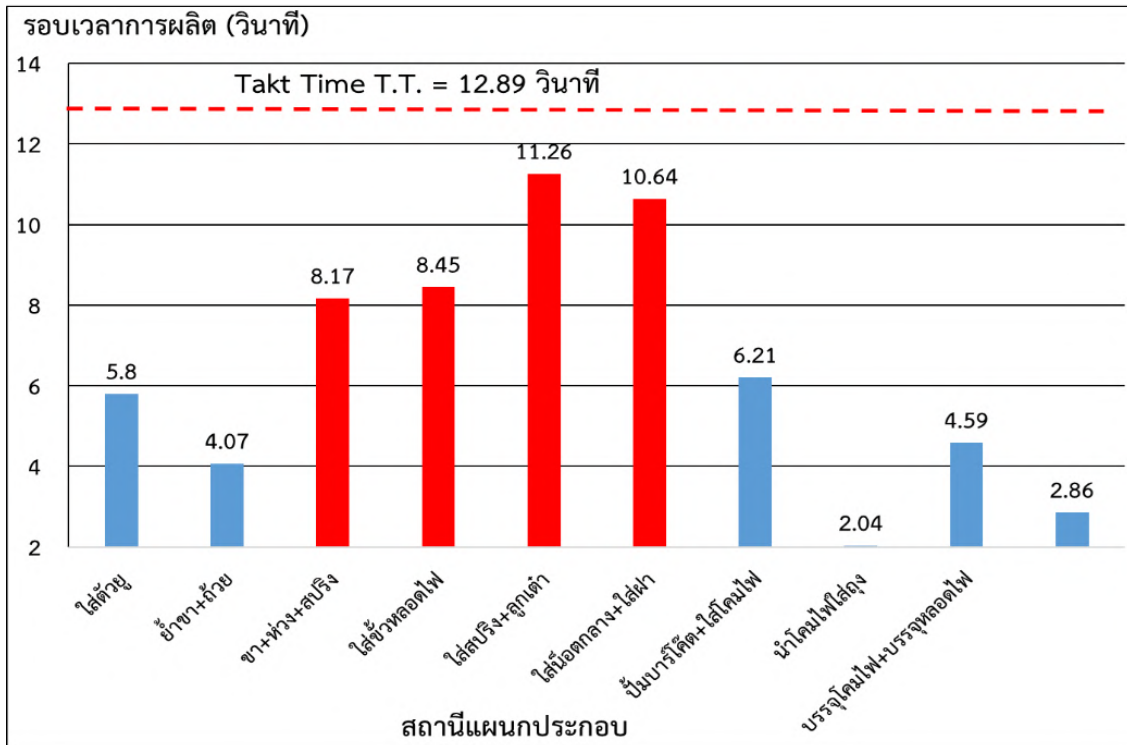
$$E = \left(\sum_{c=1}^n \frac{T_c}{mc} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ E คือประสิทธิภาพการผลิต; m คือ จำนวนสถานีทำงาน; c คือรอบเวลาการผลิตสูงสุด; T_c คือ รอบเวลาการผลิต

2) การคำนวณหารอบเวลาความต้องการของลูกค้า (Takt Time: T.T.) เพื่อเปรียบเทียบกับรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) ของโรงงาน โดยรอบเวลาความต้องการของลูกค้าสามารถหาได้จากเวลาในการผลิตที่มีอยู่สุทธิต่อวันของโรงงานหารด้วยปริมาณสินค้ารวมที่ต้องการต่อวัน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 [8]

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Time}}{\text{Customer Demand}} \quad (2)$$

Available Time คือ เวลาในการผลิตที่มีอยู่สุทธิต่อวันของโรงงาน โดยใน 1 วันทำงาน 8 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 28,000 วินาที Customer Demand คือปริมาณสินค้ารวมที่ต้องการต่อวัน สามารถหาได้จากคำสั่งซื้อของลูกค้าในเดือนนั้นเฉลี่ยอยู่ที่ 58,086 ชิ้นต่อเดือนหารด้วยวันทำงานต่อเดือน 26 วันจะได้ปริมาณสินค้ารวมที่ต้องการต่อวันจำนวน 2,234 ชิ้นต่อวัน



รูปที่ 4 : รอบเวลาการทำงานในขั้นตอนของแผนกประกอบงาน (ก่อนปรับปรุง)

การศึกษาพบว่าในกระบวนการประกอบงานมีประสิทธิภาพสายการผลิต 65.09% ค่ารอบเวลาการผลิตในแต่ละสถานีงานมีความไม่สมดุลกัน ใกล้เคียงกับรอบความต้องการของลูกค้า (Takt Time) ที่มีค่า 12.89 วินาที และสูงกว่าสถานีอื่นในกระบวนการเดียวกัน ผลผลิตต่อเดือนก่อนการปรับปรุงจากการเก็บข้อมูลเฉลี่ย 2,037 ชิ้นต่อวัน และเป้าหมายในปัจจุบันลูกค้าเพิ่มคำสั่งซื้อที่มีความต้องการ 3,021 ชิ้นต่อวัน จึงต้องมีการทำงานล่วงเวลาของพนักงาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น

3.2) การออกแบบผังกระบวนการและการจัดสมดุลสายการผลิต

3.2.1) การออกแบบและวางผังกระบวนการผลิต

ใช้หลักการออกแบบและวางผังโรงงานอย่างมีระบบ ในการออกแบบการจัดการกระบวนการผลิต เช่น การไหลของวัสดุ ตำแหน่งพื้นที่การจัดวางเครื่องจักร ความสัมพันธ์และความถี่ในการขนย้ายวัสดุระหว่างแผนก และการจัดสถานีงานแผนกประกอบ ทำให้การออกแบบผังโรงงานที่เป็นระบบและเป็นมาตรฐานจะช่วย

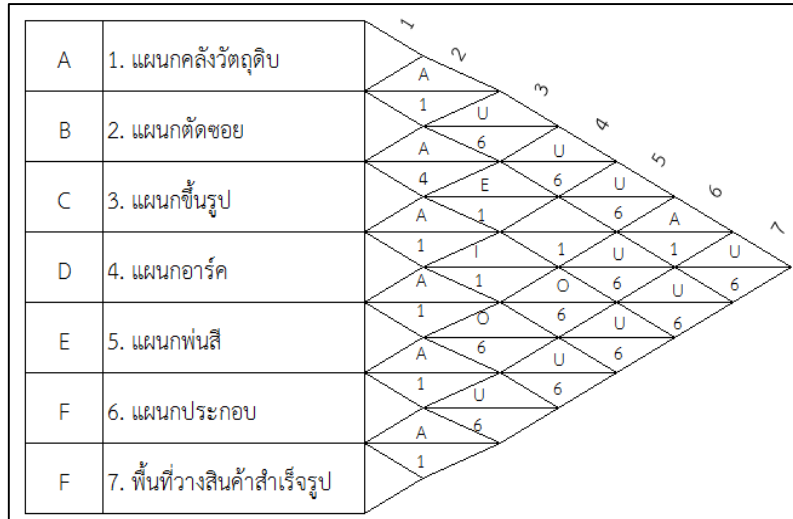
ลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุและเวลาช่วย เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น และช่วยลดต้นทุนด้านการผลิต [9]

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระบวนการผลิตที่ได้จากความสัมพันธ์และความถี่ในการขนย้ายวัสดุและชิ้นงานระหว่างแผนกต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแผนกโดยใช้แผนภูมิความสัมพันธ์และแผนความสัมพันธ์ (Relation Ship Chart and Relationship Diagram) ในการหาจำนวนรวมของความสัมพันธ์ทั้งหมดโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 [7]

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (3)$$

เมื่อ N คือ จำนวนรวมของความสัมพันธ์ทั้งหมด; n คือ จำนวนแผนกทั้งหมด

การคำนวณจะได้รวมของความสัมพันธ์ 21 รหัส ซึ่งใช้ในการออกแบบและแผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรม โดยอาศัยเกณฑ์ในการกำหนดระดับความสัมพันธ์สำหรับการหาความสัมพันธ์ โดยสามารถสร้างความสัมพันธ์ของแผนก/คู่อุปกรณ์เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 : แผนภูมิความสัมพันธ์ของโรงงาน

สามารถหาค่าความสัมพันธ์กันของแต่ละแผนกมากที่สุด มี 7 คู่แผนก คือ 1-2, 1-6, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 และ 6-7 สัมพันธ์กันมาก มี 1 คู่แผนก คือ 2-4 สัมพันธ์กันปานกลางมี 2 คู่ คือ 2-5 และ 3-5 สัมพันธ์กันน้อยมี 2 คู่แผนก คือ 3-6 และ 4-6 และสัมพันธ์กันน้อยที่สุด มี 9 คู่แผนก คือ 1-3, 1-4, 1-5, 1-7, 2-6, 2-7, 3-7, 4-7 และ 5-7 ดังแสดงในตารางที่ 1

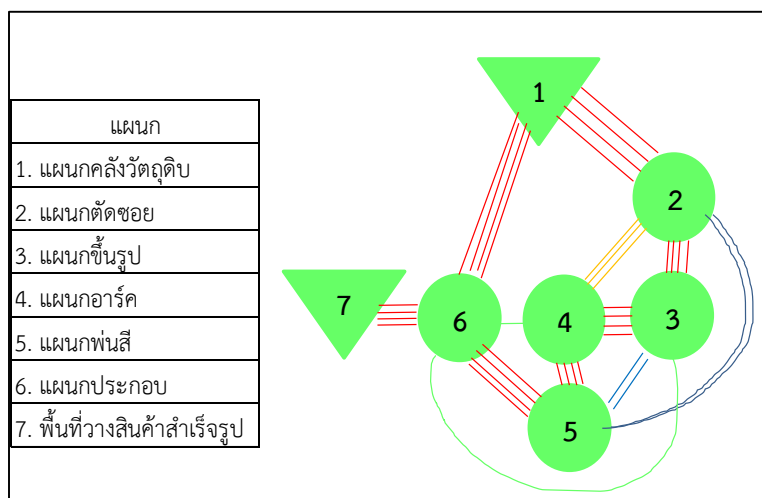
ตารางที่ 1 : เกณฑ์การกำหนดระดับความสัมพันธ์ (ต่อ)

A	E	I	O	U
4-5				2-6
5-6				2-7
6-7				3-7
				4-7
				5-7

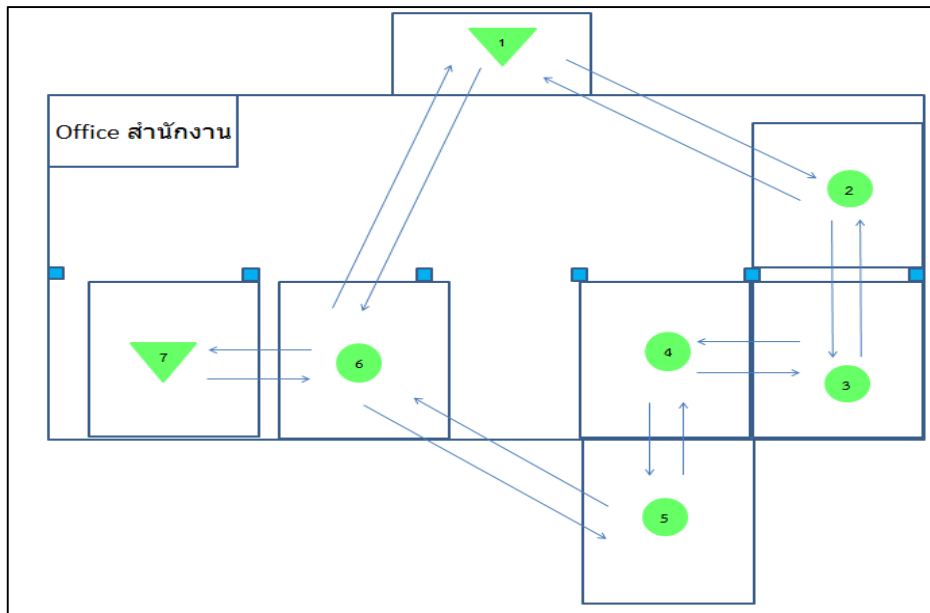
ตารางที่ 1 : เกณฑ์การกำหนดระดับความสัมพันธ์

A	E	I	O	U
1-2	2-4	2-5	3-6	1-3
1-6		3-5	4-6	1-4
2-3				1-5
3-4				1-7

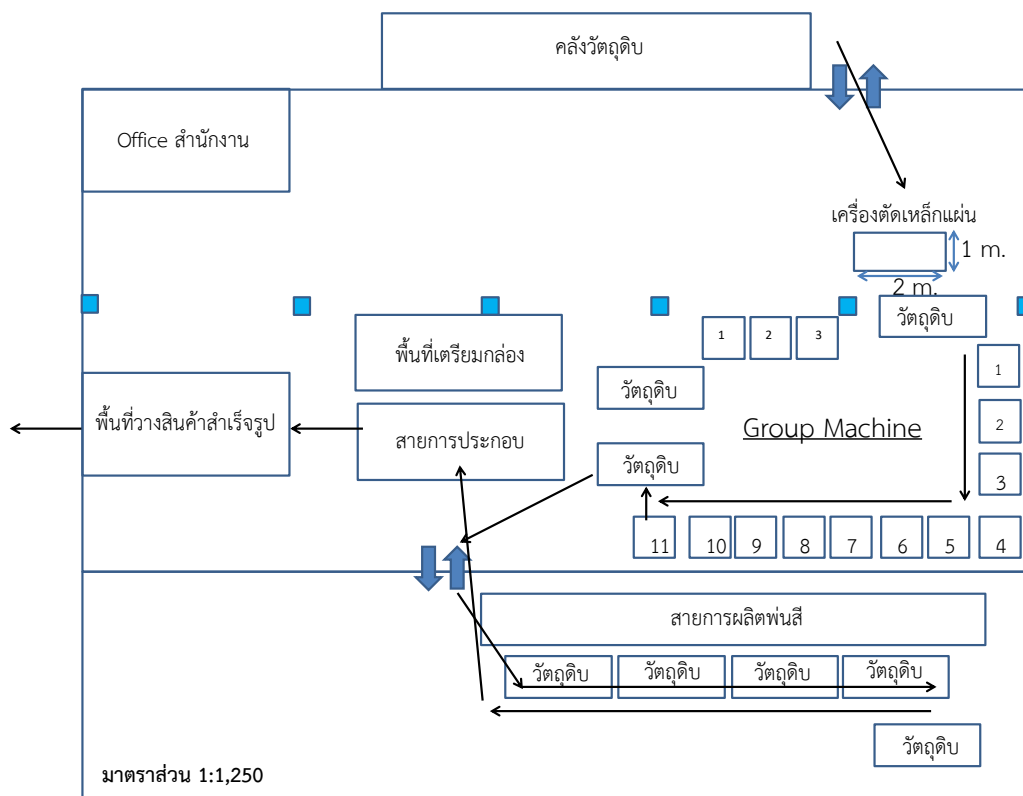
ข้อมูลระดับความสัมพันธ์ของกิจกรรมแต่ละแผนกจะนำไปเขียนแผนผังความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 6 และ 7 โดยใช้สัญลักษณ์ความสัมพันธ์แสดงกิจกรรมในแต่ละแผนกประกอบการเขียนแผนภาพเพื่อนำไปออกแบบผังโรงงานต่อไปดังรูปที่ 8 ที่เป็นผังโรงงานและแผนกในกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง



รูปที่ 6 : แผนผังความสัมพันธ์ A, E, I, O และ U (หลังปรับปรุง)



รูปที่ 7 : แผนผังความสัมพันธ์แผนกในกระบวนการผลิต (หลังปรับปรุง)



รูปที่ 8 : ผังโรงงานและแผนกในกระบวนการผลิต (หลังปรับปรุง)

3.2.2) ปรับปรุงการจัดสมดุลสายการประกอบแผนกประกอบ

การจัดสมดุลสายการประกอบร่วมกับการใช้หลักการ ECRS ได้กำหนดแนวทางในการจัดสายการประกอบไว้ดังนี้

1) การปรับปรุงกระบวนการย่อย (Work Element) โดยการปรับปรุงกระบวนการประกอบใช้หลักการของ ECRS ซึ่งในกระบวนการจะใช้ออกแบบอุปกรณ์ในการทำงานและเพิ่มเครื่องมือเสริม เช่น การใช้สกรูไดรเวอร์ก่อนปรับปรุงเป็นการ

ทำงานโดยใช้มือหมุนสกรูหลังปรับปรุงเป็นการใช้เครื่องทุ่นแรงด้วยไฟฟ้าเพื่อช่วยลดความเมื่อยล้าให้กับพนักงาน และลดเวลาในการปฏิบัติงานรวมทั้งช่วยให้งานมีการไหลที่ได้ดีขึ้น

2) การปรับปรุงสถานที่ทำงานและสายการผลิตให้มีกรไหลของงานมีความต่อเนื่อง กำจัดสิ่งที่เป็นอุปสรรคกีดขวางการไหลของงาน เช่น การจัดเรียงของชิ้นส่วนประกอบที่ไม่เป็นระเบียบ โดยการหาภาชนะใส่ชิ้นส่วนประกอบเพื่อให้พนักงานสามารถหยิบจับชิ้นส่วนประกอบได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้น

3) การฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานตามขั้นตอนตามเอกสารขั้นตอนปฏิบัติงาน (Work Instruction) ได้อย่างถูกต้อง

4) การปรับปรุงกระบวนการประกอบงานโดยใช้การสมดุลสายการประกอบ

ผู้วิจัยได้ทำการจับเวลาในแต่ละขั้นตอนและเก็บข้อมูลในสายการผลิตดังรูปที่ 10 ซึ่งมีจำนวนขั้นตอน 10 ขั้นตอนและจำนวนพนักงาน 10 คน ได้รอบเวลาการทำงานดังตารางที่ 2 จากนั้นทำการคำนวณหารอบเวลาความต้องการของลูกค้า (Takt Time) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) สามารถหาได้ดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned} \text{Takt Time} &= \frac{28,000 \text{ sec}}{2,234 \text{ pcs/day}} \\ &= 12.89 \text{ วินาที/ชิ้น} \end{aligned}$$

จากผลการคำนวณ จะได้ Takt Time = 12.89 วินาที/ชิ้นเมื่อรอบเวลาความต้องการของลูกค้า (Takt Time) ได้แล้ว ผู้วิจัยจึงทำการสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบ Cycle Time และ Takt Time ได้ผลแสดงของกราฟดังรูปที่ 4 (ก่อนปรับปรุง) จะพบว่ามีการรวมการบางขั้นตอนมีเวลามากกว่าขั้นตอนอื่นรวมถึงใกล้เคียงกับค่าเวลาของ Takt Time ซึ่งทำให้เกิดปัญหาคอขวด (Bottleneck) และการผลิตไม่ทันกับความต้องการของลูกค้า โดยกระบวนการนั้น คือกระบวนการใส่ขั้วหลอดไฟ และใส่สปริงและลูกเต๋า ดังนั้นผู้วิจัยจึงวางแผนดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาคอขวดโดยใช้วิธีการปรับขั้นตอนด้วยหลักการของ ECRS ในการปรับปรุง

กระบวนการย่อยรวมถึงการปรับปรุงสถานที่ทำงานและการฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น

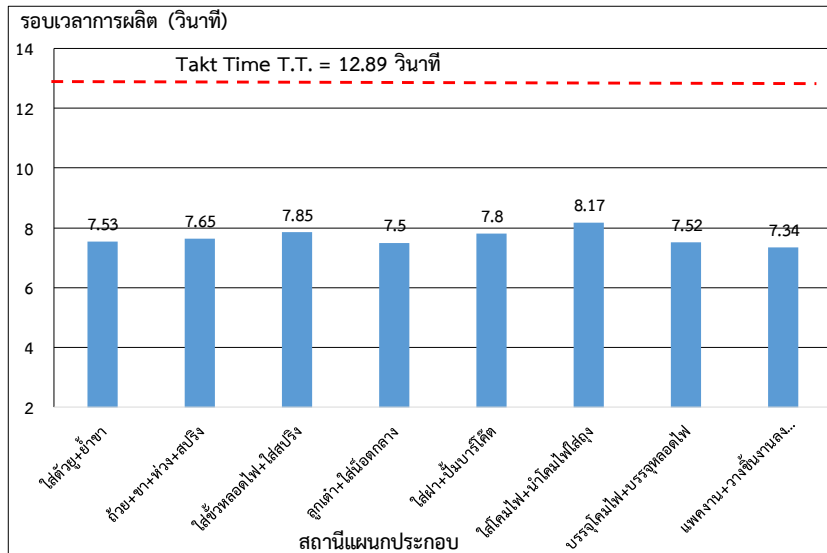
ตารางที่ 2 : รอบเวลาการทำงานใน (ก่อนการปรับปรุง)

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา (วินาที)
1	ใส่ตัวยู่	5.8
2	ย้าขา+ถั่วย	4.07
3	ขา+ห้วง+สปริง	8.48
4	ใส่ขั้วหลอดไฟ	11.26
5	ใส่สปริง+ลูกเต๋า	10.64
6	ใส่น็อตกลาง+ใส่ฝา	8.17
7	ปั้มบาร์โค้ด+ใส่คอมไฟ	6.21
8	นำคอมไฟใส่ถูง	2.04
9	บรรจุคอมไฟ+บรรจุหลอดไฟ	4.59
10	วางชิ้นงานลงบนพาเลท	2.86
	เวลารวม	64.12

ตารางที่ 3 : รอบเวลาการทำงานใน (หลังการปรับปรุง)

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา (วินาที)
1	ใส่ตัวยู่+ย้าขา	7.53
2	ถั่วย+ขา+ห้วง+สปริง	7.65
3	ใส่ขั้วหลอดไฟ+ใส่สปริง	7.85
4	ลูกเต๋า+ใส่น็อตกลาง	7.5
5	ใส่ฝา+ปั้มบาร์โค้ด	7.8
6	ใส่คอมไฟ+นำคอมไฟใส่ถูง	8.17
7	บรรจุคอมไฟ+บรรจุหลอดไฟ	7.52
8	แพคงาน+วางชิ้นงานลงบนพาเลท	7.34
	เวลารวม	61.36

หลังจากได้มีการปรับกระบวนการในการทำงานที่เป็นกระบวนการย่อยและรวมกระบวนการทำงานที่มีความใกล้เคียงกันผนวกเข้าไว้ด้วยกันจะทำให้สามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 10 ขั้นตอนเหลือเพียง 8 ขั้นตอนและพนักงานลดจำนวนจาก 10 คนเหลือ 8 คน ดังรูปที่ 9 และจะสามารถจะจัดสายการประกอบใหม่ของแผนกประกอบโดยการจัดเรียงขั้นตอนการทำงานและพนักงานแสดงได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 9 : รอบเวลาการทำงานในขั้นตอนของแผนกประกอบงาน (หลังปรับปรุง)



รูปที่ 10 : สายการผลิตประกอบงาน (ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 11 : สายการผลิตประกอบงาน (หลังปรับปรุง)

5) การหาประสิทธิภาพสายการผลิตและความสูญเสียโดยสามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ 4 [7]

$$d = \frac{nT_c - T_{wc}}{nT_c} \quad (4)$$

เมื่อ d คือ ค่าการสูญเสียการสมดุล; n คือ จำนวนสถานีงาน; T_c คือ รอบเวลาความต้องการของลูกค้า; T_{wc} คือรอบเวลาการผลิตรวม

6) การคำนวณผลิตภาพการผลิต เป็นการคำนวณอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นภายหลังการปรับปรุง โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 [7]

$$R_p = \frac{D_a}{50SH} \quad (5)$$

เมื่อ R_p คือ อัตราการผลิตต่อชั่วโมง (pcs/hr); D_a คือ ปริมาณความต้องการสินค้าต่อปี (pcs/yr); S คือ จำนวนกะสัปดาห์ (shift/week); H คือ จำนวนชั่วโมงต่อกะ (hr/shift)

4) ผลการดำเนินงาน

4.1) ผลการออกแบบผังโรงงานของแผนกในกระบวนการผลิต

ผลการออกแบบผังโรงงานตามหลักการการออกแบบวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning) โดยอาศัยข้อมูลความสัมพันธ์ของแต่ละแผนก สามารถลดระยะทางและเวลาในการย้ายวัสดุลงระหว่างแผนกได้ ดังตารางที่ 4 และ 5 ตามการปรับปรุงผังโรงงานใหม่ ดังรูปที่ 8

ตารางที่ 4 : การเปรียบเทียบระยะทางขนย้ายวัสดุระหว่างแผนก

ที่	เคลื่อนที่จาก	ไปยัง	ระยะทางเดิม (เมตร/วัน)	ระยะทางใหม่ (เมตร/วัน)	ลดลง (เมตร)
1	วัตถุดิบ	เครื่องตัด	10	10	0
2	เครื่องตัด	ขึ้นรูป	25	5	20
3	ขึ้นรูป	อาร์ค	15	7	8
4	อาร์ค	พ่นสี	25	20	5
5	พ่นสี	ประกอบ	40	40	0
6	ประกอบ	บรรจุหีบห่อ	7	7	0
รวม			122	89	33

ตารางที่ 5 : การเปรียบเทียบเวลาในขนย้ายวัสดุระหว่างแผนก

ที่	เคลื่อนที่จาก	ไปยัง	ระยะทางเดิม (นาที/วัน)	ระยะทางใหม่ (นาที/วัน)	ลดลง (นาที)
1	วัตถุดิบ	เครื่องตัด	20	10	10
2	เครื่องตัด	ขึ้นรูป	30	30	0
3	ขึ้นรูป	อาร์ค	40	25	15
4	อาร์ค	พ่นสี	30	22	8
5	พ่นสี	ประกอบ	25	20	5
6	ประกอบ	บรรจุหีบห่อ	30	25	5
รวม			175	132	43

4.2) ผลการปรับปรุงการจัดสมดุลสายการประกอบ

ผลการปรับปรุงการจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing) โดยใช้หลักการ ECRS พบว่าสามารถลดรอบเวลารวมขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วน (Cycle Time) ลงจากเดิม 64.08 วินาที เป็น 61.36 วินาที เป็นเวลาที่ลดลง 2.72 วินาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 4.24% อัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 2,234 ชิ้นต่อวัน เป็น 3,037 ชิ้นต่อวัน เป็นจำนวนชิ้นที่เพิ่มขึ้น 803 ชิ้นต่อวัน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น 35.94% และสามารถลดจำนวนพนักงานลงได้ 2 คน จากจำนวนพนักงาน 10 คน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 25% ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 : ผลการจัดสมดุลสายการประกอบ

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง
รอบเวลาความต้องการของลูกค้า (วินาที)	12.89	12.89	-
รอบเวลาการผลิตรวม (วินาที)	64.08	61.36	2.72
จำนวนพนักงาน (คน)	10	8	2
ประสิทธิภาพการผลิต (%)	56.96	92.96	36.00
ค่าการสูญเสียการสมดุล (%)	52.40	40.50	11.90
อัตราผลิตภาพการผลิต (ชิ้นต่อชั่วโมง)	248	290	42
ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (ชิ้น)	2,234	3,037	803

4.3) ผลของผลิตภาพหลังจากการปรับปรุง

ผลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าสามารถเพิ่มอัตราผลิตภาพการผลิตจริง โดยการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 5 เดือน ก่อน

และหลัง ซึ่งการปรับปรุงมีผลผลิตเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 53,030 ชิ้นต่อเดือน และหลังการปรับปรุงมีผลผลิตต่อเดือน 78,962 ชิ้นต่อเดือน อัตราผลิตภาพการผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 20,878 ชิ้นต่อเดือน ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 : เปรียบเทียบข้อมูลการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง

เดือน	อัตราการผลิที่ได้จริง (ชิ้นต่อเดือน)	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
มกราคม	51,184	
กุมภาพันธ์	54,912	
มีนาคม	52,240	
เมษายน	53,784	
พฤษภาคม		78,962

5) สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงผังโรงงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษา ผู้ผลิตคอมพิวเตอร์ในโลเทในครั้งนี้นี้ ผลที่ได้สามารถลดระยะทางและเวลาในการขนย้ายวัสดุลงได้ 33 เมตร คิดเป็น 27.04% และเวลาลงได้ 43 นาที คิดเป็น 24.57% ตามลำดับสำหรับในส่วนของกระบวนการผลิต ผลการปรับปรุงโดยจัดสมดุลสายการประกอบใหม่ของแผนกประกอบงานสามารถลดเวลาลงได้ 2.72 วินาที ทำให้ประสิทธิภาพผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 92.96% สามารถลดจำนวนพนักงานลงได้ 2 คน อัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดือนละ 53,030 ชิ้นต่อเดือน เป็น 78,962 ชิ้นต่อเดือน เพิ่มขึ้นเดือนละ 25,932 ชิ้นต่อเดือน ดังนั้นการออกแบบผังโรงงานและการจัดสมดุลสายการประกอบในการวิจัยครั้งนี้จะทำให้สามารถรองรับกับปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตเป็นอย่างดี

การออกแบบผังโรงงานอย่างมีระบบจะต้องใช้เกณฑ์ความสัมพันธ์กันระหว่างแผนกเทียบกับระยะทางและปริมาณงานในการขนย้ายวัสดุเพื่อลดต้นทุนและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ บางครั้งการออกแบบผังโรงงานไม่สามารถที่จะเคลื่อนย้ายให้แผนกมาอยู่ใกล้ชิดกันได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านโครงสร้างของอาคารโรงงานซึ่งการปรับปรุงดังกล่าวจะทำให้เกิดต้นทุนมหาศาลจึงต้องออกแบบทางเลือกที่ดีที่สุดและคำนึงถึงปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่จะเกิดขึ้นในการปรับปรุงผังโรงงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในครั้งนี้ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการเข้าให้คำปรึกษาในครั้งนี้

REFERENCES

- [1] Bank of Thailand. "The pandemic represents a rare but narrow window of opportunity to reflect, reimagine, and reset our world." BOT.or.th. https://www.bot.or.th/Thai/BOTMagazine/Pages/256303_CoverStory.aspx (accessed Jun. 10, 2021).
- [2] V. Watcharodomprasert, "Competitive environment factors in the current situation," *J. Thonburi Univ.*, vol. 8, no. 17, pp. 127–134, 2014.
- [3] C. Pornsing, S. Amphutsa, J. Kanchana-anothaiand, and P. Tharawetcharak, "Process and plant layout Improvement using industrial engineering techniques: A case study sample LED light factory," *Thai Sci. Technol. J.*, vol. 27, no. 6, pp. 1132–1146, Jul. 2018.
- [4] T. Dankhate, T. Sae-Lee, and C. Pattayanon, "Line balancing for reducing waste of producing: A case study frozen salmon process," in *35th Conf. Ind. Eng. Netw., Ubon Ratchathani Univ.*, Ubon Ratchathani, Thailand, Jul. 23–26, 2017, pp. 23–28.
- [5] P. Chopradab, W. Niyomwet, K. Pleumjit, and A. Apirakpongsa, "Plant layout improvement to increase productivity in a printing plant," *Adv. Sci. J.*, vol. 13, no. 1, pp. 120–125, 2013.
- [6] P. Wanichpongpan, B. Kirdmanee, P. Ngaothaisong, M. Srisawan, and K. Khumsuwan, "Improvement production line of air pipe car," *J. Thonburi Univ.*, vol. 2, no. 1, pp. 7–18, Jan. 2008.
- [7] C. Srisupinanon, *Plant Layout Design*. Bangkok, Thailand: I Group Press (in Thai), 2012.
- [8] P. Homsri, A. Krairit, and P. Visuwan, "An application of Toyota production system: A case study of automotive fuel tank manufacturer," *J. Eng., RMUTT*, vol. 1, no.10, pp. 11–24, Jun. 2012.
- [9] C. Thavornwat, K. Jongwuttanaruk, V. Chevaviriyanoon, and R. Sangkatip, "Plant layout improvement: Case study of machinery parts plant." in *Proc. 32th Ind. Eng. Netw. Conf., Samutprakan, Thailand*, Oct. 30–31, 2014, pp.51–58.

การศึกษาผลกระทบของคุณภาพอากาศ โดยการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณ PM_{2.5} TVOC และ CO₂-eq

วิศวิวิท ราชณรงค์*

*สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล: vissavavit@gmail.com

รับต้นฉบับ: 21 พฤษภาคม 2564; รับผิดชอบต่อฉบับแก้ไข: 22 มิถุนายน 2564; ตอรับบทความ: 17 สิงหาคม 2564

เผยแพร่ออนไลน์: 13 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของคุณภาพอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOC) และ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq) ภายในและภายนอกสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ โดยการประดิษฐ์อุปกรณ์เครื่องวัดคุณภาพอากาศ เพื่อนำมาตรวจวัดค่าในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564 จากผลลัพธ์ของการศึกษาปริมาณ PM_{2.5} ภายในห้องทำงานมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง 31.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อยู่ในระดับดี ภายในอาคารเฉลี่ย 38.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อยู่ในระดับปานกลาง และภายนอกอาคารเฉลี่ย 44.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณ TVOC ภายในห้องทำงานมีค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง 0.58 mg/m^3 อยู่ในระดับดี ภายในอาคารเฉลี่ย 0.32 mg/m^3 อยู่ในระดับดี และภายนอกอาคารเฉลี่ย 0.41 mg/m^3 อยู่ในระดับดี และ ปริมาณ CO₂-eq ภายในห้องทำงานมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง 1122.73 mg/m^3 ภายในอาคารเฉลี่ย 983.97 mg/m^3 และภายนอกอาคารเฉลี่ย 922.88 mg/m^3

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

A Study of Air Quality Effect by Creating a Device Detect PM_{2.5}, TVOC and CO₂-eq

Vissavavit Rachnarong*

*Department of Electronics Technology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand

*Corresponding Author. E-mail address: vissavavit@gmail.com

Received: 21 May 2021; Revised: 22 June 2021; Accepted: 17 August 2021

Published online: 13 December 2021

Abstract

This paper presents the study of air quality effect from particulate matter with diameter of less than 2.5 microns (PM_{2.5}), total volatile organic compound (TVOC) and carbon dioxide equivalent (CO₂-eq) for indoor and outdoor Department of Electronics Technology, Ramkhamhaeng University, Bangkok. By creating a device detect air quality for the period from November 2020 to March 2021. From the results, It was found that the average PM_{2.5} of 24-hour continuous is 31.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for the inside office (good level), 38.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for the inside building (moderate level) and 44.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for the outside building (moderate level). The average TVOC of 8-hour continuous is 0.58 mg/m^3 for the inside office (good level), 0.32 mg/m^3 for the inside building (good level) and 0.41 mg/m^3 for the outside building (good level). The average CO₂-eq of 24-hour continuous is 1122.73 mg/m^3 for the inside office, 983.97 mg/m^3 for the inside building and 922.88 mg/m^3 for the outside building.

Keywords: Particulate matter with diameter of less than 2.5 microns, Carbon dioxide equivalent, Total volatile organic compound

1) บทนำ

คุณภาพอากาศของประเทศไทยในปัจจุบันนับวันยิ่งมีคุณภาพที่น้อยลงทุกวัน ปัจจัยส่วนหนึ่งมาจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ แต่ปัจจัยที่เป็นปัญหาหลักมาจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมัน ขยะ วัสดุทางการเกษตร ควีนจากยานพาหนะ การสูบบุหรี่ ทำอาหาร สารพิษจากโรงงาน การรื้อถอน ก่อสร้างตึก ถนน รถไฟฟ้า และอื่น ๆ ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด ฝุ่นละอองขนาดใหญ่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) [1], [2] สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOC) [3], [4] และ คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq) [5], [6] ส่งผลกระทบต่อคนที่เปราะบางทางเดินหายใจ โรคปอด โรคหัวใจ โรคเมะเร็ง นับวันยิ่งเพิ่มมากขึ้นทุกวันในประเทศไทย [2] เพราะฉะนั้นเราควรตระหนักถึงความสำคัญของคุณภาพอากาศในปัจจุบันและในชีวิตประจำวันของเรา

มาตรฐานคุณภาพอากาศมีปัจจัยหลาย ๆ อย่างเป็นตัวชี้วัดสำหรับประเทศไทยมีมาตรฐานดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Indication: AQI) ถูกกำหนดโดยกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง ของกรมควบคุมมลพิษ [7] ซึ่งกำหนดข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ (ข้อมูลรายวัน) 1 ค่า ที่บ่งบอกว่าคุณภาพอากาศในแต่ละวันมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ โดยมีค่าสารมลพิษทางอากาศ 6 ค่า คือ ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) PM2.5 ก๊าซโอโซน (O₃) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เป็นตัวชี้วัด และยังมีดัชนีคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality: IAQ) ของปริมาณ TVOC เช่น เบนซีน (C₆H₆) ไตรคลอโรโรเมเทน (CH₂Cl₂) เตตราคลอโรเอทิลีน (C₂Cl₄) หรือ ไตรคลอโรเอทิลีน (C₂HCl₃) เป็นต้น ที่ถูกกำหนดโดย Integrated Device Technology (IDT), Inc. [8] และ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มีผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) มี 7 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃) ที่ถูกวัดออกมาเทียบกับศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1 หรือเรียกว่า คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq หรือ eCO₂) [6]

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่วางขายอยู่ในท้องตลาดส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกออกแบบให้บันทึกค่าลงใน SD Card (เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์)

บำรุงรักษาได้ยาก และราคาแพง วิจัยนี้จึงทำการศึกษาเครื่องวัดคุณภาพอากาศที่สามารถรองรับฟังก์ชันการทำงานได้หลากหลายจากอุปกรณ์ในท้องตลาด ที่มีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับและราคาไม่แพง เพื่อนำข้อมูลสภาพอากาศไปวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการศึกษาผลกระทบของคุณภาพอากาศที่สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564 ซึ่งเป็นช่วงที่ฝุ่นละออง PM2.5 มีค่ามาก [1], [2] โดยการประดิษฐ์เครื่องวัดคุณภาพอากาศตรวจจับผลกระทบที่ 3 ตำแหน่ง คือ ภายในห้องทำงาน ภายในอาคาร (Open Air) และภายนอกอาคาร เพื่อนำค่าที่ได้ไปประมวลผลและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับดัชนีคุณภาพอากาศตามมาตรฐาน และนำวิธีการศึกษานี้ไปตรวจวัดในสถานที่ต่าง ๆ เช่น สำนักพิมพ์ ศูนย์ข้อสอบ และ โรงเก็บขยะ เป็นต้น เพื่อหาวิธีรับมือและแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้น และพัฒนาอุปกรณ์ต่อยอด เพื่อปรับลดและแจ้งเตือนผลกระทบได้ไวยิ่งขึ้น

3) วิธีดำเนินการวิจัย

3.1) ดัชนีคุณภาพอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ

ระดับของดัชนีคุณภาพอากาศถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย และถูกแบ่งออกเป็นค่าสีตามระดับคุณภาพอากาศ แสดงดังตารางที่ 1 โดยปริมาณ PM2.5 คิดเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง [7], [9] และ TVOC คิดเป็นค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง [8], [9] และในบทความนี้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq) ไม่อยู่ในดัชนีคุณภาพอากาศเนื่องจากเป็นระดับของปริมาณของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง

ตารางที่ 1 : ระดับดัชนีคุณภาพอากาศของ PM2.5 และ TVOC

คุณภาพอากาศ	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TVOC (mg/m^3)
ดีมาก (Excellent)	0–25	< 0.3
ดี (Good)	26–37	0.3–0.9
ปานกลาง (Moderate)	38–50	1.0–2.9
เริ่มมีผลกระทบ (Poor)	51–90	3.0–9.9
มีผลกระทบ (Unhealthy)	≥ 91	≥ 10.0

คำอธิบายของระดับผลกระทบต่อสุขภาพ [2], [3]

- ดีมาก คือ ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
- ดี คือ ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ, แนะนำให้ระบายอากาศ
- ปานกลาง คือ 1) มีความเสี่ยงต่อคนกลุ่มเสี่ยง เช่น ผู้ป่วย

โรคหัวใจ หลอดเลือด และระบบทางเดินหายใจ 2) มีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองจมูกและตา ผื่นแดง เจ็บคอ และ 3) แนะนำให้ระบายอากาศ และหาแหล่งกำเนิด TVOC (ภายในอาคาร)

- เริ่มมีผลกระทบ คือ 1) มีผลกระทบต่อคนกลุ่มเสี่ยง 2) มีผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นผิดปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย ผื่นแดง เจ็บคอ และ 3) เพิ่มการระบายอากาศ ทำให้มีอากาศบริสุทธิ์เท่าที่จะทำได้ และหาแหล่งกำเนิด

- มีผลกระทบ คือ 1) ควรหลีกเลี่ยง หรือใช้เวลาอยู่ในพื้นที่ให้น้อยที่สุด 2) มีผลกระทบต่อคนกลุ่มเสี่ยง และมีผลกระทบต่อบุคคลทั่วไป 3) ควรสังเกตอาการผิดปกติ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นผิดปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย ผื่นแดง เจ็บคอ หากมีอาการควรปรึกษาแพทย์ และ 4) ควรสวมใส่หน้ากากป้องกัน

ผลลัพธ์ของปริมาณ TVOC และ CO₂-eq ที่ได้จากอุปกรณ์วัดค่ามีหน่วยเป็น ppb และ ppm ตามลำดับ เมื่อ ppm คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมี (มลพิษ) ในอากาศ 1 ส่วน ต่อ ปริมาณของอากาศ 1,000,000 ส่วน และ ppb คือ 1 ส่วน ต่อ 1,000,000,000 ส่วน แต่ในบทความนี้ใช้หน่วยเป็น mg/m³ และ μg/m³ จึงต้องแปลงหน่วยปริมาณให้อยู่ในหน่วยน้ำหนัก โดยใช้สมการการแปลงหน่วย แสดงดังสมการที่ 1 และ 2 [10] โดยกำหนดให้ความดันเท่ากับ 1 atm ที่อุณหภูมิ 25 °C

$$(ppm) = \frac{24.45}{MW} \times (mg/m^3) \quad (1)$$

$$(ppb) = \frac{24.45}{MW} \times (\mu g/m^3) \quad (2)$$

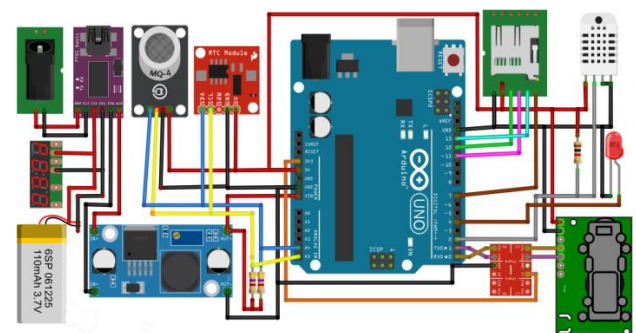
MW คือ น้ำหนักโมเลกุล มีหน่วยเป็น g/mol สำหรับการแปลง ppb เป็น μg/m³ ของ TVOC ใช้ค่าตัวแปร 2 ในการแปลง [8] เช่น TVOC = 50 ppb แปลงได้ 100 μg/m³ หรือ 0.1 mg/m³ และ การแปลง ppm เป็น mg/m³ ของ CO₂-eq

ใช้ค่าตัวแปร 1.8 (MW ของ CO₂ = 44.01 g/mol) ในการแปลง เช่น CO₂-eq = 50 ppm แปลงได้ 90 mg/m³

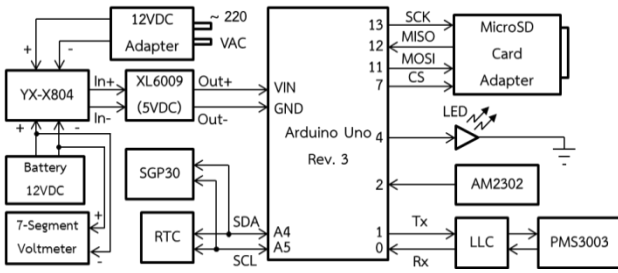
3.2) หลักการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพอากาศ

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องวัดคุณภาพอากาศ ดังนี้

1. Arduino Uno Rev3 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน รับส่งข้อมูล ของอุปกรณ์ต่อพ่วง
2. PMS3003 [9], [11]–[13] ทำหน้าที่วัดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 มีหน่วยเป็น μg/m³ ที่ถูกคำนวณโดยไมโคร-โปรเซสเซอร์บนพื้นฐานทฤษฎีของมี (MIE Theory)
3. SGP30 [14] ทำหน้าที่วัดปริมาณก๊าซ TVOC และ CO₂-eq มีหน่วยเป็น ppb และ ppm ตามลำดับ
4. AM2302 [15], [16] ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้น มีหน่วยเป็น °C และ % RH ตามลำดับ
5. RTC DS3231 ทำหน้าที่นับ วัน เวลา ณ ปัจจุบัน
6. MicroSD Card Adapter ทำหน้าที่บันทึกข้อมูล วัน เวลา อุณหภูมิ ความชื้น PM2.5 TVOC และ CO₂-eq ลงใน MicroSD Card
7. Logic Level Converter (LLC) ทำหน้าที่ปรับระดับแรงดัน 3.3V และ 5V เพื่อการรับส่งข้อมูล ระหว่าง Arduino Uno R3 และ PMS3003
8. XL6009 ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงระดับแรงดันขึ้น-ลง จาก 5–32V เป็น 1.2–35V
9. YX-X804 ทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันเพื่อสำรองไฟให้วงจร จาก อะแดปเตอร์ เป็น แบตเตอรี่



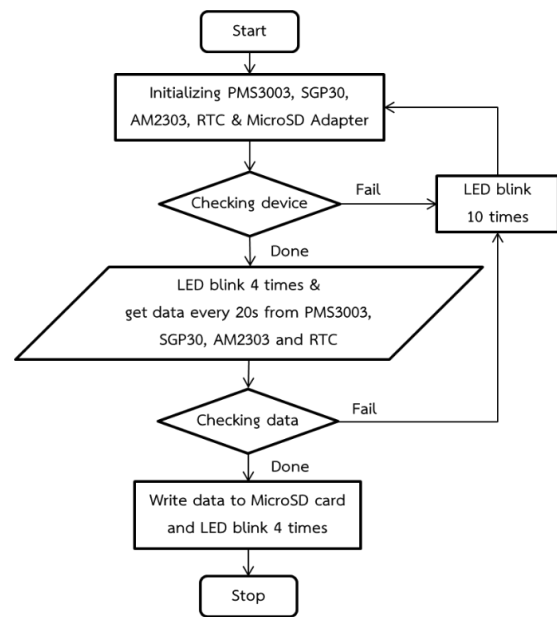
รูปที่ 1 : วงจรการทำงานของอุปกรณ์เครื่องวัดคุณภาพอากาศ



รูปที่ 2 : บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องวัด

รูปแบบการทำงานของเครื่องวัดจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Uno Rev3) เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดในวงจร โดยรับข้อมูลจากอุปกรณ์ต่อพ่วง PMS3003 SGP30 RTC และ AM2302 เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณ PM2.5 TVOC และ CO₂-eq วันเวลา และ ความชื้นและอุณหภูมิตามลำดับ วงจรและบล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องวัดคุณภาพอากาศ แสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดี สามารถเพิ่มลดอุปกรณ์ต่อพ่วงและปรับแต่งการรับค่าต่าง ๆ ได้โดยผู้เขียนโปรแกรม และเหมาะกับการศึกษาเพื่อพัฒนาต่อยอดมากกว่าเครื่องวัดสำเร็จรูป [9] อุปกรณ์ PMS3003 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (สามารถปรับการ Sampling ข้อมูล เพื่อให้ Error ลดลง [12]) ผ่านขา Pin 0 (Rx) และ Pin 1 (Tx) โดยมี LLC เป็นตัวปรับระดับแรงดันให้ PMS3003 สามารถสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ อุปกรณ์ SGP30 และ RTC เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านการเชื่อมต่อแบบ I²C ผ่านขา Pin A4 (SDA) และ Pin A5 (SCL) อุปกรณ์ AM2302 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านขา Pin 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลที่ได้อุปกรณ์เก็บใน MicroSD Card ที่ถูกเชื่อมต่อผ่าน MicroSD Card Adapter ผ่านการเชื่อมต่อแบบ SPI ผ่านขา Pin 7 (CS) Pin 11 (MOSI) Pin 12 (MISO) และ Pin 13 (SCK) ไฟ LED แสดงสถานะข้อมูลต่าง ๆ ของโปรแกรมถูกเชื่อมต่อที่ขา Pin 4 และ แรงดันของวงจรถูกป้อนเข้าที่ขา VIN และ GND โดยใช้โมดูล XL6009 ปรับระดับแรงดันอยู่ที่ 5VDC จากแหล่งจ่ายไฟ โดยแหล่งจ่ายไฟมี 2 รูปแบบ คือ ไฟหลัก 12VDC จาก Adapter (AC/DC) และ ไฟสำรอง 12VDC จากแบตเตอรี่ โดยโมดูล YX-X804 ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์ระหว่างไฟหลักและไฟสำรอง เพื่อเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่อง และแจ้งเตือนเมื่อไฟต่ำผ่าน 7-Segment วัดแรงดัน ตัวเครื่องวัดถูกออกแบบวงจรให้มีเสถียรภาพที่ดี เช่น การเชื่อมต่อ ยึดติดอุปกรณ์ และทนต่อการสั่นสะเทือน เป็นต้น

ผังงานการทำงานของโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังรูปที่ 3 โดยเริ่มการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ต่อพ่วง PMS3003 SGP30 AM2302 RTC และ MicroSD Card Adapter ว่าถูกเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์สมบูรณ์หรือไม่ ถ้าไม่สมบูรณ์โปรแกรมจะแสดงสถานะทาง LED กระพริบ 10 ครั้ง และกลับไปตรวจสอบใหม่อีกครั้ง ถ้าเชื่อมต่อสมบูรณ์ LED กระพริบ 4 ครั้ง และรับข้อมูลจาก PMS-3003 SGP30 AM2302 และ RTC ตามลำดับ ถ้าข้อมูลที่รับมาผิดพลาด โปรแกรมจะแสดงสถานะทาง LED กระพริบ 10 ครั้ง และกลับไปตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่อพ่วงใหม่อีกครั้ง ถ้ารับข้อมูลถูกต้องไมโครคอนโทรลเลอร์จะบันทึกค่าข้อมูลลงใน MicroSD Card และแสดงสถานะทาง LED กระพริบ 4 ครั้ง การบันทึกค่าข้อมูลจาก PMS3003 SGP30 AM2302 และ RTC จะถูกบันทึกทุก ๆ 20 วินาที ตลอดเวลาของการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3 : ผังงานการทำงานของโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์เครื่องวัด

3.3) วิธีการดำเนินงาน

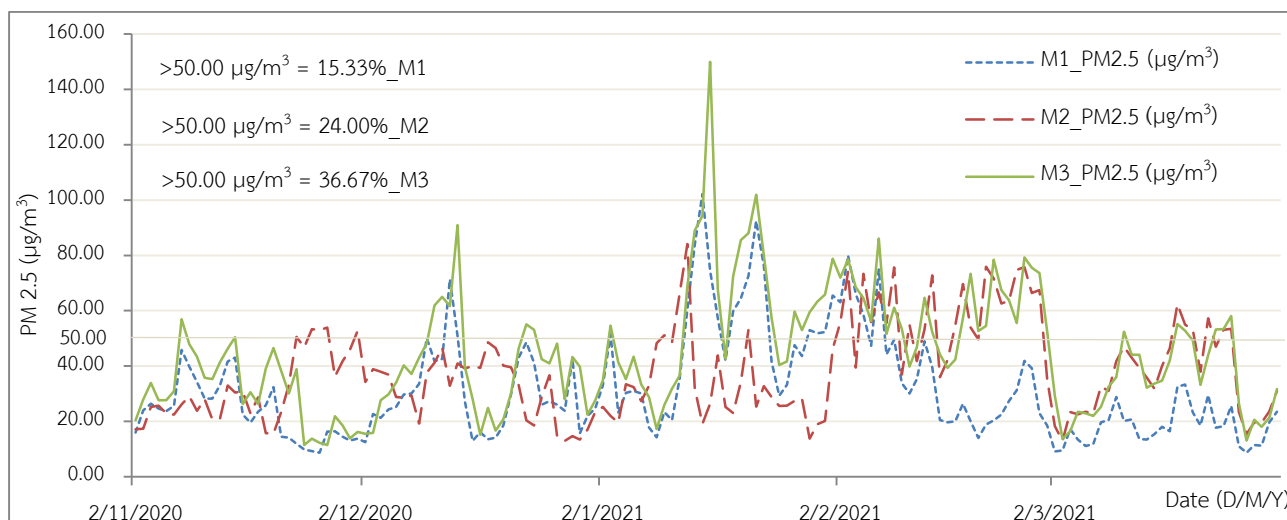
ในการศึกษาผลกระทบของคุณภาพอากาศจะวัดค่าปริมาณต่าง ๆ ที่สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์อยู่ 3 ตำแหน่ง คือ ภายในห้องทำงาน ภายในอาคาร (Open Air) และภายนอกอาคาร แสดงดังรูปที่ 4 เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบและนำมาวิเคราะห์ผลกระทบตามระดับดัชนีคุณภาพอากาศของ PM2.5 และ TVOC ที่แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 4 : ตำแหน่งอุปกรณ์เครื่องวัดคุณภาพอากาศ ภายในห้องทำงาน ภายในอาคาร และภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2 : ปริมาณ PM2.5 ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564

เดือน	ปริมาณ PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	ภายในห้องทำงาน			ภายในอาคาร			ภายนอกอาคาร			ค่าเฉลี่ยรวม
	Max	Min	Avg.	Max	Min	Avg.	Max	Min	Avg.	
พฤศจิกายน	45.76	8.69	23.66	53.96	15.65	30.84	56.95	11.42	31.19	28.56
ธันวาคม	71.43	12.44	29.60	52.73	12.97	32.55	90.91	15.13	38.12	33.42
มกราคม	102.14	14.18	47.51	84.14	13.72	32.84	149.91	17.20	57.79	46.05
กุมภาพันธ์	79.94	14.03	38.62	75.91	35.94	59.52	86.06	39.37	61.84	53.33
มีนาคม	33.26	8.67	18.10	62.30	12.90	35.46	58.12	13.09	35.05	29.54
ค่าเฉลี่ยรวม	31.50			38.24			44.80			38.18



รูปที่ 5 : ปริมาณ PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง จากภายในห้องทำงาน (M1) ภายในอาคาร (M2) และ ภายนอกอาคาร (M3) ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564

4) ผลการทดลอง

ผลกระทบของคุณภาพอากาศ ที่สาขาวิชาเทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564 (150 วัน) จากการวัดปริมาณ PM2.5 (เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง) TVOC (เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง) และ CO₂-eq (เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง) จากอุปกรณ์เครื่องวัดคุณภาพอากาศที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

4.1) ฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5)

ผลลัพธ์ของการศึกษาปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 จากเครื่องวัดคุณภาพอากาศ 150 วัน ภายในห้องทำงานมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง 31.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คุณภาพอากาศอยู่ในระดับดี โดยปริมาณ PM2.5 ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบ (Poor) มีค่า 15.33% (23 วัน จาก 150 วัน) ภายในอาคารมีค่าเฉลี่ย

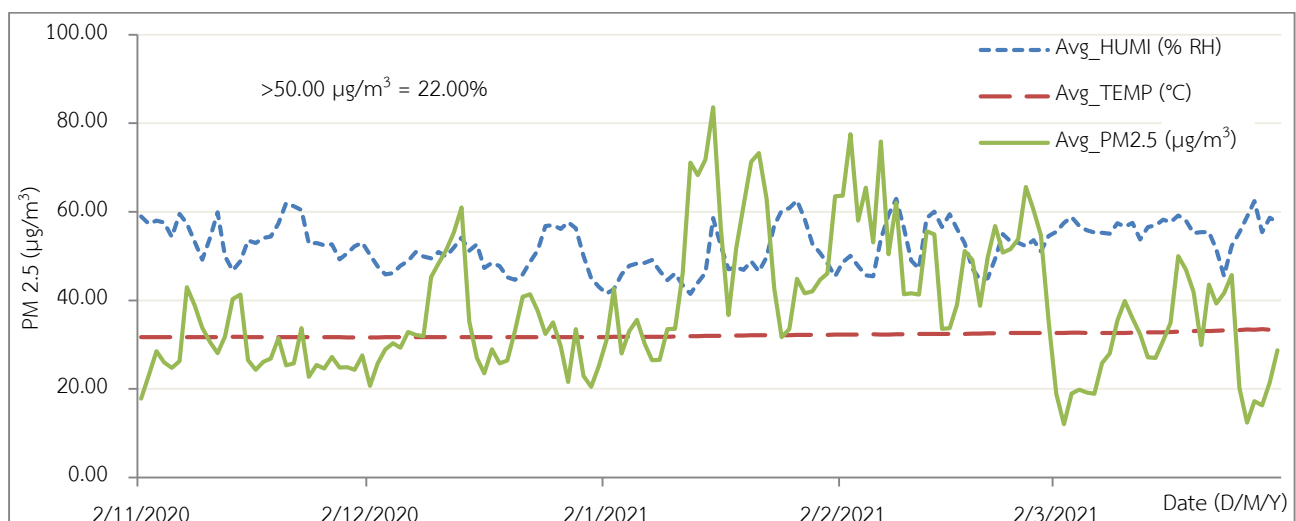
38.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คุณภาพอากาศอยู่ในระดับปานกลาง โดยปริมาณ PM2.5 ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบมีค่า 24.00% (36 วัน จาก 150 วัน) และ ภายนอกอาคารเฉลี่ย 44.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คุณภาพอากาศซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง โดยปริมาณ PM2.5 ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบมีค่า 36.67% (55 วัน จาก 150 วัน) แสดงดังตารางที่ 2 และ รูปที่ 5

ผลลัพธ์ของอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทำงานมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่องอยู่ที่ 30.78 °C และ 49.33 % RH ภายในอาคารมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.63 °C และ 55.12 % RH และ ภายนอกอาคารมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 33.63 °C และ 53.01 % RH แสดงดังตารางที่ 3

ผลลัพธ์ PM2.5 จากเครื่องวัดคุณภาพอากาศมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่องทั้งภายในห้องทำงาน ภายในอาคาร และภายนอกอาคาร จาก 150 วัน อยู่ที่ 38.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ตารางที่ 3 : ปริมาณอุณหภูมิและความชื้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564

เดือน	ค่าเฉลี่ยภายในห้องทำงาน		ค่าเฉลี่ยภายในอาคาร		ค่าเฉลี่ยภายนอกอาคาร		ค่าเฉลี่ยรวมอุณหภูมิ (°C)	ค่าเฉลี่ยรวมความชื้น (% RH)
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น		
พฤศจิกายน	30.85	51.27	31.10	58.95	33.52	53.64	31.69	31.69
ธันวาคม	30.78	48.76	30.10	52.49	33.39	49.62	50.29	31.68
มกราคม	30.25	47.39	29.70	50.15	32.09	50.26	49.27	31.96
กุมภาพันธ์	30.53	49.83	31.37	51.12	33.62	55.44	52.13	32.43
มีนาคม	31.51	49.39	30.86	62.89	35.54	56.11	56.13	32.92
ค่าเฉลี่ยรวม	30.78	49.33	30.63	55.12	33.63	53.01	47.90	32.14



รูปที่ 6 : ปริมาณ PM2.5 อุณหภูมิ และความชื้น เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564

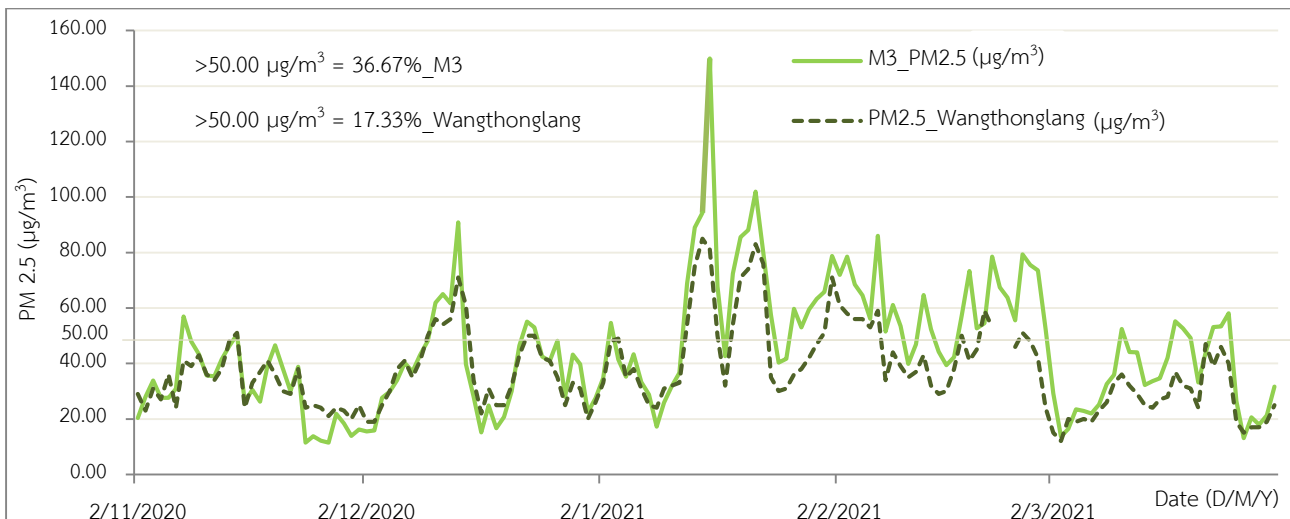
มีคุณภาพอากาศอยู่ในระดับปานกลาง (มีความเสี่ยงต่อคนกลุ่มเสี่ยง เช่น ผู้ป่วยโรคหัวใจ หลอดเลือด และระบบทางเดินหายใจ) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 32.14 °C และความชื้นเฉลี่ย 47.90 % RH โดยปริมาณ PM2.5 ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบมีค่า 22.00% (33 วัน จาก 150 วัน) แสดงดังรูปที่ 6

ผลลัพธ์ของ PM2.5 ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง จากเครื่องวัดคุณภาพอากาศที่ประดิษฐ์ขึ้นเปรียบเทียบกับปริมาณ PM2.5 จากกรมควบคุมมลพิษ (สถานีริมถนนลาดพร้าว เขตวังทองหลาง) [17] ที่มีค่า PM2.5 ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบ 17.33% (26 วัน จาก 150 วัน) ในช่วงเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งมีความแตกต่างกันเฉลี่ยประมาณ 22.40% (150 วัน) [12] เนื่องจากวิธีการวัดค่า โดยเครื่องวัดคุณภาพอากาศที่ประดิษฐ์ใช้หลักการตรวจวัดโดยการกระเจิงของแสง (Light Scattering) บนพื้นฐานทฤษฎีของมี [11] เพื่อวัดขนาดของฝุ่นละอองต่อปริมาตร และเครื่องวัดของกรมควบคุมมลพิษใช้ระบบตรวจวัด

ด้วยวิธีการวิเคราะห์ (Gravimetric Method) ที่ใช้วิธีการดูดอากาศเข้ามาในแผ่นกรองและหาปริมาณฝุ่นจากแผ่นกรอง [18] สถานที่ตั้ง ความเร็วลม และลักษณะสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน เป็นต้น

4.2) ปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (TVOC)

ผลลัพธ์ของการศึกษาปริมาณ TVOC ภายในห้องทำงานมีค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง (1 วัน = 3 คาบ) มีค่า 0.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คุณภาพอากาศอยู่ในระดับดี (แต่ควรระบายอากาศอยู่เสมอ) โดยปริมาณ TVOC ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบมีค่า 0.89% (4 คาบ จาก 449 คาบ) ภายในอาคารมีค่าเฉลี่ย 0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คุณภาพอากาศอยู่ในระดับดี โดยปริมาณ TVOC ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบมีค่า 0.45% (2 คาบ จาก 449 คาบ) และภายนอกอาคารเฉลี่ย 0.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คุณภาพอากาศอยู่ในระดับดี



รูปที่ 7 : ปริมาณ PM2.5 ภายนอกอาคาร (M3) จากเครื่องวัดที่ประดิษฐ์ขึ้นเปรียบเทียบกับปริมาณ PM2.5 จากกรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ 4 : ปริมาณ TVOC ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564

เดือน	ปริมาณ TVOC เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง (mg/m^3)									ค่าเฉลี่ยรวม
	ภายในห้องทำงาน			ภายในอาคาร			ภายนอกอาคาร			
	Max	Min	Avg.	Max	Min	Avg.	Max	Min	Avg.	
พฤศจิกายน	2.77	0.00	0.56	0.28	0.00	0.04	0.89	0.00	0.29	0.30
ธันวาคม	11.26	0.04	0.72	0.68	0.00	0.22	1.54	0.01	0.51	0.48
มกราคม	4.84	0.03	0.68	0.84	0.00	0.35	1.88	0.00	0.48	0.50
กุมภาพันธ์	1.61	0.02	0.46	8.45	0.00	0.43	1.11	0.02	0.34	0.41
มีนาคม	2.54	0.04	0.49	11.95	0.02	0.55	1.20	0.01	0.42	0.49
ค่าเฉลี่ยรวม	0.58			0.32			0.41			0.44

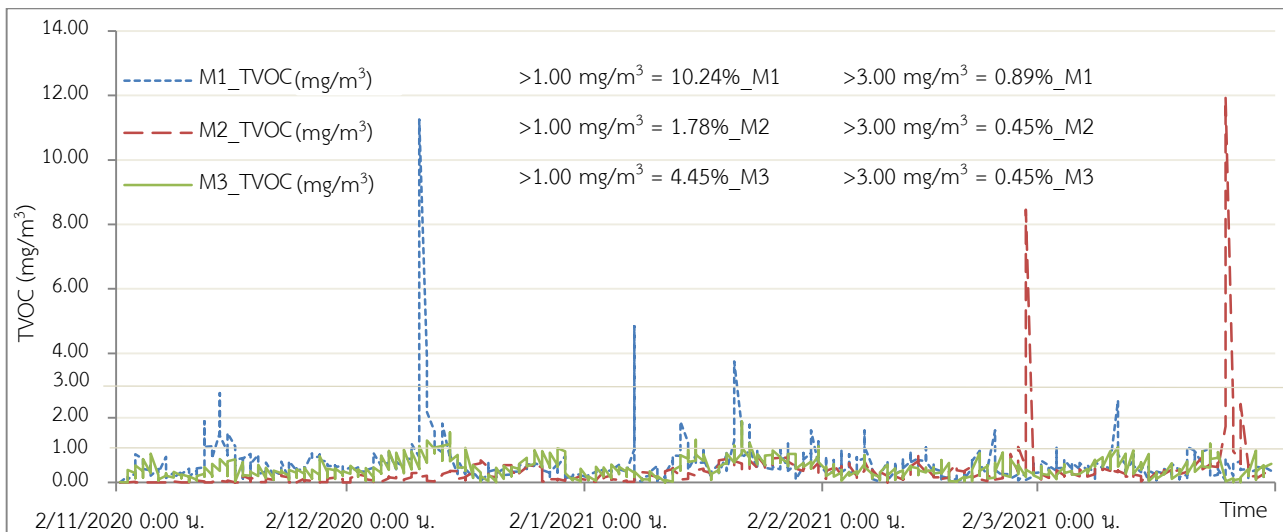
โดยปริมาณ TVOC ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบมีค่า 0.45% (2 คาบ จาก 449 คาบ) แสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 8 ปริมาณ TVOC เกิดขึ้นในช่วงเวลา 8:00–16:00 น. มากที่สุด ซึ่งเป็นช่วงเวลาทำงาน และในสถานที่ที่มีอากาศปิดจะเกิดผลกระทบมากกว่าสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเท ซึ่งภายในห้องทำงานสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ได้ติดตั้งเครื่องระบายอากาศและมีการทำความสะอาดอยู่เป็นประจำ

ผลลัพธ์ TVOC เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่องทั้งภายในห้องทำงานภายในอาคาร และภายนอกอาคาร จาก 449 คาบ (150 วัน) อยู่ที่ $0.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีคุณภาพอากาศอยู่ในระดับดี (ควรระบายอากาศเพื่อให้มีอากาศถ่ายเทอยู่เสมอ) เกิดขึ้นในช่วงเวลา 8:00–16:00 น. มากที่สุด ซึ่งเป็นช่วงเวลาทำงาน ที่อุณหภูมิ

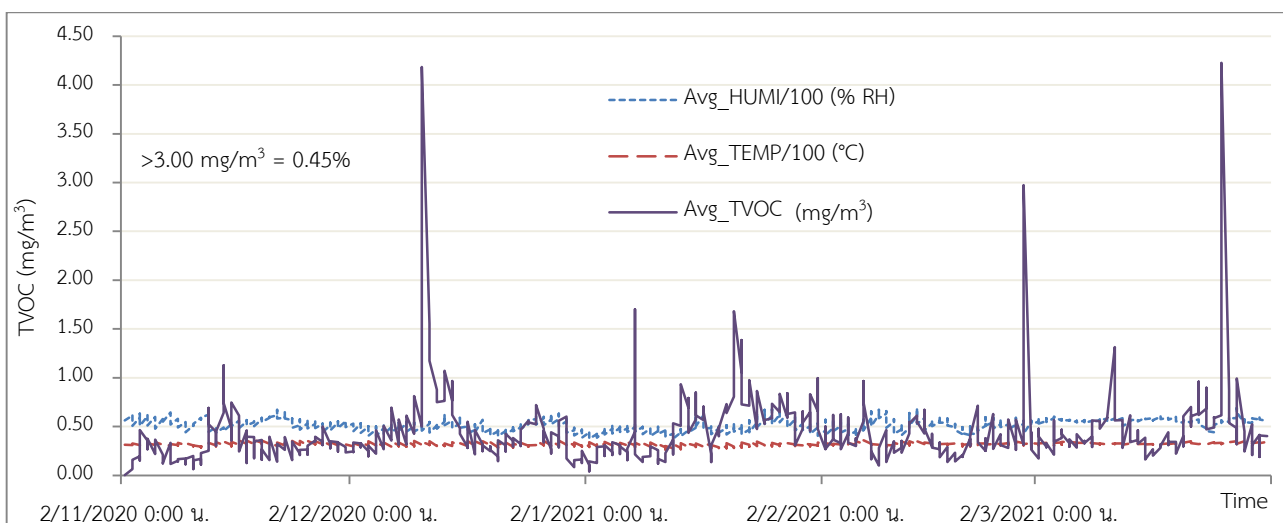
$32.14 \text{ }^\circ\text{C}$ และความชื้น $47.90 \text{ } \% \text{ RH}$ เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง โดยปริมาณ TVOC ที่มากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบมีค่า 0.45% (2 คาบ จาก 449 คาบ) แสดงดังรูปที่ 9

4.3) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{CO}_2\text{-eq}$)

ผลลัพธ์ของการศึกษาปริมาณ $\text{CO}_2\text{-eq}$ ภายในห้องทำงานมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง $1122.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ภายในอาคารมีค่าเฉลี่ย $983.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ ภายนอกอาคารเฉลี่ย $922.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แสดงดังตารางที่ 5 และ รูปที่ 10 ผลลัพธ์ของปริมาณ $\text{CO}_2\text{-eq}$ จากสถานที่ที่มีอากาศปิดจะเกิดผลกระทบมากกว่าสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเท



รูปที่ 8 : ปริมาณ TVOC เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง จากภายในห้องทำงาน (M1) ภายในอาคาร (M2) และภายนอกอาคาร (M3)

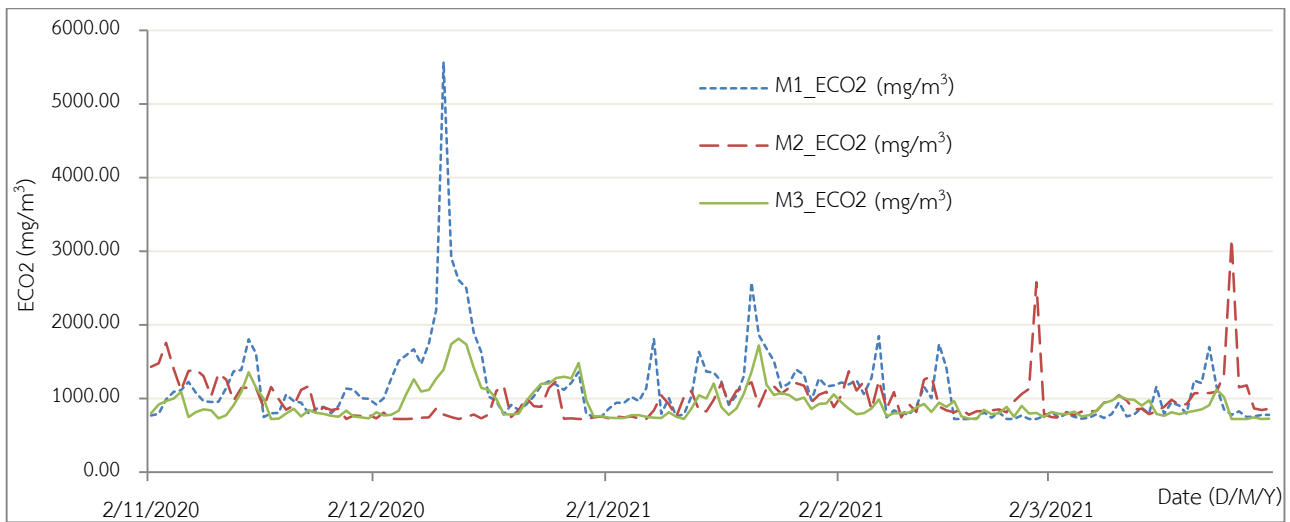


รูปที่ 9 : ปริมาณ TVOC อุณหภูมิ และความชื้น เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564

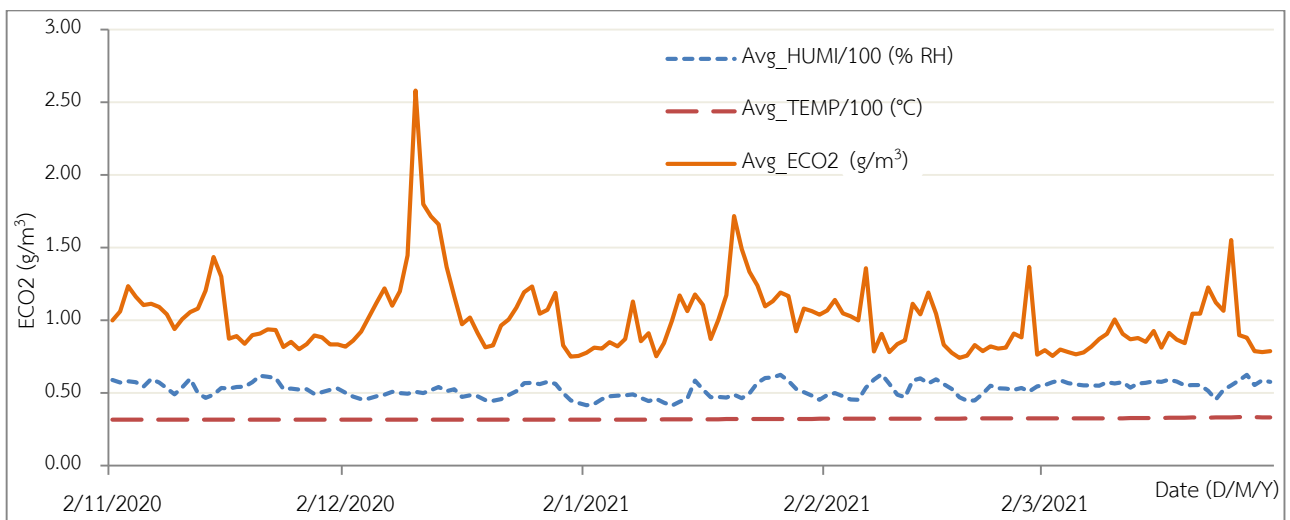
ผลลัพธ์ของปริมาณ CO₂-eq เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่องทั้ง วัน มีค่า 1009.86 ที่อุณหภูมิ 32.14 °C และความชื้น 47.90 %
ภายในห้องทำงาน ภายในอาคาร และภายนอกอาคาร จาก 150 RH เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 11

ตารางที่ 5 : ปริมาณ CO₂-eq ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564

เดือน	ปริมาณ CO ₂ -eq เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง (mg/m ³)									ค่าเฉลี่ยรวม
	ภายในห้องทำงาน			ภายในอาคาร			ภายนอกอาคาร			
	Max	Min	Avg.	Max	Min	Avg.	Max	Min	Avg.	
พฤศจิกายน	1804.01	745.22	1035.83	1757.71	720.95	1101.84	1355.53	720.47	867.59	1001.75
ธันวาคม	5569.32	756.23	1509.27	1232.69	720.07	822.96	1812.63	731.37	1127.18	1153.14
มกราคม	2571.56	750.34	1216.55	1221.24	723.20	967.59	1720.00	720.16	931.18	1038.44
กุมภาพันธ์	1847.30	720.05	974.70	2576.95	741.80	1027.98	1056.48	722.52	844.71	949.13
มีนาคม	1699.41	723.61	877.28	3158.10	738.93	999.47	1120.24	720.26	843.75	906.83
ค่าเฉลี่ยรวม	1122.73			983.97			922.88			1009.86



รูปที่ 10 : ปริมาณ CO₂-eq เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง จากภายในห้องทำงาน (M1) ภายในอาคาร (M2) และ ภายนอกอาคาร (M3)



รูปที่ 11 : ปริมาณ CO₂-eq อุณหภูมิ และความชื้น เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564

5) สรุปและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาผลกระทบของคุณภาพอากาศ ที่สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2563 ถึง มีนาคม 2564 จากเครื่องวัดที่ประดิษฐ์ขึ้น มีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.14 °C และความชื้นเฉลี่ย 47.90 % RH โดยปริมาณ PM2.5 มีค่าเฉลี่ยภายในห้องทำงาน ภายในอาคารและภายนอกอาคารอยู่ที่ 38.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ คุณภาพอากาศอยู่ในระดับปานกลาง แต่มีความเสี่ยงต่อคนกลุ่มเสี่ยง และมีค่ามากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบ อยู่ 22.00% ปริมาณ TVOC มีค่าเฉลี่ย 0.44 mg/m^3 คุณภาพอากาศอยู่ในระดับดี แต่ควรระวังอากาศอยู่เสมอ เกิดขึ้นในช่วงเวลา 8:00–16:00 น. มากที่สุด และมีค่ามากกว่าระดับเริ่มมีผลกระทบ 0.45% และ ปริมาณ CO₂-eq มีค่าเฉลี่ย 1009.86 mg/m^3 ผลกระทบของ TVOC และ CO₂-eq จะเกิดขึ้นมากที่สุดภายในสถานที่ที่มีอากาศปิด เพราะอากาศไม่เกิดการถ่ายเท และ PM2.5 จะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ภายนอกอาคาร เพราะแหล่งกำเนิดส่วนมากเกิดขึ้นที่ภายนอก และ ปริมาณ PM2.5 ของเครื่องวัดที่ประดิษฐ์มีความแตกต่างจากปริมาณ PM2.5 ของกรมควบคุมมลพิษอยู่ประมาณ 22.40% เนื่องจากวิธีการวัดหาค่า สถานที่ตั้ง ความเร็วลม ลักษณะสภาพแวดล้อม และสมรรถนะของอุปกรณ์ เครื่องวัดที่ประดิษฐ์ขึ้นจะมีความอ่อนไหวต่ออากาศขึ้นค่อนข้างมาก ควรติดตั้งเครื่องวัดไว้ในที่น้ำหรือละอองฝนเข้ามาไม่ถึง และควรถอดเซ็นเซอร์ PMS3003 SGP30 และ AM2302 ออกมาทำความสะอาดอยู่เสมอเมื่อสกปรก จะทำให้ค่าที่วัดได้ คาดเคลื่อนลดลง

REFERENCES

- [1] Ministry of Public Health, Nonthaburi, Thailand. *Operation Manual of Medicine and Public Health in Case of PM2.5 in 2020*. (in Thai). (2019). Accessed: Dec. 25, 2020. [Online]. Available: http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/downloads/do_manual_PM2.5.pdf
- [2] T. Ponpiboon, I. Jayasvasti, and A. Roongpisuthipong, "Disaster in the Winter of Particle Matter (PM2.5)," (in Thai), *EAU Heritage J.: Sci. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 40–46, Jun. 2014.
- [3] Bureau of Environmental Health, Department of Health, Ministry of Natural Resources and Environment, "Effect of VOCs," in *Volatile Organic Compounds: VOCs*, Bangkok, Thailand: WVO PRINTING (in Thai), 2012, ch. 2, pp. 7–39. [Online]. Available: https://env.anamai.moph.go.th/web-upload/migrated/files/env/n513_2ab2878f2a72fb61feedcf51190be398_a017.pdf
- [4] S. Junsiri, S. Thongdam, W. malakan, and P. Bunna, "The amount of volatile organic compounds (VOCs) in the working area and health conditions of workers in fuel stations: a case study in City Municipality Ubon Ratchathani province," (in Thai), *J. Sci. Technol. Mahasarakham Univ.*, vol. 36, no. 4, pp. 509–516, Aug. 2017.
- [5] W. Jawjit, S. Jawjit, and T. Kulruttanarak, "Life Cycle Greenhouse Gases Emissions of Processed Frozen Chicken," (in Thai), *Thai Sci. Technol. J.*, vol. 28, no. 9, pp. 1642–1654, Sep. 2020.
- [6] Bureau of Environmental Health, Department of Health, Ministry of Natural Resources and Environment, "Carbon Footprint," in *Health Service Center with Carbon Footprint*, 3rd ed. Bangkok, Thailand: Rongpimbuddha-press (in Thai), 2014, ch. 3, pp. 18–25. [Online]. Available: http://203.157.71.139/group_sr/allfile/1588988146.pdf
- [7] Air Quality and Noise Management Bureau, "Thailand's air quality Information," Pollution Control Department, Bangkok, Thailand. (in Thai). Accessed: Mar. 31, 2021. [Online]. Available: http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php
- [8] C. Meyer, *Overview of TVOC and Indoor Air Quality*. (2021). Accessed: May. 10, 2021. [Online]. Available: <https://www.renatas.com/us/en/document/whp/overview-tvoc-and-indoor-air-quality>
- [9] N. Nuansawan, J. Pinnate, and T. Triwong, "Influence of Air Quality in Green Buildings on Comfortable Conditions," (in Thai), *J. Ind. Technol.*, vol. 16, no. 2, pp. 55–65, Aug. 2020.
- [10] T. K. Boguski, "Understanding Units of Measurement," *Environmental Science and Technology Briefs for Citizens*, no 2, pp. 1–2, Oct., 2006. [Online]. Available: <https://eng.ksu.edu/CHSR/outreach/resources/docs/2UnitsofMeasure022508.pdf>
- [11] Plantower Co., Ltd, Shunyi, Beijing, China. *PMS3003 series data manual*. (2016). [Online]. Available: <http://www.plan tower.com/en/content/?107.html>



- [12] T. Zheng, *et al.*, “Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high- and low-concentration environments,” *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 11, no. 8, pp. 4823–4846, 2018.
- [13] O. Phonrit, N. Arnansanti, N. Laotrakulngam, and N. Wattana, “Measuring Dust System in the Air on Smartphone Devices,” (in Thai), *J. Inf. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, Jun. 2020.
- [14] G. Yurko *et al.*, “Real-Time Sensor Response Characteristics of 3 Commercial Metal Oxide Sensors for Detection of BTEX and Chlorinated Aliphatic Hydrocarbon Organic Vapors,” *Chemosensors*, vol. 7, no. 3, Sep. 2019.
- [15] Z. Busabong, T. Saenkham, N. Poonsunk, and M. Dechbandid, “Developing an Online Blood Bank Management System with a Blood Bank Temperature Monitoring Device using Internet of Things Technology: a Case Study of Phutthaisong Hospital, Phutthaisong District, Buriram Province,” (in Thai), *J. Manage. Rajabhat Maha Sarakham Univ.*, vol. 7, no. 1, pp. 40–50, Jun. 2020.
- [16] T. Muangpool and O. Intharasombat, “Heat Transfer Development using Cooling Copper Tube and Microcontroller,” (in Thai), *J. Innov. Technol. Manage. Rajabhat Maha Sarakham Univ.*, vol. 4, no. 2, pp. 47–56, Dec. 2017.
- [17] Air Quality and Noise Management Bureau, “Thailand's air quality and situation reports,” Pollution Control Department, Bangkok, Thailand. (in Thai). Accessed: May. 5, 2021. [Online]. Available: http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download_report.php?file=bkk_pm25_2021
- [18] Air Quality and Noise Management Division, “Standard of general particulate matter in air of Thailand,” in *Manual of Measuring Particulate Matter in Air*, Bangkok, Thailand: PCD. MNRE, (in Thai), 2003, ch. 2, sec. 2.2, pp. 4–5. [Online]. Available: <http://infofile.pcd.go.th/air/DustinAmbient.pdf>

การวิเคราะห์ภาพคนและสัมภาระสำหรับการตรวจจับวัตถุที่ปราศจากเจ้าของ

ปฎิญา ตันทวีวัฒน์¹ ไตรรัตน์ สบายใจ² ดชกรณัฏ์ ตันเจริญ³ ณัฐชัย วัชรารัตนชัย⁴ ศีตภา รุจิเกียรติกิจาร^{5*}

^{1,2,3}คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์, นนทบุรี, ประเทศไทย

^{4,5*}ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ปทุมธานี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล: sitapa.ruj@nectec.or.th

รับต้นฉบับ: 17 พฤษภาคม 2564; รับผิดชอบต่อฉบับแก้ไข: 17 กรกฎาคม 2564; ตอรับบทความ: 31 สิงหาคม 2564

เผยแพร่ออนไลน์: 13 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ภาพวิดีโอคนและสัมภาระสำหรับการตรวจจับวัตถุที่ปราศจากเจ้าของ และตรวจจับบุคคลที่มีการถือกระเป๋าประเภทต่าง ๆ เนื่องจากเหตุการณ์วางทิ้งกระเป๋าเป็นเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงและเกิดขึ้นได้จริงโดยเฉพาะพื้นที่สาธารณะที่ต้องการเฝ้าระวังเป็นพิเศษ เช่น สถานีรถไฟ สนามบิน หรือสถานที่สำคัญภายในอาคาร เป็นต้น การตรวจจับเพื่อระบุตำแหน่งคนและกระเป๋าใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึกที่ถูกฝึกสอนด้วยภาพจำนวน 12,000 ภาพ ที่ประกอบด้วยภาพคนและกระเป๋า เช่น กระเป๋าเป้ กระเป๋าถือ และกระเป๋าเดินทาง งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง YOLOv3 สำหรับการตรวจจับวัตถุซึ่งประมวลผลได้แบบเรียลไทม์ และมีประสิทธิภาพความถูกต้อง (Accuracy) ถึง 98% ส่วนการวิเคราะห์ความเป็นเจ้าของ และการละทิ้งกระเป๋าจะใช้วิธีการพิจารณาความสัมพันธ์ในเชิงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของคนและกระเป๋า ซึ่งประสิทธิภาพการระบุความเป็นเจ้าของได้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) 65.1% และประสิทธิภาพการระบุการละทิ้งวัตถุที่ 66.6%

คำสำคัญ : การตรวจจับวัตถุที่ปราศจากเจ้าของ การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ การประมวลผลภาพ การเรียนรู้ของเครื่องจักร



Human and Luggage Analysis for Abandoned Object Detection

Patinya Tantawiwat¹ Trairat Sabaichai² Datchakorn Tancharoen³

Nattachai Watcharapinchai⁴ Sitapa Rujikietgumjorn^{5*}

^{1,2,3}Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of Management (PIM), Nonthaburi, Thailand

^{4,5*}National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), Pathum Thani, Thailand

*Corresponding Author. E-mail address: sitapa.ruj@nectec.or.th

Received: 17 May 2021; Revised: 17 July 2021; Accepted: 31 August 2021

Published online: 13 December 2021

Abstract

This paper presents a method to analyze videos for Abandoned Object Detection (AOD) and ownership identification. Abandoned luggage is a risky event that can actually occur in many public areas such as train stations, airports, or other important places in the building. Deep learning is used for person and luggage detection. The dataset is trained for both people and luggage images including backpacks, handbags and suitcases for more than 12,000 images. In this work, we use the YOLOv3 model that can be processed in real time with 98% accuracy. For ownership identification and abandoned detection, we propose a method that evaluates the spatial relationships and trajectories of each person and luggage. Ownership identification yields 65.1% accuracy while abandoned detection provides 66.6% accuracy.

Keywords: Abandoned object detection, Motion analysis, Image processing, Machine learning

1) บทนำ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มีประสิทธิภาพความถูกต้องและความแม่นยำสูงขึ้น ก่อให้เกิดการต่อยอดเทคโนโลยีบนระบบกล้องวงจรปิดอัจฉริยะ (Intelligent CCTV System) ที่สามารถทำการวิเคราะห์ภาพได้อย่างอัตโนมัติ เนื่องจากปัจจุบันจำนวนกล้องมีปริมาณมากขึ้น ทำให้ผู้ดูแลไม่สามารถสังเกตเหตุการณ์ผ่านระบบกล้องวงจรปิดแบบเดิม และแจ้งเตือนเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ทั้งหมด จึงเป็นหน้าที่ของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่จะมีส่วนช่วยผู้ดูแลสถานที่ที่มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น

การตรวจจับเหตุการณ์วางกระเป๋าหรือสิ่งของโดยปราศจากผู้ครอบครอง เป็นตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในระบบกล้องวงจรปิด และเป็นที่ต้องการเพื่อนำมาใช้ในพื้นที่สาธารณะในการเฝ้าระวังสถานที่บางแห่งเป็นพิเศษ เช่น สถานีรถไฟ สนามบิน หรือพื้นที่ภายในอาคาร โดยจะเป็นการวิเคราะห์การวางวัตถุโดยปราศจากผู้ครอบครอง (Abandoned Objects Detection หรือ AOD) หมายถึง การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์ที่ว่าบุคคลในภาพนั้นมีความประสงค์จะทอดทิ้งวัตถุนั้นหรือไม่ [1]-[3] ภายใต้การใช้งานในสถานการณ์จริง AOD ยังคงมีความท้าทายในแง่ของเทคโนโลยีหลายประการ ได้แก่ 1) วัตถุที่ต้องการวิเคราะห์มีความหลากหลาย เช่น กระเป๋า กล่อง หรือถุง เป็นต้น 2) สถานการณ์จริงมักจะมีคนอยู่พลุกพล่านทำให้เกิดการบังวัตถุและยากต่อการวิเคราะห์ความเป็นเจ้าของ 3) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของภาพ เช่น ภาพที่มีสัญญาณรบกวน ภาพที่มีคุณภาพต่ำ เป็นต้น 4) ปริมาณกล้องที่ต้องการวิเคราะห์ที่มีอยู่อย่างมหาศาล แต่หน่วยประมวลผลมีจำกัด

สำหรับงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถตรวจจับเหตุการณ์วางกระเป๋าโดยปราศจากเจ้าของ และตรวจจับบุคคลที่มีการถือกระเป๋าประเภทต่าง ๆ ได้แก่ กระเป๋าเป้สะพายหลัง (Backpack) กระเป๋าถือ (Handbag) และกระเป๋าเดินทาง (Suitcase) งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการระบุความเป็นเจ้าของสัมภาระ (Owner Analysis) และการระบุวัตถุที่ปราศจากผู้ครอบครอง (Abandoned Object Detection) โดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในเชิงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของคนและกระเป๋า และมีการนำเสนอการติดตามวัตถุ (Object Tracking) เพื่อใช้ในการติดตามการเคลื่อนที่ของคนและกระเป๋า

นอกจากนั้นมีการเปรียบเทียบแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับวัตถุเพื่อให้สามารถประมวลผลได้เร็วและมีความถูกต้อง โดยตัวอย่างการตรวจจับภาพคนกับกระเป๋า และตัวอย่างความเป็นเจ้าของ และการละทิ้งกระเป๋าแสดงในรูปที่ 1

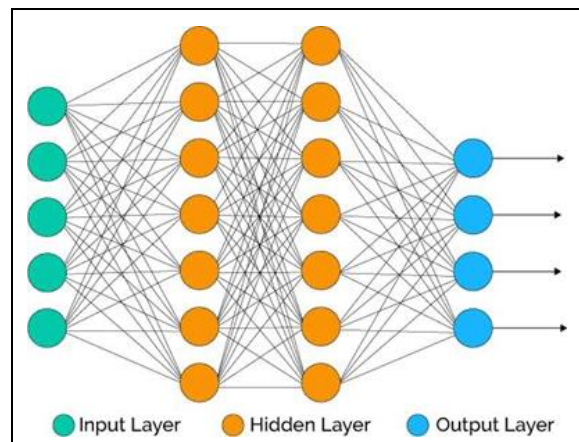


รูปที่ 1 : ตัวอย่างการตรวจจับภาพคนกับกระเป๋า ความเป็นเจ้าของ และการละทิ้ง

2) ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1) โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มีหลักการทำงานโดยจำลองมาจากสมองของสิ่งมีชีวิตที่มีความซับซ้อน โดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแนวคิดเริ่มต้นได้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพในสมอง โครงข่ายประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทจนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน ดังรูปที่ 2

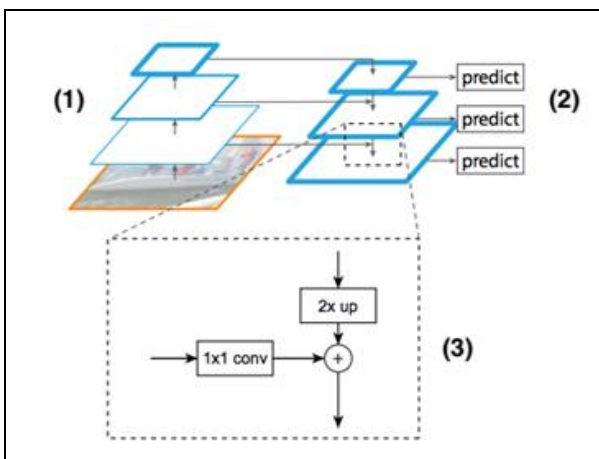


รูปที่ 2 : โครงข่ายประสาทเทียม

2.2) การตรวจจับวัตถุ

การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) มีเป้าหมายเพื่อต้องการตรวจหาตำแหน่งของวัตถุที่สนใจว่าเป็นวัตถุอะไรพร้อมทั้งระบุตำแหน่งว่าวัตถุนั้นอยู่ในตำแหน่งไหนของภาพหรือวิดีโอ โดยที่วัตถุนั้นอาจจะเป็นได้ทั้ง คน สัตว์ หรือสิ่งของ ซึ่งเป็นระเบียบกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรค้นหาสิ่งของในภาพหรือวิดีโอแทนคน จุดเด่นที่สำคัญของการตรวจจับวัตถุ คือ การตรวจคัดกรองหาขอบเขตของกล่องแบบสี่เหลี่ยม (Boundary Box) ซึ่งมีวิธีการที่เป็นที่นิยมได้แก่ R-CNN และ YOLO [4], [5] เป็นต้น

สำหรับ YOLO เป็นหนึ่งในการตรวจจับวัตถุที่ใช้กันแพร่หลาย ซึ่งถูกพัฒนาโดย Joseph Redmon และ Ali Ferhadi จากมหาวิทยาลัย Washington งานวิจัยนี้เลือกแบบจำลอง YOLOv3 สำหรับการตรวจจับวัตถุเนื่องจากมีความเร็วในการประมวลผลและความแม่นยำสูง โดยจุดเด่นหลักของ YOLOv3 คือ การใช้หลักการของ Feature Pyramid Network [6]



รูปที่ 3 : หลักการของ Feature Pyramid Network

รูปที่ 3 แสดงถึงหลักการทำงานของ Feature Pyramid Network โดยมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1) *Bottom-up Pathway* ที่จะนำภาพตั้งต้นมาทำการลดขนาดลงทีละชั้นดังรูปทรงพีระมิด

2.2.2) *Top-down Pathway* เป็นขั้นตอนที่จะขยายขนาดภาพให้กลับมาในขนาดดั้งเดิม และเพิ่มขึ้นตอน Predict เข้าไปในแต่ละชั้นของพีระมิด

2.2.3) *Lateral Connection* จะเกิดขึ้นในทุกชั้นระหว่าง Bottom-up Pathway และ Top-down Pathway โดยจะเชื่อมพีระมิดทั้งสองด้วย 1x1 convolution เพื่อปรับให้ทั้งสองมีขนาดเท่ากัน

2.3) การวิเคราะห์วัตถุที่ปราศจากเจ้าของ

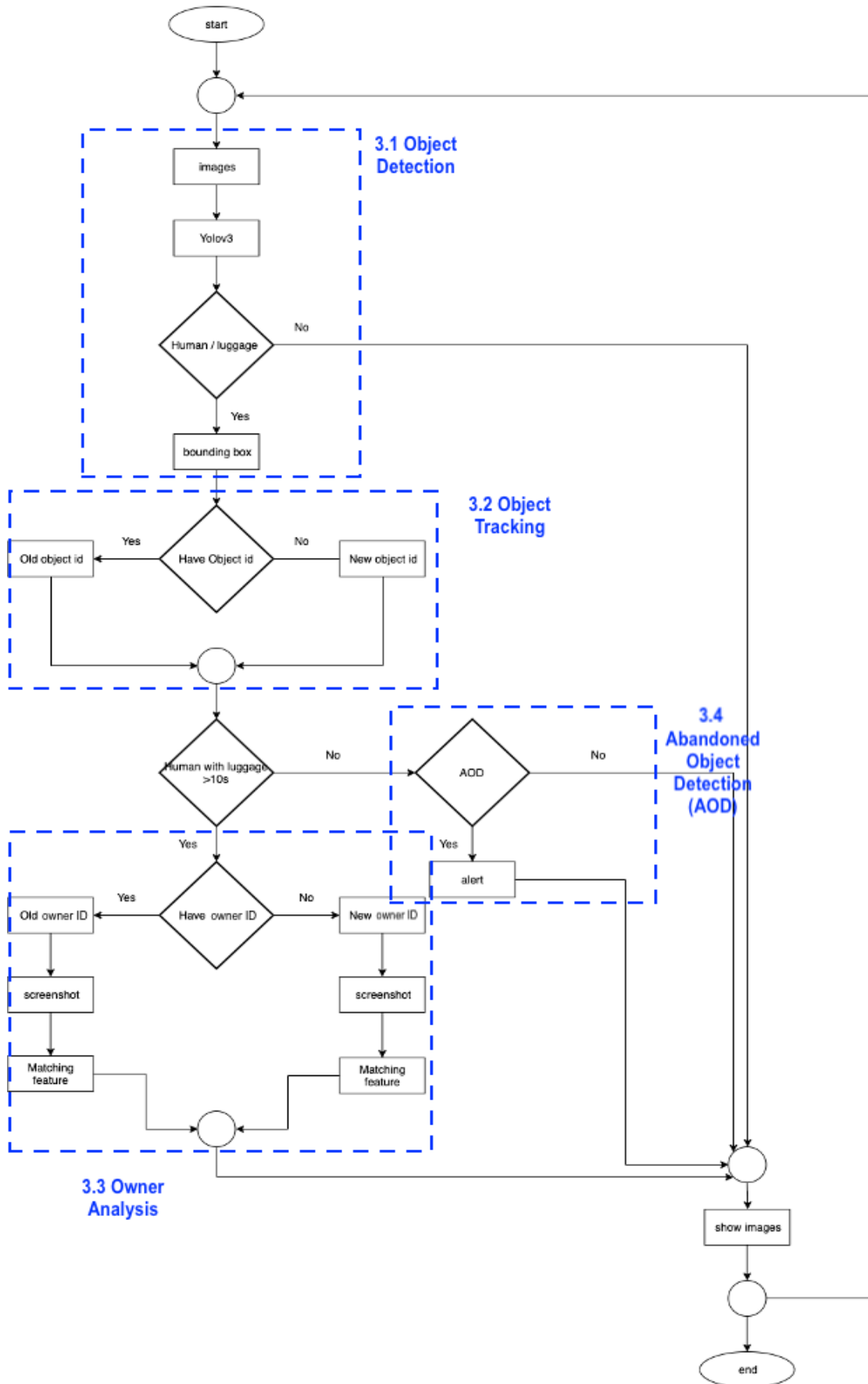
เทคนิคการวิเคราะห์การวางวัตถุโดยปราศจากผู้ครอบครอง มีแนวทางการวิจัย 2 แนวทาง สำหรับแนวทางที่ 1 คือ การตรวจจับวัตถุว่าไม่มีการเคลื่อนที่เกินกว่าระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งมักนิยมใช้เทคนิคแยกฉากหน้า (Foreground Segmentation) [7]–[9] หรือการทำตำแหน่งและแยกวัตถุด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก [10]–[12] ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อหาตำแหน่งวัตถุภายในภาพ ส่วนแนวทางที่ 2 คือ การวิเคราะห์พฤติกรรมของคนที่ไม่เอาใจใส่ (Unattended) [13]–[15] เป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมของคนที่เป็เจ้าของวัตถุได้ละทิ้งวัตถุนั้นหรือไม่ โดยพิจารณาด้วยระยะห่างระหว่างวัตถุถึงคนเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

3) วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ภาพคนและสัมภาระสำหรับการตรวจจับวัตถุที่ปราศจากเจ้าของที่นำเสนอประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) การติดตามวัตถุเพื่อระบุเลขประจำตัวของวัตถุ (Object Tracking) การวิเคราะห์ความเป็นเจ้าของ (Owner Analysis) และการวิเคราะห์วัตถุที่ปราศจากเจ้าของ (Abandoned Object Analysis) โดยรูปที่ 4 แสดงภาพรวมของการทำงานของทั้ง 4 ขั้นตอน

3.1) การตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุเป็นการระบุตำแหน่งของวัตถุแบบกรอบสี่เหลี่ยมรอบวัตถุโดยเป็นพิกัดตำแหน่งมุมซ้ายบน (x1, y1) และมุมขวาล่าง (x2, y2) ซึ่งชนิดของวัตถุที่สนใจในงานวิจัยนี้ คือ คน และ กระเป๋า



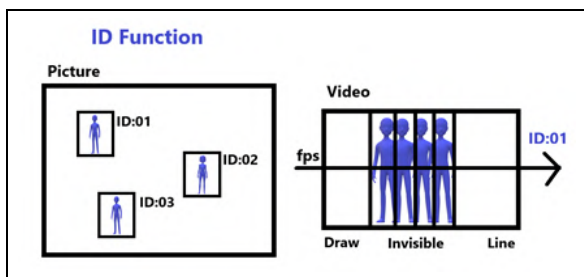
รูปที่ 4 : ภาพรวมของการระบุเจ้าของสัมภาระและการตรวจจับสัมภาระที่ปราศจากเจ้าของที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะประมวลผลแบบเรียลไทม์ จึงต้องเลือกใช้แบบจำลองที่ประมวลผลได้เร็วและพิจารณาความเร็วในการประมวลผลควบคู่กับความถูกต้อง แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้สำหรับส่วนฝึกสอน (Training) เพื่อการตรวจจับวัตถุ คือ YOLOv3 และ YOLOv3-tiny ซึ่งแบบจำลองหลังเป็นแบบจำลองที่ถูก Optimize ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ประมวลผลได้เร็วขึ้น แต่มีส่วนทำให้ประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุลดลง

3.2) การติดตามวัตถุ (Object Tracking)

ในการระบุเลขประจำตัววัตถุ (Object ID) การตรวจจับวัตถุเป็นการหาตำแหน่งวัตถุในแต่ละเฟรม สำหรับวิดีโอประกอบด้วยภาพหลายเฟรมมาต่อกัน จึงมีขั้นตอนเพื่อหาว่าตำแหน่งวัตถุในเฟรมปัจจุบัน คือ ตำแหน่งวัตถุใดในเฟรมถัดไป โดยใช้การระบุเลขประจำตัววัตถุ เพื่อแสดงว่าเป็นวัตถุเดียวกันในแต่ละเฟรม การระบุเลขประจำตัววัตถุมีความสำคัญอย่างมากในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการระบุตัวตน การนับ หรือการตรวจสอบความเป็นเจ้าของ

การระบุเลขประจำตัววัตถุในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการสร้างจุดที่มองไม่เห็น (Invisible Point) เพื่อที่จะนำไว้ลากเส้นที่มองไม่เห็น (Invisible Line) จึงทำให้ ID ที่ออกมานั้นไม่เปลี่ยนแปลงแม้จะทำการเปลี่ยนเฟรมไป ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 : การสร้างเลขประจำตัววัตถุ Object ID ของวิดีโอ

3.3) การวิเคราะห์ความเป็นเจ้าของสัมภาระ (Owner Analysis)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเป็นเจ้าของเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคนและกระเป๋า โดยจะตรวจสอบว่าบุคคลใดเป็นเจ้าของสัมภาระชิ้นไหน เพื่อทำการบันทึกและสร้างเลขประจำตัวระหว่างเจ้าของกับสัมภาระ วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้การพิจารณาตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของคนและกระเป๋า โดยคนและกระเป๋าจะต้องอยู่ไม่เกินระยะห่างที่กำหนดและอยู่ใกล้กันเกินช่วงระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งในการทดสอบได้กำหนด

ระยะเวลาไว้ที่ 10 วินาที ดังนั้นคนที่แค่เดินผ่านกระเป๋าจะไม่ถูกพิจารณาว่าเป็นเจ้าของกระเป๋า

3.4) การวิเคราะห์วัตถุที่ปราศจากผู้ครอบครอง (Abandoned Object Detection)

ขั้นตอนการวิเคราะห์วัตถุที่ปราศจากผู้ครอบครองเป็นการวิเคราะห์หาสัมภาระที่ถูกวางหรือละทิ้งโดยไม่มีผู้ครอบครอง ซึ่งมีหลักการโดยใช้การคาดการณ์ว่าสัมภาระมีแนวโน้มว่าจะถูกทิ้งหรือไม่ โดยพิจารณาระยะเวลาและระยะห่างของคู่ความเป็นเจ้าของระหว่างคนและกระเป๋า เมื่อบุคคลที่เป็นเจ้าของกระเป๋าเดินออกห่างจากกระเป๋าเกินระยะเวลาที่กำหนด ระบบจะถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่มีแนวโน้มความเสี่ยงแล้วระบบจะทำการแจ้งเตือนรวมถึงแสดงภาพก่อนหน้าเพื่อแสดงบุคคลที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นเจ้าของสัมภาระนี้

4) ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ภาพคนและสัมภาระสำหรับการตรวจจับวัตถุที่ปราศจากเจ้าของในงานวิจัยนี้ ใช้ชุดข้อมูลแบบเปิดสาธารณะสำหรับการฝึกสอนและทดสอบ โดยมีการประเมินผลใน 4 ส่วน ดังนี้ ประสิทธิภาพแบบจำลอง YOLOv3 เปรียบเทียบกับ YOLOv3-tiny, ประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุแต่ละชนิด, ประสิทธิภาพการระบุความเป็นเจ้าของ, ประสิทธิภาพการระบุการละทิ้งกระเป๋า

4.1) ชุดข้อมูล (Dataset)

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ส่วน คือ ข้อมูลสำหรับฝึกสอน การรู้จำคนและกระเป๋า และข้อมูล i-Lids AVSS-AB [13] สำหรับการวิเคราะห์ความเป็นเจ้าของและการละทิ้งกระเป๋า

4.1.1) ข้อมูลสำหรับฝึกสอนการรู้จำคนและกระเป๋า

การฝึกสอนการรู้จำวัตถุจำเป็นต้องใช้ตัวอย่างฝึกสอนจำนวนมากซึ่งชุดข้อมูล i-Lids AVSS-AB มีจำนวนภาพคนและกระป๋าน้อย ไม่หลากหลายเพียงพอที่จะใช้ฝึกสอนเพื่อการรู้จำคนและกระเป๋า เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความทนทานมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงรวบรวมภาพจากชุดข้อมูลเปิดสำหรับฝึกสอนเพื่อการรู้จำคนและกระเป๋า โดยผู้วิจัยรวบรวมภาพของคนและกระเป๋าจำนวน 12,000 ภาพ สำหรับการฝึกสอน (Training) และ 100 ภาพ สำหรับการทดสอบ (Testing) โดยมีแหล่งที่มา ได้แก่ ชุดข้อมูล COCO [16] ชุดข้อมูล Open Image [17] และ ภาพจาก Google Image Search

เนื่องจากกระเป๋ามีความหลากหลายมาก ผู้วิจัยจึงเลือกกระเป๋า 3 ประเภท ได้แก่ กระเป๋าสัมภาระ (Suitcase) กระเป๋าสะพาย (Backpack) และ กระเป๋าถือ (Handbag) ดังรูปที่ 6 โดยในการฝึกสอนนั้นกระเป๋าทั้งสามประเภทจะถูกนำไปใช้เพื่อฝึกสอน ส่วนในการทดสอบจะไม่มีแบ่งประเภทของกระเป๋า โดยจะทำนายกระเป๋าประเภทต่าง ๆ เป็นกระเป๋าเหมือนกัน



รูปที่ 6 : ภาพคนและกระเป๋าทั้ง 3 ประเภทจากชุดข้อมูล Open Image

4.1.2) ข้อมูล i-Lids AVSS-AB

ชุดข้อมูล i-Lids AVSS-AB [18] สำหรับการวิเคราะห์ความเป็นเจ้าของและการละทิ้งกระเป๋า เป็นชุดข้อมูลวิดีโอจากกล้อง CCTV ของสถานีรถไฟที่มีคนถือและไม่ถือกระเป๋าเดินไปมา โดยรวมถึงกรณีที่มีคนทิ้งกระเป๋าด้วย ชุดข้อมูลเปิด (Public Dataset) ที่มีคนทิ้งกระเป๋าค่อนข้างมีอยู่อย่างจำกัด สำหรับข้อมูลวิดีโอที่มีความยาวประมาณ 3 นาที จำนวน 3 วิดีโอ โดยแบ่งตามความยากง่ายเป็นระดับง่าย (AVSS AB Easy) ระดับกลาง (AVSS AB Medium) และระดับยาก (AVSS AB Hard) ในแต่ละกรณีจะมีเหตุการณ์ละทิ้งกระเป๋าที่มีความยากง่ายต่างกัน และมีความหนาแน่นและการซ้อนทับของคนต่างกันเช่นกัน

4.2) วิธีการประเมินประสิทธิภาพ

4.2.1) การวัดประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุ การวัดประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุส่วนมากจะใช้วิธี Intersection Over Union (IOU) เพื่อประเมินความถูกต้องของกรอบสี่เหลี่ยมที่ทำนายเทียบกับกรอบสี่เหลี่ยมของ Ground Truth ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 : ผลการทำนาย (กรอบสีแดง) เทียบกับ Ground Truth (กรอบสีเขียว)

IOU เป็นการทดสอบโดยวัดตามดัชนี Jaccard Similarity ที่ประเมินการทับซ้อนระหว่างกรอบสี่เหลี่ยม Ground Truth และ กรอบสี่เหลี่ยมที่ทำนาย โดยมีวิธีการคำนวณ ดังรูปที่ 8

$$IOU = \frac{\text{area of overlap}}{\text{area of union}}$$

รูปที่ 8 : วิธีการคำนวณค่า Intersection Over Union (IOU)

IOU จะวิเคราะห์ได้ว่าการตรวจจับนั้นถูกต้อง (True Positive) หรือไม่ถูกต้อง (False Positive) ตามตัวอย่างดังรูปที่ 9 ทั้งกล่องสีแดงและกล่องสีเขียวเป็นวัตถุเดียวกัน โดยกล่องสีเขียวเป็นข้อมูลจริงและกล่องสีแดงเป็นข้อมูลจากการทำนาย ซึ่งคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงเล็กน้อย และแสดงการซ้อนทับ 3 ลักษณะ โดยภาพทางซ้ายเป็นการทำนายที่ไม่ค่อยดีเนื่องจากตรวจจับได้ขนาดใหญ่เกินจริง ส่วนภาพกลางและภาพขวาแสดงการทำนายที่ยอมรับได้ว่าถูกต้อง



รูปที่ 9 : ผลการทำนายเทียบกับข้อมูลจริงในกรณีต่าง ๆ

4.2.2) การวัดประสิทธิภาพความถูกต้อง

การวัดประสิทธิภาพความถูกต้อง พิจารณาจากค่าความถูกต้อง (Accuracy) ดังสมการที่ 1 ค่าความแม่นยำ (Precision) ดังสมการที่ 2 และค่าความครบถ้วน (Recall) ดังสมการที่ 3

$$Accuracy = \frac{tp + tn}{tp + tn + fp + fn} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{tp}{tp + fp} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{tp}{tp + fn} \quad (3)$$

โดยที่ tp คือ True Positive, fp คือ False Positive, tn คือ True Negative, fn คือ False Negative

4.2.3) การวัดประสิทธิภาพความเร็ว

การเปรียบเทียบความเร็วพิจารณาได้จากค่า FLOPS (Floating Point Operations per Second) ที่แสดงจำนวน Operation ของแบบจำลองทั้งสองในตารางที่ 1 และค่า Frame Rate เป็นเฟรมต่อวินาที (Frame Per Seconds หรือ fps) ที่ประมวลผลบนหน่วยประมวลผลภาพ GPU RTX2070 บนระบบปฏิบัติการ Ubuntu 19.04

4.3) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ YOLOv3 กับ YOLOv3-tiny

เนื่องจากแบบจำลอง YOLOv3-tiny ถูก Optimize ให้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับ YOLOv3 เพื่อให้ประมวลผลได้เร็วขึ้น จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพความถูกต้องลดลง การทดสอบส่วนนี้ จึงศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพความเร็วและความถูกต้องของแบบจำลองทั้งสองที่ถูกฝึกสอนด้วยภาพจำนวน 12,000 ภาพ จากชุดข้อมูล i-Lids AVSS-AB และทดสอบด้วยภาพจำนวน 100 ภาพ โดยแสดงผลดังตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่า YOLOv3-tiny ประมวลผลได้ประมาณ 30 fps ซึ่งเร็วกว่า YOLOv3 ประมาณ 3 เท่า แต่ค่า Accuracy ลดลงจาก 98% เหลือเพียง 37% ซึ่งการ Optimize นี้ มีผลกระทบต่อวัตถุขนาดเล็ก เช่น กระเป๋าและคน ทำให้ไม่สามารถตรวจจับได้ สำหรับการนำไปใช้งาน YOLOv3 จึงมีความเหมาะสมมากกว่าในแง่ของความถูกต้องและความเร็ว

ในการประมวลผล ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพในหัวข้อที่ 4.4 ถึง 4.6 จึงเลือกใช้แบบจำลอง YOLOv3

ตารางที่ 1 : ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv3 และ YOLOv3-tiny

Model	YOLOv3	YOLOv3-tiny
Accuracy (%)	98	37
FLOPS (Bn)	140.69	5.56
Frame rate (fps)	10	30

4.4) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุแต่ละชนิด

การทดสอบส่วนนี้เป็นการประเมินผลการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) จากแบบจำลองที่ถูกฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลหนึ่ง แล้วนำมาใช้กับชุดข้อมูลอื่น เช่น ชุดข้อมูล i-Lids AVSS-AB โดยตารางที่ 2 แสดงผลค่าความถูกต้อง True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN) แบ่งตามชนิดของวัตถุ คือ คนและกระเป๋า โดยมีการแบ่งแยกตามระดับความยาก 3 ระดับ คือ ระดับง่าย ระดับปานกลาง และระดับยาก โดยในการทดสอบนี้ได้สุ่มเลือกภาพมากรณีละ 20 ภาพ รวมทั้งสิ้น 60 ภาพ เพื่อสร้าง Ground Truth สำหรับการทดสอบ ดังรูปที่ 10 เป็นตัวอย่างผลของการตรวจจับวัตถุแต่ละชนิด โดยที่กรอบสีเหลือง (คน) และกรอบสีน้ำเงิน (กระเป๋า) คือ ความสามารถในการตรวจจับวัตถุได้ และวงกลมสีแดง คือ ส่วนที่ไม่สามารถตรวจจับวัตถุได้

โดยผลการทดลองในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการตรวจจับคนมีความถูกต้องสูงมาก ส่วนการตรวจจับกระเป๋ามีความยากกว่าการตรวจจับคนมาก การตรวจจับกระเป๋าให้ค่าความแม่นยำที่สูงมาก แต่ความครบถ้วนยังค่อนข้างต่ำ ซึ่งเกิดได้จากการถูกบัง กระเป๋ามีขนาดเล็ก และลักษณะของกระเป๋าที่มีความหลากหลายดังรูปที่ 10 โดยประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 : ผลการตรวจจับวัตถุแต่ละชนิด

LEVEL	CATEGORY	TP	FP	FN
AVSS AB Easy	People	43	0	0
	Luggage	22	1	17

ตารางที่ 2 : ผลการตรวจจับวัตถุแต่ละชนิด (ต่อ)

LEVEL	CATEGORY	TP	FP	FN
AVSS AB Medium	People	98	0	7
	Luggage	17	0	45
AVSS AB Hard	People	122	0	8
	Luggage	16	0	36
Overall	People	263	0	15
	Luggage	55	1	98

ตารางที่ 3 : ประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุแต่ละชนิด

LEVEL	CATEGORY	Accuracy	Precision	Recall
AVSS AB Easy	People	100%	100%	100%
	Luggage	55%	95.6%	56.4%
AVSS AB Medium	People	93.3%	100%	93.3%
	Luggage	27.4%	100%	27.4%
AVSS AB Hard	People	93.8%	100%	93.8%
	Luggage	30.8%	100%	30.8%
Overall	People	94.6%	100%	94.6%
	Luggage	35.0%	98.2%	35.9%



รูปที่ 10 : ตัวอย่างผลของการตรวจจับวัตถุแต่ละชนิด

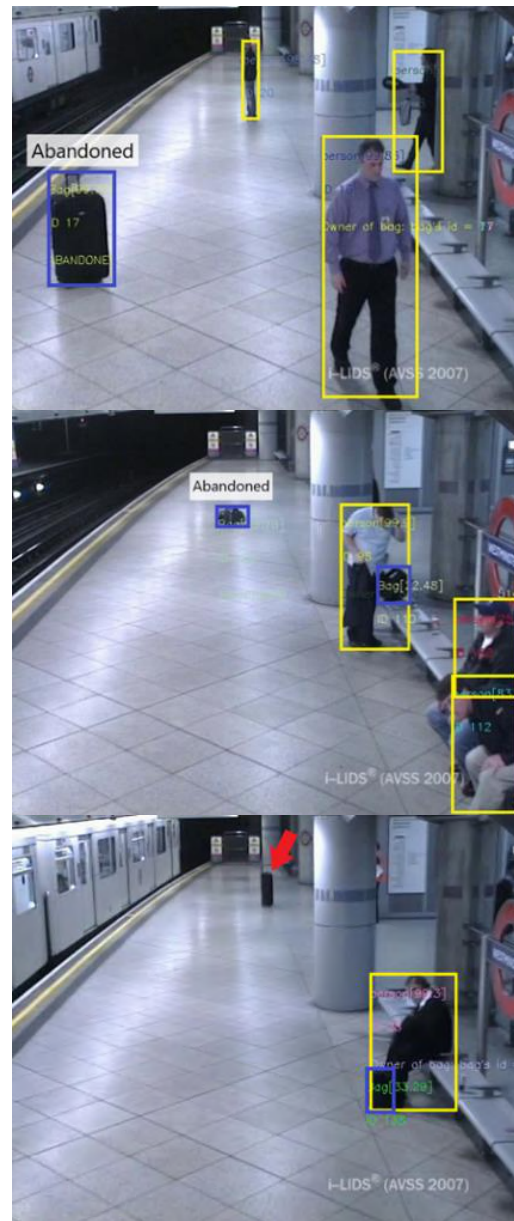
4.5) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุความเป็นเจ้าของ

การทดสอบในส่วนนี้เป็นการทดสอบผลการระบุความเป็นเจ้าของแยกตามความยากง่าย 3 กรณี จากตารางที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นว่ากรณีการตรวจจับวัตถุที่ง่าย จะได้ค่าความแม่นยำ (Precision) 86.6% และค่าความครบถ้วน (Recall) 76.5% ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำและความครบถ้วน โดยกรณีที่มีความยาก

มากขึ้นจะได้ค่าความถูกต้องที่ลดลง ความผิดพลาดจะเกิดจากการที่ไม่สามารถตรวจจับกระเป๋าได้ โดยมีสาเหตุจากกระเป๋าถูกบัง มีขนาดเล็ก หรือมีรูปร่างที่คล้ายกับวัตถุอื่น รูปที่ 11 เป็นตัวอย่างภาพของผลการระบุความเป็นเจ้าของ โดยที่แสดงผลข้อความ Owner (เจ้าของ) และจุดที่ลูกศรสีแดง คือ ตัวอย่างกรณีที่ไม่สามารถระบุความเป็นเจ้าของ



รูปที่ 11 : ตัวอย่างผลของการระบุความเป็นเจ้าของ



รูปที่ 12 : ตัวอย่างผลของการตรวจจับการละทิ้งกระเป๋า

ตารางที่ 4 : ผลการระบุความเป็นเจ้าของ

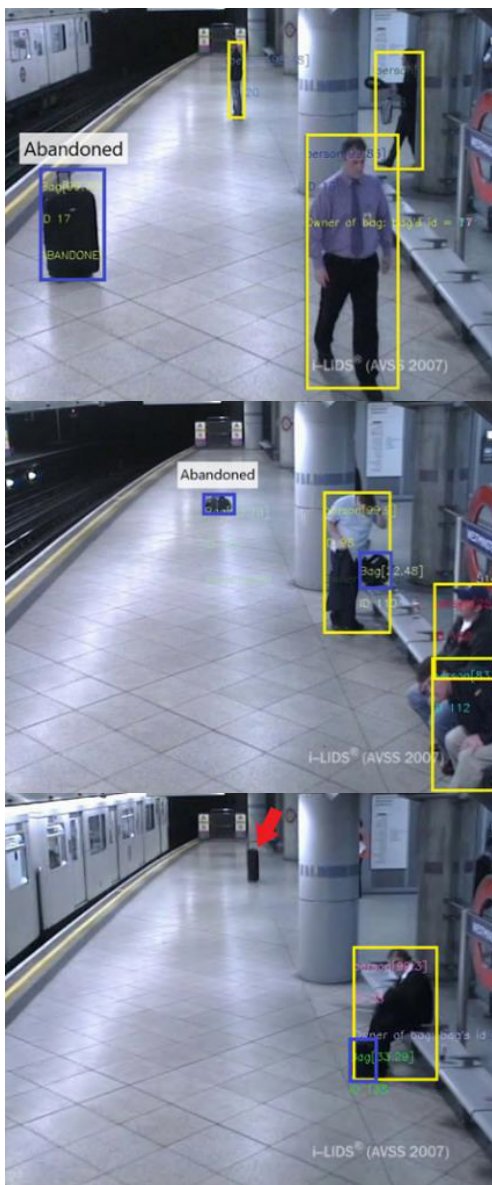
LEVEL	TP	FP	TN	FN
AVSS AB Easy	13	2	2	4
AVSS AB Medium	18	4	4	8
AVSS AB Hard	20	9	25	17
Overall	51	15	31	29

ตารางที่ 5 : ประสิทธิภาพการระบุความเป็นเจ้าของ

LEVEL	Accuracy	Precision	Recall
AVSS AB Easy	71.4%	86.6%	76.5%
AVSS AB Medium	64.7%	81.8%	69.2%
AVSS AB Hard	63.4%	69.0%	54.1%
Overall	65.1%	77.2%	63.8%

4.6) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุการละทิ้งกระเป๋า

การทดสอบในส่วนนี้เป็นการทดสอบผลการระบุการละทิ้งกระเป๋าว่าเกิดเหตุการณ์คนเดินถือกระเป๋าแล้ววางทิ้งไว้หรือไม่ โดยในวิดีโอทดสอบแบ่งเป็น 3 กรณี จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าสามารถระบุการละทิ้งกระเป๋าได้ในสองกรณี แต่ไม่สามารถระบุการละทิ้งในกรณีที่ยากที่สุดได้ เนื่องจากกระเป๋าถูกวางอยู่ในระยะที่ค่อนข้างไกล รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างผลของการตรวจจับการละทิ้งกระเป๋า โดยที่แสดงผลข้อความ Abandoned (ละทิ้งกระเป๋า) โดยลูกศรสีแดงแสดงกรณีที่ไม่สามารถระบุการละทิ้งกระเป๋า



รูปที่ 12 : ตัวอย่างผลของการตรวจจับการละทิ้งกระเป๋า

ตารางที่ 6 : ผลการตรวจจับการละทิ้งกระเป๋า

LEVEL	Our Method	Baseline [19]
AVSS AB Easy	✓	✓
AVSS AB Medium	✓	✓
AVSS AB Hard	✗	✗
Overall	66.6%	66.6%

หมายเหตุ (✓ คือ ถูกต้อง, ✗ คือ ผลาด)

5) สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับสัมภาระที่ปราศจากเจ้าของซึ่งวิเคราะห์จากภาพคนและสัมภาระที่เป็นกระเป๋าสตางค์ต่าง ๆ ประกอบด้วย กระเป๋าสะพาย (Backpack) กระเป๋าถือ (Handbag) และกระเป๋าเดินทาง (Suitcase) โดยสามารถประมวลผลได้แบบเรียลไทม์ และมีประสิทธิภาพความถูกต้องสูง การใช้เทคนิควีดีโอโครงข่ายประสาทเทียมและการประมวลผลภาพมาประยุกต์เพื่อสามารถช่วยตรวจจับเหตุการณ์ที่เสี่ยงต่อการทิ้งสัมภาระ ไม่ว่าจะทิ้งจะตั้งใจหรือไม่ก็ตาม หลังจากที่ได้ตรวจจับได้แล้ว จะแจ้งเตือนไปยังผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อให้ผู้ดูแลสามารถเข้าไปจัดการได้อย่างรวดเร็ว ส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้เป็นการระบุความเป็นเจ้าของสัมภาระและการระบุสัมภาระที่ปราศจากผู้ครอบครองโดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในเชิงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของคนและกระเป๋า ร่วมกับการติดตามวัตถุ เพื่อให้สามารถประมวลผลได้เร็วสำหรับการต่อยอดเพื่อนำไปใช้งานในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณโครงการสร้างปัญญาวิทย์ ผลิตนักเทคโนโลยี (Young Scientist and Technologist Programme: YSTP) ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยปริญญาโท (Senior Project)

REFERENCES

- [1] E. Luna, J. C. San Miguel, D. Ortego, and J. M. Martinez, "Abandoned object detection in video-surveillance: survey and comparison," *Sensors*, vol. 18, no. 12, pp. 1–32, Dec. 2018.
- [2] F. Porikli, "Detection of temporarily static regions by processing video at different frame rates," in *Proc. IEEE Int. Conf. Adv. Video Signal-based Surveillance*, London, UK, Sep. 5–7, 2007, pp. 236–241.
- [3] F. Porikli, Y. Ivanov, and T. Haga, "Robust abandoned object detection using dual foregrounds," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2008, Oct. 2007, Art. no. 197875 (2007).
- [4] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," *29th IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit.*, Las Vegas, NV, USA, Jun. 27–30, 2016, pp. 779–788.
- [5] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell and J. Malik, "Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation," in *IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit.*, Columbus, OH, USA, Jun. 23–28, 2014, pp. 580–587.
- [6] T. Lin, P. Dollár, R. Girshick, K. He, B. Hariharan and S. Belongie, "Feature pyramid networks for object detection," in *IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit.*, Honolulu, HI, USA, Jul. 21–26, 2017, pp. 936–944, doi: 10.1109/CVPR.2017.106.
- [7] T. Bouwmans, F. Porikli, B. Höferlin, and A. Vacavant, *Background Modeling and Foreground Detection for Video Surveillance*, Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2014.
- [8] A. Borji, M. Cheng, H. Jiang and J. Li, "Salient object detection: A benchmark," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 24, no. 12, pp. 5706–5722, Dec. 2015.
- [9] F. Perazzi, J. Pont-Tuset, B. McWilliams, L. Van Gool, M. Gross, and A. Sorkine-Hornung, "A Benchmark dataset and evaluation methodology for video object segmentation," in *29th IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit.*, Las Vegas, NV, USA, Jun. 27–30, 2016, pp. 724–732.
- [10] A. G. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto, and H. Adam, "MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications," 2017. [Online]. Available: arXiv:1704.04861.
- [11] S. Smeureanu and R. T. Ionescu, "Real-time deep learning method for abandoned luggage detection in video," in *Proc. 26th Eur. Signal Process. Conf. EUSIPCO*, Rome, Italy, Sep. 3–7, 2018, pp. 1775–1779.
- [12] X. Xie, C. Wang, S. Chen, G. Shi, and Z. Zhao, "Real-time illegal parking detection system based on deep learning," in *Int. Conf. Deep Learn. Technol.*, Chengdu, China, Jun. 2–4, 2017, pp. 23–27.
- [13] C.-Y. Lin, K. Mughtar, and C.-H. Yeh, "Robust techniques for abandoned and removed object detection based on Markov random field," *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 39, pp. 181–195, Aug. 2016.
- [14] I. Dahi, M. C. E. Mezouar, N. Taleb, and M. Elbahri, "An edge-based method for effective abandoned luggage detection in complex surveillance videos," *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 158, pp. 141–151, May 2017.
- [15] J. Kim and D. Kim, "Accurate abandoned and removed object classification using hierarchical finite state machine," *Image Vis. Comput.*, vol. 44, pp. 1–14, Dec. 2015.
- [16] T. Lin *et al.*, "Microsoft COCO: Common Objects in Context," 2014. [Online]. Available: arXiv:1405.0312.
- [17] A. Kuznetsova *et al.*, "The Open Images Dataset V4 Unified Image Classification, Object Detection, and Visual Relationship Detection at Scale," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 128, pp. 1956–1981, Mar.2020.
- [18] *i-Lids dataset for AVSS 2007*, Sep. 2007. [Online]. Available: http://www.eecs.qmul.ac.uk/~andrea/avss2007_d.html
- [19] P. L. Venetianer, Z. Zhang, W. Yin, and A. J. Lipton, "Stationary target detection using the objectvideo surveillance system," in *IEEE Conf. Adv. Video Signal-based Surveillance*, London, UK, Sep. 5–7, 2007, pp. 242–247.

การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกัน สำหรับอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค

วรากร ศรีเชวงทรัพย์^{1*} กัญติชา กิตติพิรชล² ฐิติชญา ธนมิตรสมบุญ³ วรวุฒิ จิตขจรวานิช⁴ ชาตรี ทองวรรณ⁵

^{1*,2,3,4}ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมคอมพิวเตอร์หุ่นยนต์และเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น,
กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

⁵สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด, ร้อยเอ็ด, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล: warakorn@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 13 พฤษภาคม 2564; รับประทานฉบับแก้ไข: 18 มิถุนายน 2564; ตอรับบทความ: 15 กรกฎาคม 2564

เผยแพร่ออนไลน์: 13 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยี RFID ได้รับความนิยมอย่างมากในการติดตามสินค้าหรือผู้ใช้บริการ แต่เมื่อมีผู้ใช้หลายรายในระบบ อาจเกิดการชนกันของข้อมูลได้ เทคโนโลยี RFID ได้นำอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาคมาใช้ในการแก้ไขปัญหการชนกันของข้อมูล โดยเมื่อเกิดการชนกันขึ้น จะมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 2 ช่อง หากมีจำนวนผู้ใช้งานในระบบมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณมาก อย่างเช่น กรณีที่มีผู้ใช้ในระบบจำนวน 50 คน ในขณะที่ช่องสัญญาณมีเพียง 2 ช่อง จะทำให้เกิดการชนติดต่อกันหลาย ๆ ครั้งได้ ส่งผลให้การเข้าใช้ช่องสัญญาณไม่มีประสิทธิภาพ บทความฉบับนี้ จึงได้นำเสนอเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกันหลายครั้งสำหรับอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค โดยเมื่อเกิดการชนติดต่อกันเป็นครั้งที่ 2 เทคนิคที่นำเสนอจะเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจาก 2 ช่อง เป็น 3 ช่อง เพื่อลดโอกาสในการชนติดต่อกัน จากผลการทดสอบพบว่าเทคนิคหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกันที่นำเสนอ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาคได้ โดยเฉพาะกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณมาก

คำสำคัญ : อัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค การหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกัน การเข้าใช้ช่องสัญญาณ



Performance Evaluation of Consecutive Collision Avoidance Technique for Binary Tree Algorithm

Warakorn Srichavengsup^{1*} Kanticha Kittipeerachon² Titichaya Thanamitsomboon³
Worawut Chitkachornwanich⁴ Chatree Thongwan⁵

^{1*,2,3,4}Computer Engineering Robotics and Technology Research Laboratory : CERT, Faculty of Engineering,
Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand

⁵Computer and Information Technology Department, Faculty of Information Technology, Roi Et Rajabhat
University, Roi Et, Thailand

*Corresponding Author. E-mail address: warakorn@tni.ac.th

Received: 13 May 2021; Revised: 19 June 2021; Accepted: 15 July 2021

Published online: 13 December 2021

Abstract

Nowadays, RFID technology is very popular in tracking goods or users. But when there are more users in the system collision may occur. RFID technology has adopted Binary tree algorithm to solve the collision problem. The Binary tree algorithm is designed to resolve data collisions. When a collision occurs, the Binary tree algorithm divides the users involved in the collision into two groups. The users in the first group access the first slot and the users in the second group access the second slot. If the number of users in the system is relatively larger than the number of slots. For example, in the case of 50 users and 2 slots this can cause consecutive collisions, resulting in inefficient access to the channel. Therefore, this paper presents consecutive collision avoidance techniques for Binary tree algorithms. In the second consecutive collision, this technique proposes to increase the number of slots from 2 to 3 slots to reduce the chances of consecutive collisions. From the results, we found that the proposed technique can improve the performance of Binary tree algorithm, especially in cases where the number of users in the system is relatively greater than the number of slots.

Keywords: Binary tree algorithm, Consecutive collision avoidance, Channel access

1) บทนำ

การสื่อสาร 4G และ 5G ในปัจจุบัน มีความต้องการรับ-ส่งข้อมูลปริมาณมาก ส่งผลให้มีผู้ใช้หลายรายในระบบที่ต้องการส่งข้อมูลพร้อมกัน และอาจทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล ทำให้การส่งข้อมูลมีความล่าช้า เพื่อให้การส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพ จำเป็นที่จะต้องมีการใช้โพรโทคอลซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการใช้งานช่องสัญญาณ ตัวอย่างของโพรโทคอลเหล่านี้ได้แก่ Time Division Multiple Access (TDMA) [1], [2] ซึ่งเป็นการแบ่งช่องสัญญาณตามเวลา โดยผู้ใช้แต่ละรายจะส่งข้อมูลคนละเวลา ทำให้ไม่เกิดการชนกันขึ้น Frequency Division Multiple Access (FDMA) [3], [4] ซึ่งเป็นการแบ่งช่องสัญญาณตามความถี่ โดยโพรโทคอลนี้ให้ผู้ใช้ส่งข้อมูลที่เวลาเดียวกันได้ แต่ใช้คนละความถี่กัน ทำให้รองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากขึ้น Code Division Multiple Access (CDMA) [5], [6] โพรโทคอลนี้จะแบ่งช่องสัญญาณตามรหัสที่แตกต่างกัน โดยจะเข้ารหัสข้อมูลก่อนที่จะส่ง ทำให้ผู้ใช้หลายรายสามารถส่งข้อมูล โดยใช้เวลาและความถี่เดียวกันได้ จึงสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากกว่าโพรโทคอล TDMA และ FDMA โดยโพรโทคอลทั้ง 3 ประเภท จะไม่มีการชนกันของข้อมูล เนื่องจากมีการแบ่งช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้แต่ละรายอย่างชัดเจน แต่โพรโทคอลทั้ง 3 ประเภทนี้ มีข้อจำกัดตรงที่ หากผู้ใช้ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณไม่มีข้อมูลที่จะส่ง จะทำให้ช่องสัญญาณที่ไม่มีข้อมูลส่งนั้นสูญเปล่า เนื่องจากผู้ใช้รายอื่นไม่สามารถนำช่องสัญญาณนั้นมาใช้ในการส่งข้อมูลได้ เพื่อแก้ปัญหาตรงนี้ได้ มีผู้เสนอกลุ่มโพรโทคอลที่ไม่มีการจัดสรรเวลาสำหรับผู้ใช้แต่ละรายอย่างชัดเจน ทำให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากขึ้น ตัวอย่างของโพรโทคอลเหล่านี้ได้แก่ ALOHA [7], [8] โพรโทคอลนี้ อนุญาตให้ผู้ใช้ทุกรายส่งข้อมูล ณ เวลาใด ๆ ก็ได้ หากเกิดการชนกัน ผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนกันในครั้งนั้น จะส่งข้อมูลใหม่ในภายหลัง แต่โพรโทคอลนี้มีข้อจำกัดตรงที่ หากผู้ใช้ 1 ราย กำลังส่งข้อมูลจนเกือบเสร็จ และมีผู้ใช้อีกรายเริ่มส่งข้อมูล จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลบางส่วน เพื่อแก้ปัญหาการชนกันของข้อมูลบางส่วน ได้มีผู้เสนอโพรโทคอล slotted ALOHA [9], [10] ขึ้นมา โดยโพรโทคอลนี้ จะมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (Slot) โดยแต่ละช่วงเวลา จะมีการกำหนดจุดเริ่มต้นส่ง และจุดสิ้นสุดการส่ง วิธีการนี้ช่วยให้ไม่เกิดการชนกันของข้อมูลบางส่วนได้ Binary tree

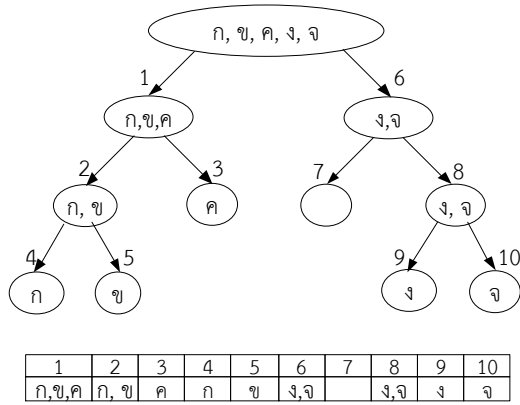
Algorithm [11] หรืออัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค มีการแบ่งเป็นช่องสัญญาณคล้ายกับโพรโทคอล slotted ALOHA แต่จะแตกต่างกันตรงที่อัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค จะแก้ปัญหาการชนกันระหว่างผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนกันทันที ซึ่งโดยทั่วไปจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชน จะน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในระดับหนึ่งในขณะที่ผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนกันของโพรโทคอล slotted ALOHA จะต้องส่งข้อมูลใหม่ในภายหลัง และในการส่งครั้งใหม่ ผู้ใช้ทุกรายมีโอกาสที่จะส่งข้อมูลมาชนซ้ำได้ ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการชนซ้ำสูง

หลักการการทำงานของอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาคมีดังนี้ เมื่อเกิดการชนกันขึ้น ผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนจะสุ่มเลือกช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่ง จาก 2 ช่องสัญญาณที่แบ่ง ซึ่งการแบ่งช่องสัญญาณนี้ จะช่วยลดโอกาสในการชนกันของข้อมูลได้ ปัจจุบันมีการนำอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาคมาใช้งานอย่างหลากหลาย อย่างเช่น การนำไปใช้กับเทคโนโลยี RFID [12]–[15] ซึ่งได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน ดังนั้น บทความวิจัยฉบับนี้ จึงมุ่งสนใจที่จะปรับปรุงคุณภาพการส่งข้อมูลของอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค โดยปัญหาอย่างหนึ่งของอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค ได้แก่ ในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานมากกว่า จำนวนช่องสัญญาณมาก การแบ่งช่องสัญญาณเพียง 2 ช่อง อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการในการส่งข้อมูลของผู้ใช้งานในขณะนั้น และส่งผลให้เกิดการชนติดต่อกันไปเรื่อย ๆ ทำให้การเข้าใช้ช่องสัญญาณมีประสิทธิภาพลดลง บทความวิจัยฉบับนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเข้าใช้ช่องสัญญาณของอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาคโดยใช้เทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกัน

สำหรับลำดับการนำเสนอในบทความวิจัยฉบับนี้ จะเริ่มต้นจากการอธิบายการทำงานของอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค เทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกัน จากนั้นจึงทดสอบ วิเคราะห์ผลการทดสอบ และสรุปผล

2) เทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกัน

โดยทั่วไปอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค จะมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 2 ช่อง และเมื่อเกิดการชนกัน ผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชน จะเลือกช่องสัญญาณช่องใดช่องหนึ่งจาก 2 ช่องสัญญาณที่แบ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 จากรูปจะพบว่าผู้ใช้ทั้ง 5 คน เข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จภายใน 10 ช่องสัญญาณ



รูปที่ 1 : การแก้ปัญหาการชนกันของ อัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค

การแบ่งช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการชนนี้จะช่วยลดโอกาสในการชนติดต่อกันได้ แต่ในกรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบจำนวนมาก อย่างเช่น 100 คน แม้จะมีการแบ่งช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการชน แต่ผู้ใช้ที่ถูกแบ่งก็ยังคงมีจำนวนมากกว่าช่องสัญญาณจำนวน 2 ช่อง อย่างเช่น มีผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับชน 70 คน ในขณะที่ช่องสัญญาณยังคงมี 2 ช่องเท่าเดิม การที่มีจำนวนผู้ใช้ในระบบจำนวนมากนี้จะส่งผลให้เกิดการชนกันเข้าไปเรื่อย ๆ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 จากรูป กำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้งานทั้งหมด 100 คน โดยผู้ใช้ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามช่องสัญญาณที่เลือก กลุ่มแรกมีจำนวนผู้ใช้ 70 คน และกลุ่มที่ 2 มีจำนวนผู้ใช้ 30 คน ซึ่งแต่ละกลุ่มมีการชนกันเกิดขึ้น จึงต้องมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 2 ช่องไปเรื่อย ๆ จากรูปจะพบว่า มีการชนติดต่อกันหลายครั้ง ทำให้การส่งข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพ

เมื่อวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ จะพบว่า หากมีผู้ใช้จำนวน 70 คน โอกาสที่จะประสบความสำเร็จการเข้าใช้ช่องสัญญาณช่องหนึ่งเท่ากับ

$$\binom{70}{1} \binom{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2}\right)^{69} = 5.93 \times 10^{-20}$$

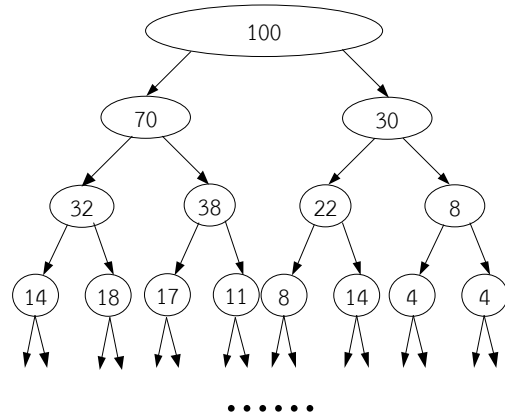
โอกาสที่ช่องสัญญาณจะว่างเท่ากับ

$$\left(1 - \frac{1}{2}\right)^{70} = 8.47 \times 10^{-22}$$

โอกาสที่จะเกิดการชนกันเท่ากับ

$$1 - 5.93 \times 10^{-20} - 8.47 \times 10^{-22} \approx 1$$

ซึ่งจะพบโอกาสที่จะเกิดการชนกันใกล้เคียง 1 นั่นคือ มีโอกาสที่จะเกิดการชนกันสูงมาก



รูปที่ 2 : การแก้ปัญหาการชนกันของ อัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค ในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบจำนวนมาก

เพื่อแก้ปัญหาการชนติดต่อกันหลายครั้ง บทความวิจัยฉบับนี้จึงเสนอเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกัน โดยกำหนดให้เมื่อมีการชนติดต่อกัน 2 ครั้ง ให้แบ่งช่องสัญญาณสำหรับการชนครั้งที่ 2 เพิ่มขึ้นอีก 1 ช่อง นั่นคือ เพิ่มจาก 2 ช่อง เป็น 3 ช่อง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3 จากรูปกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้งานทั้งหมด 100 คน โดยผู้ใช้ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามช่องสัญญาณที่เลือก กลุ่มแรกมีผู้ใช้จำนวน 70 คน และกลุ่มที่ 2 มีผู้ใช้จำนวน 30 คน ซึ่งจะพบว่า มีการชนกันครั้งที่ 1 เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาผู้ใช้กลุ่มแรกซึ่งมีจำนวน 70 คน จะเห็นว่ามีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 2 ช่อง ซึ่งช่องสัญญาณแรกมีผู้ใช้จำนวน 32 คน ในขณะที่ช่องสัญญาณที่ 2 มีผู้ใช้จำนวนจำนวน 38 คน ซึ่งนับเป็นการชนครั้งที่ 2 เทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกัน จะแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 3 ช่อง เพื่อลดโอกาสในการชนติดต่อกันครั้งที่ 3 ลง

3) ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล

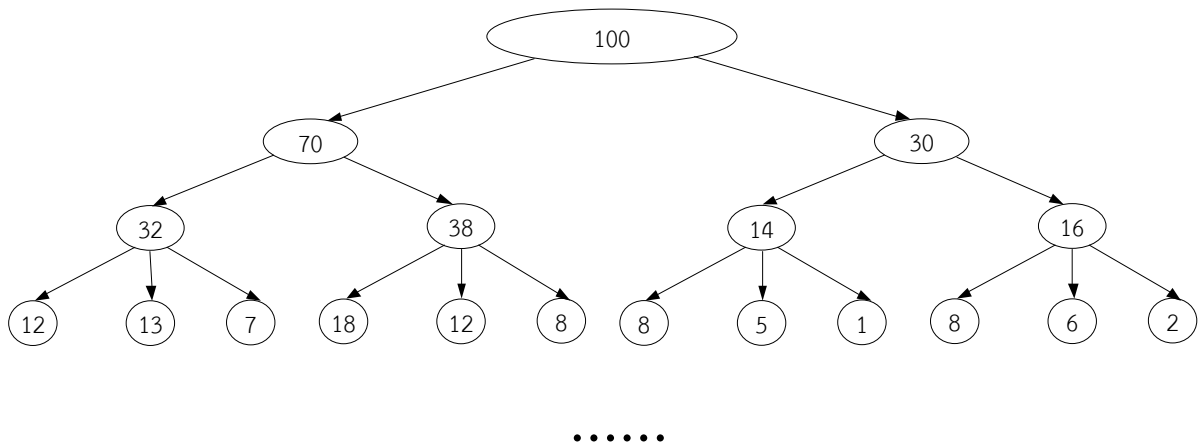
ในส่วนนี้จะแสดงผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีการจำลองการจองช่องสัญญาณจำนวน 10,000 รอบ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย รูปที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งในการชนติดต่อกัน เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้ในระบบแตกต่างกัน จากรูปเมื่อพิจารณาที่จำนวนผู้ใช้ค่าหนึ่ง จะพบว่า จำนวนครั้งในการชนติดต่อกัน 2 ครั้ง จะมากกว่าจำนวนครั้งในการชนติดต่อกัน 3 ครั้ง และจำนวนครั้งในการชนติดต่อกัน 3 ครั้ง จะมากกว่าจำนวนครั้งในการชนติดต่อกัน 4 ครั้ง โดยมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดการชนติดต่อกันตั้งแต่ 8 ครั้งขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเกิดการชนกันขึ้น อัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาคจะมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น

2 ช่อง ซึ่งการแบ่งช่องสัญญาณนี้ จะช่วยลดโอกาสในการชนลงได้ ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการชนติดต่อกันหลายครั้งลดลง นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อมีจำนวนผู้ใช้ในระบบมากขึ้น จำนวนครั้งในการชนกันก็มากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณที่แบ่งภายหลังการชนมีเพียง 2 ช่อง หากมีจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้น จะทำให้มีโอกาสสูงที่จะเกิดการชนกันมากขึ้นตามไปด้วย

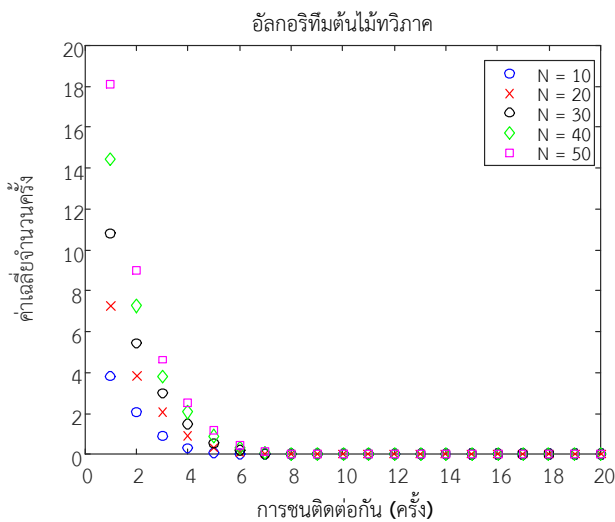
รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาประวิงระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ และเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนกันที่นำเสนอ จากรูปจะพบว่า เทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนกันที่นำเสนอมี

ประสิทธิภาพที่ดีกว่าอัลกอริทึมต้นไม้ทั่วภาค โดยเฉพาะกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบมาก เนื่องจากเทคนิคที่นำเสนอสามารถลดจำนวนครั้งในการชนกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 6

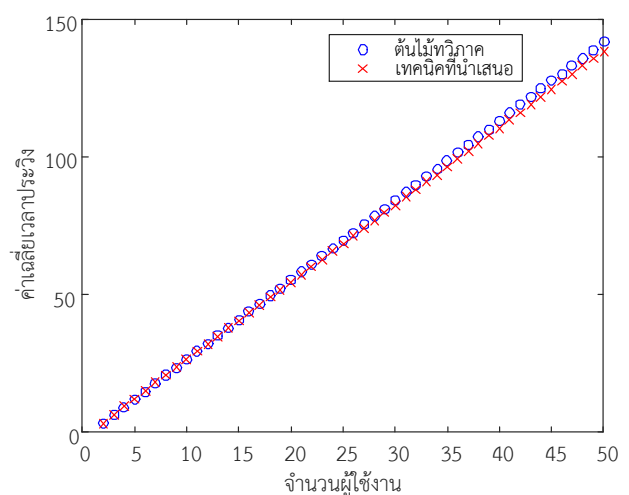
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งในการชนติดต่อกัน เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 50 คน จากรูป จะพบว่าอัลกอริทึมต้นไม้ทั่วภาคมีแนวโน้มจำนวนครั้งในการชนติดต่อกัน สูงกว่าเทคนิคที่นำเสนอ ยกเว้นที่กรณีการชนติดต่อกัน 2 ครั้ง



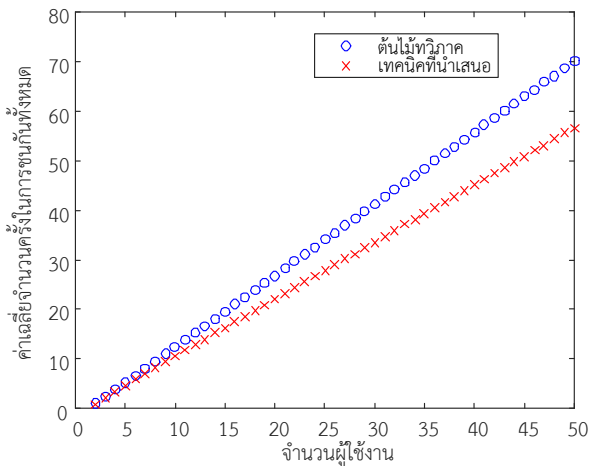
รูปที่ 3 : การแก้ปัญหาการชนกันของเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกัน



รูปที่ 4 : ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งในการชนติดต่อกันของอัลกอริทึมต้นไม้ทั่วภาค

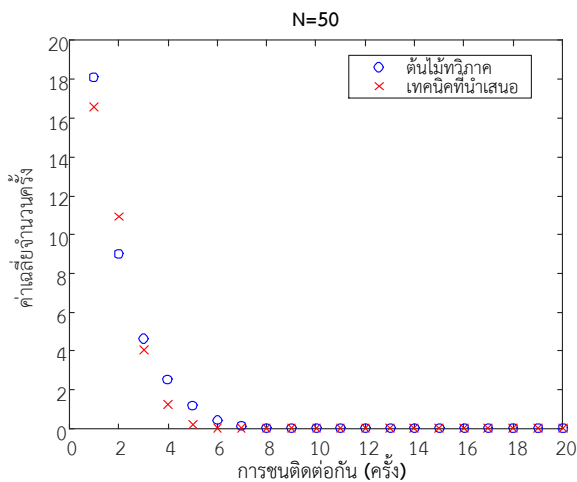


รูปที่ 5 : การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาประวิงระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ และเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนกันที่นำเสนอ



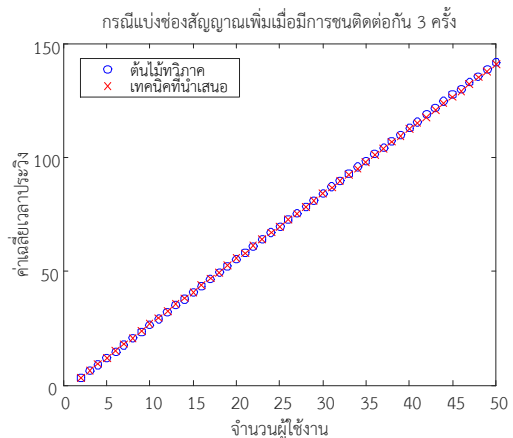
รูปที่ 6 : การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งในการชนกันทั้งหมด ระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ และเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนกันที่นำเสนอ

สำหรับเหตุผลที่อัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาคมีแนวโน้มจำนวนครั้งในการชนติดต่อกันสูงกว่าเทคนิคที่นำเสนอ เนื่องจากเทคนิคที่นำเสนอมีการแบ่งช่องสัญญาณมากขึ้น ทำให้ช่วยลดจำนวนครั้งในการชนติดต่อกันลงได้ แต่เมื่อพิจารณาว่าการชนติดต่อกัน 2 ครั้ง จะพบว่าเทคนิคที่นำเสนอมีจำนวนครั้งในการชนกันสูงกว่า เนื่องจากเทคนิคที่นำเสนอกำหนดให้เมื่อใดก็ตามที่มีการชนกันติดต่อกัน 2 ครั้ง ให้แบ่งช่องสัญญาณเป็น 3 ช่อง ทำให้ลดโอกาสในการชนติดต่อกันตั้งแต่ 3 ครั้งขึ้นไป และเมื่อไม่เกิดการชนติดต่อกันครั้งที่ 3 จะทำให้การชนติดต่อกันนั้น นับเป็นการชนติดต่อกัน 2 ครั้ง ส่งผลให้มีการนับการชนติดต่อกัน 2 ครั้งบ่อยมากขึ้น

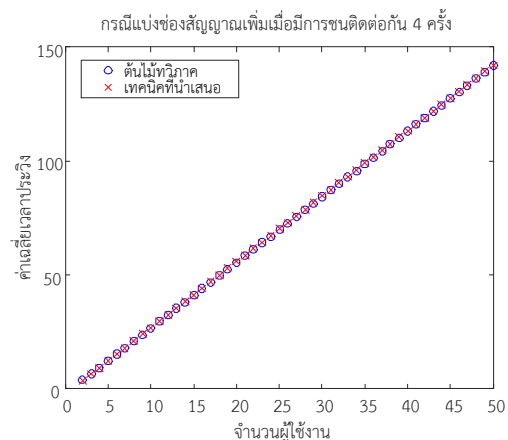


รูปที่ 7 : การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งในการชนติดต่อกัน ระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ และเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนกันที่นำเสนอ เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 50 คน

รูปที่ 8 และ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาประวิงระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ และเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนกันที่นำเสนอ โดยจะมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 3 ช่อง เมื่อเกิดการชนติดต่อกัน 3 ครั้ง และ 4 ครั้งตามลำดับ จากรูปที่ 5 8 และ 9 จะพบว่ามีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 3 ช่อง เมื่อเกิดการชนติดต่อกัน 2 ครั้ง จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 3 ช่อง เมื่อเกิดการชนติดต่อกัน 3 ครั้ง และ 4 ครั้ง เนื่องจาก เมื่อเกิดการชนติดต่อกันครั้งที่ 3 หรือ 4 จำนวนผู้ใช้ที่เหลือในระบบเริ่มมีจำนวนน้อยลง ทำให้การแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 3 ช่อง ช่วยลดจำนวนการชนกันได้ไม่มาก เมื่อเทียบกับการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 3 ช่อง เมื่อเกิดการชนติดต่อกันครั้งที่ 2



รูปที่ 8 : การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาประวิงระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ และเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนกันที่นำเสนอ กรณีแบ่งช่องสัญญาณเพิ่มเมื่อมีการชนติดต่อกัน 3 ครั้ง



รูปที่ 9 : การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาประวิงระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ และเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนกันที่นำเสนอ กรณีแบ่งช่องสัญญาณเพิ่มเมื่อมีการชนติดต่อกัน 4 ครั้ง

4) สรุป

บทความวิจัยฉบับนี้ ได้เสนอเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกันสำหรับอัลกอริทึมต้นไม้ทวิภาค โดยเมื่อเกิดการชนติดต่อกันในครั้งที่ 2 จะมีการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณที่แบ่งให้มากขึ้น 1 ช่อง นั่นคือ เพิ่มจาก 2 ช่อง เป็น 3 ช่อง โดยการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนการชนซ้ำลงจากผลการทดสอบที่ได้ พบว่าเทคนิคการหลีกเลี่ยงการชนติดต่อกันที่นำเสนอ สามารถลดจำนวนการชนติดต่อกันได้จริง และช่วยให้ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้ดีขึ้น โดยเฉพาะกรณีที่มียังมีจำนวนผู้ใช้งานในระบบมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณมาก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่ได้สนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยในครั้งนี้

REFERENCES

- [1] T. Zhang and Qi Zhu, "EVC-TDMA: An enhanced TDMA based cooperative MAC protocol for vehicular networks," *J. Commun. Netw.*, vol. 22, no. 4, pp. 316–325, Aug. 2020.
- [2] M. Sami, N. K. Noordin, and M. Khabazian, "A TDMA-Based Cooperative MAC Protocol for Cognitive Networks with Opportunistic Energy Harvesting," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 4, pp. 808–811, Apr. 2016.
- [3] M. Geles, A. Averbuch, O. Amrani, and D. Ezri, "Performance Bounds for Maximum Likelihood Detection of Single Carrier FDMA," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, no. 7, pp. 1945–1952, Jul. 2012.
- [4] Y. Liu, G. Y. Li, Z. Tan, and H. Hu, "Noise Power Estimation in SC-FDMA Systems," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 4, no. 2, pp. 217–220, Apr. 2015.
- [5] J. Wang, Z. Lu, and Y. Li, "A New CDMA Encoding /Decoding Method for on-Chip Communication Network," *IEEE Trans. Very Large Scale Integr. VLSI Syst.*, vol. 24, no. 4, pp. 1607–1611, Apr. 2016.
- [6] X. Wang, X. Liu, H. H. Chen, and W. Meng, "Complementary Coded CDMA Systems With CP-Free OFDM," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 10, pp. 11515–11528, Oct. 2020.
- [7] H. J. Noh, J. K. Lee, and J. S. Lim, "ANC-ALOHA: Analog Network Coding ALOHA for Satellite Networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 6, pp. 957–960, Jun. 2014.
- [8] J. Choi, "Throughput Analysis for Coded Multichannel ALOHA Random Access," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 21, no. 8, pp. 1803–1806, Aug. 2017.
- [9] H. Baek, J. Lim, and S. Oh, "Beacon-Based Slotted ALOHA for Wireless Networks with Large Propagation Delay," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 11, pp. 2196–2199, Nov. 2013.
- [10] F. Babich and M. Comisso, "Impact of Segmentation and Capture on Slotted Aloha Systems Exploiting Interference Cancellation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 3, pp. 2878–2892, Mar. 2019.
- [11] A. Moitra and S. S. Iyengar, "A Maximally Parallel Balancing Algorithm for Obtaining Complete Balanced Binary Trees," *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-34, no. 6, pp. 563–565, Jun. 1985.
- [12] J. Su, Z. Sheng, L. Xie, and G. Wen, "Idle-Slots Elimination Based Binary Splitting Anti-Collision Algorithm for RFID," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 12, pp. 2394–2397, Dec. 2016.
- [13] H. Wu, Y. Zeng, J. Feng, and Y. Gu, "Binary Tree Slotted ALOHA for Passive RFID Tag Anticollision," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 24, no. 1, pp. 19–31, Jan. 2013.
- [14] Y. C. Lai and L. Y. Hsiao, "General binary tree protocol for coping with the capture effect in RFID tag identification," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 3, pp. 208–210, Mar. 2010.
- [15] S. H. Kim and P. Park, "An Efficient Tree-Based Tag Anti-Collision Protocol for RFID Systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 11, no. 5, pp. 449–451, May 2007.

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างไบโอดีป ที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและมูลวัว

นิสา พักตร์วิไล¹ มณฑิพย์ จันทร์แก้ว² วันสพรรัตน์ สวัสดิ์^{3*}

^{1,2}สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์,
ปทุมธานี, ประเทศไทย

³สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์,
ปทุมธานี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล: s.vanatpornratt@gmail.com, vanatpornratt@vru.ac.th

รับต้นฉบับ: 30 พฤษภาคม 2564; รับประทานฉบับแก้ไข: 20 กรกฎาคม 2564; ตอรับบทความ: 31 สิงหาคม 2564

เผยแพร่ออนไลน์: 13 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างไบโอดีปที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและมูลวัว โดยมีการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพกระทั่งได้สภาวะที่เหมาะสม คือ การใช้อัตราส่วนของไบโอดีปต่อมูลวัว 1:1 มีการปรับสภาพทางกายภาพเพื่อให้ไบโอดีปมีขนาดเล็กลง และมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 16 กรัมต่อลิตร เพื่อรักษาค่าพีเอช และสภาพต่างในระบบให้เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ภายในระบบ โดยสามารถรักษาสภาพต่างให้อยู่ในช่วง 1,480 ถึง 4,640 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ และค่าพีเอช มีค่าอยู่ในช่วง 6.95 ถึง 7.15 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามก่อนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของไบโอดีป พบว่ามีค่าเซลลูโลส $39.096 \pm 0.559\%$ เฮมิเซลลูโลส $25.291 \pm 0.937\%$ และลิกนิน $18.556 \pm 1.399\%$ ตามลำดับ จากการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดีป และมูลวัว พบว่า เปอร์เซ็นต์มีเทนสูงสุด มีค่า $65.11\% \pm 0.30\%$ ปริมาณก๊าซชีวภาพรวมสะสมทั้งหมดสูงสุด คือ $1,978 \pm 3.54$ มิลลิลิตร และปริมาณมิลลิลิตรมีเทนสะสมทั้งหมด $1,148 \pm 5.00$ มิลลิลิตร ตามลำดับ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการนำไบโอดีปหมักร่วมกับมูลวัวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี ดังนั้นไบโอดีปซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถเป็นวัสดุสำหรับการผลิตพลังงานทางเลือกในชุมชน

คำสำคัญ : ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ การปรับสภาพทางกายภาพ วัสดุลิกโนเซลลูโลส

Potential of Biogas Production by Co-Digestion between Physical Pretreatment Sugar Cane Leaf and Cow Dung

Nisa Pakvilai¹ Monthip Jankaew² Vanatpornratt Sawasdee^{3*}

^{1,2}Program in Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Pathumthani, Thailand

^{3*}Program in Innovation of Environmental Management, College of Innovative Management, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Pathumthani, Thailand

*Corresponding Author. E-mail address: s.vanatpornratt@gmail.com, vanatpornratt@vru.ac.th

Received: 30 May 2021; Revised: 20 July 2021; Accepted: 31 August 2021

Published online: 13 December 2021

Abstract

This research studied the potential of biogas production by co-digestion between physically pretreated sugarcane leaf and cow dung. The biogas production system was operated until optimum for operation. The optimum ratio of sugarcane leaf and cow dung was 1:1. Sugarcane leaf was physically pretreated to small sizes and $16 \text{ g L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ maintained the optimum pH and alkalinity in system. The alkalinity can be maintained between $1,480\text{--}4,640 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$; pH was 6.95–7.15. This is optimum pH for microbial mechanisms in the system. However, before biogas production sugarcane leaf component analysis, cellulose $39.096 \pm 0.559\%$, hemicellulose $25.291 \pm 0.937\%$, and lignin $18.556 \pm 1.399\%$. The potential of the biogas production test by co-digestion between sugarcane leaf and cow dung was found to have the highest percentage of methane production $65.11 \pm 0.30\%$, highest cumulative total gas $1,978 \pm 3.54 \text{ mL}$, and highest total cumulative methane $1,148 \pm 5.00 \text{ mL}$. Therefore, this research presented that sugarcane leaf and cow dung can be used for biogas production and that sugarcane leaf that is agricultural waste can be material for producing alternative energy in the community.

Keywords: Potential of biogas production, Physical pretreatment, Lignocellulose

1) บทนำ

ในปีการผลิต 2562/2563 มีการผลิตอ้อยสดได้ปริมาณ 75 ล้านตัน โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่การผลิตอ้อยที่สำคัญของประเทศไทย และมีการเผาอ้อยกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอ้อยที่ถูกเผาใบเหล่านี้จะเสียน้ำหนัก ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ อีกทั้งยังส่งผลให้ประชากรมีอายุสั้นลง [1] สภาพดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ มีวัชพืชขึ้นเนื่องจากไม่มีเศษซากปกคลุมดิน เกิดการระบาดของแมลงศัตรูอ้อยได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายในการปลูกดูแลอ้อยรุ่นต่อไปเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังไม่ใช่ที่ต้องการของโรงงานน้ำตาล เนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต และต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเพื่อการแก้ปัญหา ส่งผลให้การหีบอ้อยทำได้ช้าลง ทางโรงงานน้ำตาลจึงตัดราคาสำหรับอ้อยเผาใบลงตันละ 20 บาท [2] อีกทั้งการเผาอ้อยในพื้นที่เปิดโล่งยังก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particular Matter) เกิดความเสียหายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยยังมีผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรจากมลพิษทางอากาศ 31,173 คน และ 48,819 คน ในปี 2533 และ 2556 ตามลำดับ อีกทั้งมลพิษทางอากาศก่อให้เกิดต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สูงถึง 210,603 และ 871,300 ล้านบาทในปี 2533 และ 2556 ตามลำดับ [3] การแก้ไขปัญหามลพิษจากอ้อยจึงถือเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน นำไปสู่การจัดการอ้อยถือเป็นของเหลือทิ้งในภาคการเกษตร ใบอ้อยนั้นเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยเซลลูโลสนั้นประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกัน นอกจากนี้เฮมิเซลลูโลสก็ยังมี น้ำตาลเฮกซอส และเพนโตส เชื่อมต่อกัน โดยมีลิกนินห่อหุ้มเส้นใยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสอยู่ ทำให้ต้องมีการปรับสภาพวัสดุ ลิกโนเซลลูโลส เพื่อให้จุลินทรีย์ภายในระบบสามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น [4], [5] โดยการปรับสภาพนั้นสามารถแบ่งได้เป็น การปรับสภาพทางกายภาพ เป็นการบด หรือสับให้วัตถุดิบมีขนาดเล็ก และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายอีกด้วย การปรับสภาพทางเคมี เป็นการใส่สารเคมีทำให้โครงสร้างที่เกาะกันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินนั้นคลายตัว และทำให้ย่อยสลายได้ง่าย และการปรับสภาพทางชีวภาพ เป็นการปรับสภาพโดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายโครงสร้างของวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามทั้งสามวิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด [4] แต่ในงานวิจัยนี้จะทำวิธีการปรับสภาพทางกายภาพมาใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัตถุดิบ เพื่อลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย รวมถึงไม่ยุ่งยากต่อเกษตรกรที่จะนำไปประยุกต์ใช้

การเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เหมาะสม คือ การผลิตพลังงานทดแทนซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ในช่วงชุมชน ถือเป็น การลดต้นทุนทางด้านพลังงานให้แก่ชุมชน อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงกับ BCG model เนื่องจากการนำวัสดุชีวภาพมาเพิ่มมูลค่า และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [6] เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) จึงถือเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ใบอ้อยถือเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำมาผ่านเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ Hydrolysis เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอน Acidogenesis เป็นการสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจากขั้นตอนที่ 1 ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูโวนิก กรดบิวทีริก และ กรดวาเลอิก และเข้าสู่ขั้นตอน Acetogenesis เป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในขั้นตอนที่ 2 ให้กลายเป็นกรดอะซิติก และขั้นตอนสุดท้ายคือ Methanogenesis ขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นก๊าซมีเทน โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (Methane Producing Bacteria) [7] โดยมูลวัวสามารถหาได้ภายในพื้นที่ชุมชน มีประโยชน์อย่างมากต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ มูลวัวนั้นมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่สำคัญในการผลิตมีเทนที่เป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือ กลุ่มเมทาโนจิกรแบคทีเรียซึ่งจำเป็นสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพอีกด้วย [8] ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน เพื่อนำไปทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ปุ๋ยหมักที่ดีและมีคุณภาพ ทำให้เกษตรกรสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ในไร้อ้อยต่อไป

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ของใบอ้อย
2. เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างใบอ้อย และมูลวัว

3) วิธีดำเนินการวิจัย

3.1) การวิเคราะห์องค์ประกอบของใบอ้อย

ใบอ้อยเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยก่อนการนำใบอ้อยไปใช้เป็นวัตถุดิบ

สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทนนั้น จะมีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบชีวมวล [9], [10] ของวัสดุก่อนการนำไปใช้งาน ดังนี้

3.1.1) การสกัดตัวอย่างด้วยสารละลาย Neutral Detergent

ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ใส่บีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลาย Neutral Detergent 100 มิลลิลิตร Sodium Sulphate 0.5 กรัม และ Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร นำไป Reflux 1 ชั่วโมง (จับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด) จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วย Acetone 2 ครั้ง จากนั้นดูดสารละลายออกด้วย Vacuum Pump จนแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปคำนวณค่า Neutral Detergent Fiber (NDF) โดยใช้สมการที่ (1)

$$\% \text{ NDF} = \frac{[(WC+WADF)-WC] \times 100}{WS} \quad (1)$$

โดยที่ NDF คือ Neutral Detergent Fiber

WC คือ น้ำหนัก crucible

WADF คือ น้ำหนัก NDF

WS คือ น้ำหนักตัวอย่าง

3.1.2) การสกัดด้วยสารละลาย Acid Detergent

นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วย Neutral Detergent Reflux ด้วย Acid Detergent โดยการเติม Acid Detergent 10 มิลลิลิตร และ Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร 1 ชั่วโมง (เริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด) จากนั้นกรองตัวอย่างใน crucible และล้างด้วยน้ำ 100 องศาเซลเซียส 3-4 ครั้ง จากนั้นล้างด้วย 80% Ethanol 2 ครั้ง และนำตัวอย่างไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่ได้คือ Acid Detergent Fiber (ADF) จากนั้นนำไปคำนวณค่า % NDF ซึ่งน้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง NDF และ ADF คือ น้ำหนักของเฮมิเซลลูโลส ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\% \text{ ADF} = \frac{[(WC+WADF)-WC] \times 100}{WS} \quad (2)$$

$$\text{เฮมิเซลลูโลส (\%)} = \% \text{ NDF} - \% \text{ ADF} \quad (3)$$

โดยที่ ADF คือ น้ำหนักของเฮมิเซลลูโลส

WC คือ น้ำหนัก crucible

WADF คือ น้ำหนัก ADF

WS คือ น้ำหนักตัวอย่าง

3.1.3) การวิเคราะห์ Lignin

เติมสารละลาย Combined Permanganate 25 มิลลิลิตร ลงใน crucible ที่อยู่ในภาชนะที่มีน้ำเย็น คนด้วยแท่งแก้วเพื่อไม่ให้ตัวอย่างจับเป็นก้อน ทิ้งไว้ 45 นาที จากนั้นดูดสารละลายออกด้วย Vacuum pump โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง เติมสารละลาย Demineralizing ลงใน Crucible ทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นดูดสารละลายออกจนหมดโดย Vacuum Pump ทำซ้ำจนตัวอย่างมีสีขาว ภายในเวลา 20 นาที จากนั้นล้างด้วย 80% Ethanol และ Acetone ดูดสารละลายออกด้วย Vacuum Pump อบตัวอย่างที่ 100 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง ADF และ WRL คือ น้ำหนักของลิกนิน ดังสมการที่ 4

$$\% \text{ Lignin} = \frac{[(WC+WADF)-(WC+WRL)] \times 100}{WS} \quad (4)$$

โดยที่ ADF คือ น้ำหนักของเฮมิเซลลูโลส

WC คือ น้ำหนัก crucible

WADF คือ น้ำหนัก ADF

WS คือ น้ำหนักตัวอย่าง

WRL คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก

3.1.4) นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก แล้วไปเผา 550

องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นและนำไปชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่แตกต่างระหว่างน้ำหนักตัวอย่างที่สกัดลิกนินออกและน้ำหนักหลังเผา คือ น้ำหนักเซลลูโลส ดังสมการที่ 5

$$\% \text{ Cellulose} = \frac{[(WC+WRL)-(WC+WF)] \times 100}{WS} \quad (5)$$

โดยที่ WC คือ น้ำหนัก crucible

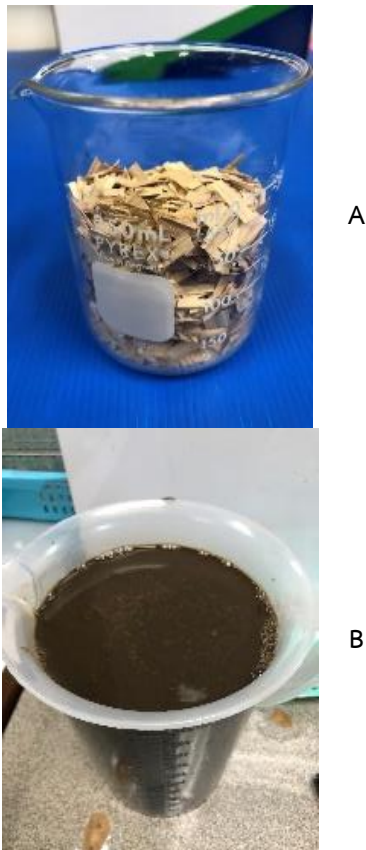
WRL คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก

WS คือ น้ำหนักตัวอย่าง

WF คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

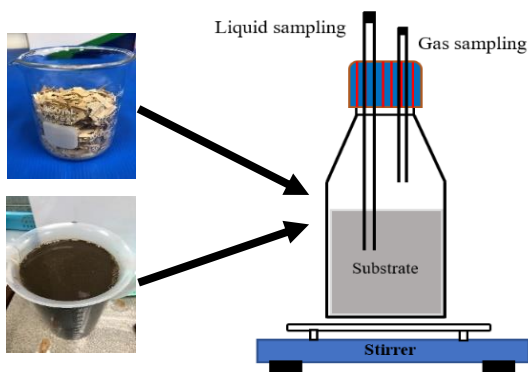
3.2) ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบอ้อย และมูลวัว

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบอ้อยและมูลวัว กำหนดอัตราส่วนในการหมักร่วม คือ 1:1 [5] มีการปรับสภาพทางกายภาพ (Physical Pretreatment) โดยการทำให้ไบอ้อยมีขนาดเล็กลง 2-3 เซนติเมตร (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 : (A) ไบโอดีที่ปรับสภาพทางกายภาพ และ (B) มูลวัวที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 710 μm

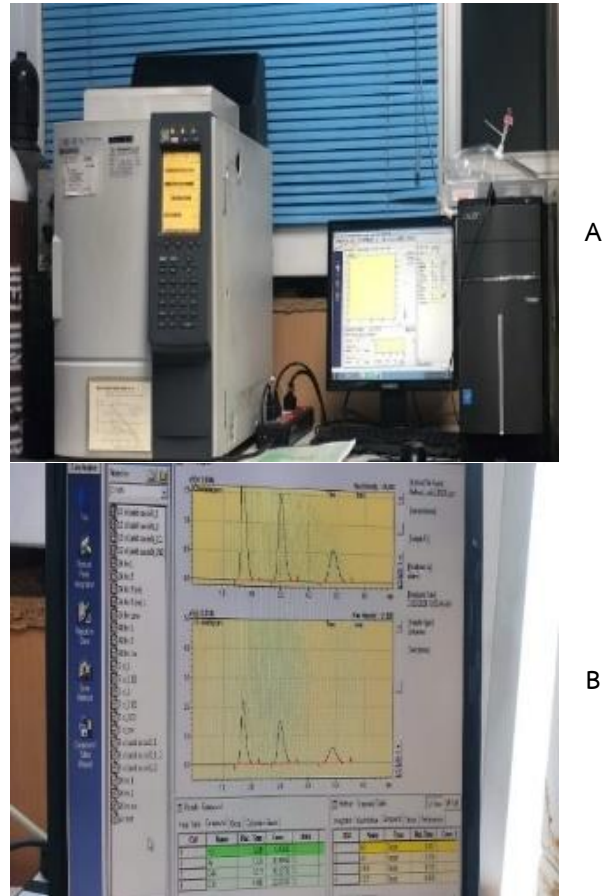
มีการควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.0 และมีการเติม CaCO_3 16 กรัมต่อลิตร เพื่อรักษาสภาพต่างในระบบ ควบคุมค่าพีเอชไม่ให้ลดลงจนส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียในระบบ โดยระบบการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น ใช้ถังขนาด 1 ลิตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 : แสดงถึงปฏิกรณ์สำหรับการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.3) การวิเคราะห์ห้องค้ประกอบก๊าซชีวภาพ และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ห้องค้ประกอบก๊าซชีวภาพใช้เครื่องโครมาโตกราฟี Shimadzu GC-2014 แพคคอลลัมน์ (Shincarbon ST 50/80 mesh 2.0 m \times 3.0 mm I.D., stainless steel) [11] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 : (A) เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี Shimadzu GC-2014 และ (B) จอแสดงผลจากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

3.4) การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดี และมูลวัวนั้น นอกจากพารามิเตอร์ก๊าซชีวภาพองค์ประกอบก๊าซชีวภาพนั้น ยังต้องมีการติดตามพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ค่าพีเอช (pH) ค่าสภาพต่าง (Alkalinity) ในระบบอุณหภูมิ (Temperature) ที่ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยวิธีการวิเคราะห์และความถี่ในการติดตามข้อมูล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่
ค่าพีเอช (pH)	pH meter	ทุก ๆ 4 วัน
ค่าสภาพด่าง (Alkalinity)	Titration	ทุก ๆ 2 วัน
อุณหภูมิ (Temperature)	Temperature sensor	ทุก ๆ 4 วัน

4) ผลการวิจัย

4.1) องค์ประกอบของไบโอดี

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดีและมูลวัวนั้น มีการวิเคราะห์องค์ประกอบของไบโอดี เป็นการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า มีค่าเซลลูโลส $39.096 \pm 0.559\%$ เฮมิเซลลูโลส $25.291 \pm 0.937\%$ และลิกนิน $18.556 \pm 1.399\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : องค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสของไบโอดี

Lignocellulose component	
Cellulose	39.096 ± 0.559
Hemicellulose	25.291 ± 0.937
Lignin	18.556 ± 1.399

องค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสนั้น เป็นองค์ประกอบที่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และสามารถแปลงเป็นก๊าซชีวภาพ ผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศได้ โดยเนื้อเยื่อของพืชแต่ละชนิดนั้นจะมีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสที่แตกต่างกัน ซึ่งเซลลูโลสจะเป็นองค์ประกอบที่มีการเรียงตัวกันของ D-glucose 2,000-4,000 หน่วย ซึ่งเป็นน้ำตาลที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการย่อยสลาย และผลิตเป็นพลังงานต่อไปได้ในส่วนเฮมิเซลลูโลส เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาล คือ ไซแลน (Xylan) กาแลกแตน (Galactan) และกลูโคแมนแนน (Glucomanan) ลิกนินจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะรวมอยู่กับเซลลูโลส โดยลิกนินจะเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ยืดหยุ่น ซึ่งลิกนินนั้นจะเกาะยึดกับเซลลูโลส เป็นโครงสร้างที่แข็งแรง [12]

ดังนั้นก่อนการนำวัสดุลิกโนเซลลูโลสไปแปลงเป็นก๊าซชีวภาพนั้น จึงต้องมีการปรับสภาพทางกายภาพก่อน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ที่ใส่ลงในระบบสามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น และเมื่อนำองค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสจากไบโอดีมาเปรียบเทียบกับวัสดุลิกโนเซลลูโลสอื่นจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เปลือกถั่ว ฟางข้าว ดังตารางที่ 3 จากตารางแสดงให้เห็นว่าปริมาณของเซลลูโลสอยู่ในช่วงเดียวกันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่น เช่น ชังข้าวโพด ฟางข้าว แต่ในส่วนของเปลือกถั่วนั้นมีองค์ประกอบของเซลลูโลสน้อยกว่า และมีปริมาณลิกนินมากกว่า เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ชี้วัดว่าเปลือกถั่วมีความเหมาะสมน้อยที่สุด ในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่นนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงไบโอดีด้วย เนื่องจากการมีปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในปริมาณมากนั้น แสดงว่ามีองค์ประกอบของน้ำตาลในปริมาณมากเช่นเดียวกัน ทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบสามารถย่อยสลายวัตถุดิบเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

ตารางที่ 3 : แสดงการเปรียบเทียบขององค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น และงานวิจัยนี้

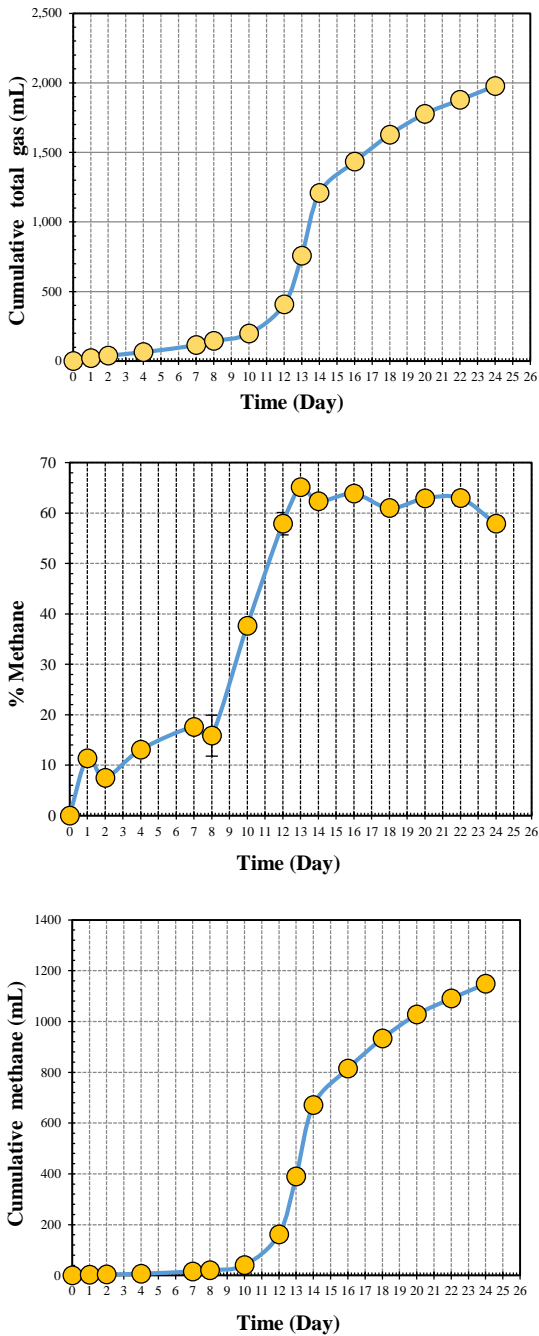
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ชังข้าวโพด	45.00%	35.00%	15.00%
เปลือกถั่ว	25.00-30.00%	25.00-30.00%	30.00-40.00%
ฟางข้าว	30.00%	50.00%	15.00%
ไบโอดี*	39.10%	25.29%	18.56%

หมายเหตุ * คือ งานวิจัยนี้

แหล่งที่มา : ดัดแปลงจาก รัชพล พะวงศรีรัตน์ [13]

4.2) ก๊าซชีวภาพและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

เมื่อนำไบโอดีไปเข้าสู่ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ โดยการหมักร่วมระหว่างมูลวัวและไบโอดีนั้น พบว่าต้องมีการปรับค่าพีเอชในระบบให้เป็นกลาง และมีการเติม CaCO_3 ในปริมาณที่เหมาะสม คือ $16 \text{ g L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ เพื่อให้ CaCO_3 เป็นสารควบคุมสภาพด่าง (Alkalinity) ในระบบ ให้จุลินทรีย์ในระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ



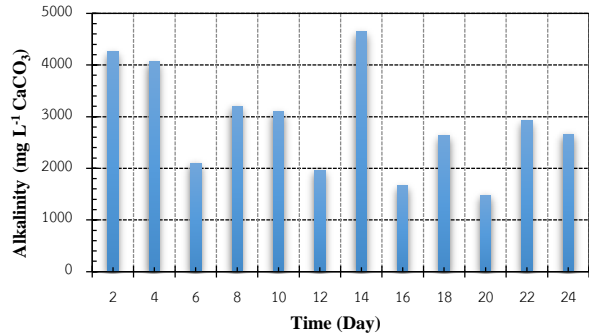
รูปที่ 4 : (A) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร); (B) เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%); (C) ปริมาณมีเทนสะสม (มิลลิลิตร)

จากการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดีและมูลวัว พบว่า เปอร์เซนต์มีเทนสูงสุดที่ผลิตได้จากการหมักไบโอดีและมูลวัว มีค่า $65.11\% \pm 0.3$ (รูปที่ 4B) ปริมาณก๊าซชีวภาพรวมสะสมทั้งหมดสูงสุด คือ $1,978 \pm 3.54$ มิลลิลิตร (รูปที่ 4A) และปริมาณมีเทนสะสมทั้งหมด $1,148 \pm 5.00$ มิลลิลิตร (รูปที่ 4C) ตามลำดับ และเมื่อนำผลการวิจัยที่ได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่า มีค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนสูงกว่างานวิจัยอื่น ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 : การเปรียบเทียบก๊าซมีเทนจากวัสดุคอกโนเซลลูโลส

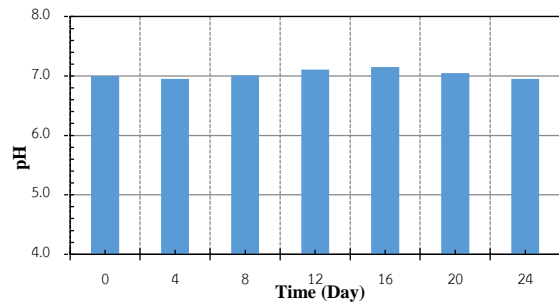
วัตถุดิบ	เปอร์เซนต์มีเทน	อ้างอิง
ขุยมะพร้าวและมูลวัว	46.10%	[14]
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและมูลวัว	45.00%	[15]
เศษมันฝรั่ง	51.50%	[16]
ไบโอดีและมูลวัว	65.11%	งานวิจัยนี้

A



B

รูปที่ 5 : ค่าสภาพต่างในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ



C

รูปที่ 6 : ค่าพีเอชในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

อย่างไรก็ตามในขั้นแรกที่มีการทดสอบเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการโดยไม่มีการเติม CaCO_3 นั้นจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่ไม่ดี อีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมค่าพีเอช และสภาพต่างในระบบได้ และเมื่อมีการเติม CaCO_3 พบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 4 A-C แสดงให้เห็นว่าการเติม CaCO_3 ในปริมาณที่เหมาะสมนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี โดยในการเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะเดินระบบในอุณหภูมิช่วงมีไซคลิก คือ อุณหภูมิช่วง 35-37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับสภาวะอากาศของประเทศไทย ค่าสภาพต่าง (Alkalinity) นั้นจะตรวจวัดทุก ๆ 2 วัน ซึ่งพบว่าระบบสามารถรักษาสภาพต่างให้อยู่ในช่วง 1,480 ถึง 4,640 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ (รูปที่ 5) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการรักษาค่าพีเอชให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม [6]

เมื่อพิจารณาถึงค่าพีเอชในระบบผลิตก๊าซชีวภาพนั้นพบว่ามีความอยู่ในช่วง 6.95 ถึง 7.15 (รูปที่ 6) ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งถือเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่ม คือ จุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) และจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (Methane Forming Bacteria)

5) สรุปและอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัย เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างไบโอดีเซลที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและมูลวัว พบว่าในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องมีการควบคุมค่าพีเอช และสภาพต่างในระบบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือค่าพีเอชไม่ควรต่ำกว่า 6.2 [6] โดยเมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 6.95 ถึง 7.15 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามค่าพีเอชนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพต่างในระบบ ดังนั้นในระบบผลิตก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้จึงมีการเติม CaCO_3 ในปริมาณที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติม CaCO_3 นั้น พบว่าระบบไม่สามารถรักษาค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ เนื่องจากภายในระบบมีทั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตกรด และกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตมีเทน ซึ่งกลุ่มที่ผลิตมีเทนมีการดำเนินกิจกรรมและเจริญเติบโตช้ากว่ากลุ่มผลิตกรด ทำให้เมื่อจุลินทรีย์ผลิตกรดทำงานอาจส่งผลให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ภายในระบบ และทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลง ทำให้ระบบล้มได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสภาพต่างในระบบนั้นพบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเช่นกัน คือ 1,480 ถึง 4,640 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ โดยค่าทางทฤษฎีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 5,000 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ แสดงให้เห็นว่าการเติม CaCO_3 นั้นถือได้ว่าเป็นการช่วยให้ระบบสามารถรักษาค่าพีเอช และสภาพต่างได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเมื่อสภาวะในระบบมีความเหมาะสมแล้ว จะทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่ามีเทนที่สามารถผลิตได้เทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณแหล่งสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.): งบประมาณด้าน ววน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลย-

อลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี เลขที่สัญญา ววน.01/2564 และเครื่องมือเฉพาะทางจากศูนย์ Biosensor and Bioelectronics Technology สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

REFERENCES

- [1] W. Kaewpradit, "Sugarcane straw management to mitigate particulate matter and encourage sustainable sugarcane production," (in Thai), *Khon Kaen Agr. J.*, vol. 49, no. 1, pp.76–86, Feb. 2021.
- [2] T. Kaisinburasak, W. Opanukul, A. Opanukul, W. Sukpraserk, M. Kantamarat, and M. Tunhaw, "The Design and Mechanism Developing of Sugarcane Leaf Pruning Machine for sugarcane planting," (in Thai), *Thai Agr. Res. J.*, vol. 34, no. 1, pp.76–94, 2016.
- [3] World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation. "The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action." [WORLD BANK.org. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25013](https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25013) (accessed Feb. 25, 2021).
- [4] S. Polprasert, "Pretreatment of lignocellulosic materials for ethanol production," (in Thai), *Thai Sci. Technol. J.*, vol. 22, no. 5, pp. 641–649, 2014.
- [5] N. Pisutpaisal, V. Sawasdee, P. Prommanee, and S. Haosagul, "Potential biogas generation from organic wastes in the EGAT," unpublished.
- [6] National Science and Technology Development Agency, "BCG in Action Bio- Circular - Green Economy," Bangkok, Thailand. Accessed: Feb 25, 2021. [Online]. Available: http://stiic.sti.or.th/wp-content/uploads/2018/10/BCG_Final1.pdf
- [7] S. Sirianuntapiboon, *Wastewater Treatment System*, Bangkok, Thailand: Top Publishing (in Thai), 2014.
- [8] F. Tufaner and Y. Avsar, "Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: a review," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 13, pp. 2303–2312, Jul. 2016.
- [9] N. Paraksa and S. Paraksa, *Animal Nutrition*, Nakhonpathom, Thailand: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus (in Thai), 2010.
- [10] A. M. Mansor, J. S. Lim, F. N. Ani, H. Hashim and W. S. Ho, "Characteristics of cellulose, hemicellulose and lignin of MD2 pineapple biomass," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 72, pp.79–84, Jan. 2019.



- [11] V. Sawasdee, S. Haosagul, and N. Pisutpaisal, "Co-digestion of waste glycerol and glucose to enhance biogas production," *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 44, no. 56, pp. 29575–29582, Nov. 2019.
- [12] S. Fatma, A. Hameed, M. Noman, T. Ahmed, M. Shahid, M. Tariq, I. Sohail, and R. Tabassum, "Lignocellulosic Biomass: A Sustainable Bioenergy Source for the Future," *Protein Pept. Lett.*, vol. 25, no. 2, pp. 1–16, Jan. 2018.
- [13] R. Pawongrat, "Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes," (in Thai), *Veridian E-Journal, Sci. Technol. Silpakorn Univ.*, vol. 2, no. 1, pp. 143–157, Jun. 2015.
- [14] W. Soontornchaiboon, T. Plyngam, and R. Pawongrat, "Pretreatment of coconut husk for biogas production by anaerobic fermentation with cow dung," (in Thai), *RMUTP Res. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 19–30, Sep. 2015.
- [15] M. Suntikunaporn, S. Echaroj, and W. Rimpikul, "Evaluation of Agricultural Wastes for Biogas Production," *Thammasat Int. J. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2014.
- [16] E. Tamburini, M. Gaglio, G. Castaldelli, and E. A. Fano, "Biogas from Agri-Food and Agricultural Waste Can Appreciate Agro-Ecosystem Services: The Case Study of Emilia Romagna Region," *Sustainability*, vol. 12, no. 20, pp. 1–15, Oct. 2020.

การออกแบบและพัฒนากระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ เพื่อตัดแท็กปัญหาการให้บริการ

จักรินทร์ สันติรัตนภักดี^{1*,3} ศุภกฤษฎี นวัตกรรมกุล^{1,2}

^{1*}สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, ประเทศไทย

²โครงการจัดรูปแบบการบริหารวิชาการด้านเทคโนโลยีดิจิทัลรูปแบบใหม่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, ประเทศไทย

³สาขาวิชาระบบสารสนเทศคอมพิวเตอร์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล, นครราชสีมา, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล: d6200701@g.sut.ac.th

รับต้นฉบับ: 28 สิงหาคม 2564; รับประทานฉบับแก้ไข: 13 กันยายน 2564; ตอรับบทความ: 11 ตุลาคม 2564

เผยแพร่ออนไลน์: 13 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) มีช่องทางในการร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะผ่านเว็บไซต์ ที่ผู้ใช้งานสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ ดังนั้นข้อมูลบนเว็บไซต์จึงนับว่ามีประโยชน์ และมีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ เนื่องจากมาจากผู้ใช้บริการจริง แต่จำนวนข้อร้องเรียนที่เพิ่มมากขึ้น และความหลากหลายของข้อความ ตลอดจนความผิดพลาดในการใช้ภาษาของผู้ใช้ส่งผลต่อความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อร้องเรียน เนื่องจากผู้รับผิดชอบต้องวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตนเอง ดังนั้นหากมีกระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนแบบอัตโนมัติจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1) ออกแบบและพัฒนากระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ จากข้อร้องเรียนผ่านเว็บไซต์ขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพด้วยกระบวนการตัดคำภาษาไทยโดยใช้พจนานุกรม แล้วตัดเลือกคำศัพท์ด้วยการวิเคราะห์น้ำหนักรวมของคำ มาสร้างเป็นคลังคำศัพท์ แบ่งเป็น 4 คลาส ได้แก่ คลาสการขับขี้น คลาสผู้ขับขี้นและพนักงานผู้ให้บริการ คลาสยานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการ และ คลาสเวลาและการเดินรถ วัดผลด้วยการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อจำแนกข้อความ พบว่า อยู่ในระดับดีมาก
- 2) ประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ จากการจับคู่กับคำศัพท์ในคลังคำศัพท์กับข้อร้องเรียนจากผู้เพิ่มความต้องการของผลลัพธ์ด้วยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของคำด้วยเทคนิคการวัดระยะทางเลเวนชเตย์น ในกรณีที่พบคำศัพท์ที่เขียนไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ในคลังคำศัพท์ เพื่อตัดแท็กจำแนกปัญหาในการให้บริการของรถโดยสารสาธารณะ ประเมินความถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก โดยเฉพาะข้อร้องเรียนประเด็นเดียว แสดงถึงการตัดคำภาษาไทยแบบอิงพจนานุกรมเหมาะสมกับคลังคำศัพท์ที่กำหนดขอบเขตได้แน่นอน ความถูกต้องและครอบคลุมของคำศัพท์ส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ในการจำแนกอย่างไรก็ดี พบปัญหาคำศัพท์ที่ซ้ำซ้อนกันในบางคลาส เช่น เสียงดัง อาจมีที่มาจากคลาสผู้ขับขี้นและพนักงานผู้ให้บริการ หรือจากคลาทยานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการก็ได้ตามต้นกำเนิดการเกิดเสียง ตลอดจนปัญหาการประสมคำในภาษาไทยที่มีลักษณะเฉพาะตัวส่งผลต่อความถูกต้องของผลการตัดคำ ผลลัพธ์จากงานวิจัยจะนำเสนอแนวทางการจำแนกข้อมูล ก่อนจะนำเสนอสารสนเทศเป็นภาพข้อมูลต่อไป และเป็นประโยชน์แก่ผู้รับผิดชอบ เพื่อนำไปปรับปรุงการให้บริการให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้บริการต่อไป

คำสำคัญ : การจำแนกข้อมูล รถโดยสารสาธารณะ การตัดคำภาษาไทย การเรียนรู้ของเครื่อง ระยะทางเลเวนชเตย์น



The Design and Development of Public Bus Complaint Classification Process for Service Problem Tagging

Chakkarin Santirattanaphakdi^{1,3*} Suphakit Niwattanakul^{1,2}

^{1*}*School of Information Technology, Institute of Social Technology, Suranaree University of Technology,
Nakhon Ratchasima, Thailand*

²*A New Paradigm in the Digital Technology Academic Administrator Project (DIGITECH), Suranaree University of
Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand*

³*Department of Computer Information System, Faculty of Business Administrator, Vongchavalitkul University,
Nakhon Ratchasima, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: d6200701@g.sut.ac.th

Received: 28 August 2021; Revised: 13 September 2021; Accepted: 11 October 2021

Published online: 13 December 2021

Abstract

Bangkok Mass Transit Authority (BMTA) has a webboard for service user complaints on public buses. This information is important and improving service efficiency. Now, the complaints are increasing, more different and lexical error problem affect the accuracy of the complaints classification. Because the person has to analyze the data by self. This research aims 1) to the design and development of public bus complaint classification process from BMTA webboard by Thai dictionary-based approach and keywords selection by TF-IDF to create a corpus-based divided into 4 classes: driving class, person class, vehicle class and schedule class. The result of text classification algorithms, found that it was at a very good level. 2) to evaluation the accuracy of the public bus complaint classification. Then, keywords matching with user complaints again and increase the accuracy of keywords by Levenshtein Distance. In case that found the incorrectly keywords for create complaint classification tag. The accuracy assessment of complaint classification is a very good level, especially one complaint issue. The results show performance of dictionary-based approach on Thai word segmentation is suitable for the terminology that has definite scope. However, found problems in same keywords to be duplicated in some class. For example, loudness can be attribute from the person class or the vehicle-equipment class according to the origin of the sound. As well as the unique compounding of Thai language affects to the accuracy of word tokenization. These results will present an approach to data classification and will benefit to those responsible to improve the service for customers.

Keywords: Data classification, Public bus, Thai word segmentation, Machine learning, Levenshtein distance

1) บทนำ

ระบบขนส่งสาธารณะถือว่ามีความสำคัญอย่างมากต่อการดำเนินชีวิตประจำวันตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ประกอบด้วยระบบขนส่งสาธารณะทางถนน ทางราง และทางน้ำ ที่ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศ ซึ่งระบบขนส่งสาธารณะที่เข้าถึงและถูกใช้บริการมากที่สุดคือระบบขนส่งสาธารณะทางถนน โดยเฉพาะพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่เดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางเป็นหลัก ภายใต้การดำเนินงานขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) [1] มีจำนวนเส้นทางรถโดยสารประจำทางรวมทุกประเภท จำนวน 456 เส้นทาง ครอบคลุมรถโดยสารรถเอกชนร่วมบริการ รถเล็กวิ่งในซอย รถตู้โดยสาร และรถตู้เชื่อมต่อท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ [2] จากคุณสมบัติการให้บริการที่มีความคล่องตัวสูง สะดวก และสามารถให้บริการได้ทุกจุดตลอดระยะเวลาของการเดินทาง ตลอดจนอัตราค่าโดยสารยังอยู่ในระดับต่ำสอดคล้องกับรายได้ของประชากรมากที่สุด เมื่อเทียบระบบขนส่งมวลชนทางบกประเภทอื่น ๆ ในพื้นที่เดียวกัน แต่หากพิจารณาย้อนหลัง พบว่า มีจำนวนผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทางขสมก. ลดลงอย่างต่อเนื่องจากปี 2558 อยู่ที่ประมาณ 1,060,000 คนต่อวัน แต่ในปี 2560 กลับพบว่าผู้ใช้บริการเพียง 830,859 คนต่อวันเท่านั้น ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 6.15 ต่อปี [3] ซึ่งหนึ่งในปัจจัยหลักมาจากคุณภาพการให้บริการ อันจะเห็นได้จากผลการสำรวจของสำนักงานปลัดสำนักนายกรัฐมนตรี [4] เกี่ยวกับจำนวนเรื่องร้องทุกข์ ในช่วงปีงบประมาณ 2563 ไตรมาสที่ 1 พบว่า องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพเป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจในสังกัดกระทรวงคมนาคมที่มีประชาชนร้องเรียนโดยเฉลี่ยมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง โดยส่วนใหญ่เป็นเรื่องร้องทุกข์/เสนอความคิดเห็น ใน 3 ประเด็น ได้แก่ 1) ขอให้เพิ่มเที่ยว/รอบการเดินทางขยายเส้นทางรถโดยสารและเพิ่มจำนวนรถโดยสารประจำทาง 2) ขอให้ปรับปรุงการให้บริการของพนักงานขับรถและพนักงานเก็บค่าโดยสาร และ 3) ขอให้ปรับปรุงการให้บริการของรถโดยสารประจำทาง รถโดยสารสาธารณะ รถโดยสารปรับอากาศประจำทาง และรถโดยสารปรับอากาศร่วมบริการสอดคล้องกับสถิติการรับเรื่องร้องเรียนรถโดยสารประจำทางขสมก.ตามกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก ปี 2563 ที่พบว่า 3 อันดับเรื่องร้องเรียน ได้แก่ ไม่หยุดรับส่งผู้โดยสารที่ป้าย ขั้รถประมาทหวาดเสียว และสภาพรถไม่สมบูรณ์ (คว้นดำ) [5]

นอกเหนือจากข้อร้องเรียนดังกล่าวที่ดำเนินการร้องทุกข์ผ่านช่องทางต่าง ๆ ของรัฐบาลแล้ว องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพเองยังมี

ช่องทางในการรับแสดงความคิดเห็นหรือรับเรื่องราวร้องเรียนรถองค์การ และร้องเรียนรถเอกชนร่วมบริการผ่านเว็บบอร์ด บนเว็บไซต์ <http://www.bmta.co.th> เป็นอีกหนึ่งช่องทางที่ใช้ในการติดตามตรวจสอบการให้บริการ และเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานสามารถตั้งกระทู้ถามตอบเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันอย่างอิสระ ดังนั้นข้อมูลบนเว็บบอร์ดจึงน่าจะมีประโยชน์ และมีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการ แต่เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนความคิดเห็นหรือข้อร้องเรียนในการใช้บริการมีเพิ่มมากขึ้นในแต่ละวัน และความหลากหลายของข้อความที่แตกต่างกันตามบริบทของผู้ใช้งาน ตลอดจนความผิดพลาดในการใช้ภาษาที่เกิดจากความตั้งใจหรือแม้แต่ไม่ตั้งใจของผู้ใช้ ที่ก่อให้เกิดปัญหาในการตีความหมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อความที่ไม่มีคำจำแนกหมวดหมู่ไว้อย่างชัดเจน อาจส่งผลกระทบต่อคำตอบคำถาม การให้ข้อมูลคืนที่ถูกต้องแก่ผู้ใช้ ตลอดจนการสรุปสถิติและการจัดประเภทข้อร้องเรียนนั้นทำได้ยากใช้เวลานาน และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูง เนื่องจากผู้ดูแลระบบจะต้องนำข้อร้องเรียนมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกหมวดหมู่ด้วยตนเอง ดังนั้นหากมีกระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนตามหมวดหมู่ที่ต้องการจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งออกแบบและพัฒนากระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะบนเว็บบอร์ด เพื่อจำแนกปัญหาการให้บริการด้วยการติดแท็กอัตโนมัติ และนำเสนอเป็นสารสนเทศแก่ผู้รับผิดชอบในการนำไปปรับปรุงคุณภาพการให้บริการให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้บริการต่อไป

การจำแนกข้อมูล (Classification) [6] เป็นเทคนิคการสร้างโมเดลหรือตัวจำแนกข้อมูล (Classifier) เพื่อทำนายหมวดหมู่ของข้อมูล (Categories/Class) โดยชุดข้อมูลที่เป็นอินพุตสำหรับสร้างตัวจำแนกข้อมูลเรียกว่าชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Data) หากในชุดข้อมูลมีแอททริบิวต์หมวดหมู่ข้อมูลสำหรับจำแนกจะเรียกว่าการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ที่สร้างตัวจำแนกข้อมูลจะถูกสอนโดยแอททริบิวต์หมวดหมู่ข้อมูลต่าง ๆ ตรงข้ามกับการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning หรือ Clustering) ที่จะไม่ทราบถึงหมวดหมู่ของข้อมูล

ปัจจุบันมีผู้เสนอเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ 1) การจำแนกข้อมูลด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Classifier) [7] เป็นกระบวนการสร้างต้นไม้ขึ้นเพื่อใช้ในการตัดสินใจจากข้อมูลที่มีหมวดหมู่ข้อมูลระบุอยู่ 2) การจำแนกข้อมูลแบบเบย์เซียน

(Bayesian Classifier) [7] เป็นการสร้างตัวจำแนกข้อมูลด้วยการประยุกต์ใช้ค่าทางสถิติที่สามารถบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นของข้อมูลเรคคอร์ดหนึ่งที่จะอยู่ในหมวดหมู่ของข้อมูลหนึ่ง ๆ โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีของเบย์ (Bayes' Theorem) ที่ช่วยให้สามารถจำแนกข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง 3) การจำแนกข้อมูลด้วยฐานกฎ (Rule-based Classifier) [7] เป็นโมเดลที่จะแสดงผลด้วยเซตของกฎที่มีลักษณะแบบ IF-THEN โดยแต่ละกฎจะอยู่ในรูปฟอร์ม 4) การจำแนกข้อมูลจากกฎความสัมพันธ์ของข้อมูล (Association Rule Classifier) [6] มีที่มาจากแนวคิดกฎความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ประกอบด้วยรายการ (Item) ต่าง ๆ ที่ปรากฏร่วมกันบ่อย ๆ เพื่อใช้อธิบายถึงรูปแบบที่แอบแฝงอยู่ในชุดข้อมูล 5) การค้นหาเพื่อนบ้านใกล้สุด k อันดับ (k-nearest neighbor: K-NN Classifier) [6] เป็นการเรียนรู้โดยการเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลที่ต้องการจำแนกทั้งหมดในชุดข้อมูลฝึกสอนที่มีลักษณะเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน ด้วยการพิจารณาข้อมูล แอททริบิวต์ต่าง ๆ โดยจะมีข้อมูลเรคคอร์ดหนึ่งที่ถูกกำหนดเป็นจุดหนึ่งในระนาบ พิจารณาจากค่า Euclidean Distance 7) ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (support vector machine: SVM) [7] เป็นอัลกอริทึมในการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล โดยอาศัยหลักการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการฝึกฝนให้ระบบเรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ดีที่สุด และ 8) การจำแนกข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Classifier) [6], [7] ที่เลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ โดยเชื่อมต่อกันเป็นโหนด (Node) หลายชั้นเรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer perceptron: MLP) ค่าฟังก์ชันของแต่ละโหนดเกิดจากฝึกฝน (Train) กระบวนการฝึกฝน เริ่มจากการป้อนอินพุต (Input Signal) เข้าโครงข่ายคำนวณค่าอินพุตคูณกับค่าน้ำหนักในโครงข่าย แล้วปรับค่าน้ำหนักประสาท (Weight) และไบอัส (Bias) ตามกฎการเรียนรู้เพื่อให้เอาต์พุตของโครงข่ายให้ค่าผลลัพธ์ใกล้เคียงเป้าหมายมากที่สุด แล้วส่งผ่านข้อมูลสู่ฟังก์ชันกระตุ้นและส่งออกเป็นเอาต์พุต (Output Signal) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายซึ่งเป็นค่าผิดพลาด และจะถูกส่งค่าย้อนกลับไปปรับค่าน้ำหนัก (Backpropagation Algorithm) ให้พอดี (Fit) กับข้อมูลต่อไป ด้วยจุดเด่นคือมีความมั่นคงสูงต่อสิ่งรบกวน (Noise) ทำงานได้ดีกับข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่มีค่าแบบไม่ต่อเนื่อง อีกทั้งสามารถ

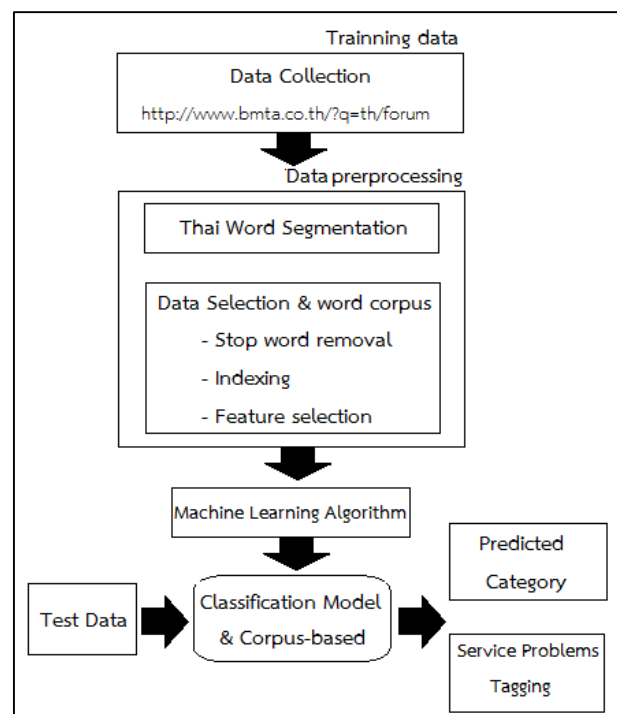
จำแนกข้อมูลได้ทั้งแบบมีผู้สอนและไม่มีผู้สอน รวมถึงมีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูล แม้พบความสัมพันธ์ระหว่างแอททริบิวต์กับหมวดหมู่ต่าง ๆ เพียงเล็กน้อย จากข้อดีดังกล่าว จึงถูกนำมาถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย

2) วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนากระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ
2. เพื่อประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ

3) วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ โดยใช้แนวคิดแบบจำลองการพัฒนาแอปพลิเคชันแบบเร่งรัด (Rapid Application Development Model: RAD) [8] มาเป็นกรอบในการดำเนินงาน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 : กรอบการดำเนินงาน

3.1) มอตุลการเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

งานวิจัยชิ้นนี้เก็บรวบรวมข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะขององค์กรขนส่งมวลชนกรุงเทพที่เผยแพร่เป็นสาธารณะบนเว็บไซต์ <http://www.bmta.co.th/?q=th/forum> ด้วย

เทคนิคการขูดเว็บ (Web Scraping) [9] ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา R ในการเข้าถึงเว็บไซต์ และคัดลอกข้อมูลในตำแหน่งที่ระบุมาจัดเก็บในรูปแบบของไฟล์เอกสารธรรมดา (.txt) ที่รอการนำไปประมวลผล อย่างไรก็ตาม องค์กรอาจก่อให้เกิดความเสียหาย และการอนุญาตให้เข้าถึงและคัดลอกข้อมูลบนเว็บไซต์ในมหาวิทยาลัยหรือองค์กรที่ตั้งกระทุ้งขึ้นภายในวันที่ 1 มกราคม 2564 ถึง 31 กรกฎาคม 2564 รวมทั้งสิ้น 1,275 ข้อความ ดังตารางที่ 1 แยกเป็นส่วนที่ 1 นำมาตัดคำภาษาไทยแบบ อิงพจนานุกรมเพื่อสร้างคลังคำศัพท์จำนวน 1,020 ข้อความ คิดเป็นร้อยละ 80 และส่วนที่ 2 จำนวน 255 ข้อความนำมาเป็นข้อมูลทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 20 เพื่อประเมินผลความถูกต้องของผลการจำแนกปัญหาการให้บริการ

ตารางที่ 1 : ตัวอย่างข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ

ลำดับ	ข้อความ
1.	บัตร Prompt Card เต็มเงินแล้วใช้ไม่ได้ เครื่องไม่อ่าน แต่บัตรแล้วเออเร่อ เพิ่งเติมเงินด้วยค่ะ ต้องทำอะไรบ้างคะ ลองไปติดต่อที่ธนาคารกรุงไทยบอกแก้ไขอะไรไม่ได้ เพราะบัตรไม่มีข้อมูล แสดงว่าถ้าเติมเงินแล้วบัตรก็ใช้งานไม่ได้ ก็ต้องเสียเงินไปฟรีๆ เลยหอรคะ รบกวนตรวจสอบด้วยค่ะ ขอขอบคุณค่ะ
2.	วันที่ 29 ธันวาคม 2563 เวลา 17.40 น ป้าย ถนนสายลวด รถสาย 25 11-9321 3-40252 ขับเร็ว วิ่งขา ไม่จอดรับผู้โดยสาร
...	...
1275.	ยื่นรอรถเมล์สาย205แถวบางค้กรุงศรี รอดั่ง 19.45 จนถึง 20.30 รถเมล์ไปเดอะมอลล์ท่าพระไม่มีเลยในช่วงเร่งรีบแบบนี้ทำไมถึงไม่มีรถ

3.2) มอดูลการตัดคำภาษาไทย (Thai Word Segmentation)

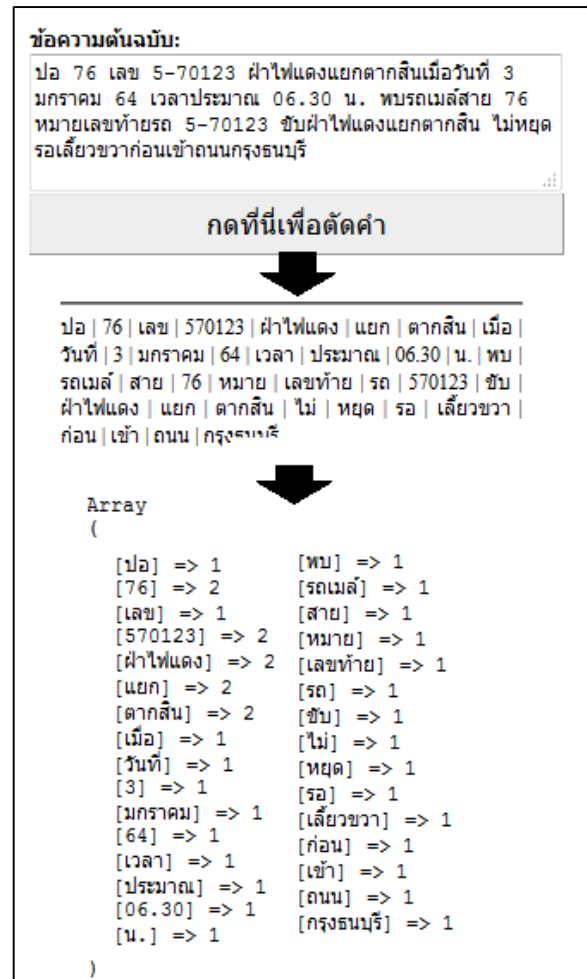
เป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญของการวิเคราะห์ข้อความ โดยนำข้อความทั่วไปซึ่งอยู่ในรูปแบบประโยคมาแบ่งออกเป็นคำหรือคุณลักษณะ (Term/Feature) เพื่อแยกส่วนของข้อความออกจากกันก่อนนำไปประมวลผลในขั้นต่อไป [10] แบ่งตามกระบวนการทำงานออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) การตัดคำโดยใช้กฎ (Rule-Based Approach) โดยใช้วิธีเกณฑ์ทางอักขรวิธีที่กำหนดลักษณะของการประสมอักษร 2) การตัดคำโดยใช้พจนานุกรม (Dictionary-Based Approach) ที่เก็บคำศัพท์ไว้ในพจนานุกรม แล้วนำข้อความป้อนเข้าไปค้นหาและเปรียบเทียบ

สายอักขระกับคำศัพท์ในพจนานุกรม เพื่อหาว่าข้อความดังกล่าวควรตัดคำในบริเวณใด และประกอบด้วยคำใดบ้าง อย่างไรก็ตาม การตัดคำโดยใช้พจนานุกรมก็มีข้อจำกัดบางประการ เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่คำที่ปรากฏในเอกสาร อาจจะไม่ปรากฏในพจนานุกรม จึงเป็นที่มาของเอ็นแกรม (N-gram) ที่นำบางส่วนของข้อความออกมาเป็นตามค่า N และ 3) การตัดคำโดยใช้คลังคำศัพท์ (Corpus-Based Approach) โดยเตรียมคลังคำศัพท์ที่มีการตัดคำและการกำกับหน้าที่ของคำไว้ล่วงหน้า

อย่างไรก็ตาม การตัดคำในภาษาไทยยังพบปัญหาในการตัดคำเนื่องจากลักษณะของภาษาไทยมีการเขียนติดกันแบบไม่มีเครื่องหมายวรรคตอนแสดงการแบ่งคำที่ชัดเจน แตกต่างจากภาษาอังกฤษที่มีช่องว่างแสดงให้เห็นถึงขอบเขตของแต่ละคำ [10] ปัจจุบันมีผู้คิดค้นและเสนอแนะวิธีการต่าง ๆ ในการตัดคำภาษาไทย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดคำโดยใช้พจนานุกรมหรือคลังคำศัพท์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ได้แก่ 1) การตัดคำแบบยาวที่สุด (Longest Matching) หลักการทำงานเริ่มจากตัวอักษรซ้ายสุดของข้อความไปยังตัวอักษรถัดไปจนกว่าจะพบคำที่กำหนดไว้ จากนั้นจะค้นหาคำถัดไปจนกว่าจะจบข้อความ ในกรณีที่พบคำที่มาจากจุดเริ่มต้นเดียวกันจะเลือกคำที่ยาวที่สุด เช่น ประโยค “ฉันนั่งตากลมที่หน้าบ้าน” จะเริ่มจากตัวอักษร “ฉ” และคำแรกที่แบ่งได้คือ “ฉัน” หลังจากนั้นก็ค้นหาตัวอักษรถัดไปและนำมาเปรียบเทียบคำในพจนานุกรมก็จะพบคำว่า “นั่ง” เป็นคำต่อไป ตัวอักษรถัดไปคือ “ต” จากตัวอักษรนี้จะได้คำว่า “ตา” กับ “ตาก” แนวคิดนี้ให้เลือกคำยาวที่สุดที่พบจึงเลือกคำว่า “ตาก” หลังจากนั้นจะค้นหาและเปรียบเทียบต่อไปจนครบซึ่งจะได้ผลลัพธ์นั่นคือ “ฉัน | นั่ง | ตาก | ลม | ที่ | หน้า | บ้าน” เช่น โปรแกรมการตัดคำเล็กซ์โต (LexToPlus: A Thai Lexeme Tokenization and Normalization Tool) ที่พัฒนาโดยเนคเทค อ้างอิงจากพจนานุกรมเล็กซ์โตรอน (LEXITRON) โดยใช้เทคนิคการแบ่งคำแบบยาวที่สุด และผู้ใช้สามารถเพิ่มรายการคำศัพท์ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน 2) การตัดคำแบบสอดคล้องมากที่สุด (Maximal Matching) เป็นวิธีการตัดคำตามรูปแบบที่สามารถจะเป็นไปได้ทั้งหมด เช่น เมื่อมีข้อความว่า “ไปหามเหสี” ก็จะตัดคำได้ 2 แบบ คือ “ไป | หาม | เห | สี” มีจำนวนคำที่ตัดได้เท่ากับ 4 และ “ไป | หา | มเหสี” ที่มีจำนวนคำที่ตัดได้เท่ากับ 3 วิธีการนี้จะให้เลือกข้อความที่หลังจากแบ่งแล้วมีจำนวนค่าน้อยที่สุด ส่วนในกรณีที่จำนวนคำที่เท่ากันจะเลือกวิธีที่มีการตัดคำแบบยาวที่สุด 3) การตัดคำแบบคำนวณเชิง

สถิติเพื่อหาความเป็นไปได้ (Probabilistic Model) โดยนำสถิติ การเกิดของคำและหน้าที่ของคำ (Part of Speech) เข้ามาช่วย ในการคำนวณหาความน่าจะเป็น เพื่อเลือกคำที่มีโอกาสเกิดมาก ที่สุด วิธีการนี้สามารถจะตัดคำได้ดีกว่าการตัดคำแบบยาวที่สุด และการตัดคำแบบสอดคล้องมากที่สุด แต่มีข้อจำกัดคือต้องมี ฐานข้อมูลการตัดคำและกำหนดหน้าที่ของคำที่ถูกต้อง เพื่อใช้ สร้างสถิติ และ 4) การตัดคำแบบคุณลักษณะ (Feature-Based Approach) ที่พิจารณาจากบริบท (Context Words) และการ เกิดร่วมกันของคำหรือหน้าที่ของคำ (Collocation) เข้ามาช่วย ในการตัดคำ เช่น คำว่า “ตากลม” ถ้าพบคำว่า “แป้ว” หรือ “โต” ในบริบทก็จะสามารถตัดคำได้ว่า “ตา | กลม” ในทาง กลับกันหากในบริบทพบคำว่า “หน้าบ้าน” จะเลือกตัดคำว่า “ตาก | ลม” เป็นผลลัพธ์ในการตัดคำ แต่วิธีการนี้จำเป็นต้องมี ฐานข้อมูลขนาดใหญ่และต้องมีการเรียนรู้การสร้างคำในบริบท หรือการเกิดร่วมกันของคำแต่ละคำ เพื่อนำมาใช้ในการตัดคำ เช่น โปรแกรมตัดคำภาษาไทยแบบอิงการเรียนรู้ของเครื่องที่ เล็กซ์ (TLEXPlus: Thai Lexeme Analyser) ที่ใช้เทคนิคการ เรียนรู้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Machine Learning) โดยอาศัย หลักการ Conditional Random Fields (CRFs) ร่วมกับคลัง คำศัพท์ของ BEST2009 ขนาด 9 ล้านคำในการเรียนรู้ จึง สามารถแบ่งคำที่เกิดขึ้นใหม่ คำในภาษาต่างประเทศ หรือคำ แสลงใหม่ ได้อย่างถูกต้อง โดยไม่ต้องอาศัยพจนานุกรม เหมาะ สำหรับนำไปแบ่งคำเพื่อหาพจนานุกรม (Named Entities) หรือชื่อเฉพาะต่าง ๆ

งานวิจัยนี้ใช้หลักการตัดคำโดยใช้พจนานุกรม เพื่อตัดคำ ภาษาไทยให้อยู่ในรูปคำเดี่ยว (Term) ตามที่กำหนดไว้แบบยาว ที่สุด เช่น ข้อความ “ปอ 76 เลข 5-70123 ฝ่าไฟแดงแยก ดากลิน เมื่อวันที่ 3 มกราคม 64 เวลาประมาณ 06.30 น. พบ รถเมล์สาย 76 หมายเลขท้ายรถ 5-70123 ขับฝ่าไฟแดงแยก ดากลิน ไม่หยุดรอเลี้ยวขวาก่อนเข้าถนนกรุงธนบุรี” จะได้ ผลลัพธ์ว่า “ปอ | 76 | เลข | 570123 | ฝ่าไฟแดง | แยก | ดาก ลิน | เมื่อ | วันที่ | 3 | มกราคม | 64 | เวลา | ประมาณ | 06.30 | น. | พบ | รถเมล์ | สาย | 76 | หมายเลข | ท้ายรถ | 570123 | ขับ | ฝ่าไฟแดง | แยก | ดากลิน | ไม่ | หยุด | รอ | เลี้ยวขวา | ก่อน | เข้า | ถนน | กรุงธนบุรี” ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 : ผลลัพธ์การตัดคำภาษาไทยแบบอิงพจนานุกรม

จากรูปที่ 2 จะนำผลลัพธ์จากการตัดคำในแต่ละครั้งมาเพิ่ม จำนวนคำในอาร์เรย์ (Array) ที่สร้างขึ้นแบบวนลูป เพื่อหาความถี่ ของคำทั้งหมดที่ปรากฏในเอกสาร จนครบ 1,020 ข้อความ

3.3) มอดูลการคัดเลือกและสร้างคลังคำศัพท์ (Data Selection and Word Corpus)

ผลลัพธ์จากการตัดคำจากข้อความภาษาไทยประกอบด้วยคำ ย่อย ๆ จำนวนมาก ส่งผลให้ยากต่อการคัดเลือกคำศัพท์เพื่อ นำมาสร้างคลังคำศัพท์ ผู้วิจัยจึงเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing) ก่อนการคัดเลือกคำศัพท์เข้าคลังคำศัพท์ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.1) การกำจัดคำหยุด (Stop Words Removal) เป็น การนำคำที่ไม่มีนัยสำคัญต่อข้อความออก โดยที่ความหมายของ คำหรือข้อความไม่เปลี่ยนแปลง คำหยุดมักจะปรากฏอยู่ทุก ข้อความ และมีความถี่สูง ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปคำสรรพนาม

คำสันธาน คำบุพบท ถือได้ว่าคำหยุดเป็นคุณลักษณะที่ไม่เกี่ยวข้องหรือไม่มีประโยชน์ในการจำแนกหมวดหมู่ ดังนั้นจึงสามารถตัดคำดังกล่าวทิ้งได้เลย โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อใจความหลัก การกำจัดคำหยุดเป็นกระบวนการที่ช่วยให้ขนาดของดัชนีลดลง อีกทั้งลดขนาดพื้นที่และเวลาในการประมวลผลลงด้วย ตัวอย่างคำหยุดดังตารางที่ 2 ร่วมกับการกำจัดตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอน การกำจัดช่องว่าง (Spacing) การกำจัดคำหยาบ (Swear Word) และการเปลี่ยนตัวอักษรภาษาอังกฤษให้เป็นตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในสภาพที่พร้อมนำไปประมวลผลในขั้นต่อไป

ตารางที่ 2 : ตัวอย่างคำหยุดในภาษาไทย

คำบุพบท	คำสันธาน	สรรพนาม	วิเศษณ์	อุทาน
กับ	กว่า	กรรม	ใกล้	555
ของ	คือ	ข้าพเจ้า	ครับ	กา
ซึ่ง	จึง	ฉัน	คะ	ขอโทษ
...
โดย	ถ้า	นาย	ที่สุด	เยี่ยม

อย่างไรก็ตาม ยังมีการเตรียมข้อมูลรูปแบบอื่นที่สามารถทำได้อีกหลายหลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการทำวากยวิภาค (part of speech tagging: POS), การระบุชื่อเฉพาะ (name entity recognition: NER) การจับกลุ่มคำที่มักปรากฏด้วยกัน การหาความสัมพันธ์ของคำ รวมถึงการเลือกกำจัดคำบางคำที่ไม่มีความสำคัญกับการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถเลือกใช้แตกต่างกันไปตามบริบทของข้อมูล

3.3.2) การสร้างดัชนีคำศัพท์ (Indexing) เป็นกระบวนการแปลงเอกสารที่เป็นภาษาธรรมชาติ ให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและประมวลผลได้ การสร้างดัชนีเป็นการสร้างตัวแทนเอกสาร (Document Representation) ให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์เอกสาร (Word Vector) ที่สามารถคำนวณค่าน้ำหนักของคำ (Term Weighting) เช่น คำเดี่ยว (Single Word), รากศัพท์ (Stem), วลี (Phrase), ชุดลำดับ (N-Gram) หรือประโยค (Sentence) เป็นต้น

หลังจากนำข้อร้องเรียนจำนวน 1,020 รายการ เข้าสู่กระบวนการตัดคำภาษาไทยโดยใช้พจนานุกรม และการกำจัดคำหยุด จะได้อาร์เรย์คำศัพท์หนึ่งชุด งานวิจัยนี้สร้างดัชนีเอกสารโดยใช้การหาค่าน้ำหนักรูปแบบคำเดี่ยวด้วยการวิเคราะห์น้ำหนัก

ของคำ (term frequency-inverse document frequency: TF-IDF) เป็นเทคนิคที่พิจารณาองค์ประกอบของคำภายในประโยคและเอกสารเป็นหลัก โดยจะไม่นำลำดับของคำภายในเอกสารมาวิเคราะห์ [11] ด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อประเมินความสำคัญของคำต่อเอกสารที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนครั้งที่คำ ๆ นั้นปรากฏในเอกสาร แต่จะถูกลดความสำคัญโดยความถี่ของคำนั้นในกลุ่มเอกสารทั้งหมด โดยการให้น้ำหนักคำในแต่ละคำจากใช้ 2 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน คือค่าความถี่ของคำ (TF) เพื่อหาว่าแต่ละคำนั้นปรากฏบ่อยแค่ไหนในแต่ละเอกสาร ดังสมการที่ 1

$$TF = \frac{\text{จำนวนคำที่ปรากฏในเอกสาร}}{\text{จำนวนคำทั้งหมดในเอกสาร}} \quad (1)$$

จากนั้นหาค่าความผกผันในความถี่ของเอกสาร (IDF) โดยการให้ค่าน้ำหนักกับคุณลักษณะที่ใช้เป็นตัวแทนของเอกสาร ซึ่งควรค่าปรากฏอยู่เป็นจำนวนมากในเนื้อหาของเอกสารเฉพาะฉบับนั้น และปรากฏอยู่น้อยในชุดของเอกสารที่เหลือทั้งหมด จากแนวคิดที่ว่า การแทนข้อความด้วยค่าความถี่การปรากฏของคุณลักษณะเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถจำแนกข้อความได้ดีพอ เพราะถ้าคุณลักษณะนั้นเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในทุก ๆ เอกสาร แสดงว่าคุณลักษณะดังกล่าวไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของเอกสารได้ จึงต้องหาค่าความถี่ผกผันด้วย ดังสมการที่ 2

$$IDF = \log\left(\frac{\text{จำนวนเอกสารทั้งหมดที่ใช้พิจารณา}}{\text{จำนวนเอกสารที่มีคำคำนั้นปรากฏอยู่}}\right) \quad (2)$$

กำหนดให้จำนวนเอกสารทั้งหมดที่ใช้ในการพิจารณา (n) เท่ากับ 1,020 และจำนวนเอกสารที่มีคำคำนั้นปรากฏอยู่ (DF_(t)) สูงสุดไม่เกิน 1,020 จะพบว่าคำที่ปรากฏไม่บ่อยครั้งนั้นจะมีค่าความถี่ของเอกสาร (DF) เข้าใกล้ 1 มากขึ้น เกือบทั้งหมดจะเป็นชื่อเฉพาะ เช่น สายรถประจำทาง ชื่อบุคคล ชื่อสถานที่ เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาตัดข้อมูลดังกล่าวออก เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ไม่ส่งผลต่อการบ่งชี้ประเด็นในการร้องเรียนการให้บริการ โดยสาระสาธารณะ คงเหลือเพียงคำศัพท์ที่สำคัญ และอีกส่วนหนึ่งเป็นคำศัพท์สำคัญที่เขียนผิดจากคำที่ปรากฏในพจนานุกรม อันเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจของผู้ใช้ ตลอดจนคำทับศัพท์ (Transliterated Word) และ คำศัพท์แสลง (Slang Word) หลังจากนั้นจะนำค่าความถี่ของคำศัพท์ (TF) และค่าความผกผัน

ในความถี่ของเอกสาร (IDF) ของแต่ละคำ มาคูณกันเพื่อหาค่า น้ำหนักที่สามารถแยกคำศัพท์สำคัญออกมาได้ ดังสมการที่ 3

$$TFIDF = TF * IDF \quad (3)$$

จากผลลัพธ์จะพบคำศัพท์ที่มีค่า TF-IDF จากเอกสารทั้งหมด ซึ่งเป็นคำศัพท์ที่มีแนวโน้มที่จะเป็นใจความสำคัญของเอกสาร ตามแนวคิดคำถูกกล่าวถึงบ่อยที่สุดและไม่ได้ปรากฏอยู่หลาย เอกสารเกินจนไป เพื่อนำมาคัดเลือกคุณลักษณะสำหรับสร้างคลัง คำศัพท์ในการจำแนกปัญหาในการให้บริการ

3.3.3 การเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) เนื่องจาก จำนวนคุณลักษณะมีผลต่อประสิทธิภาพการจำแนกหมวดหมู่ ข้อความ จึงเป็นที่มาของแนวคิดการสร้างคุณลักษณะใหม่จาก คุณลักษณะเดิม [12] เช่น การหาความถี่เอกสาร (Document Frequency: DF) การหาค่าสารสนเทศ (Information Gain: IG) หรือการหาค่าสถิติไคสแควร์ (Chi-Square) เป็นต้น

งานวิจัยนี้จำแนกปัญหาการให้บริการตามลักษณะของข้อ ร้องเรียนความถี่เอกสาร (DF) ที่พบบ่อยในเว็บบอร์ดองค์การ ขนส่งมวลชนกรุงเทพ คัดเลือกคำศัพท์จากกระบวนการตัดคำ ภาษาไทยจากข้อร้องเรียนจำนวน 1,020 ข้อความ คิดเป็นร้อยละ 80 แล้วคัดเลือกโดยผู้วิจัย ได้คำศัพท์จำนวน 118 คำ จากนั้น ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน จำแนกคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการ ร้องเรียนตามบริบทการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ แบ่ง ออกเป็น 4 คลาส ตามบริบทการให้บริการรถโดยสารสาธารณะ ได้แก่ 1) คลาสการขบขี้ 2) คลาสผู้ขบขี้และพนักงานผู้ให้บริการ 3) คลาสยานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการ และ 4) คลาสเวลา และการเดินทาง จากนั้นผู้วิจัยจัดเก็บคำศัพท์ในลักษณะถุงคำ (Bag of words) [12] ดังตารางที่ 3 ก่อนจะนำเข้า (Import) สู่ ฐานข้อมูล MySQL สำหรับนำไปสร้างคลังคำศัพท์เพื่อใช้ในการ จำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ

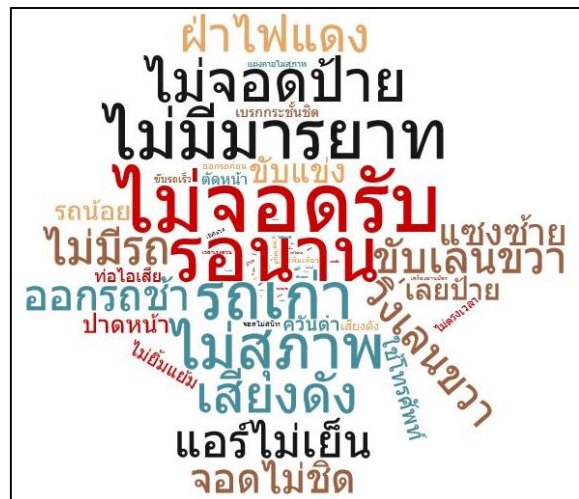
ตารางที่ 3 : การจัดเก็บคำศัพท์ในคลังคำศัพท์

คลาสที่ 1 คลาสการขบขี้ 46 คำ			
ขบรถเร็ว	ไม่จอดรับ	เบรกรถกระชั้นชิด	ขบกระชาก
เลย์ป้าย	ฝ่าไฟแดง	ขบเลนขวา	จอดไม่ชิด
วิ่งเลนขวา	ขบแข่ง	ปาดหน้า	แข่งซ้าย
ออกรถก่อน	จอดไม่สนิท	...	ตัดหน้า

ตารางที่ 3 : การจัดเก็บคำศัพท์ในคลังคำศัพท์ (ต่อ)

คลาสที่ 2 คลาสผู้ขบขี้และพนักงานผู้ให้บริการ 31 คำ			
ไม่สุภาพ	ไม่มีมารยาท	เสียงดัง	ไม่ยิ้มแย้ม
ไม่มีกั้ว	แต่งกาย	ใช้โทรศัพท์	มารยาทแย่
หยาบคาย	ไม่มีสมาธิ	เงินทอน	รับเงิน
ไม่ใส่แมสก์	สูบบุหรี่	...	ชักสีหน้า
คลาสที่ 3 คลาสยานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการ 26 คำ			
แอร์เสีย	แอร์ไม่เย็น	เออเรือ	รถเก่า
ท่อไอเสีย	เสียงดัง	ควันดำ	เปิดไม่ได้
แอฟ	viabus	เครื่องอ่านบัตร	ไม่เว้นระยะห่าง
ปิดไม่สนิท	ชำรุด	...	ไม่พร้อมใช้
คลาสที่ 4 คลาสเวลาและการเดินทาง 15 คำ			
ออกรถช้า	รอนาน	เพิ่มรถ	จอดเต็มแก๊ส
จอดแช่	ทิ้งช่วง	รถไม่พอ	ไม่ตรงเวลา
ไม่มีรถ	เพิ่มเที่ยว	เวลาเร่งด่วน	รถหมด
เลข	ปล่อยรถ	...	รถน้อย

จากนั้นนำผลลัพธ์จากการตัดคำ มาแสดงผลด้วย Wordcloud [13] ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มคำที่จับตัวกันเหมือนก้อน เมฆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงคำศัพท์สำคัญได้ง่ายๆ ขึ้น โดยคำที่มีความถี่สูงก็จะแสดงผลเป็นข้อความขนาดใหญ่ และไล่ลงมาเป็น ข้อความขนาดเล็กลงมาตามลำดับ โดยขนาดของคำขึ้นอยู่กับ ความถี่ของผลลัพธ์จากการตัดคำ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 : การแสดงความถี่ของคำด้วย Wordcloud

4) ผลการวิจัย

งานวิจัยขั้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนา กระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ และเพื่อ

ประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ แบ่งผลการศึกษาและอภิปรายผล รายละเอียดดังนี้

4.1) ผลการออกแบบและพัฒนากระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ

งานวิจัยนี้แบ่งคลาสข้อมูลตามข้อร้องเรียนที่พบบนเว็บบอร์ดขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ แบ่งออกเป็น 4 คลาสตามบริบทการให้บริการ ได้แก่ 1) คลาสการขับขี่ (Driving Class) จำนวน 504 รายการ 2) คลาสผู้ขับขี่และพนักงานผู้ให้บริการ (Person Class) จำนวน 275 รายการ 3) คลาสยานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการ (Vehicle Class) จำนวน 155 รายการและ 4) คลาสเวลาและการเดินทาง (Schedule Class) จำนวน 86 รายการ โดยมีคำศัพท์ที่ถูกคัดเลือกจำนวน 118 คำจัดเก็บภายในคลังคำศัพท์ในลักษณะงูคำ

การแปลงดัชนีคำศัพท์ (Term Weighting) [12] เพื่อสร้างตัวแทนเนื้อหาของเอกสาร (Document Representation) สำหรับใช้ในกระบวนการเรียนรู้ ให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์เอกสาร โดยการเปรียบเทียบระหว่างคำศัพท์ที่ปรากฏในข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะตามที่ระบุไว้ในคลาสกับคำศัพท์ที่เก็บอยู่ในงูคำ แล้วนับจำนวนคำศัพท์ที่ค้นพบจากแต่ละข้อร้องเรียน เพื่อนำความถี่มาคำนวณหาค่าน้ำหนักของคำศัพท์แต่ละคำตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 : การแปลงดัชนีคำศัพท์ในรูปแบบของเวกเตอร์เอกสาร

ข้อร้องเรียน	คำศัพท์				คลาส
	w ₁	w ₂	w _n	w ₁₁₈	
1. บัตร Prompt Card ...	0	0	...	0	Vehicle
...ขับรถเร็ว วังชา ไม่จอดรับผู้โดยสาร	0.1	0.1	...		Driving
...
รถเมล์สาย 26 รถน้อยมาก...	0	0	...	0.1	Schedule

จากตารางที่ 4 นำค่าน้ำหนักของคำศัพท์มาสร้างตัวแบบในการจำแนกกลุ่มข้อความ ในรูปแบบเอกสาร .arff [14] สำหรับนำเข้าโปรแกรมเวกา (waitato environment for knowledge analysis: Weka) เพื่อวิเคราะห์และจำแนกข้อมูล (Classification) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 : คุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้จำแนก

ตัวแปร	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
w ₁	numeric	ค่าน้ำหนักคำที่ 1 (ขับรถเร็ว)
w ₂	numeric	ค่าน้ำหนักคำที่ 2 (ไม่จอดรับ)
w _n	numeric	ค่าน้ำหนักคำที่ n (...)
w ₁₁₈	numeric	ค่าน้ำหนักคำที่ 118 (รถน้อย)
class	numeric	1) Driving class 2) Person class 3) Vehicle class 4) Schedule class

งานวิจัยชิ้นนี้จะใช้การตรวจสอบแบบไขว้กัน 10 ชุด (10-Fold Cross Validation) [14] โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ใช้เป็นชุดข้อมูลทดสอบ (Test Data) และอีก 9 ชุดที่เหลือใช้เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน (Training Data) จากนั้นเปลี่ยนชุดข้อมูลถัดไปเป็นชุดข้อมูลทดสอบส่วนที่เหลือเป็นชุดข้อมูลฝึกฝนวนซ้ำไปจนครบทั้ง 10 ชุดข้อมูล วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมเพื่อวัดความผิดพลาดของผลลัพธ์จากการสุ่มเลือกชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดข้อมูลทดสอบ การจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Algorithm) ในการจำแนกข้อความ (Text Classification) แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) 3 ชนิด [14] ได้แก่

1) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (support vector machine: SVM) ใช้หลักการของสมการเส้นตรงในการแบ่งกลุ่มข้อมูล แล้ววัดระยะห่างจากเส้นตรงเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง

2) เคเนียร์เนสเนเบอร์ (k-nearest neighbor: KNN) เป็นการจำแนกกลุ่มข้อมูลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันที่สุด K กลุ่ม ด้วยคำนวณค่าระยะห่างระหว่างจุด (Euclidean Distance) ของข้อมูล ข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันมากจะมีระยะห่างน้อย งานวิจัยชิ้นนี้กำหนด K เท่ากับ 3, 5 และ 7 ตามลำดับ

3) เพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multi-layer Perceptron) เป็นอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network: ANN) ที่เลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ โดยเชื่อมต่อกันเป็นโหนด (Node) หลายชั้น ค่าฟังก์ชันของแต่ละโหนดเกิดจากฝึกฝน (Train) โดยส่งค่าย้อนกลับทำให้ได้ตัวแบบที่สามารถให้นำหนักกับข้อมูลนำเข้า เพื่อให้ได้ประเภทที่ถูกจำแนกตามโหนดปลายทาง

การวัดประสิทธิภาพการจำแนกคลาสข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะแบบประเมินประสิทธิภาพเอกสารที่ถูกเลือก แต่ไม่ได้เรียงลำดับความคล้ายคลึง [11] ประกอบด้วย 4 ค่า ได้แก่ 1) ค่าความถูกต้อง (Accuracy) 2) ค่าความแม่นยำ (Precision) 3) ค่าความระลึก (Recall) และ 4) ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) หรือ F1 score ดังสมการที่ 4-7

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (4)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

$$\text{F-measure} = 2 * \frac{\text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (7)$$

โดย TP คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกต้องที่ถูกดึงออกมา
 FP คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดที่ถูกดึงออกมา
 TN คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกต้องแต่ไม่ถูกดึงออกมา
 FN คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดแต่ไม่ถูกดึงออกมา
 ผลการจำแนกข้อร้องเรียนรถ (Classification Model) โดยสาธารณะจาก 3 อัลกอริทึม ด้วยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (SVM) เคเนียร์เสนเบอร์ (K-NN) กำหนด K เท่ากับ 3, 5 และ 7 ตามลำดับ และโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ได้ผลลัพธ์ค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และ ค่าประสิทธิภาพโดยรวม ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 : ผลการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง

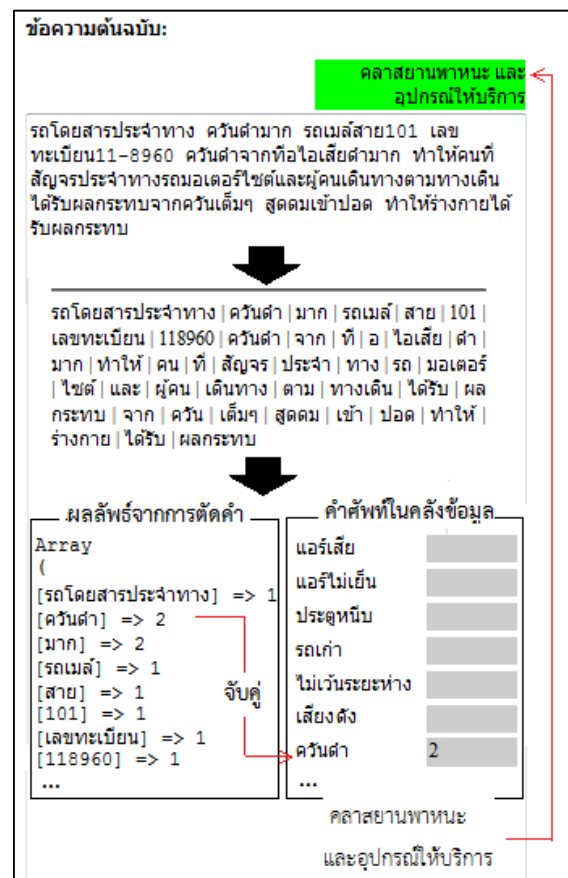
อัลกอริทึม	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure
SVM	87.380	.9010	.8740	.881
K-NN (3)	87.210	.9000	.8720	.879
K-NN (5)	87.030	.8890	.8700	.875
K-NN (7)	86.860	.8980	.8690	.876
ANN	91.090	.9310	.9110	.915

จากตารางที่ 6 ผลการจำแนก (Predicted Category) ข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องพบว่า โครงข่ายประสาทเทียม มีค่าความถูกต้องในการจำแนกสูง

ที่สุด ถึง 91.09% ค่าความแม่นยำ 93.10% ค่าความระลึก 91.10% และค่าประสิทธิภาพโดยรวม 91.5% ถือว่าคลังคำศัพท์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2) ผลการประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ

เป็นการนำผลจากการวิจัยไปประยุกต์ใช้งานจริง ผู้วิจัยได้สร้างคลังคำศัพท์ (Corpus-based) จำนวน 118 คำ มาทดสอบจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะกับชุดทดสอบ (Test Data) จำนวน 255 ข้อความ เข้าสู่ด้วยกระบวนการตัดคำภาษาไทยโดยใช้พจนานุกรม แล้วจึงจับคู่ระหว่างคำศัพท์กับข้อร้องเรียนจากผู้ใช้ เพื่อติดแท็กจำแนกปัญหาการให้บริการ (Service Problem Tagging) แบ่งเป็น 4 คลาส ได้แก่ คลาสการขี้ขี้ คลาสผู้ขับและพนักงานผู้ให้บริการ คลาสยานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการ และคลาสเวลาและการเดินทาง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 : ผลการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ

จากรูปที่ 4 เมื่อตรวจสอบผลรวมของการจับคู่ผลลัพธ์จากการตัดคำกับคำศัพท์ในคลังคำศัพท์ที่อยู่ในฐานข้อมูลของแต่ละคลาส หากคลาสไหนพบการปรากฏของคำที่กำหนดไว้ในคลังคำศัพท์ จะทำการติดแท็กด้วยชื่อของคลาสนั้น ๆ โดยการจับคู่ที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งนั้นจะทำการตรวจสอบเปรียบเทียบคำศัพท์จากทั้ง 4 คลาสแบบวนลูป ดังนั้นผลลัพธ์การจำแนกข้อร้องเรียนแต่ละรายการจึงสามารถมีได้มากกว่า 1 แท็ก จากนั้นจะบันทึกฐานข้อมูลอีกครั้ง เพื่อนำเสนอสารสนเทศเป็นภาพข้อมูลต่อไป

อย่างไรก็ดี เนื่องจากเป็นการให้ข้อร้องเรียนในการใช้บริการจากผู้ใช้งาน จึงมักเกิดปัญหาความหลากหลายของข้อความที่แตกต่างกันตามบริบทของผู้ใช้งาน ตลอดจนความผิดพลาดในการใช้ภาษาที่เกิดจากความตั้งใจหรือแม้แต่ไม่ตั้งใจของผู้ใช้ ส่งผลให้ผลลัพธ์จากการตัดข้อความหากไม่ตรงกับคำศัพท์ในคลังคำศัพท์ที่อยู่ในฐานข้อมูลจะไม่สามารถทำการจับคู่ได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความครอบคลุมของคลังคำศัพท์ส่งผลอย่างยิ่งต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ในการจำแนกข้อร้องเรียนโดยสารสนเทศ อย่างไรก็ตาม หากจะให้คลังคำศัพท์ครอบคลุมครบถ้วนจำเป็นเพิ่มคำศัพท์มาจากการผิดพลาด 4 ชนิด [15] ได้แก่ พิมพ์เกิน เช่น “ไม่จอด” เป็น “ไม่จอดด” พิมพ์ผิด เช่น “ขับรถเร็ว” เป็น “ขับรถเร็วว” พิมพ์ตก เช่น “มารยาท” เป็น “มายาท” และพิมพ์สลับ เช่น “สแกน” เป็น “แสกน” เป็นต้น อันจะส่งผลให้คำศัพท์ในคลังคำศัพท์มีจำนวนมากเกินความจำเป็น และยากที่จะระบุได้ว่าเท่าไรจึงจะครอบคลุมครบถ้วน เนื่องจากการพิมพ์ผิดพลาดถือได้ว่าเป็นพฤติกรรมพื้นฐานของมนุษย์ โดยผู้ที่พิมพ์ที่ไม่ชำนาญมักผิดพลาดจากการพิมพ์ผิด และการพิมพ์ผิดนั้นมักเกิดจากแป้นที่อยู่ติดกัน [16] หรือแม้แต่ผู้ที่พิมพ์ชำนาญก็มักจะมีผิดพลาดจากการพิมพ์เกินใน 2 แป้นที่อยู่ติดกัน แต่อย่างไรก็ดี มีเพียงส่วนน้อยมากของความผิดพลาดที่เกิดจากอักขระตัวแรกของคำ [17] ดังนั้นการพิมพ์ผิด (Correction of spelling errors) ถือว่าเป็นพฤติกรรมอันเป็นไปตามกลไกทางธรรมชาติของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่ถูกรบกวน

ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงทำการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของอักขระ (String Similarity) ด้วยการหาความต่างกันของสายอักขระสองชุดด้วยเทคนิคการวัดระยะทางเลเวนชเตย์น (Levenshtein Distance) [18] ที่แก้ปัญหาโดยใช้กำหนดการพลวัต โดยค่าความต่างกันจะวัดจากจำนวนของอักขระที่จะต้องทำการแทรกเพิ่ม (Insertion) การลบ

(Deletion) และการแทนที่ (Substitute) ของตัวอักษรหนึ่งตัว ระยะทางจะคำนวณจากจำนวนน้อยที่สุดของระยะทางที่แก้ไข (Edit Operation) [19] เพื่อแสดงความคล้ายคลึงที่มากที่สุด โดยนำผลลัพธ์จากการตัดข้อความที่ไม่ปรากฏในพจนานุกรมมาเปรียบเทียบกับคำศัพท์จำนวน 118 คำที่ดึงมาจากคลังคำศัพท์ และเก็บไว้ในรูปแบบอาร์เรย์ แล้วทำการเปรียบเทียบที่ละคู่แบบวนลูป ดังรูปที่ 5

```
รถ | สาย | 67 | ขับรถเร็ว | ไม่ | จอด | ป้าย | รถเมล์ | สีแดง |
สาย | 67 | มิก | ขับ | เร็ว | ถ้า | โบก | หัน | มิก | จอด | เลย |
ป้าย | ไกล | ต้อง | รัง | ตาม | ตลอด | ที่ | ป้าย | จามจุรี |
สแควร์ | จด | เลข | ทะเบียนรถ | ไม่หัน | วันนี้ | เวลา | 20.15 |
รถ | ขับ | เลน | ขวา | เร็ว | มาก | จน | โบก | ไม่หัน | และ |
รถ | ไม่ | ชะลอ | ที่ | ออ | จอด | รับ | ผู้โดยสาร | ป้าย |
เซ็นทรัล | พระราม | 3 | ชิ่ง | รถ | มี | น้อย | และ | ไกล |
หมดเวลา | เดินรถ | ทำให้ | ต้อง | เดิน | ด | ทำ | กลับบ้าน |
ป้าย | ทะเบียน | ที่ | แทร็ค | ได้ | จาก | แอพ | เว็ | บัส | คือ |
| 120347 | 440451 | อยาก | ให้ | พชร. | ปรับปรุง | การ | ขับ |
รถ | ให้ | ชะลอ | และ | มี | การ | จอด | ป้าย | รับ | ผู้โดยสาร |

คำที่อาจจะตัดผิด: ขับรถเร็ว

ขับรถเร็ว BestMatch: ขับรถเร็ว
```

รูปที่ 5 : การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของอักขระด้วยเทคนิคการวัดระยะทางเลเวนชเตย์น

จากรูปที่ 5 การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันระหว่างคำที่มาจากตัดข้อมูลคือ “ขับรถเร็ว” กับคำว่า “ขับรถเร็วว” ที่กำหนดไว้ในคลังคำศัพท์ ซึ่งทั้งสองมีจำนวน 9 อักขระเท่ากัน เริ่มจากแยกอักขระแต่ละตัวออกจากกัน เพื่อเปรียบเทียบอักขระทีละคู่ พบว่า อักขระตัวที่ 1 และ 2 คือ “ข” และ “ ” ของทั้งสองข้อความตรงกัน ขณะที่อักขระตัวที่ 3 ของผลลัพธ์จากการตัดข้อความคือ “ย” เมื่อเปรียบเทียบกับคำที่กำหนดไว้ในคลังคำศัพท์ คือ “บ” จึงต้องทำการแทนที่อักขระ “ย” ด้วย “บ” และตรวจสอบอักขระคู่ต่อไปด้วยกระบวนการเดียวกันจนถึงอักขระตัวสุดท้าย จากนั้นจะวนลูปเปรียบเทียบจนครบทุกคำในคลังคำศัพท์ เพื่อดูว่าผลการเปรียบเทียบชุดอักขระของคำคู่ใดมีจำนวนระยะทางแก้ไขน้อยที่สุด ดังนั้นคำว่า “ขับรถเร็ว” จึงมีความคล้ายคลึงกับคำว่า “ขับรถเร็วว” มากที่สุดเมื่อเทียบกับคำศัพท์ทั้งหมด เนื่องจากมีระยะทางแก้ไขน้อยที่สุดคือ 1 ตามผลลัพธ์ของเมตริกซ์ ดังรูปที่ 6

	ข	ฃ	บ	ร	ถ	เ	ร	๕	ว
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ข	1	0	1	2	3	4	5	6	7
ฃ	2	1	0	1	2	3	4	5	6
บ	3	2	1	1	2	3	4	5	6
ร	4	3	2	2	1	2	3	4	5
ถ	5	4	3	3	2	1	2	3	4
เ	6	5	4	4	3	2	1	2	3
ร	7	6	5	5	4	3	2	1	2
๕	8	7	6	6	5	4	3	2	1
ว	9	8	7	7	6	5	4	3	2

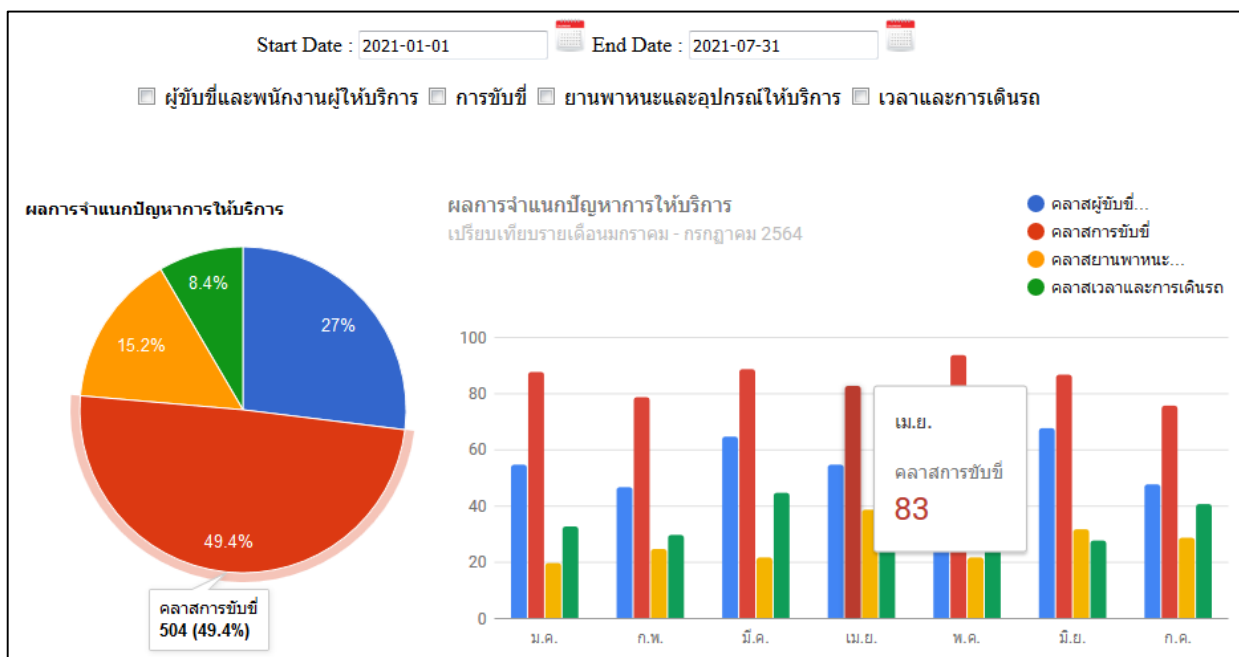
The Levenshtein distance is 1:

- ขัยรลเร็ว: don't change ข at position 1
- ขัยรลเร็ว: don't change ฃ at position 2
- ขัยรลเร็ว: replace บ with ฃ at position 3
- ขัยรลเร็ว: don't change ร at position 4
- ขัยรลเร็ว: don't change ถ at position 5
- ขัยรลเร็ว: don't change เ at position 6
- ขัยรลเร็ว: don't change ร at position 7
- ขัยรลเร็ว: don't change ๕ at position 8
- ขัยรลเร็ว: don't change ว at position 9

รูปที่ 6 : การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของอักขระ

จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาค่าที่มาจากความผิดพลาด 4 ชนิด [15] ได้แก่ พิมพ์เกิน เช่น “ไม่จอด” เป็น “ไม่จอดด” พิมพ์ผิด เช่น “ขัยรลเร็ว” เป็น “ขัยรลเร็ว” พิมพ์ตก เช่น “มารยาท” เป็น “มายาท” และพิมพ์สลับ เช่น “สแกน” เป็น “สแกน” เป็นต้น พบว่า กระบวนการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของอักขระสองชุดด้วยเทคนิคการวัดระยะทาง เลเวนชเต็นยังสามารถให้ผลลัพธ์เปรียบเทียบกับคำศัพท์ที่ถูกต้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การนำเสนอสารสนเทศ ในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้เทคนิคการนำเสนอภาพข้อมูลที่นิยมนำมาใช้ประกอบการรายงาน เพื่อวิเคราะห์ และสรุปผล ปัจจุบันมีหลากหลายเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้ในการแสดงผลด้วยการนำเสนอภาพข้อมูลที่สามารถแสดงผลข้อมูลเชิงปริมาณให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจด้วย Google Charts [20] ที่ทำงานผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (application program interface : API) โดยจะส่งข้อมูลไปประมวลผลที่เครื่องแม่ข่าย และรับข้อมูลมาแสดงผลบนเว็บไซต์ เพื่อนำเสนอภาพข้อมูล [21] ด้วยแผนภูมิวงกลม (Pie Chart) ในการเปรียบเทียบผลการจำแนกข้อร้องเรียน และแผนภูมิแท่ง (Bar Chart) ในการแสดงผลเปรียบเทียบข้อร้องเรียนปัญหาการให้บริการในแต่ละเดือน ตามเงื่อนไขในการค้นหาระหว่างวันเริ่มต้น (Start Date) และวันสิ้นสุด (End Date) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 : การนำเสนอภาพข้อมูลด้วย Google Charts

จากรูปที่ 7 ผลการจำแนกข้อร้องเรียนรถสาธารณะจากเว็บบอร์ดขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) ระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม 2564 เกือบครึ่งเป็นการร้องเรียนพฤติกรรมการขับชิ่ง ซึ่งแทบทั้งหมดเป็นการร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะไม่จอดรับ และไม่จอดป้ายถึงร้อยละ 70 จากจำนวนข้อร้องเรียนทั้งหมดในคลาสการขับชิ่ง อย่างไรก็ตาม ประเด็นสำคัญจากข้อร้องเรียนด้านพฤติกรรมการขับชิ่ง เช่น ขับรถเร็ว ขับแข่ง และฝ่าไฟแดง แม้จะมีสัดส่วนไม่มากนักเมื่อเทียบกับข้อร้องเรียนทั้งหมด แต่ถือเป็นพฤติกรรมสำคัญที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุที่ส่งผลต่อชีวิตและทรัพย์สินบนท้องถนน ผลการจำแนกข้อร้องเรียนผ่านเว็บบอร์ดดังกล่าวสอดคล้องกับสถิติการรับเรื่องร้องเรียนรถโดยสารประจำทางขสมก. ตามกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก ปี 2563 ที่พบว่า 3 อันดับเรื่องร้องเรียนได้แก่ ไม่หยุดรับส่งผู้โดยสารที่ป้าย ขับรถประมาทหวาดเสียว และสภาพรถไม่สมบูรณ์ (ควีนดำ) [5] ที่นำมาสู่ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการติดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วด้วย GPS การติดกล้องหน้ารถควบคู่ไปกับบอรัมและติดตามตรวจสอบพฤติกรรมรถขับชิ่งของผู้ขับชิ่งอย่างสม่ำเสมอ

การประเมินผลความถูกต้องกับข้อมูลชุดทดสอบจำนวน 255 ข้อความโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ท่านละ 85 รายการ กำหนดผลการจำแนกปัญหาบริการแต่ละข้อร้องเรียน โดยหากแก้ผลการจำแนกปัญหาทั้งหมดถูกต้องได้ 1 คะแนน ในทางตรงกันข้าม หากแก้ผลการจำแนกปัญหาของข้อร้องเรียนใดจำแนกไม่ถูกต้อง หรือถูกต้องแต่ไม่ครอบคลุมประเด็นปัญหาทั้งหมด ถือว่า ได้ 0 คะแนน ผลการประเมินดังตาราง 7

ตารางที่ 7 : ผลประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกข้อร้องเรียน

ท่านที่ 1 N=85		ท่านที่ 2 N=85		ท่านที่ 3 N=85		ค่าเฉลี่ย N=255	
✓	ร้อยละ	✓	ร้อยละ	✓	ร้อยละ	ร้อยละ	แปลผล
77	90.59	72	84.71	68	80.00	85.10	ดีมาก

จากตารางที่ 7 พบว่า ผลการประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกปัญหาการให้บริการ อยู่ในระดับดีมาก (ร้อยละ 85.10) แสดงถึงกระบวนการจำแนกข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะออนไลน์ด้วยการตัดคำภาษาไทยแบบอิงพจนานุกรม และการจับคู่ผลลัพธ์จากการตัดคำกับคำศัพท์ในคลังคำศัพท์ที่อยู่ในฐานข้อมูล ให้ผลลัพธ์ความถูกต้องในระดับสูง โดยเฉพาะข้อร้องเรียนแบบ 1 ประเด็นต่อ 1 ข้อร้องเรียน เนื่องจากเหมาะกับ

คลังคำศัพท์ที่กำหนดขอบเขตได้แน่นอน ในทางกลับกัน ปัญหาที่พบส่วนใหญ่เนื่องมาจากมีคำศัพท์ที่ซ้ำซ้อนกันในบางคลาส เช่น เสียงดัง ที่จำเป็นต้องดูบริบทของข้อความประกอบ เนื่องจากเสียงดังเป็นกิริยาที่อาจเกิดจากบุคคลในคลาสผู้ขับชิ่งและพนักงานผู้ให้บริการ หรืออาจเป็นเสียงที่เกิดจากเครื่องยนต์จากคลาสนานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการ ดังนั้นการรวบรวมข้อมูลคำศัพท์ต้องมีกระบวนการที่น่าเชื่อถือ และปรับปรุงให้ครอบคลุมครบถ้วนอยู่เสมอ รวมถึงอาจต้องจำแนกคลาสโดยคำนึงถึงบริบทของข้อความเป็นหลัก

เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของอักขระด้วยเทคนิคการวัดระยะทางเลเวนชเตย์นที่แม้จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ แต่อาจจะไม่เหมาะกับบริบทของภาษาไทยมากนัก เนื่องจากคุณลักษณะของภาษาไทยมิได้จำกัดเพียงจากการประสมกันของตัวอักษรเหมือนภาษาอังกฤษ แต่ภาษาไทยยังมีคุณลักษณะเฉพาะตัว ที่ไม่เพียงเกิดจากการประสมกันของตัวอักษรเท่านั้น ยังมีสระ และวรรณยุกต์ที่เป็นคุณลักษณะของภาษาไทยเป็นจุดมักเกิดข้อผิดพลาดในพิมพ์ข้อความอีกด้วย อีกทั้งค่าความคล้ายคลึงของคำดังกล่าวเป็นผลมาจากการวิเคราะห์สายอักขระเท่านั้น มิได้เป็นผลมาจากความหมายของคำแต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม การตัดคำภาษาไทยจัดว่าเป็น NP-hard Problem เพราะไม่มีวิธีตัดชัดเจน เช่น “ตากลม” สามารถตัดได้เป็น “ตาก | ลม” หรือ “ตา | กลม” เป็นต้น ดังนั้นการวัดความถูกต้องนอกจากจะวัดในเชิงความหมายแล้ว ยังต้องวัดในบริบทการใช้งานด้วย

จะเห็นได้ว่าการแบ่งคำภาษาไทยยังมีปัญหาความถูกต้องเนื่องจากความซับซ้อนในการผสมคำของภาษาไทย [10] ที่มีตัวอักษรหลายประเภท การผสมสระและวรรณยุกต์เพื่อสร้างคำและการที่เขียนต่อเนื่องกันเป็นประโยค โดยไม่มีการเว้นวรรคหรือตัวคั่นใด ๆ อย่างภาษาอังกฤษ แม้ว่าการศึกษาจำนวนมากได้ดำเนินการเกี่ยวกับการแบ่งส่วนคำภาษาไทยด้วยเทคนิคต่าง ๆ แต่ยังคงพบปัญหาดังนี้

1. ปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการแบ่งคำภาษาไทย อันเนื่องมาจากความคลุมเครือของคลังคำศัพท์ส่งผลอย่างยิ่งต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ในการแบ่งคำภาษาไทย อย่างไรก็ตาม หากจะให้คลังคำศัพท์ครอบคลุมครบถ้วนจำเป็นต้องมีคลังคำศัพท์ขนาดใหญ่ และยากที่จะระบุได้ว่าเท่าไรจึงจะครอบคลุมครบถ้วน

2. ปัญหาเกี่ยวกับคำที่สะกดผิด ส่งผลให้แบ่งคำภาษาไทยที่ยึดตามพจนานุกรมไม่ถูกต้อง หรือไม่สามารีวิเคราะห์ความหมายได้เลย ข้อผิดพลาดในการสะกดผิดมี 7 ประเภท ได้แก่ ตัวอักษรเกิน เช่น “ไม่จอด” เป็น “ไม่จอดด”, ตัวอักษรหายไป เช่น “มารยาท” เป็น “มายาท”, ตัวอักษรซ้ำ เช่น “กตด | ออด”, การพิมพ์ผิด เช่น “ขับรถเร็ว” เป็น “ขับรถเร็ว”, ตัวอักษรผิดตำแหน่ง เช่น “สแกน” เป็น “แสกน”, คำสแลง เช่น “โดนรถเมล์เท” และอื่น ๆ ที่เกิดจากหลายข้อผิดพลาดรวมกัน แม้ว่าจะมีการใช้เทคนิคหลายอย่างในการแก้ไขคำที่สะกดผิด เช่น การวัดความคล้ายคลึงของคำ รูปแบบเอ็น-แกรม (N-Gram) ความน่าจะเป็นแบบเบย์ (Bayesian approach) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หรือการสืบค้นคำไทยตามเสียงอ่าน (Thai Soundex) เป็นต้น แต่ก็ยังคงเกิดปัญหาความไม่ถูกต้องบางประการ และส่งผลต่อความผิดพลาดในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ

3. การประสมคำภาษาไทยที่สร้างขึ้นจากคำพื้นฐาน เพื่อใช้ในวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น คำศัพท์แสลง (Slang word) และคำทับศัพท์ภาษาอังกฤษ (Transliteration word) ภายใต้รูปแบบการเกิด ระยะเวลา และปริมาณ ดังนั้นจึงไม่สามารถจัดเก็บคำทั้งหมดลงในพจนานุกรมได้ เนื่องจากมีคำประเภทนี้จำนวนมากส่งผลต่อประสิทธิภาพของการแบ่งคำภาษาไทย

5) สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนากระบวนการสกัดข้อร้องเรียนรถโดยสารสาธารณะ จากข้อร้องเรียนผ่านเว็บไซต์ขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพด้วยกระบวนการตัดคำภาษาไทยโดยใช้พจนานุกรม จากนั้นคัดเลือกและสร้างคลังคำศัพท์ ด้วยการวิเคราะห์หน้าหนึ่งของคำตามลักษณะของข้อร้องเรียนความถี่เอกสารที่พบบ่อย จัดเก็บคำศัพท์ในลักษณะถุกค่า แล้วคัดเลือกคำศัพท์มาสร้างเป็นคลังคำศัพท์แบ่งเป็น 4 คลาส ได้แก่ คลาสการขับชี่ คลาสผู้ขับชี่และพนักงานผู้ให้บริการ คลาสยานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการ และคลาเวลาและการเดินทาง วัดผลด้วยหลักการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อจำแนกข้อความ พบว่า อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น มีค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด 2) ประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกปัญหาการให้บริการจากการจับคู่กับคำศัพท์ในคลังคำศัพท์จำนวน 118 คำกับข้อร้องเรียนจากผู้

ชุดทดสอบ เพิ่มความถูกต้องของผลลัพธ์ด้วยการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของคำด้วยเทคนิคการวัดระยะทางเลเวนชเตย์น ในกรณีที่พบคำศัพท์ที่เขียนไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ในคลังคำศัพท์ เพื่อติดแท็กจำแนกปัญหาในการให้บริการของรถโดยสารสาธารณะ ประเมินความถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก โดยเฉพาะข้อร้องเรียนประเด็นเดียว แสดงถึงการตัดคำภาษาไทยแบบอิงพจนานุกรม เหมาะกับคลังคำศัพท์ที่กำหนดขอบเขตได้แน่นอน ความถูกต้องและครอบคลุมของคำศัพท์ส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ในการจำแนก อย่างไรก็ตามก็ตีพบปัญหาคำศัพท์ที่ซ้ำซ้อนกันในบางคลาส เช่น เสียงดัง อาจมีที่มาจากคลาสผู้ขับชี่และพนักงานผู้ให้บริการ หรือจากคลาสนยานพาหนะและอุปกรณ์ให้บริการก็ได้ตามต้นกำเนิดการเกิดเสียง ตลอดจนปัญหาการประสมคำในภาษาไทยที่มีลักษณะเฉพาะตัวส่งผลต่อความถูกต้องของผลการตัดคำ ดังนั้นการวัดความถูกต้อง นอกจากจะวัดในเชิงความหมายแล้ว ยังต้องวัดในบริบทของการใช้งานด้วย

6) ข้อเสนอแนะ

การประมวลผลภาษาธรรมชาติสำหรับภาษาไทยนั้น มีการศึกษาเกี่ยวกับการแบ่งคำ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) การแบ่งคำโดยใช้กฎ (rules-based word segmentation: RBWS) 2) การแบ่งคำตามพจนานุกรม (dictionary-based word segmentation: DBWS) และ 3) การแบ่งคำตามการเรียนรู้ (learning-based word segmentation: LBWS) อย่างไรก็ตาม ยังคงเกิดปัญหาสำคัญ 4 ประเด็น คือ 1) ประสิทธิภาพการแบ่งคำ 2) การตรวจสอบและแก้ไขคำสะกดผิด 3) รูปแบบการสะกดคำที่หลากหลาย และ 4) การแบ่งกลุ่มคำประสม ปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องและเกิดคำจำนวนมากที่กระทบต่อการประมวลผลภาษาธรรมชาติสำหรับภาษาไทย ปัจจุบันมีการนำเสนออัลกอริทึมการแบ่งคำที่มีประสิทธิภาพสูงที่เข้ามาแก้ไขปัญหาสำคัญ 4 ประการ เรียกว่า การแบ่งส่วนภาษาไทยโดยการทดสอบจัดอันดับอัตโนมัติโดยสะกดผิดรวมกับการแก้ไขคำสะกดผิด (Thai language segmentation by automatic ranking trie with misspelling correction: TLS-ART-MC) [10] ที่เข้ามาแก้ไขปัญหาสำคัญ 4 ประการ ซึ่งปรับปรุงประสิทธิภาพการประมวลผลและให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง จากการรวม 3 เทคนิค ได้แก่ การจัดอันดับโครงสร้างข้อมูล (Ranking Trie) เป็นเทคนิคที่จัดเรียงคำใหม่ใน

โครงสร้างข้อมูล (Trie) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการแบ่งส่วนคำ การสืบค้นแบบตามเสียงอ่านสมบูรณ์ (Completed Soundex) เป็นอัลกอริทึมที่เข้ามาแก้ไขปัญหาการสะกดผิด และการแบ่งกลุ่มแบบสองรอบ (Two-Passes Segmentation) จะนำไปใช้กับกฎที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการแบ่งส่วนคำประสมโดยไม่มีบันทึกคำประสมทั้งหมดในพจนานุกรม อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแบ่งคำหรือจำแนกข้อความทางภาษาไทย งานวิจัยในครั้งต่อไปควรให้ความสำคัญกับการกำจัดคำผิด โดยทำการลบ Noise ข้อความ เช่น “รถไม่จอดดตดตดตดตดต” หรือ “รถม่ายจอด” เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณภาพของข้อมูลก่อนนำเข้ากระบวนการประมวลผลภาษาธรรมชาติ ด้วย LSTM, ULMFiT หรือ GPT เป็นต้น ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพการตัดข้อความภาษาไทย ความสมบูรณ์ของคลังคำศัพท์ และนำไปประยุกต์ใช้กับการจำแนกข้อมูลจริงแบบเรียลไทม์

REFERENCES

- [1] Bangkok Mass Transit Authority, “Annual Report 2019,” (in Thai), Bangkok Mass Transit Authority, Bangkok, Thailand, 2019.
- [2] Mahidol University, “Final Report: User Satisfaction Survey 2018,” (in Thai), Bangkok Mass Transit Authority, Bangkok, Thailand, 2018.
- [3] Office of Transport and Traffic Policy and Planning. “The number of passengers on the BMTA bus.” MISTRAN.otp.go.th. http://mistran.otp.go.th/mis/Interview_HIPublicBus.aspx (accessed Aug. 20, 2021).
- [4] The Office of the Permanent Secretary, The Prime Minister's Office, “Complaint/Opinion Processing Results Quarter 1 Fiscal Year 2021,” (in Thai), The Office of the Permanent Secretary, The Prime Minister's Office, Bangkok, Thailand, 2021.
- [5] Department of Land Transport, “Transport Statistics report 2020,” (in Thai), Transp. Statist. Group, Planning Div., Dep. Land Transp., Bangkok, Thailand, 2020.
- [6] C. C. Aggarwal, *Data Classification Algorithm and Applications*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2015.
- [7] M. Wozniak, *Hybrid Classifiers Methods of Data, Knowledge, and Classifier Combination*. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2014.
- [8] S. McConnell, *Rapid Development: Taming Wild Software Schedules*. Washington, DC, USA: Microsoft Press, 1996.
- [9] R. Mitchell, *Web Scraping with Python: Collecting Data from the Modern Web*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2015.
- [10] C. Tapsai, H. Unger and P. Meesad, *Thai Natural Language Processing Word Segmentation, Semantic Analysis, and Application*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2021.
- [11] C. D. Manning, P. Raghavan and H. Schütze, *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2018.
- [12] T. Jo, *Text Mining Concepts, Implementation, and Big Data Challenge*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019.
- [13] T. Kwantler, *Text mining in practice with R*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2017.
- [14] J. Zizka, F. Darena and A. Svoboda, *Text Mining with Machine Learning Principles and Techniques*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2020.
- [15] F. J. Damerau, “A technique for computer detection and correction of spelling,” *Commun. ACM*, vol. 7, no. 3, pp. 171–176, Mar. 1964.
- [16] J. Grudin, “Non-hierarchic specification of components in transcription typewriting,” *Acta Psychol.*, vol. 54, no. 1–3, pp. 249–262, Oct. 1983.
- [17] K. Kukich, “Techniques for automatically correcting words in text,” *ACM Comput. Surv.*, vol. 24, no. 4, pp. 377–439, Dec. 1992.
- [18] V. I. Levenshtein, “Binary codes capable of correcting deletions insertions, and reversals,” *Dokl. Phys.*, vol. 10, no. 8, pp. 707–710, Feb. 1966.
- [19] F. P. Miller, A. F. Vandome and J. McBrewster, *Levenshtein Distance Information theory, Computer science, String (computer science), String metric, Damerau-Levenshtein distance, Spell checker, Hamming distance*. Gladbach, Germany: Alphascript Publishing, 2009.
- [20] J. Martinez, *Google Charts for Institutional Research Websites*. Houston, TX, USA: University of Houston, 2018.
- [21] C. O Wilke, *Fundamentals of Data Visualization: A Primer on Making Informative and Compelling Figures*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2019.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความเพื่อลงตีพิมพ์

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล เป็นวารสารวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น บทความที่นำเสนอจะต้องพิมพ์เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามรูปแบบที่กำหนด และพร้อมที่จะนำไปตีพิมพ์ได้ทันที การเสนอบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร มีรายละเอียดดังนี้

1. หลักเกณฑ์การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์

1.1 เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ หรือไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาของสื่อสิ่งพิมพ์อื่น ๆ และไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือรายงานการสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการใดมาก่อนทั้งในประเทศและต่างประเทศ หากตรวจสอบพบว่ามีงานตีพิมพ์ซ้ำซ้อน ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

1.2 เป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีคุณค่าทางวิชาการ มีความสมบูรณ์ของเนื้อหา และมีความถูกต้องตามหลักวิชาการ

1.3 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะต้องผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer reviewer) อย่างน้อย 2 ท่านต่อบทความ ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิอาจให้ผู้เขียนแก้ไขเพิ่มเติมหรือปรับปรุงบทความให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.4 กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขรูปแบบบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ตามที่เห็นสมควร

1.5 บทความ ข้อความ ภาพประกอบ และตารางประกอบ ที่ตีพิมพ์ลงวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบใด ๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

1.6 ต้องเป็นบทความที่ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ ไม่ลอกเลียน หรือตัดทอนข้อความของผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

1.7 หากเป็นงานแปลหรือเรียบเรียงจากภาษาต่างประเทศ ต้องมีหลักฐานการอนุญาตให้ตีพิมพ์เป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์

1.8 ต้องมีการอ้างอิงที่ถูกต้อง เหมาะสมก่อนการตีพิมพ์ ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของเจ้าของผลงาน

1.9 บทความที่ส่งถึงกองบรรณาธิการ ขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่ส่งคืนผู้เขียน

2. รูปแบบการกลั่นกรองบทความก่อนลงตีพิมพ์ (Peer-review)

ในการประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิเป็นการประเมินแบบ Double-blind peer review คือ ผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อและรายละเอียดของผู้เขียนบทความ และผู้เขียนบทความไม่ทราบชื่อและรายละเอียดของผู้ทรงคุณวุฒิ

3. ประเภทของบทความที่รับพิจารณาลงตีพิมพ์

นิพนธ์ต้นฉบับต้องเป็นบทความวิจัย ประกอบด้วย บทคัดย่อ บทนำ วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปและอภิปรายผล และเอกสารอ้างอิง

หมายเหตุ : บทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้หน้าบทคัดย่อภาษาไทยอยู่ก่อนหน้าบทคัดย่อภาษาอังกฤษ สำหรับบทความภาษาอังกฤษไม่ต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย

* เอกสารอ้างอิง เป็นการบอกรายการแหล่งอ้างอิงที่มีการอ้างอิงในเนื้อหาของงานเขียน

4. จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล ได้คำนึงถึงจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ โดยจริยธรรมและบทบาทหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้อง มีดังนี้

จริยธรรมและหน้าที่ของผู้เขียน

1. ผู้เขียนต้องเขียนบทความให้เป็นไปตามรูปแบบที่วารสารกำหนดไว้ในคำแนะนำสำหรับผู้เขียน
2. หากมีการนำข้อมูลของผู้อื่นหรือข้อมูลของผู้เขียนที่เคยตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาใช้ ผู้เขียนต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูลนั้น โดยไม่ทำให้ผู้อื่นเข้าใจผิดว่าข้อมูลนั้นเป็นผลงานใหม่ของผู้เขียน
3. ผู้เขียนต้องไม่ดัดแปลงหรือบิดเบือนข้อมูล
4. ผู้เขียนต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัย (ถ้ามี)
5. ผู้เขียนต้องเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับผลประโยชน์ทับซ้อนอย่างชัดเจน (ถ้ามี)

จริยธรรมและหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการต้องดำเนินการเผยแพร่วารสารให้ตรงตามเวลา
2. บรรณาธิการต้องคัดเลือกบทความ โดยพิจารณาจากคุณภาพและความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับขอบเขตของวารสาร
3. บรรณาธิการต้องดำเนินการประเมินบทความอย่างเป็นธรรม ไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความโดยใช้อคติ
4. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนบทความ และผู้ประเมินบทความแก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง
5. บรรณาธิการต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน และผู้ประเมินบทความ
6. บรรณาธิการต้องใช้โปรแกรมในการตรวจสอบการคัดลอกผลงาน เพื่อป้องกันการตีพิมพ์ผลงานซึ่งคัดลอกมาจากผลงานผู้อื่น หากพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการพิจารณาบทความทันที และติดต่อผู้เขียนเพื่อขอคำชี้แจง

จริยธรรมและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ประเมินบทความ ควรพิจารณาตอบรับการประเมินเฉพาะบทความที่สอดคล้องกับความเชี่ยวชาญของตนเองเท่านั้น เพื่อให้บทความที่ตีพิมพ์มีคุณภาพ
2. ผู้ประเมินบทความควรประเมินบทความให้แล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อไม่ให้บทความที่ผ่านการพิจารณาตีพิมพ์ล่าช้า
3. ผู้ประเมินควรประเมินบทความโดยให้ข้อเสนอแนะตามหลักวิชาการเท่านั้น ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีเหตุผลหรือไม่มีข้อมูลรองรับ
4. ผู้ประเมินควรปฏิเสธการประเมินบทความ หากเห็นว่าตนเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน
5. ผู้ประเมินต้องไม่เปิดเผยเนื้อหาภายในบทความให้ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทราบ
6. หากผู้ประเมินเห็นว่ามีความอื่นที่ผู้เขียนไม่ได้กล่าวอ้างถึง แต่เป็นบทความที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับบทความ ผู้ประเมินควรแจ้งให้ผู้เขียนกล่าวอ้างถึงบทความนั้น

5. ข้อกำหนดการจัดพิมพ์ต้นฉบับบทความ

ผู้เขียนต้องจัดพิมพ์บทความตามข้อกำหนดเพื่อให้มีรูปแบบการตีพิมพ์เป็นมาตรฐานแบบเดียวกัน ดังนี้

5.1 ขนาดของกระดาษ ให้ใช้ขนาด A4

5.2 กรอบของข้อความ ระยะห่างของขอบกระดาษ

ด้านบน 2.5 ซม. (0.98") ด้านล่าง 2 ซม. (0.79")

ด้านซ้าย 2 ซม. (0.79") ด้านขวา 2 ซม. (0.79")

5.3 ระยะห่างระหว่างบรรทัด หนึ่งช่วงบรรทัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ (Single)

5.4 ตัวอักษร รูปแบบของตัวอักษรให้ใช้ TH Sarabun New

5.5 รายละเอียดต่าง ๆ ของบทความ กำหนดดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ขนาด 22 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง

ชื่อผู้เขียน (Author) ขนาด 16 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง ไม่ต้องใส่คำนำหน้า

ที่ติดต่อผู้เขียน ขนาด 14 ตัวเอน กำหนดกึ่งกลาง

E-mail ผู้นิพนธ์ประสานงาน ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง

บทคัดย่อ (Abstract) จัดรูปแบบการพิมพ์เป็นแบบ 1 คอลัมน์ ชื่อหัวข้อ ขนาด 14 *ตัวหนาและเอน* กำหนดกึ่งกลาง ข้อความในบทคัดย่อ ขนาด 14 ตัวธรรมดา

คำสำคัญ (Keywords) ให้ใส่คำสำคัญ 4-5 คำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนอ โดยให้จัดพิมพ์ได้บทคัดย่อ ขนาด 12 *ตัวหนาและเอน* กำหนดชิดซ้าย ข้อความในคำสำคัญ ขนาด 12 ตัวธรรมดา

รูปแบบการพิมพ์เนื้อหาของบทความ

- รูปแบบการพิมพ์เป็นแบบ 2 คอลัมน์ แต่ละคอลัมน์ กว้าง 8.2 ซม. (3.23") ระยะห่างระหว่างคอลัมน์ 0.6 ซม. (0.24")
- หัวข้อหลัก ประกอบด้วย บทนำ (INTRODUCTION) วัตถุประสงค์ของการวิจัย (OBJECTIVES) วิธีดำเนินการวิจัย (METHODS) ผลการวิจัย (RESULTS) สรุปและอภิปรายผล (CONCLUSIONS AND DISCUSSION) เอกสารอ้างอิง (REFERENCES) ขนาด 14 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และมีเลขกำกับ เช่น 1) บทนำ และ I. INTRODUCTION เป็นต้น
- หัวข้อรอง ระดับที่ 1 ขนาด 14 *ตัวเอน* กำหนดชิดซ้าย
- หัวข้อรอง ระดับที่ 2 ขนาด 14 *ตัวเอน* กำหนดชิดซ้ายและเลื่อนเข้ามา 0.5 cm
- เนื้อเรื่อง ขนาด 14 ตัวธรรมดา
- ชื่อตาราง ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อเหนือตาราง
- หัวข้อในตาราง ขนาด 12 *ตัวหนา* กำหนดกึ่งกลาง เนื้อหาในตาราง ขนาด 12 ตัวธรรมดา
- ชื่อภาพประกอบ ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อใต้ภาพ
- เนื้อหาในภาพประกอบ ขนาด 12 ตัวธรรมดา

5.6 เอกสารอ้างอิง

1. การอ้างอิงในเนื้อหาบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามมาตรฐานสากล โดยใช้หมายเลขในเครื่องหมายก้ามปู [] และเรียงลำดับการอ้างอิงตามเนื้อหา โดยมีตัวอย่างการเขียน เช่น [1] หรือ [2] หรือ [1], [2] หรือ [1], [3]–[8] หรือ [9], [10], [15], [16] หากมีการอ้างอิงซ้ำบทความเดิมให้ใช้หมายเลขเดิม ตัวอย่างเช่น by Brown [4], [5]; as mentioned earlier [2], [4]–[7], [9]; Smith [4] and Brown and Jones [5]; Wood *et al.* [7]
2. รูปแบบของชื่อหัวข้อใช้รูปแบบตัวอักษร TH Sarabun New ขนาด 14 ตัวธรรมดา ในเนื้อหาขนาด 12 ตัวธรรมดา
3. การอ้างอิงท้ายบทความ จะต้องเรียงตามลำดับบทความที่เขียนอ้างอิงในเรื่อง และใช้การอ้างอิงตามรูปแบบการอ้างอิง IEEE ซึ่งผู้เขียนสามารถศึกษาวิธีการเขียนเอกสารอ้างอิงตามรูปแบบที่กำหนดได้ที่ <http://journals.ieeeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/sites/7/IEEE-Reference-Guide.pdf> โดยจะต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น หากบทความอ้างอิงมาจากบทความภาษาไทย ต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษให้ถูกต้อง
4. กรณีที่เอกสารที่นำมาอ้างอิงเขียนเป็นภาษาไทยให้เติมคำว่า “(in Thai)” เข้าไปในเอกสารอ้างอิง ดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

ตัวอย่างที่ 1 การอ้างอิงจากหนังสือ(Books)

Basic Format:

[Number] J. K. Author, *Title of His Published Book*, xth ed. City of Publisher, State (only U.S.), Country: Abbrev. of Publisher, year.

[Number] J. K. Author, “Title of chapter in the book,” in *Title of His Published Book*, xth ed. City of Publisher, State (only U.S.), Country: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec. x, pp. xxx–xxx.

Examples:

[1] V. Rijiravanich, *Work study: principles and case studies*, 4th ed. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press (in Thai), 2005.

[1] วันชัย ริจิรวณิช, *การศึกษางาน: หลักการและกรณีศึกษา*, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ตัวอย่างที่ 2 การอ้างอิงจากวารสาร (Periodicals)

Basic Format:

[Number] J. K. Author, “Name of paper,” *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx–xxx, Abbrev. Month, year.

Examples:

- [2] N. Dechumpai and K. Sethanan, “An application of lean manufacturing system in the textile of lean manufacturing system in the textile and garment industry case study: Wacoal Kabinburi Co., Ltd,” (in Thai), *MBA-KKU Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 13–27, 2014.
- [2] นิวัฒน์ เดชอำไพ และกาญจนา เศรษฐนันท์, “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตชุดชั้นในสตรีโดยประยุกต์ใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน,” *วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษากิจการจาดการมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 13–27, 2557.

ตัวอย่างที่ 3 การอ้างอิงจากการประชุมทางวิชาการ (Conferences and Conference Proceedings)

Basic Format:

[Number] J. K. Author, “Title of paper,” in *Abbrev. Name of Conf.*, City, State (only U.S.), Country, Month and day(s), year, pp. xxx–xxx.

Examples:

- [3] N. Kriengkorakot, P. Kriengkorakot, S. Duan P. Thung, and W. Piromsuk, “Repair work reduction in sewing process of the apparel factory,” (in Thai), in *Proc. 10th Ubon Ratchathani Univ. Nat. Res. Conf.*, Ubon Ratchathani, Thailand, Jul. 7-8, 2016, pp. 87–96.
- [3] นุชสรา เกรียงกรกฎ, ปรีชา เกรียงกรกฎ, สกาวเดือน พรหมทุ่ง และวิจิตรา ภิรมย์สุข, “งานวิจัยการลดชิ้นส่วนงานซ่อมในขั้นตอนการเย็บของโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป,” *การประชุมวิชาการระดับชาติ มอภ. วิจัยครั้งที่ 10*, อุบลราชธานี, ประเทศไทย, 7-8 กรกฎาคม, 2559, หน้า 87–96.

6. วิธีการจัดส่งบทความ

ผู้เขียนส่งบทความออนไลน์ได้ที่ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal>

เมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความจะดำเนินการส่งบทความเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความและแจ้งผลการพิจารณาให้ผู้เขียนบทความทราบ สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิแล้วจะได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารเพื่อเผยแพร่ต่อไป

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

“สร้างนักคิด ผลิตนักปฏิบัติ สร้างนักประดิษฐ์ ผลิตนักบริหาร”

คณะวิศวกรรมศาสตร์

หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ (Automotive Engineering, B.Eng. : AE)
- หลักสูตรวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติแบบลีน (Robotics and Lean Automation Engineering, B.Eng. : RE)
- หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์ (Computer Engineering and Artificial Intelligence, B.Eng. : CE)
- หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหกรรม (Industrial Engineering, B.Eng. : IE)
- หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering, B.Eng. : EE)
- International Program (Digital Engineering, B.Eng. : DGE)

หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรเทคโนโลยีวิศวกรรม (Engineering Technology, M.Eng. : MET)

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology, B.Sc. : IT)
- หลักสูตรเทคโนโลยีมัลติมีเดีย (Multimedia Technology, B.Sc. : MT)
- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ (Business Information Technology, B.Sc. : BI)
- หลักสูตรเทคโนโลยีดิจิทัลทางสื่อสารมวลชน (Digital Technology in Mass Communication, B.Sc. : DC)
- International Program (Data Science and Analytics, B.Sc. : DSA)

หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology, M.Sc. : MIT)

คณะบริหารธุรกิจ

หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม (Management of Technology and Innovation, B.B.A. : MI)
- หลักสูตรบริหารธุรกิจญี่ปุ่น (Japanese Business Administration, B.B.A. : BJ)
- หลักสูตรการจัดการธุรกิจระหว่างประเทศ (International Business Management, B.B.A. : IB)
- หลักสูตรการบัญชี (Accountancy, B.Acc. : AC)
- หลักสูตรการจัดการทรัพยากรมนุษย์แบบญี่ปุ่น (Japanese Human Resources Management, B.B.A. : HR)
- หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (Logistics and Supply Chain Management, B.B.A. : LM)
- หลักสูตรการตลาดดิจิทัล (Digital Marketing, B.B.A. : DM)
- หลักสูตรการจัดการการท่องเที่ยวและการบริการเชิงนวัตกรรม (Innovative Tourism and Hospitality Management, B.B.A. : TH)
- International Program (Global Business Management, B.B.A. GBM)

หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรบริหารธุรกิจญี่ปุ่น (Japanese Business Administration, M.B.A. : MBJ)
- หลักสูตรนวัตกรรมจัดการธุรกิจและอุตสาหกรรม (Innovation of Business and Industrial Management, M.B.A. : MBI)
 - กลุ่มวิชา การวางแผนกลยุทธ์สำหรับผู้ประกอบการ (Strategic Planning and Management Entrepreneur : SME)
 - กลุ่มวิชา การจัดการระบบการผลิต และโลจิสติกส์แบบลีน (Lean Manufacturing System and Logistics Management : LMS)

Thai-Nichi Institute of Technology

1771/1 Pattanakarn Road, Suanluang, Bangkok 10250, Thailand

Tel: 0-2763-2600 Fax: 0-2763-2700

Website: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal> E-mail : JEDT@tni.ac.th