



คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

# The Journal of Industrial Technology

## Suan Sunandha Rajabhat University

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 ( กรกฎาคม - ธันวาคม 2567)

Vol. 12 / No. 2 / July - Decembe 2024

ISSN (Print) : 2351 -0811

ISSN (Online) : 2730 -2938



## วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

### ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุติกาญจน์ ศรีวิบูลย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนมภัทร โตรระสะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญเรือน รัตมี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
---------------------------------------	-----------------------------

### กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทรมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.ภูพงศ์ พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.สังจากาจ จอมโนนเขวา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล ป้อมสถิตย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรัพย์สตรี แสนทวีสุข	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชาคริตส ณวัฒน์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ปินตาคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรเวช ธาราเวชรักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี บุญเรืองเศษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ เมืองไหว	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวี อุตตมธนิรินทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชณี จูมจี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิโชค อุ่นแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อวัชชัย ประหยัดวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รุ่งโรจน์ แก้วศรีงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรนุช จินดาสกุลยนต์	มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง
ดร.ศศิวิมล บุตรสีเขียว	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.ทงศักดิ์ เทพสนธิ	มหาวิทยาลัยบูรพา

### กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน) และ ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม)

### ฝ่ายประสานงานและจัดการ

นางสาวดวงเนตร สารสมบัติ

### เจ้าของวารสาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก

เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440

[www.fit.ssru.ac.th](http://www.fit.ssru.ac.th)

<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/fit-ssru>

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้การวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ การพัฒนาเชิงประยุกต์ ซึ่งในแต่ละบทความได้รวบรวมองค์ความรู้จากผู้มีความเชี่ยวชาญในหลากหลายด้าน นักวิจัยและประชาชนทั่วไปสามารถนำความรู้จากวารสารนี้ไปต่อยอดในการสร้างนวัตกรรมใหม่และสามารถนำกระบวนการ องค์ความรู้ เทคโนโลยีใหม่จากบทความไปประยุกต์สร้างสรรค์และใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริงในอนาคต วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วารสารวิชาการฉบับนี้เป็นปีที่ 12 ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2567) ประกอบด้วย บทความวิจัยจำนวน 10 บทความ

ปัจจัยหลายประการที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อคุณภาพวารสาร คือคุณภาพของบทความที่มีคุณค่าทางวิชาการเป็นที่ยอมรับ กระบวนการคัดกรองและการตรวจสอบที่มีมาตรฐาน โดยผู้ทรงคุณวุฒิเฉพาะสาขาวิชา ข้อเสนอแนะที่ทรงคุณค่า รวมทั้งการจัดการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อดำเนินการจัดพิมพ์และการเผยแพร่บทความได้เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนด ส่งผลให้วารสาร มีความน่าเชื่อถือและผ่านการรับรองโดย TCI

ทางคณะผู้จัดทำวารสารฯ ขอกราบขอบพระคุณที่ปรึกษาวารสารฯ กองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ ที่สละเวลาใช้ความรู้ความสามารถในการทำให้คุณภาพของวารสารฯ เป็นที่น่าเชื่อถือและมีคุณค่าเป็นประโยชน์ต่อทางวิชาการ และขอขอบคุณนักวิชาการทุกท่านที่ส่งบทความที่มีคุณค่าทางวิชาการเข้าร่วมทำให้วารสารฯ ดำเนินการสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ทางคณะผู้จัดทำวารสารฯ พร้อมทั้งจะรับฟังข้อเสนอแนะจากทุกภาคส่วน เพื่อให้วารสารฯ มีประสิทธิภาพพัฒนามากยิ่งขึ้น และเป็นที่ยอมรับในระดับสากลต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญเรือน รัศมี  
บรรณาธิการ



## สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
Quantifying Innovation Potential: An Index System and Model for China's High-Tech Industry Development Zone. <i>Chenqing Su, Choat Inthawongse, Noppadol Amdee</i>	1 - 15
การประเมินความเสี่ยงและความพร้อมในการป้องกันและระงับอัคคีภัยของประชาชน ชุมชนบางไส้ไก่ เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร The Assessment of Hand Arm Vibration among Stone Mortar Informal Workers in Phichai Subdistrict, Mueang District, Lampang Province. <i>ยุวดี ชุนสอาด, อารุญ เกตุสาคร</i>	16 - 26
โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายคะแนนความเสี่ยงของโรคซิลิโคซิสของช่างแกะสลักหิน ในจังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย Artificial Neural Network for Predicting Silicosis Risk Scores among Stone Carvers in Nakhon Ratchasima, Thailand. <i>รัฐพงษ์ ไชยเดช, อารุญ เกตุสาคร</i>	27 - 37
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจชุมชน Solar Collector Dryers to Increase Economic Value in the Community. <i>ชาญฉจิต วรรณนุรักษ์</i>	38 - 51
การประเมินการสูญเสียและความบกพร่องทางการได้ยินของพนักงานอุตสาหกรรม ผลิตกระดาษแห่งหนึ่ง Hearing loss and impairment assessment among workers exposed to excessive noise in a paper plant industry. <i>พิชามญช์ หนิมสุข, ลักษณา เหล่าเกียรติ</i>	52 - 64
การวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุล้อรถไฟความเร็วสูงที่โครงสร้างทางจุลภาค เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากกระบวนการทางความร้อน Fracture analysis of the high-speed railway wheel due to changes in microstructure caused by the heat treatment process. <i>ชัยชโย ซื่อตรง</i>	65 - 75

## สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย	หน้า
การออกแบบและสร้างเครื่องบดละเอียดเปลือกหอยแมลงภู่ง่ายสำหรับกิจกรรมดินปั้นจากเปลือกหอยในการผลิตระดับวิสาหกิจชุมชน Design and Construction of Mussel Shell Fine Grinding Machine for Shell Clay Activity in Community Enterprise Production. กิตติรัตน์ รุ่งรัตนอาบล, ภัทรา ศรีสุโข, อีร์วัฒน์ ชื่นอัคตงคต, นฤมล เลิศคำฟู, วรฉัตร อังคะหิรัญ	76 - 86
การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากพฤติกรรมการขับขี่รถยนต์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่าง The Analysis of Carbon Dioxide Emissions from Driving Behavior Using Multiple Linear Regression: A Case Study of Sample Company. เสฏฐรุฒิ เอกรัตน์วัฒน์, นพคุณ แสงเขียว, ธนาธร เกรอด, พีรภาพ จอมทอง	87 - 95
เครื่องฟักไข่แบบสมาร์ทและการตรวจสอบไข่ด้วยเทคโนโลยีใยแก้วนำแสง Smart Egg Incubator and Egg Inspection Using Optical Fiber Technology. เจษฎา สาททอง, สัญญา ควรรคิต, อติศร แก้วภักดี, ขนิษฐา แซ่ลิ้ม	96 - 106
การปรับปรุงประสิทธิภาพการวางแผนเส้นทางเดินรถจัดส่งสินค้า กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่าง Improving the Efficiency of Planning Delivery Routes for Goods Transportation: A Case Study of Sample Company. อนวัช มนตรีวงศ์, ชุกริ์ แดสา, นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	107 - 118



# Quantifying Innovation Potential: An Index System and Model for China's High-Tech Industry Development Zone

Chenqing Su<sup>1</sup>, Choat Inthawongse<sup>2</sup>, Noppadol Amdee<sup>3\*</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Faculty of Industrial Technology, Muban Chom Bueng Rajabhat University

E-mail: 64a951003@mcruc.ac.th<sup>3</sup>

Received: Apr 23, 2024

Revised: Jun 10, 2024

Accepted: Jul 04, 2024

## Abstract

The aim of this study is to investigate the innovative capacity of high-tech zones in China. To this end, we have developed an evaluation index system and established a solid theoretical basis for it. Our evaluation system includes four first-level indicators, eight second-level indicators and 28 third-level indicators, whose weights were determined using the entropy weight method. In addition, we applied the catastrophe progression method to comprehensively assess the innovative capacity of high-tech zones, capture innovation dynamics and identify areas for improvement. The novelty of this study lies in the construction of a multi-level index system based on the framework of cybernetics and information theory. By combining the entropy weighting method and the catastrophe progression method, we provide for the first time a scientific and comprehensive method for assessing innovation capability. Our research not only reveals the strengths and weaknesses of the innovation capability of high-tech zones, but also provides practical assessment tools and theoretical support for their further development. The results show that the systematic index system and scientific assessment methods can effectively evaluate the innovation capability of high-tech zones and provide deep insights and suggestions for improvement. Overall, our study provides valuable insights and practical guidance for the continuous innovation and development of high-tech zones in China.

**Keywords :** Evaluation index system, Evaluation model, Innovation capability, High-tech zone Industry

## Introduction

The National High- tech Industrial Development Zone (hereinafter referred to as the “High-tech Zone” leads China's innovation-driven development in each region, and its innovation capability directly determines the innovation level of the region. In addition to implementing the strategy of “innovative country” , building a regional innovation system with local characteristics and advantages is the focus and core of local governments' development strategy in the new period. The high- tech industry is an emerging pillar industry with excellent development potential. The level and scale of the high-tech industry reflect a country's comprehensive national power, development potential and core competitiveness. The importance of high-tech enterprises as pioneers for the development of strategic emerging and high-tech industries in China is obvious.

The scholars Bruno and Tyebjee (1982)[1] were the first to start researching the valuation index system of science and technology parks and constructed the corresponding valuation index system with 12 factors that significantly influence the companies. Makecki (1987, 1988)[2, 3] evaluated the innovation ability of high and new technology zones from eight aspects: the strength of government support, the speed of capital flow, and the degree of personnel mobility — innovation in high technology zones.

Chung (2004)[4] used the AHP method to evaluate the companies in Taiwan's science and technology parks. He concluded that seven factors, such as consumption effect, industry relevance, and government, are closely related to the high- tech industry. Zeng (2010)[5] argued that the innovation capability of high- tech zones can be evaluated based on three aspects: Innovation environment, innovation promotion and innovation organization.

The Chinese Ministry of Science and Technology has improved the National Indicator System for the Evaluation of High-tech Zones four times since 1993, and these four versions have integrated different innovation directions in the high- tech zones in different periods[6]. On this basis, Xu Guanhua (2006)[7] believed that six factors such as innovation environment, technological innovation and risk investment are closely related to the innovation ability of high- tech zones. Zhao Daping (2007) [8] developed an index system to evaluate the innovation ability of high- tech zones to analyze the impact of specialized division of labor on independent innovation ability in high- tech zones. Wang Feng (2010) [9] interpreted the development path of PIH innovation capability based on the study of the driving and development mode of independent innovation in high- tech zones. Hu Shuhua (2010)[10] proposed a three-level index system to evaluate the

autonomous innovation capability based on the study of the concept, construction basis and characteristics of the autonomous innovation capability of high-tech zones. Fang Yumei et al. (2014)[11] designed a four-dimensional theoretical model of environmental support, innovation output, organizational process and innovation input based on theoretical analysis and practical research. In addition, Zhang Jixin (2022)[12] used the entropy value and disaster progression method to measure the ability of national high-tech zones to cultivate innovative industrial clusters. Zhang Lin (2022)[13] used the effectiveness coefficient method to measure the innovation ability of national high-tech zones in Shandong Province. Guo Yanqing (2022)[14] used the factor analysis method to measure 44 national high-tech zones in six central regions of China. Ren Fei (2020)[15] empirically investigated the innovation evaluation ability of 25 enterprises in Zhengzhou high-tech zone using DEMATEL-ANP analysis, Ding Qingqing (2019)[16] applied the DEA Malquist index method to dynamically measure the innovation efficiency of China's 54 national high-tech zones, and Su Chenqing (2018)[17] used the disaster progression method to measure the innovation efficiency of the 14 national high-tech zones in the city cluster on the middle reaches of the Yangtze River and conducted an empirical study.

To summarize, research on high-tech zones initially focused on system structure and functional mechanisms. As research deepened, attention gradually shifted to the development of index systems and evaluation methods. Despite the extensive literature on high-tech zones, several problems remain: First, there is no consensus on a valuation index system for high-tech zones, and research on unique indices is limited. Second, most existing comprehensive valuation methods are based on linear models, which are unsuitable for analyzing empirical objects with nonlinear relationships. Therefore, this study aims to develop a novel evaluation index system to evaluate the innovation ability of high-tech zones and select a suitable evaluation model to solve these problems.

The novelty of this study lies in the integration of cybernetic and information theory approaches with the entropy weight method and the catastrophe progression method to develop a multilevel index system for assessing innovation capability. This comprehensive and scientific approach not only reveals the strengths and weaknesses of the innovation capability of high-tech zones, but also provides practical assessment tools and theoretical support for their further development. The main research tasks include designing a multi-level index system, determining the indicator weights, applying the catastrophe progression

method for comprehensive assessment, and finally providing a thorough assessment of the innovation capability of high-tech zones.

### Principles of indicator system construction

When assessing the innovative capacity of high-tech zones, it is crucial that the indicators are scientific, complete, and practicable. Therefore, the development of a set of scientific and practical index systems for assessing innovation capability is an essential part of the research in this paper. The design of an index system to evaluate the innovation capability of high-tech zones should follow the principles of the available data source, and indicators at all levels can be considered. The system can be operated, but it must also follow the principles of expediency, objectivity, systematic principle, and the combination of qualitative and quantitative principles.

### Theoretical basis for the construction of indicator system

Cybernetics assumes that in the regional innovation system, the innovation system is connected to the outside world through the control of inputs and outputs and that there is a black box in this process that does not allow the internal operation to be recognized intuitively. Information theory states that there are processes of

identification, processing, transformation, transmission, storage and display in the information flow of the system. There are positive and negative feedback effects in the whole process of information flow transmission. In the regional innovation system, the source of information flow transmission is talent, capital and technology entering the black box from the innovation subsystem. It carries out innovation activities through the innovation subject in the black box and the outputs from the innovation subsystem. The output is fed back into the innovation input subsystem. The whole process is the structure of the regional innovation system under the guidance of cybernetic theory and information technology theory, as shown in Figure 1 below.

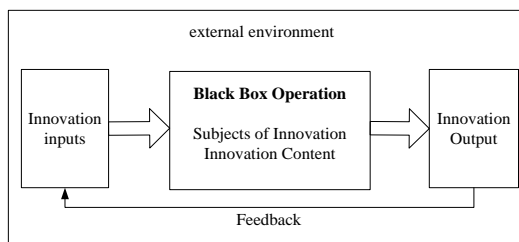


Fig. 1 The structure of regional innovation systems in consideration of cybernetic information theory[17]

### Indicator design and screening

Based on the structure of the regional innovation system within the framework of cybernetic information theory, combined with the high-tech zone's own characteristics of innovation system,

focusing on the goal of evaluating the innovation capability of the high-tech zone and drawing on the successful experience of previous similar index systems, the high-tech zone should improve its innovation capability from the four aspects of increasing innovation input, optimizing the organizational and operational level, increasing innovation output, and appropriately allocating resources and environment. Therefore, this paper is based on the four organizational aspects of innovation capability. Therefore, this paper develops an indicator system for the innovation capability of high-tech zones, which is composed of four dimensions: Innovation input capability, organizational operational capability, innovation output capability and environmental support, as shown in Figure 2.

Referring to the framework of high-tech zone innovation capability indicator system, according to the high-frequency principle of classical literature indicators of authoritative institutions and based on the principles of expediency, objectivity and systematic, this paper selects four first-level indexes, eight second-level indexes and 28 third-level indexes to establish the national high-tech zone innovation capability assessment index system, as shown in Table 1.

The innovation input index is used to measure the strength of resource input for innovation in high-tech zones. It mainly

includes two aspects: intellectual input and financial input, and four indicators are selected for intellectual input, such as R&D personnel, personnel for scientific and technological activities, the full-time equivalent of R&D personnel and the density of personnel with middle and higher titles, etc. In contrast, the financial input for financing scientific and technological activities, R&D funding, intensity of financing scientific and technological activities and R&D funding intensity are selected. R&D expenditure intensity of S&T activities, R&D expenditure intensity of S&T activities and R&D expenditure intensity of S&T activities.

The innovation output capability indicator measures the output capability of high-tech zones according to the use of resources, including output scale and efficiency. Three indicators are selected for output scale: the scale of technology income, the annual growth of high-tech enterprises, the scale of export foreign exchange, etc. Output efficiency specifies three indicators: profitability, return on R&D investment and technological income per unit of R&D personnel.

The environment support capability indicator measures the supportive effect of a high-tech zone's environment on innovation capability, including the soft environment and the complicated environment. Four indicators are selected for the difficult environment: Company size, number of employees, capital

investment status and the total number of science and technology incubators, etc. In comparison, the soft environment selects four indicators: the strength of policy support, the innovation of institutional mechanisms, the essential supporting environment and financial support.

The organizational and operational capability indicators are used to measure the comprehensive capability of high-tech zones to transform resource inputs into outputs, including the capability of the innovation unit and the organizational

coordination capability. Three indicators were selected for innovation capability, such as the number of high-tech enterprises, the number of universities and R&D institutes, the number of innovation service facilities, etc. , and three indicators were selected for organizational coordination capability, such as the number of national college science and technology parks, the number of innovative industry clusters, the number of productivity promotion centers, etc. Three indicators.

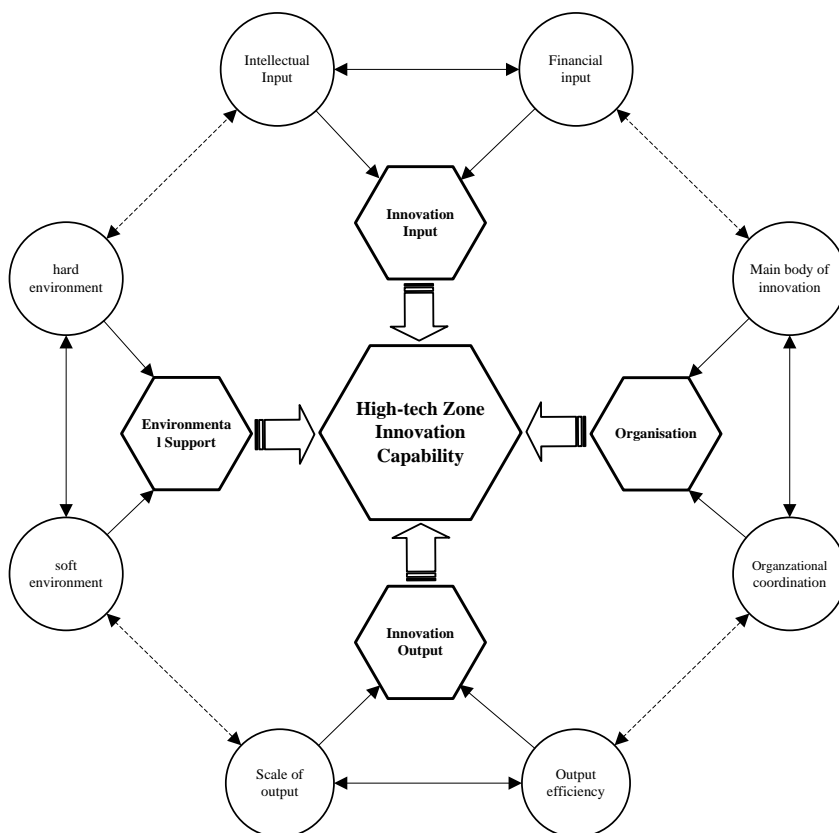


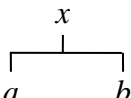
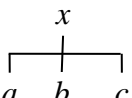
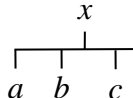
Fig. 2 Framework of the indicator system for the innovative capacity of the high-tech zone

**Table 1** Evaluation Indicators System of Innovation Capability of Hi-tech Zone [18-27]

Evaluation objectives	Level 1 Indicators	Level 2 Indicators	Level 3 Indicators	Indicator Description	Unit
High-tech Zone Innovation Capability	Innovation Input Capability	Intellectual input	R&D personnel	Number of R&D Personnel	Persons
			Scientific and technological activity personnel	Number of technologically active personnel	Persons
			R&D Personnel Full-time Equivalent	Full-time equivalent of R&D personnel	Persons/year
			The density of middle and senior title personnel	Number of middle and senior title personnel/number of employees at the end of the year	%
			Funds for scientific and technological activities	Internal Expenditure on S&T Activities	Thousands of Yuan
	Innovation Output Capability	Financial input	R&D Expend	Internal Expenditure on R&D	Thousands of Yuan
			The intensity of Expenditure on Scientific and Technological Activities	Internal Expenditure on S&T Activities/Total Income	%
			R&D Expenditure Intensity	Internal Expenditure of R&D Funds/Total Income	%
			The scale of technology income	Amount of technology income	Thousands of Yuan
			Annual Increase of High-tech Enterprises	Growth of high-tech enterprises	per unit
	Innovation Output Capability	Output efficiency	The scale of export earnings	Export earnings amount	Thousands of Yuan
			Profitability	Enterprise net profit ratio	%
			Return rate of R&D investment	Technology Income/R&D Expenditure	%
			Technology Income Creation per Unit of R&D Personnel	Technology Income/R&D Personnel	Thousand Yuan/person
			Enterprise size	Total revenue/number of enterprises	Thousand Yuan/Each
Environmental Support Capability	Hard environment	Employee Size	Number of employees at the end of the year	persons	
		Capital Operation Status	Year-end assets/year-end liabilities	%	
		Total number of technology business incubators	Number of incubators	per unit	
		Policy Support	Measured according to the policy introduction of each high-tech zone	Level	
		Institutional Mechanism Innovation	Measured according to the operation and management of each high-tech zone	Level	
Environmental Support Capability	Soft environment	Basic Supporting Environment	Measured by the infrastructure of each high-tech zone	Level	
		Financial Support	Measured by financial services of each hi-tech zone	Level	

Evaluation objectives	Level 1 Indicators	Level 2 Indicators	Level 3 Indicators	Indicator Description	Unit
Organization Operation Capability	Organization	Innovation main body capability	The scale of high-tech enterprises	Number of high-tech enterprises	per unit
			Number of Universities and R&D Institutions	Number of universities and institutions	per unit
			Number of Innovation Service Organizations	Number of Innovation Service Organizations	per unit
			Number of National University Science Parks	Number of National University Science Parks	per unit
	Operation and coordination capability	Organization and coordination capability	Number of Innovative Industrial Clusters	Number of Innovative Industrial Clusters	per unit
			Number of Productivity Promotion Centers	Number of Productivity Promotion Centers	per unit

**Table 2** Mutation level system model and diagrams[24]

Type	Spike mutation system	Swallowtail mutation system	Butterfly mutation system
System model	$f(x) = x^4 + ax^2 + bx$	$f(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 + cx$	$f(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}ax^4 + \frac{1}{3}bx^3 + \frac{1}{2}cx^2 + dx$
Control variable	$a, b$	$a, b, c$	$a, b, c, d$
Divergence point equation	$a = -6x^2, b = 8x^3$	$a = -6x^2, b = 8x^3, c = -3x^4$	$a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 5x^5$
Normalization formula	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d}$
Diagram			

**Remark:** Using the diagrams, we can determine the type of each mutation, i.e. “one change two” for the spike mutation, “one change three” for the swallowtail mutation and “one change four” for the butterfly mutation.

## Evaluation Model

### 1. Indicator weighting: Entropy weight method

The Entropy Weight Method (EWM) is a widely used multi- criteria decision-making technique that helps to determine the weighting or importance of different criteria in decision-making. It was first proposed by J.W. Doyle in 1978 and has

since been applied in various fields such as engineering, management, and economics.

The EWM is based on the concept of information entropy from information theory. It aims to measure the degree of uncertainty or variability in a set of criteria and assign a weighting to each criterion based on its relative importance in reducing overall uncertainty. The basic



idea is that criteria with higher entropy (i.e. higher variability) are considered more critical and receive a higher weighting [28,29].

The steps of the entropy-weight method usually include:

**Step 1:** To determine the valuation matrix to be used. Assuming that the number of evaluation indicators and objects corresponds to  $i$  and  $j$  in this order, the following specific matrix formula results.

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} \end{pmatrix} \quad (1)$$

**Step 2:** Data-based dimensionless processing is performed. The formula for processing positive indicators is as follows.

$$x'_{ij} = \frac{x(i,j) - x_{\min}(i,j)}{x_{\max}(i,j) - x_{\min}(i,j)} + 1 \quad (2)$$

The formula for the reverse indicator is also referenced as follows.

$$x'_{ij} = \frac{x_{\max}(i,j) - x(i,j)}{x_{\max}(i,j) - x_{\min}(i,j)} + 1 \quad (3)$$

The dimensionless processed judgment matrix is then derived as follows.

$$x' = \begin{bmatrix} x'_{11} & x'_{12} & \dots & x'_{1j} \\ x'_{21} & x'_{22} & \dots & x'_{2j} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots \\ x'_{i1} & x'_{i2} & \dots & x'_{ij} \end{bmatrix} \quad (4)$$

where:  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ , and  $H$  represents the panning magnitude.

**Step 3:** The weighting of the indicators is carried out.

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} \quad (5)$$

**Step 4:** Calculate the specific first value of the indicator.

$$e_j = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij} \quad (6)$$

Where:  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ,  $e_j$  is the first value of the  $j$  indicator match.

**Step 5:** Complete the derivation of the coefficient of variation.

$$g_i = 1 - e_i \quad (7)$$

Where:  $i = 1, 2, 3, \dots, m$

**Step 6:** The indicators at each level are fully weighted.

$$f_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad (8)$$

Where:  $j = 1, 2, 3, \dots, n$

The Entropy Weight Method provides a systematic approach for dealing with multiple criteria and their relative importance in decision problems. It helps decision makers to identify the most important criteria and make more informed and objective decisions.

## 2. Evaluation of Innovation Capacity: Catastrophe progression method

The theoretical basis of the Catastrophe Progression Method (CPM) is one of the three new theories of the system, the mutation theory (catastrophe theory). Catastrophe theory was founded in 1972 by the French mathematician Rene Thom mainly through the development of structurally stable topological concepts, and built on the basis of topological dynamics, singularity theory and other theories, which can be used for state evaluation and change trend analysis, and is known as “calculus after a revolution in mathematics” The CPM derived from the mutation model of mutation theory is often used in multi-criteria decision problems. Its comprehensive evaluation of the objective is first to decompose the overall objective of the system evaluation at multiple levels, and then use the mutation fuzzy membership function generated by the combination of mutation theory and fuzzy mathematics, and then perform the comprehensive quantitative operation through the normalization formula, and finally normalize it to one parameter, that is, seek the overall membership function to arrive at the comprehensive evaluation results —the complete evaluation results[30].

**Step 1:** Determine the index system for mutation evaluation.

When determining the mutation evaluation indexes based on the evaluation purpose, guided by the intrinsic mechanism of the mutation level, starting from the evaluation of the overall index, each level of the index is decomposed step by step, that is, one index is decomposed into two or two or more indexes, with the aim of obtaining the subdivided indexes that can better express the actual evaluation object. Since the mutation system does not contain more than four control variables under normal circumstances, the corresponding decomposition of indicators at each level is also no more than four. At most, each indicator is decomposed into the next level of indicators, which can only deteriorate from four.

**Step 2:** Determine the weights of the indicators --EWM.

Catastrophe progression method in the calculation process: although the weight of each indicator does not need to be used, in the construction of the mutation level indicator system needs to be the weight of each indicator, the use of weight to determine the relative importance of each indicator, the weight of the larger is ranked in the front, the weight of the smaller is classified in the back, the role of the indicator before and after the order of the different formulas used to reflect the operation is other. To overcome the subjective factors in index

sorting, this paper adopts the entropy weight method to calculate the weight of each index when assigning weights to the indexes. The entropy weight method is a relatively objective method of assignment. The original data need to be standardized before starting the entropy weight method to calculate the weight.  $Y_{ij}$  Indicates which indicates the  $j$  sample of the  $i$  indicator. All of them are standardized data.

Firstly, the weight of the  $j$  sample of the  $i$  indicator is  $p_{ij} = y_{ij} / \sum_{j=1}^n y_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ );

Secondly, the entropy value of the  $i$  indicator  $e_i = -1 / \ln n \sum_{j=1}^n (p_{ij} \ln p_{ij})$ ;

Finally, according to the utility value of the indicator  $d_i = 1 - e_i$ , the weight of the  $i$  indicator is obtained  $\omega_i = d_i / \sum_{i=1}^m d_i$ .

If the evaluation index system is a multi-layer structure, then according to the additivity of entropy, the utility value of the indicators of the lower structure can be summed up to get the utility value of each type of indicator in the upper layer  $D_k$ . Thus, the weight of the corresponding upper indicator can be obtained  $W_k = D_k / \sum_{k=1}^s D_k$  ( $k=1,2,\dots,s$ ).

**Step 3:** Determine the type of mutation.

In general, the mutation system will have no more than four control variables, so there will be at most seven forms of mutation, namely the seven types of cusp mutation, dovetail

mutation, butterfly mutation, fold mutation, hyperbolic umbilical point mutation, elliptical umbilical point mutation, and parabolic umbilical point mutation. When using the catastrophe progression method, only three types are generally expected, as shown in Table 2.

Table 2 models the potential function of a state variable  $x$  of the mutation system. The coefficients of  $x$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  and  $d$  denote the control variables of the state variable. The state variable and the control variable of the potential function of the system are two opposing aspects. If an indicator is decomposed into two sub- indicators, the system can be regarded as a hump mutation system; if an indicator is decomposed into three sub- indicators, the system can be regarded as a dovetail mutation system; if an indicator is decomposed into four sub- indicators, the system can be regarded as a butterfly mutation system.

**Step 4:** Derive the normalization formula from the divergence equation.

According to the mutation theory, divergence point set equations cannot be directly analyzed and evaluated because the range of values of the state and control variables is not uniform, nor can it be consistent with the range of values of fuzzy affiliation numbers 0 to 1. Thus, limiting the range of state and control variable values in each mutation model to 0 to 1, i.e., normalization is necessary. The divergence point equations are

obtained by taking the potential function's first-order derivatives, and the mutation system's set of singularities is obtained by taking the second-order derivatives  $f''(x)=0$ . By  $f'(x)=0$   $f''(x)=0$  eliminating  $x$ , the divergence point set equation of the mutation system is obtained, i. e., the equilibrium surface formed by the set of all critical points. The divergence point set equation indicates that the system mutates when each control variable satisfies this equation. The normalization formula can be derived by decomposing the form of the divergence point set equation. The normalization formula indicates  $x_i(i=a,b,c,d)$  the number of mutation levels corresponding to the control variable  $i$ . The normalization formula is a multidimensional fuzzy affiliation function in the mutation-level system.

**Step 5:** Comprehensive evaluation using the normalization formula

The normalization formula transforms the different qualitative states of each control variable in the system into the same qualitative state, i.e., the control variables are unified into the qualitative state expressed by the state variables. Control variables in the use of the normalization formula to calculate the value of each state variable, if there is no apparent correlation between the control variables of the system, the object of the control scalar for the “non-complementary,” following the principle of “taking the

smallest out of the big , ” let  $\min\{x_a, x_b, x_c, x_d\}$  to be the  $x$  value of the entire system; If there is evident interrelatedness between the control variables of the system, then the control variables of the object are called “complementary,” and let  $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$  to be the  $x$  value of the entire system; which is the only way to meet the requirement of qualitative change of the divergence equation. Finally, the evaluation objects are ranked according to their total evaluation index scores regarding their advantages and disadvantages.

## Conclusion

This study summarizes the national and international research on the evaluation indexes of innovation capability in high-tech zones and constructs an evaluation index system for high-tech zones. The entropy weight method is used to determine the weights of each index level, and the total value is calculated by the catastrophe progression.

The practical significance of this research lies in providing a rigorous and comprehensive framework for assessing the innovation capability of high-tech zones. Using a scientifically grounded and multidimensional assessment system, this study identifies the strengths and weaknesses of innovation capability, thus providing valuable insights for policy makers and stakeholders to improve the

innovation ecosystem in high-tech zones. This comprehensive approach not only contributes to a deeper understanding of innovation dynamics, but also serves as a guide for strategic decisions that promote sustainable development and enhance the competitive advantages of high-tech industries.

### References

- [1] A. V. Bruno and T. T. Tyebjee, "The environment for entrepreneurship," *Prentice-Hall, Englewood Cliffs*, 1982.
- [2] E. J. Malecki, "The R&D location decision of the firm and creative regions: A survey," *Technovation*, 1987, vol. 6, no. 3, pp. 205-222.
- [3] E. J. Malecki and P. Nijkamp, "Technology and regional development: Some thoughts on policy," *Environment and Planning C: Government and Policy*, 1988, vol. 6, pp. 383-399.
- [4] J. C. Chung and C. H. Chin, "A multiple criteria evaluation of high-tech industries for the science-based industrial park in Taiwan," *Information & Management*, 2004, vol. 41, pp. 839-851.
- [5] S. X. Zeng, X. M. Xie, and C. Tam, "Evaluating innovation capabilities for science parks: A system model," *Technological and Economic Development of Economy*, 2010, vol. 16, no. 3, pp. 397-413.
- [6] J. Song, Z. Li, and L. Wu, "Establishing a scientific evaluation system to guide the transformation and upgrading of industrial parks: An analysis of the evaluation index system for national high-tech zones (Revised edition 2013)," *China High-Tech Zones*, 2013, vol. 8, pp. 136-141.
- [7] G. Xu, "Enhancing independent innovation capability and accelerating the construction and development of national high-tech zones," *China Soft Science*, 2006, vol. 8, pp. 1-8.
- [8] D. Zhao and X. Li, "The impact of specialization in China's national high-tech zones on independent innovation capability," *Science Studies*, 2007, vol. 25, no. 12, pp. 500-505.
- [9] F. Wang, "Research on cultivating and measuring independent innovation capability of China's national high-tech zones," 2010, *Doctoral dissertation, Jilin University*, pp. 112-150.
- [10] S. Hu, J. Yang, and J. Zuo, "Indicator system and evaluation model of independent innovation capability of high-tech zones," *Journal of Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering Edition)*, 2010, vol. 32, no. 6, pp. 974-977.
- [11] Y. Fang and F. Liu, "Research on the evaluation of innovation capability in China's national high-tech zones," *Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences)*, 2014, vol. 35, no. 4, pp. 26-32.

- [12] J.-X. Zhang and Y. Chen, "Evaluation of innovative industrial clusters cultivation capacity in national high-tech zones," *Science and Technology Management Research*, 2022, vol. 20, pp. 57-64.
- [13] L. Zhang, C. Guo, C. Wang, Y. Shang, and J. Jia, "Evaluation of innovation capacity of national high-tech zones in Shandong Province based on efficacy coefficient method," *Science and Management*, 2022, vol. 06, pp. 85-92.
- [14] Y. Guo and X. Wang, "Research the indexes of innovation capacity evaluation systems of high-tech zones in Henan Province," *Henan Science and Technology*, 2022, vol. 05, pp. 154-157.
- [15] F. Ren, "Research on constructing an evaluation index system of the innovation ability of high-tech zones," *Enterprise Technology and Development*, 2020, vol. 06, pp. 25-29.
- [16] Q. Ding, "Evaluation of innovation capacity of national high-tech zones based on DEA-Malmquist index," *Modern Business Industry*, 2019, vol. 35, pp. 10-12.
- [17] C. Su, J. Xie, and S. Hu, "Research on the evaluation of the innovation capacity of high-tech zones in the city cluster in the middle reaches of the Yangtze River based on the Catastrophe progression method," *Value Engineering*, 2018, vol. 12, pp. 234-237.
- [18] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information Control*, 1965, vol. 8, pp. 338-353.
- [19] J. C. Bezdek, "Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms." *New York: Plenum Press*, 1981.
- [20] R. Krishnapuram and J. A. Keller, "Possibilistic approach to clustering," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1993, vol. 1, no. 2, pp. 98-110.
- [21] P. Kaur and A. A. Gosain, "Density-oriented fuzzy c-means clustering algorithm for recognizing original cluster shapes from noisy data," *International Journal of Innovative Computing and Applications*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 77-87.
- [22] J. L. Xie and S. H. Hu, "Research on the 'double-four' structure of the national high-tech zone innovation network and its factor correlation," *Modernization of Management*, 2014, vol. 1, pp. 45-47.
- [23] J. Xie and S. Hu, "Research on the structural framework and operation mechanism of the national high-tech zone innovation system," *Economic System Reform*, 2014, vol. 2, pp. 97-101.

- [24] J. Xie, S. Hu, and Y. Y. Jiang, "A study on the spatial differentiation of competitiveness of national high-tech zones based on the Catastrophe progression method," *Science and Technology Management*, 2011, vol. 12, pp. 101-108.
- [25] L. Yang and D. Wang, "Research on enhancing e-commerce collaborative innovation capability in countries along the 'Belt and Road,'" *Resource Development and Market*, 2019, vol. 04, pp. 533-542.
- [26] J. Zhang and Y. Chen, "Evaluation of innovative industrial clusters cultivation capability in national high-tech zones," *Science and Technology Management Research*, 2022, vol. 20, pp. 57-64.
- [27] Y. W. Zhang and L. Wang, "Research on the evaluation index system of regional innovation capability in Gansu Province," *Gansu Science and Technology*, 2022, vol. 11, pp. 47-52.
- [28] W. Fu and L. Chu, "Research on the Evaluation of High-quality Development of the Manufacturing Industry under the Perspective of Yangtze River Delta Integration - TOPSIS Evaluation Model Based on Improved CRITIC-Entropy Weight Method Combined Weights," *Industrial Technology and Economics*, 2020, vol. 09, pp. 145-152.
- [29] S. Zhang, M. Zhang, and G. T. Chi, "Science and technology evaluation model based on entropy weight method and its empirical research," *Journal of Management*, 2010, vol. 01, pp. 34-42.
- [30] J. L. Xie, S. H. Hu, and Y. Y. Jiang, "Research on the spatial differentiation of national high-tech zone competitiveness based on the catastrophe progression method," *Science of Science and Management of S & T*, 2011, vol. 32, no. 12, pp. 101-108.

## การประเมินความสิ้นสเทือนเฉพาะมือและแขนของแรงงานนอกระบบ กลุ่มอาชีพการทำครกหิน พื้นที่ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

ยุวดี ขุนสอาด<sup>1</sup>, อารุณ เกตุสาคร<sup>2\*</sup>

<sup>1, 2</sup>คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th<sup>2</sup>

Received: Mar 04, 2024

Revised: Mar 27, 2024

Accepted: Apr 05, 2024

### บทคัดย่อ

การทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีการสิ้นสเทือนจากเครื่องจักรเพิ่มความเสี่ยงต่อกลุ่มอาการ ผิดปกติที่แขนและมือโดยเฉพาะในกลุ่มแรงงานนอกระบบการทำครกหิน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตรวจสอบวัดความสิ้นสเทือน ประเมินอันตรายและความชุกจากการสัมผัสความสิ้นสเทือนที่แขนและ มือในแรงงานนอกระบบกลุ่มอาชีพการทำครกหิน 75 ราย ตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงกันยายน 2566 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถามทั่วไป และเครื่องวัดความสิ้นสเทือนเฉพาะแขน และมือ ดำเนินการตรวจสอบวัดความสิ้นสเทือนเฉพาะแขนและมือของเครื่องเจาะครกหิน เครื่องตัดหัว- ท้ายครกหิน และเครื่องตกแต่งภายนอกและภายในครกหิน ผลการศึกษา พบว่า ค่าความเร่งจาก แรงสิ้นสเทือนเฉพาะแขนและมือของกลุ่มตัวอย่างทุกคนเกินค่าขีดจำกัดการสัมผัสความสิ้นสเทือน และค่าความสิ้นสเทือนที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับใน 1 วัน (8 ชั่วโมง) อยู่ในระดับเกินค่าขีดจำกัดการสัมผัส การค้นพบนี้เป็นประโยชน์ในการป้องกันและควบคุมมาตรการทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำหรับการปฏิบัติงานการสัมผัสความสิ้นสเทือนรวมถึงนโยบายและกลยุทธ์ในการลดความเสี่ยงของ แรงงานนอกระบบกลุ่มประกอบอาชีพการทำครกหิน

**คำสำคัญ :** ความสิ้นสเทือนเฉพาะแขนและมือ, แรงงานนอกระบบ, การทำครกหิน



# **The Assessment of Hand Arm Vibration among Stone Mortar Informal Workers in Phichai Subdistrict, Mueang District, Lampang Province**

**Yuwadee Khunsaard<sup>1</sup>, Arroon Ketsakorn<sup>2\*</sup>**

<sup>1, 2</sup>Faculty of Public Health, Thammasat University

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th<sup>2</sup>

Received: Mar 04, 2024

Revised: Mar 27, 2024

Accepted: Apr 05, 2024

## **Abstract**

Working in an environment with vibration from machinery is increasing the risk for the hand arm vibration syndrome, especially among stone mortar informal workers. The objective of this study was to measure the vibration, evaluate the hazard, and prevalence from exposure to vibration in the arms and hands in 75 stone mortar informal workers from August and September 2023. The tools used to collect data included a general questionnaire and hand arm vibration meters. There were three machines; drilling the stone mortar, stone cutting machine, and decorating both the inside and outside of the stone mortar were measured the hand arm vibration. The results showed that the acceleration values from hand arm vibration of all subjects exceeded the vibration exposure limits including vibration values that informal workers received in one day (8 hours) were also exceeded the vibration exposure limit. These findings would be useful information for further preventing and controlling measure occupational health and safety for working on exposure to vibration including policies and strategies to mitigate the risks for informal stone mortar workers.

**Keywords :** Hand Arm Vibration, Informal Workers, Stone Mortar

### บทนำ

ความสั่นสะเทือนจากเครื่องมือเป็นหนึ่งในปัจจัยเสี่ยงทางสุขภาพ ที่เกิดจากการรับสัมผัสแรงสั่นสะเทือนเป็นระยะเวลาต่อเนื่องของผู้ปฏิบัติ โดยส่วนใหญ่พบความสั่นสะเทือนที่ส่วนแขนและมือ (Hand Arm Vibration) ในผู้ปฏิบัติงานที่จับถือเครื่องมือที่มีความสั่นสะเทือนสูง ซึ่งเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดกลุ่มอาการผิดปกติต่อระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ โดยมีผลการศึกษาในประเทศแอฟริกาใต้พบว่าคนงานร้อยละ 15 ที่ได้รับแรงสั่นสะเทือนจากสว่านเจาะหิน มีอาการผิดปกติจากความสั่นสะเทือน เฉพาะมือและแขน [1] อีกทั้งในประเทศสวีเดน พบว่า พนักงานที่มีการสัมผัสความสั่นสะเทือนของการขุดเจาะที่มีความเร่งของการสั่นสะเทือนอยู่ที่  $3.5 \text{ m/s}^2$  มากกว่า 20 ปี มีโอกาสเสี่ยงในการเป็นโรคที่มีอาการผิดปกติที่มือและแขนจากการสั่นสะเทือน [2] ทั้งนี้ข้อมูลจากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข พบว่า ในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีจำนวนผู้ป่วยโรคกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงาน 90,843 คน หรือคิดเป็น 199.49 คนต่อแสนประชากร[3]

แรงงานนอกระบบกลุ่มอาชีพการทำครกหินเป็นกลุ่มอาชีพในจังหวัดลำปาง ที่มีการใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตครกหินและสากไม่ว่าจะเป็นเครื่องเจาะหินหิน เครื่องตัดหิน และเครื่องเจียรหิน การใช้เครื่องมือเหล่านี้ทำให้ได้รับสัมผัสแรงสั่นสะเทือนสู่มือ แขน หัวไหล่และหลัง อีกทั้งในส่วนแรงสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านอวัยวะนั้น มีปัจจัยของความเร่ง ความเร็ว น้ำหนักของเครื่องมือ ทำให้การรับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นมีความหลากหลายโดยมีการศึกษาถึงผลกระทบทางสุขภาพจากการทำครกหินในพื้นที่ พบว่า ประชาชนในชุมชนได้รับผลกระทบจากความสั่นสะเทือนจากกระบวนการในการผลิตครกหิน และยังพบว่า ประชาชนป่วยด้วยโรคกระดูกและ

กล้ามเนื้อในอัตรา 3,926.7 ต่อแสนประชากร[4] ของจังหวัดลำปางโดยอัตราป่วยสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศด้วยโรคกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงาน 209.21 คนต่อแสนประชากร[5] อีกทั้งแรงงานนอกระบบกลุ่มอาชีพการทำครกหินยังขาดมาตรการป้องกันและการควบคุมอันตรายจากการรับสัมผัสความสั่นสะเทือน

ความสั่นสะเทือนสามารถส่งผลกระทบต่อระบบหลอดเลือด ทำให้ระบบการไหลเวียนโลหิตที่ผิดปกติ และอาจเกิดอาการรุนแรงถึงขั้นทำให้สูญเสียประสาทสัมผัสได้อย่างถาวร โดยมีผลการศึกษาที่พบอาการมืออ่อนแรง มือตอบสอองได้ข้างลง และนิ้วมือสั้น ในคนงานเหมืองในประเทศเวียดนามที่มีการใช้เครื่องมือที่มีความเร่ง  $45 - 55 \text{ m/s}^2$  และมีการสัมผัสความสั่นสะเทือน 160 - 210 นาทีต่อวัน[6] ซึ่งอาการป่วยจากความสั่นสะเทือนโดยเฉพาะที่มือและแขนส่งผลกระทบต่อการทำงานและการดำเนินชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นที่การประเมินความสั่นสะเทือนเฉพาะมือและแขนของแรงงานนอกระบบในกลุ่มอาชีพการทำครกหิน เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงระดับความเสี่ยง ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และผลกระทบต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน นำไปสู่การพัฒนาการป้องกันและการจัดการที่เหมาะสม ลดความเสี่ยงจากความสั่นสะเทือนเฉพาะมือและแขนในกลุ่มอาชีพการทำครกหิน

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดความสั่นสะเทือนที่แขนและมือในแรงงานนอกระบบกลุ่มอาชีพการทำครกหิน
2. เพื่อประเมินอันตรายและความชุกจากการรับสัมผัสความสั่นสะเทือนที่แขนและมือในแรงงานนอกระบบกลุ่มอาชีพการทำครกหิน

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษา คือ แรงงานนอกระบบ กลุ่มอาชีพการทำครกหิน ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง จำนวน 163 คน

การศึกษาครั้งนี้ใช้การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงโดยคัดเลือกจากแรงงานนอกระบบที่ทำงานกับเครื่องจักรที่มีความสั่นสะเทือนเฉพาะแขนและมือจำนวน 75 คน ดังนี้

1.1 ปฏิบัติงานทำครกหินในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

1.2 ไม่มีโรคประจำตัวที่เกี่ยวข้องกับกระดูกและกล้ามเนื้อ

1.3 ยินยอมและให้ความร่วมมือในการศึกษาวิจัย

#### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แบบสัมภาษณ์รายบุคคล ประกอบด้วยข้อมูลทั่วไป แบบสัมภาษณ์ถูกพัฒนาจากทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งได้รับการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ 3 คนก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล โดยมีค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Item Objective Congruence Index: IOC) อยู่ระหว่าง 0.70-1.00 [7]

2.2 เครื่องวัดความสั่นสะเทือน (Vibration Meter) ยี่ห้อ Svantek รุ่น SV106 ประเทศโปแลนด์ประกอบไปด้วยเครื่องมือวัดที่เป็นจอแสดงผล (Display) ชุดหัววัดสำหรับวัดค่าความสั่นสะเทือนที่มือและแขน (Hand-arm Sensor) ชนิด 3 แกน (X,Y,Z) และโปรแกรมสำเร็จรูป Supervisor ที่ใช้ประมวลผลตามมาตรฐาน ISO 8041:2005



รูปที่ 1 เครื่องวัดความสั่นสะเทือนที่แขนและมือ

#### 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 จัดทำหนังสือและขออนุญาตดำเนินการเก็บข้อมูล

3.2 สำรวจและคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์การคัดเข้าและคัดออก พร้อมชี้แจงวัตถุประสงค์ และขั้นตอนการเก็บข้อมูลให้กลุ่มตัวอย่างทราบ

3.3 เก็บรวบรวมข้อมูลทั่วไปด้วยแบบสัมภาษณ์

3.4 ตรวจสอบวัดค่าความเร่งของแรงสั่นสะเทือนที่บริเวณมือและแขน เป็นระยะเวลา 3 รอบของการทำงาน

3.5 ประเมินค่าความเร่งรวม 3 แนวแกน (X,Y,Z) ทำการคำนวณตามสมการที่ 1

$$A_{av} = \sqrt{(A_{hvx})^2 + (A_{hvy})^2 + (A_{h vz})^2} \quad (1)$$

โดยที่

$A_{av}$  คือ ความสั่นสะเทือนเฉพาะแขนและมือรวม 3 แนวแกน ( $m/s^2$ )

$A_{avx}$  คือ ความสั่นสะเทือนเฉพาะแขนและมือตามแนวแกน X ( $m/s^2$ )

$A_{avy}$  คือ ความสั่นสะเทือนเฉพาะแขนและมือตามแนวแกน Y ( $m/s^2$ )

$A_{avz}$  คือ ความสั่นสะเทือนเฉพาะแกนและมือตามแนวแกน Z ( $m/s^2$ )

3.6 คำนวณค่าความเร่งที่ได้รับสัมผัส 8 ชั่วโมงการทำงานตามสมการที่ 2

$$A(8) = A_{av} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2)$$

โดยที่

$A(8)$  คือ ค่าความสั่นสะเทือนที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับใน 1 วัน (8 ชั่วโมง)

T คือ ระยะเวลาที่ได้รับแรงสั่นสะเทือนในขณะที่ทำงาน (ชั่วโมง)

$T_0$  คือ เวลาที่ทำงานอ้างอิงที่ 8 ชั่วโมง

3.7 ประเมินผลค่าความเร่งรวม 3 แนวแกนตามมาตรฐานที่กำหนดใน ISO 5349 [8] ซึ่งไม่ควรเกิน 2.5 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

3.8 ค่าความเร่งรวม 3 แนวแกนเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานระดับความสั่นสะเทือนตามตารางที่ 1

3.9 ประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสความสั่นสะเทือนเฉพาะแกนและมือตามตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** การรับสัมผัสความสั่นสะเทือนจากค่ารวมการสั่นสะเทือนเทียบเท่าและระยะเวลาการสัมผัส[9]

Equivalent vibration total value $a_{hv,eq}$ ( $m/s^2$ )	hours	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	5	6	8
	min	6	12	30	60	120	180	240	300	360	480
2.5		1	3	6	13	25	38	50	63	75	100
3		2	4	9	18	36	54	72	90	108	144
3.5		2	5	12	25	49	74	98	123	147	196
4		3	6	16	32	64	96	128	160	192	256
4.5		4	8	20	41	81	122	162	203	243	324
5		5	10	25	50	100	150	200	250	300	400
5.5		6	12	30	61	121	182	242	303	363	484
6		7	14	36	72	144	216	288	360	432	576
6.5		8	17	42	85	169	254	338	423	507	676
7		10	20	49	98	196	294	392	490	588	784
7.5		11	23	56	113	225	338	450	563	675	900
8		13	26	64	128	256	384	512	640	768	1024
8.5		14	29	72	145	289	434	578	723	867	1156
9		16	32	81	162	324	486	648	810	972	1296
9.5		18	36	90	181	361	542	722	903	1083	1444
10		20	40	100	200	400	600	800	1000	1200	1600
10.5		22	44	110	221	441	662	882	1103	1323	1764
11		24	48	121	242	484	726	968	1210	1452	1936
11.5		26	53	132	265	529	794	1058	1323	1587	2116
12		29	58	144	288	576	864	1152	1440	1728	2304
12.5		31	63	156	313	625	938	1250	1563	1875	2500
13		34	68	169	338	676	1014	1352	1690	2028	2704
13.5		36	73	182	365	729	1094	1458	1823	2187	2916

Equivalent vibration total value $a_{hv,eq}$ ( $m/s^2$ )	hours	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	5	6	8
	min	6	12	30	60	120	180	240	300	360	480
14		39	78	196	392	784	1176	1568	1960	2352	3136
14.5		42	84	210	421	841	1262	1682	2103	2523	3364
15		45	90	225	450	900	1350	1800	2250	2700	3600
15.5		48	96	240	481	961	1442	1922	2403	2883	3844
16		51	102	256	512	1024	1536	2048	2560	3072	4096
16.5		54	109	272	545	1089	1634	2178	2723	3267	4356
17		58	116	289	578	1156	1734	2312	2890	3468	4624
17.5		61	123	306	613	1225	1838	2450	3063	3675	4900
18		65	130	324	648	1296	1944	2592	3240	3888	5184
18.5		68	137	342	685	1369	2054	2738	3423	4107	5476
19		72	144	361	722	1444	2166	2888	3610	4332	5776
19.5		76	152	380	761	1521	2282	3042	3803	4563	6084
20		80	160	400	800	1600	2400	3200	4000	4800	6400

ตารางที่ 2 ระดับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสความสั่นสะเทือนเฉพาะแขนและมือ[9]

คะแนนความเสี่ยง	ความหมาย
คะแนนการรับสัมผัสน้อยกว่า 100	ค่าระดับการรับสัมผัสในแต่ละวันน้อยกว่า 2.5 $m/s^2$ (ไม่เกินค่าระดับการสัมผัส)
คะแนนการรับสัมผัสระหว่าง 100-400	ค่าระดับการรับสัมผัสในแต่ละวันอยู่ระหว่าง 2.5-5.0 $m/s^2$ (เกินค่าระดับการสัมผัส)
คะแนนการรับสัมผัสมากกว่า 400	ค่าระดับการรับสัมผัสในแต่ละวันมากกว่า 5.0 $m/s^2$ (เกินค่าจำกัดความปลอดภัย)

### ผลการวิจัย

#### 1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า มีอายุเฉลี่ย 57 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 10.55 ส่วนใหญ่มีอายุมากกว่า 60 ปี จำนวน 37 คน คิดเป็นร้อยละ 39.3 รองลงมา คือ อายุระหว่าง 51-60 ปี จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 33.3 และช่วงอายุน้อยที่สุดคือ 18-30 ปี จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 2.7 น้ำหนักตัวเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 63.6 กิโลกรัม (S.D.= 9.9) ส่วนใหญ่มีน้ำหนักตัว 51-60 กิโลกรัม จำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 34.7 รองลงมา คือ 61-70 กิโลกรัม จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 33.3 และน้อยที่สุดคือ

มากกว่า 91 กิโลกรัมจำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 1.0 กลุ่มตัวอย่างมีการทำงานต่อวันเฉลี่ยคือ 6.4 ชั่วโมง (S.D.= 0.14) มีประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับการทำครกหินเฉลี่ย 29.1 ปี (S.D.=1.65) ดึงนำเสนอในตารางที่ 3

#### 2. ผลการประเมินการรับสัมผัสแรงสั่นสะเทือน

ผลการประเมินการรับสัมผัสแรงสั่นสะเทือนที่มีผลต่อมือและแขนตามมาตรฐาน ISO 5349-2 :2001[8] ของกลุ่มตัวอย่าง 75 คน พบว่า กลุ่มตัวอย่างในตำแหน่งงานเจียร์หิน/แกะสลักหินมีการรับสัมผัสแรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยสูงสุด 8.64  $m/s^2$  รองลงมาคือตำแหน่งงานเจาะหินมีการรับ

แรงสั่นสะเทือนเฉลี่ย  $8.57 \text{ m/s}^2$  และตำแหน่งงานตัดหินมีการรับแรงสั่นสะเทือนเฉลี่ย  $8.11 \text{ m/s}^2$  ดึงนำเสนอในตารางที่ 4 เมื่อนำผลการตรวจวัดมาเปรียบเทียบกับค่าแนะนำค่าแนะนำการเฝ้าระวังอันตรายต่อสุขภาพตาม ISO 5349-2:2001[8] สำหรับระยะเวลาปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง

ต่อวัน พบว่า กลุ่มตัวอย่างจำนวน 75 คน คิดเป็นอัตราความชุกร้อยละ 100 มีการสัมผัสสั่นสะเทือนเกินกว่าค่าขีดจำกัดความปลอดภัยที่แนะนำที่ไม่ให้พนักงานสัมผัสแรงสั่นสะเทือน (มากกว่า  $2.5 \text{ m/s}^2$ )

**ตารางที่ 3** ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

(n=75)

ข้อมูลทั่วไป		จำนวน (%)
อายุ (ปี) ( $\bar{X}$ =5.0 ± SD: 57 ± 10.55)	18-30	2 (2.7)
	31-40	6 (8.0)
	41-50	5 (6.7)
	51-60	25 (33.3)
	>60	37(49.3)
น้ำหนัก (กิโลกรัม) ( $\bar{X}$ ± SD: 63.6 ± 1.15)	<40	0 (0.0)
	40-50	7 (9.3)
	51-60	26 (34.7)
	61-70	25 (33.3)
	71-80	14 (18.7)
	81-90	2 (2.7)
	>91	1 (1.3)
ตำแหน่งงาน	เจาะหิน	27 (36.0)
	ตัดหิน	26 (34.7)
	เจียรหิน/แกะสลักหิน	22 (29.3)
ชั่วโมงทำงานต่อวัน (ชั่วโมง) ( $\bar{X}$ =6.4, S.D.=0.14, Max=8.0, Min=2.0)	<8	53 (70.7)
	8-12	22 (29.3)
	>12	0 (0.0)
อายุงาน (ปี) ( $\bar{X}$ =29.1, S.D.=1.65, Max=50.0, Min=1.0)	<5	5 (6.7)
	5-10	5 (6.7)
	11-15	3 (4.0)
	16-20	18 (24.0)
	>20	44 (58.6)

ตารางที่ 4 ค่าแรงสั่นสะเทือนกลุ่มตัวอย่างรับสัมผัสจำแนกตามตำแหน่งงาน

(n=75)

ตำแหน่งงาน	ค่าเฉลี่ยความสั่นสะเทือน			ค่าเฉลี่ยความเร่ง ของแรงสั่นสะเทือน (m/s <sup>2</sup> )	ค่าเฉลี่ย ระยะเวลาการรับ สัมผัส(ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยความ สั่นสะเทือนที่ ผู้ปฏิบัติงานได้รับใน 1 วัน (8 ชั่วโมง)
	แกน X	แกน Y	แกน Z			
เจาะหิน	5.04	5.00	5.85	9.26	6.89	8.57
ตัดหิน	5.05	4.89	6.05	9.32	6.19	8.11
เจียรหิน/ แกะสลักหิน	5.33	5.23	6.33	9.84	6.23	8.64

### สรุปและอภิปรายผล

จากผลการประเมินการรับสัมผัสแรงสั่นสะเทือนในแรงงานนอกระบบกลุ่มอาชีพการทำครกหินด้วยเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนเฉพาะแขนและมือ (Hand Arm Vibration Meter) เปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนกับข้อกำหนดของ ISO 5349-2 ค่าความเร่งจากแรงสั่นสะเทือนเฉพาะแขนและมือของกลุ่มตัวอย่างทุกคนเกินค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสความสั่นสะเทือนส่งผลกระทบต่ออาการไหล่เวียนเลือดผิดปกติ ก่อให้เกิดอาการชาปลายมือปลายเท้า การทรงตัวผิดปกติ มือการ มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร ปวดกล้ามเนื้อและกระดูกสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุ นินา ชายเกลี้ยง และคณะ (2563)[10] ที่กล่าวไว้ว่าการสัมผัสความสั่นสะเทือนที่มือและแขนของพนักงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์ทำความเย็นมีความเสี่ยงสูงต่อระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อบริเวณรยางค์ส่วนบน อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ สุภาวดี บุญจง พรทิพย์ เย็นใจ และ ปวีณา มีประดิษฐ์ (2560)[11] ที่กล่าวไว้ว่าการประเมินการรับสัมผัสแรงสั่นสะเทือนในพนักงานขับรถติดตั้งตัวดอกเสาเข็มพีระบระบบสั่นสะเทือนส่งผลกระทบต่ออาการปวดหลังส่วนล่าง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ มารุต ตำนันโกธิ และ สรันยา เสงพระพรหม (2560)[12] ที่กล่าวไว้ว่าความชุกของโรคนี้ว่ามี

ขีดขาวเกิดจากการรับสัมผัสความสั่นสะเทือนเฉพาะมือและแขน นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่าค่าความสั่นสะเทือนที่ผู้ปฏิบัติงานทุกคนได้รับใน 1 วัน (8 ชั่วโมง) อยู่ในระดับเกินค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสความสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากความเร่งจากแรงสั่นสะเทือนเฉพาะแขนและมือตามแนวแกน X, Y และ Z ของกลุ่มตัวอย่างทุกคนอยู่ในระดับสูงอีกทั้งกลุ่มตัวอย่างใช้ระยะเวลาการสัมผัสความสั่นสะเทือนจากการทำงานเฉลี่ย 6.4 ชั่วโมงส่งผลให้ค่าความสั่นสะเทือนที่ผู้ปฏิบัติงานทุกคนได้รับใน 1 วัน (8 ชั่วโมง) อยู่ในระดับเกินค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสความสั่นสะเทือนซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Ali Ekrem Aritan (2020)[13] ที่กล่าวไว้ว่าการสัมผัสกับการสั่นสะเทือนของมือและแขนในกลุ่มแรงงานในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ อาจส่งผลให้เกิดโรคจากการสั่นสะเทือนอย่างถาวร เช่น ความผิดปกติทางพฤติกรรม ความบกพร่องทางการมองเห็น โรคกระดูกพรุน ความเจ็บปวด (ส่วนใหญ่อยู่ในมือ ข้อมือ และไหล่) ความผิดปกติของระบบไหลเวียนโลหิต และภาวะทุพโภชนาการความตลอดจนความเสี่ยงด้านสุขภาพในรถชุดของอุตสาหกรรมเหมืองแร่ไม่สามารถลดลงได้อย่างเพียงพอด้วยการใช้ถุงมือป้องกันการสั่นสะเทือนเพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Roya Bayat และ

คณะ (2016) [14] ที่กล่าวว่าการประเมินการสัมผัสการสั่นสะเทือนของแขนและมือส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องในคนงานที่ทำงานในโรงงานตัดหินรวมทั้งการศึกษาของ Mohsen Aliabadi และคณะ (2017)[15] กล่าวว่าผลกระทบต่อสุขภาพและความพิการในการทำงานที่เกิดจากการสัมผัสแรงสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านมือในหมู่คนงานตัดหินจากข้อมูลการวิจัยที่พบว่าแรงงานนอกระบบกลุ่มประกอบอาชีพการทำครกหิน ดังนั้น การค้นพบนี้จะเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับการกำหนดมาตรการป้องกันทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติงานการสัมผัสความสั่นสะเทือน เช่น การจัดหาวัสดุดูดซับความสั่นสะเทือนที่ช่วยลดการรับสัมผัสการสั่นสะเทือนดังเช่นการศึกษาของณัฐพงศ์ ม้าเทศ (2562)[16] ที่พบว่าวัสดุดูดซับสามารถลดระดับความสั่นสะเทือนได้มากที่สุดถึง  $2.05 \text{ m/s}^2$  การใช้วัสดุที่หุ้มด้ามจับส่งผลต่อแรงบีบมือสูงขึ้นและมีผลต่ออาการผิดปกติจากการรับสัมผัสความสั่นสะเทือนลดลง[17] รวมถึงนโยบายและกลยุทธ์ในการลดความเสี่ยงของแรงงานนอกระบบกลุ่มประกอบอาชีพการทำ ครกหิน

#### ข้อเสนอแนะงานวิจัย

1. เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะกลุ่มตัวอย่างแรงงานนอกระบบกลุ่มอาชีพครกหิน ใน การวิจัยครั้งต่อไปอาจจะขยายไปยังกลุ่มอาชีพอื่น ๆ ต่อไป
2. เพิ่มการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสั่นสะเทือนที่มีมือและแขนและความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการได้รับการสั่นสะเทือนซึ่งจะทำให้ นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น

#### กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) เลขที่ 000705/64

#### จริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้ได้รับอนุมัติจริยธรรมในการดำเนินการศึกษาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยมนุษย์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เลขที่ 058/2566 เมื่อวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2566

#### References

- [1] B. Nyantumbu et al., “Hand–arm vibration syndrome in South African gold miners,” *Occupational medicine*, 2007, vol. 57, no. 1, pp. 25-29.
- [2] L. Barregard, L. Ehrenström, and K. Marcus, “Hand-arm vibration syndrome in Swedish car mechanics,” *Occupational and environmental medicine*, 2003, vol. 60, no. 4, pp. 287-294.
- [3] Ministry of Public Health Thailand. *Occupational musculoskeletal disease rate*. [Online]. Available: [https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat\\_id=f16421e617aed29602f9f09d951cce68&id=74b22d3ae96848ef364e6b1a26da8f37](https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat_id=f16421e617aed29602f9f09d951cce68&id=74b22d3ae96848ef364e6b1a26da8f37)
- [4] N. Nantakul, “*Helth impact from stone mortar making of people at Ban Rai Sila Tong, Tambon Pichai, Amphoe Mueang Lampang*,” 2009. [Online]. Available: <http://search.lib.cmu.ac.th/search/?searchtype=&searcharg=b1466483http://cmuir.cmu.ac.th/handle/6653943832/13986>



- [5] Ministry of Public Health Thailand. *Occupational musculoskeletal disease rate in Lampang Province*. [Online]. Available: [https://lpg.hdc.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat\\_id=f16421e617aed29602f9f09d951cce68&id=74b22d3ae96848ef364e6b1a26da8f37](https://lpg.hdc.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat_id=f16421e617aed29602f9f09d951cce68&id=74b22d3ae96848ef364e6b1a26da8f37)
- [6] M. Futatsuka, M. Shono, H. Sakakibara, and P. Quoc Quan, "Hand arm vibration syndrome among quarry workers in Vietnam," *Journal of occupational health*, 2005, vol. 47, no. 2, pp. 165-170, doi: <https://doi.org/10.1539/joh.47.165>.
- [7] R. J. Rovinelli and R. K. Hambleton, "On the Use of Content Specialists in the Assessment of Criterion-Referenced Test Item Validity," 1976.
- [8] *ISO-5349-2 Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration* 2001.
- [9] EUROMOT aisbl, *Guideline for Employers Hand-Arm- Vibrations* 2011. [Online]. Available: <https://www.euromot.eu/wp-content/uploads/2023/12/EUROMOT-Guideline-on-Arm-Hand-Vibrations.pdf>
- [10] K. Arjkaew, V. Pruktharathikul, and S. Chaiklieng, "Prevalence of Hearing Loss and Noise Exposure among Workers in Air Conditioning and Refrigeration Components Manufacturing," *The Public Health Journal of Burapha University*, 2020, pp. 1-13.
- [11] S. Bunchong, P. Yenjai, and P. Meepradit, "The Assessment of vibration exposure and low back pain among vibratory hammer pile drivers in the bank protection dam construction, Phranakhon Si Ayutthaya province," *Safety and Environment Review*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 1-7.
- [12] M. TamnakBodhi and S. Hengphraphrom, "Group of abnormal symptoms in the hands and arms from vibrations of public motorcycle riders in Bangkok," *Chulalongkorn Medical Journal*, 2018, vol. 62, no. 6, pp. 1001-1012.
- [13] A. E. Aritan, "Investigation of Correlation of Excavator Operators' Hand-Arm Vibration Exposure with Produced Rock Physical-Mechanical Properties in Natural Stone Quarries," *Mining, Metallurgy & Exploration*, 2020, vol. 37, no. 1, pp. 231-238.
- [14] R. Bayat, M. Aliabadi, R. Golmohamadi, and M. Shafiee Motlagh, "Assessment of exposure to hand-arm vibration and its related health effects in workers employed in stone cutting workshops of Hamadan city," (in eng), *Journal of Occupational Hygiene Engineering Research Article*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 25-32, doi: [10.21859/johe-03014](https://doi.org/10.21859/johe-03014).

- [15] M. Aliabadi, R. Bayat, R. Golmohammadi, M. Farhadian, and S. M. E. Taghavi, "Health effects and work disability caused by exposure to hand-transmitted vibration among stone cutting workers," *Acoustics Australia*, 2017, vol. 45, pp. 471-482.
- [16] N. Mated, "A Comparison of Performance of Vibration Absorbed Materials in Car repair shops mueang phayao district, Phayao province," *Safety & Environment Review*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 38-42.
- [17] P. Thampitak, "The effectiveness of insulated handle for reducing hand risk among tamping machine operators for soil leveling work in construction industry," *Faculty of Public Health*, Burapha University, 2018.

## โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายคะแนนความเสี่ยงของโรคซึลิโคซิส ของช่างแกะสลักหินในจังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย

รัฐพงษ์ ไชยเดช<sup>1</sup>, อารุณ เกตุสาคร<sup>2\*</sup>

<sup>1, 2</sup>คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th<sup>2</sup>

Received: Feb 20, 2024

Revised: Mar 11, 2024

Accepted: Apr 9, 2024

### บทคัดย่อ

การรับสมัครผู้ปฏิบัติงานในที่ทำงานเพิ่มความเสี่ยงการเกิดโรคซึลิโคซิสต่อช่างแกะสลักหิน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลและสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสมัครผู้ปฏิบัติงานของช่างแกะสลักหิน 243 คน ที่สัมผัสกับฝุ่นซิลิกาในที่ทำงานตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงตุลาคม 2566 ที่จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย ทำการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างมีนัยสำคัญกับคะแนนความเสี่ยงของโรคซึลิโคซิสและสร้างโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายคะแนนความเสี่ยงของซึลิโคซิส ผลการวิจัยพบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพล 4 ตัว ได้แก่ ความเข้มข้นฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงาน (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน (ชั่วโมง) การมีโรคประจำตัว และการมีที่พักอาศัยแยกจากที่ทำงาน สามารถสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้าง 4-3-2-1 ประกอบด้วยตัวแปรนำเข้า 4 ตัว โหนดชั้นซ่อน 3 และ 2 โหนด ตัวแปรนำออก 1 ตัว โมเมนตัม 0.05 อัตราการเรียนรู้ 0.5 และเวลาการเรียนรู้ 100,000 รอบ มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งมีผลรวมของค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับร้อยละ 4.58 มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยกว่าร้อยละ 10 ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความแม่นยำและสามารถใช้ทำนายคะแนนความเสี่ยงของซึลิโคซิสในแต่ละบุคคลเพื่อวางแผนการแก้ปัญหาตามปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคะแนนความเสี่ยงของซึลิโคซิสก่อนเริ่มทำงาน แนะนำทำการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงแบบจำลองโดยการวิจัยกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่

**คำสำคัญ :** คะแนนความเสี่ยงโรคซึลิโคซิส, ช่างแกะสลักหิน, โครงข่ายประสาทเทียม

## Artificial Neural Network for Predicting Silicosis Risk Scores among Stone Carvers in Nakhon Ratchasima, Thailand

Ratchapong Chaiyadej<sup>1</sup> Arroon Ketsakorn<sup>2\*</sup>

<sup>1, 2</sup>Faculty of Public Health, Thammasat University

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th<sup>2</sup>

Received: Feb 20, 2024

Revised: Mar 11, 2024

Accepted: Apr 9, 2024

### Abstract

Working in an environment contaminated with silica dust is increasing the risk for the development silicosis for stone carvers in Nakhon Ratchasima province, Thailand. This study aimed to develop an Artificial Neural Network (ANN) model to predict silicosis risk scores among 243 stone carvers who exposed to silica at work from August and October 2023 in Nakhon Ratchasima, Thailand. Regression analysis was performed in order to find the factors significantly associated with silicosis risk scores. Only 4 influenced variables were tested by using regression analysis. Regression analysis and ANN were run to predict silicosis risk scores from 4 influential variables. These influential variables included the concentration of silica dust exposure ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), working hours per day (hour), congenital disorder, and separation of residence from a workplace. ANN model was constructed as 4-3-2-1 by comprising of 4 input variables, 3 and 2 hidden nodes, 1 output variable, momentum was 0.05, learning rate was 0.5, and learning time was 100,000 epochs. The findings showed that the least error with the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) was 4.58. Predictive accuracy was assessed by MAPE value. ANN model showed the least value of MAPE when comparing an error value of less than 10%. Therefore, the ANN model is accurate and valid for silicosis risk scores prediction in individuals in order to plan for solving problems according to the factors influencing the silicosis risk scores before starting to work. Further research is recommended to improve to model by large-sample-size research.

**Keywords :** Silicosis risk scores, Stone Carvers, Artificial Neural Network

## บทนำ

โรคซิลิโคซิส (Silicosis) เป็นโรคระบบทางเดินหายใจที่เกิดจากการสะสมของฝุ่นซิลิกาในเนื้อเยื่อปอดทำให้เนื้อเยื่อปอดอักเสบและลดประสิทธิภาพการทำงานของถุงลมปอด[1] ในปี พ.ศ. 2533 พบผู้ป่วยโรคซิลิโคซิสใน 204 ประเทศทั่วโลกมากกว่า 84,821 คน[2] องค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การแรงงานระหว่างประเทศ (ILO) ได้ออกประกาศนโยบายระดับนานาชาติให้ทั่วโลกดำเนินการควบคุมและป้องกันอันตรายให้กับผู้ประกอบการอาชีพที่มีการสัมผัสฝุ่นซิลิกาเป็นประจำ เช่น คนงานเหมือง ช่างแกะสลักหิน เป็นต้น โดยมีเป้าหมายเพื่อขจัดผู้ป่วยโรคซิลิโคซิสรายใหม่ภายในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งมี 22 ประเทศรวมทั้งประเทศไทยประกาศเข้าร่วมนโยบายดังกล่าว[3] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานได้กำหนดขีดจำกัดความเข้มข้นการสัมผัสฝุ่นซิลิกาตลอดระยะเวลาการทำงานปกติเฉลี่ยต้องไม่เกิน 0.025 mg/m<sup>3</sup>[4] อีกทั้งโรคที่มีสาเหตุมาจากฝุ่นซิลิกาจัดเป็นโรคจากการประกอบอาชีพตามพระราชบัญญัติควบคุมโรคจากการประกอบอาชีพและโรคจากสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2562

สถานการณ์โรคซิลิโคซิสในประเทศไทยพบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 จนถึง พ.ศ. 2565 มีผู้ป่วยโรคซิลิโคซิสสะสม 1,779 คน[5] ซึ่งจังหวัดนครราชสีมามีจำนวนผู้ป่วยสะสมสูงสุด โดยมีจำนวนผู้ป่วยสะสม 538 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 30 ของจำนวนผู้ป่วยสะสมในประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากจังหวัดนครราชสีมาเป็นแหล่งแร่หินทรายที่มีคุณสมบัติคงทนต่อการผุพัง จึงทำให้เกิดอาชีพในการนำวัตถุดิบหินที่มีอยู่ในพื้นที่มาตัดแต่งหรือแกะสลักเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ เช่น หินประดับผนังอาคาร พระพุทธรูป เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ไม่ได้มีระบบป้องกันควบคุมฝุ่นซิลิกาที่เหมาะสม

ระบบการเฝ้าระวังคัดกรองโรคซิลิโคซิสใน

ปัจจุบันใช้การประเมินจากประวัติการทำงาน พฤติกรรมสุขภาพ และอาการที่เกี่ยวข้องโรคซิลิโคซิสด้วยแบบสอบถาม ซึ่งต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมินและระบุความเสี่ยง [6] โดยไม่สามารถที่จะประเมินและทำนายเป็นระดับความเสี่ยงได้ อีกทั้งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีหลายผลการศึกษารายงานที่ระบุว่าการตรวจสุขภาพเทียบสามารถนำมาใช้ทำนายค่าตัวแปรได้อย่างแม่นยำ[7-10] ตัวอย่างเช่น การนำเครื่องตรวจสุขภาพเทียบมาทำนายพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากฝุ่นละอองของพนักงานในโรงโม่หิน[9]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับความเสี่ยงทางสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่นซิลิกา และสร้างเครื่องช่วยประสาทเทียบในการทำนายความเสี่ยงจากการสัมผัสฝุ่นซิลิกาของช่างแกะสลักหิน เพื่อเป็นเครื่องมือในการเฝ้าระวังคัดกรองโรคซิลิโคซิส ที่สามารถแสดงระดับความเสี่ยง สร้างการรับรู้ตระหนักถึงความเสี่ยงทางสุขภาพให้กับช่างแกะสลักหินได้อย่างรวดเร็วและเป็นข้อมูลให้กับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ในการวางแผน ออกมาตรการเฝ้าระวัง ป้องกัน และควบคุมโรคซิลิโคซิส

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงจากการสัมผัสฝุ่นซิลิกา
2. เพื่อสร้างเครื่องช่วยประสาทเทียบในการทำนายความเสี่ยงจากการสัมผัสฝุ่นซิลิกา

## ระเบียบวิธีวิจัย

### 1. รูปแบบการศึกษาและพื้นที่ศึกษา

ศึกษาแบบภาคตัดขวาง (Cross – Sectional Study) ระหว่างเดือนสิงหาคม – ตุลาคม พ.ศ. 2566 ในช่างแกะสลักหินที่มีอายุระหว่าง 18 ถึง 60 ปี และมีประสบการณ์ทำงานแกะสลักหินไม่

น้อยกว่า 1 ปี จำนวน 310 คน ใน 5 กระบวนการทำงาน ได้แก่ 1) ขุดหิน (ลงบ่อหิน) 2) ตัดหิน 3) ผ่าหิน 4) ตอกหิน 5) แกะสลักหิน ณ สถานที่ประกอบอาชีพแกะสลักหิน ในพื้นที่ตำบลหนองน้ำใส ตำบลคลองไผ่ และตำบลคลองตะแบก อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 82 แห่ง แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) บ่อหิน จำนวน 13 แห่ง 2) โรงเรือนหรือแท่นหิน จำนวน 60 แห่ง 3) ลานแกะสลักหิน จำนวน 9 แห่ง

## 2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กำหนดกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นและเลือกสุ่มตัวอย่างตามสัดส่วนแต่ละพื้นที่แบบเจาะจง โดยสุ่มเลือกกลุ่มตัวอย่าง 243 คน จากจำนวนช่างแกะสลักหินในอำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ทั้งหมด 310 คน ซึ่งได้มาจากการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างดังสมการที่ 1

$$n = \frac{x^2 N p (1-p)}{e^2 (N-1) + x^2 p (1-p)} \quad (1)$$

เมื่อ  $n$  = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

$N$  = ขนาดของประชากร = 310 คน

$e$  = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่ม

ตัวอย่างที่ยอมรับได้ = 0.05

$x$  = ค่าไคสแควร์ที่

df เท่ากับ 1

ระดับความเชื่อมั่น 95% = 3.841

$p$  = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร = 0.254

## 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ข้อมูลทั่วไป ข้อมูลการทำงาน ข้อมูลสุขภาพเบื้องต้น และข้อมูลพฤติกรรมสุขภาพ

เก็บรวบรวมโดยการสัมภาษณ์ตามข้อคำถามในแบบสัมภาษณ์ช่างแกะสลักหิน ด้วยแบบสัมภาษณ์ปัจจัยในการเฝ้าระวังป้องกันโรคซิลิโค

ซิสที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พิจารณาความสอดคล้องก่อนนำไปเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้อง (IOC) แต่ละข้อคำถามอยู่ระหว่าง 0.70-1.00

3.2 ข้อมูลความรู้ เจตคติ และการปฏิบัติในการเฝ้าระวังควบคุมป้องกันโรคซิลิโคซิส

เก็บรวบรวมโดยการสัมภาษณ์ตามข้อคำถามในแบบประเมินข้อมูลความรู้ เจตคติ และการปฏิบัติในการเฝ้าระวังควบคุมป้องกันโรคซิลิโคซิสที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาตามวิธีของครอนบาค (Cronbarch's alpha coefficient) เท่ากับ 0.880

3.3 ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงาน

เก็บตัวอย่างฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงานตามมาตรฐาน NIOSH Method No. 7601 ด้วยปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล (UNIVERSAL PCXR8, SKC, Inc., USA) พร้อมไซโคลนและตัวกรอง (ไซโคลน 10 mm., ไนลอน+MCE ขนาดรูพรุน 0.8  $\mu$ m) โดยปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลได้รับการสอบเทียบและตั้งค่าอัตราการไหลที่ 1.7 ลิตร/นาที และวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นซิลิกาด้วยวิธีการสเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry)[11]

3.4 ข้อมูลปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

ประเมินปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกาของกลุ่มตัวอย่างในสถานที่ทำงานเฉลี่ยรายวัน (ADD) ตามวิธีการของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ (United States Environmental Protection Agency : US-EPA) [12] ดังสมการที่ 2

$$ADD = \frac{(C_{air} \times InhR \times ET \times EF \times ED)}{(BW \times AT)} \quad (2)$$

เมื่อ  $ADD$  = ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นซิลิกาที่ได้รับในแต่ละวัน (mg/kg-day)

$C_{air}$  = ความเข้มข้นฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงาน (mg/m<sup>3</sup>)

$InhR$  = อัตราการหายใจ (m<sup>3</sup>/hour)

$ET$  = ระยะเวลาการรับสัมผัส (hours/day)

$EF$  = ความถี่การรับสัมผัส (วัน/ปี)

$ED$  = จำนวนปีที่รับสัมผัส (ปี)

$BW$  = น้ำหนักร่างกาย (kg)

$AT$  = ระยะเวลาเฉลี่ยต่อปี (วัน)

### 3.5 ข้อมูลความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

ประเมินค่าคะแนนความเสี่ยงทางสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกาตามวิธีการ มอก. 2535-2555 [13]

### 4. วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป ข้อมูลการทำงาน ข้อมูลสุขภาพเบื้องต้น ข้อมูลพฤติกรรมสุขภาพ ข้อมูลความรู้ ทักษะ และ การปฏิบัติในการเฝ้าระวังป้องกันโรคซิลิโคซิสโดยการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

### 5. การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองระบบการประมวลผลข้อมูลของสมองมนุษย์ซึ่งสามารถใช้ในการทำนายค่าตัวแปรได้ โดยมีวิธีการประมวลผลดังสมการที่ 3 และมีการส่งออกข้อมูลผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) ดังสมการที่ 4

$$X = A_1W_1 + A_2W_2 + \dots + A_nW_n + W_0 \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 - e^x} \quad (4)$$

เมื่อ  $X$  = ค่าจากการประมวลผลในแต่ละโหนด (Node)

$A_n$  = ค่าข้อมูลนำเข้า (Input)

$W_n$  = ค่าน้ำหนักในแต่ละโหนด (Weights)

$W_0$  = ค่า Threshold

ทั้งนี้ต้องทำการสุ่มแบ่งข้อมูลป้อนเข้า (Input) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Train set) ร้อยละ 70 ของกลุ่มตัวอย่าง ชุดข้อมูลทดสอบ (Test set) ร้อยละ 30 ของกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำชุดข้อมูลเรียนรู้มาดำเนินการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายด้วยโปรแกรม Waikato Environment for Knowledge Analysis หรือ WEKA version 3.9 ซึ่งกำหนดค่าโครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบให้มีชั้นซ่อน (Hidden layers) จำนวน 2 ชั้น (Layer) โดยปรับค่าโหนด (Node) แต่ละชั้น ตั้งแต่ 1 ไปจนถึง 10 ปรับค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) ตั้งแต่ 0.05 - 0.5 กำหนดค่าโมเมนตัม (Momentum) เท่า 0.05 และกำหนดเวลาในการเรียนรู้ (Learning time) เท่ากับ 100,000 รอบ เพื่อค้นหาโครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

### 6. การทดสอบความคลาดเคลื่อนในการทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

ทดสอบคะแนนความเสี่ยงจากการทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (ค่าทำนาย) กับค่าคะแนนความเสี่ยงจริง (ค่าจริง) ด้วยชุดข้อมูลทดสอบและคำนวณหาค่าผลรวมของค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error : MAPE) ดังสมการที่ 5

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ  $A_t$  = ค่าคะแนนความเสี่ยง (ค่าจริง)

$F_t$  = ค่าคะแนนความเสี่ยง (ค่าทำนาย)

$n$  = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคะแนน

ความเสี่ยง พบว่า มี 4 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยความ

เข้มข้นฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงาน ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน (ชั่วโมง) การมีโรค

ประจำตัว และการมีที่พักอาศัยแยกจากที่ทำงาน

ดังตารางที่ 1

### ผลการวิจัย

#### 1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคะแนนความเสี่ยง

ปัจจัย	Unstandardized Co-		t	p-value*
	B	Std.Error		
ค่าคงที่	9.481	1.771	5.353	<0.001
ความเข้มข้นฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงาน ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ): $X_1$	317.267	25.308	12.536	<0.001
จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน (ชั่วโมง): $X_2$	0.712	0.141	5.035	<0.001
การมีโรคประจำตัว: $X_3$	-2.863	8.220	-3.485	0.001
การมีที่พักอาศัยแยกจากที่ทำงาน: $X_4$	1.374	0.478	2.875	0.005
R=0.822 R <sup>2</sup> =0.675 Std.Error=2.442 F=53.521 p-value=0.000				

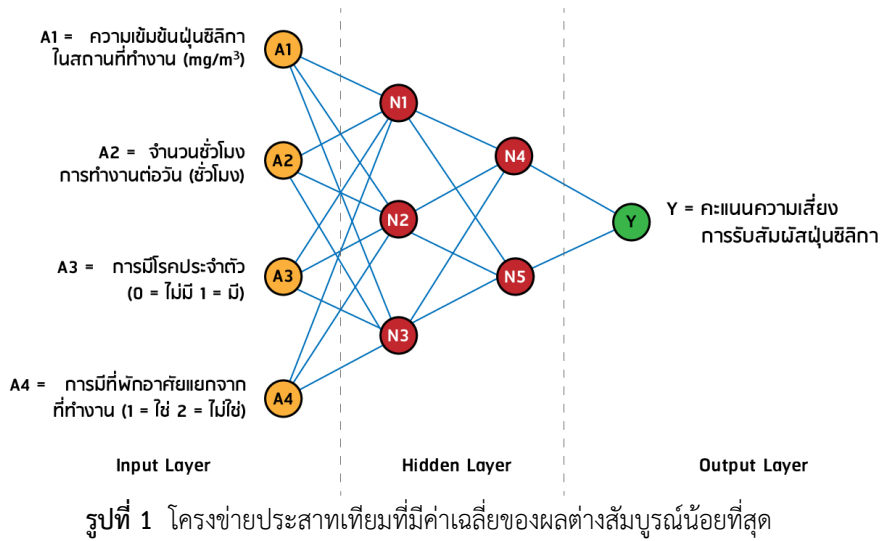
จากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา (n=243)

\* p-value <0.05

#### 2. โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

ผลการนำชุดข้อมูลเรียนรู้ของ 4 ปัจจัยอิทธิพลต่อความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา มาสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา พบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่มีสถาปัตยกรรม 4-3-2-1 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลต่างสัมบูรณ์ในการทำนายน้อยที่สุด ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรนำเข้า 4 ตัว โหนดชั้นซ่อนชั้นที่ 1 และ 2 เท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ โดยมีตัวแปรนำออก 1 ตัว โมเมนตัมเท่ากับ 0.05 อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.5 และเวลาในการเรียนรู้เท่ากับ 100,000 รอบ แสดงดังรูปที่ 1





โครงข่ายประสาทเทียมมีการปรับค่าน้ำหนักในแต่ละโหนดเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำที่สุด การทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา พบว่า ชั้นนำเข้ามีทั้งหมด 4 โหนด โดยแต่ละโหนดมีค่าน้ำหนักดังตารางที่ 2 ในส่วนชั้นซ่อนชั้น 1 และ 2 มี 3 และ 2 โหนดตามลำดับ โดยมีค่าน้ำหนักแต่ละโหนดดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ค่าน้ำหนักในชั้นนำเข้า (Input layer)

Input Node	ค่าน้ำหนัก (Weights)		
	Node 1	Node 2	Node 3
A1	-15.20	-36.45	2.61
A2	-0.10	-5.86	-44.66
A3	-0.01	0.03	0.16
A4	0.01	0.03	1.32
Threshold	-9.28	-5.96	6.50

ตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักในชั้นซ่อน (Hidden layer) ชั้นที่ 1

Node	ค่าน้ำหนัก (Weights)	
	Node 4	Node 5
N1	-16.95	-5.04
N2	5.81	-3.14
N3	1.98	-2.09
Threshold	-6.53	2.96

ตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักในชั้นซ่อน (Hidden layer) ชั้นที่ 2

Node	ค่าน้ำหนัก (Weights)	
	Y	
N4	1.68	
N5	2.12	
Threshold	-1.01	

### 3. ความคลาดเคลื่อนในการทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

ผลการนำชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 73 ชุดข้อมูล มาทำการทดสอบคะแนนความเสี่ยง จากการทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าคะแนนความเสี่ยงจริง พบว่า โครงข่ายประสาทเทียมมีผลรวมของค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับร้อยละ 4.58 ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การทดสอบความคลาดเคลื่อนในการทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

ลำดับ	ตัวแปร				คะแนนความเสี่ยง (ค่าทำนายจาก ANN: 4-3-2-1)	คะแนนความ เสี่ยง (ค่าจริง)	MAPE
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>			
1	0.02	8.00	1.00	2.00	11.44	20.00	0.18
2	0.03	8.00	1.00	2.00	21.08	25.00	0.06
3	0.03	5.00	0.00	2.00	21.21	20.00	0.02
4	0.02	8.00	0.00	2.00	11.42	20.00	0.18
5	0.03	8.00	1.00	2.00	21.21	25.00	0.06
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
72	0.05	7.00	0.00	1.00	21.43	20.00	0.03
73	0.05	6.00	1.00	1.00	21.25	20.00	0.03
<b>รวม</b>							<b>4.58</b>

#### สรุปและอภิปรายผล

ความเข้มข้นฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงาน (mg/m<sup>3</sup>) จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน (ชั่วโมง) การมีโรคประจำตัว และการมีที่พกอาศัยแยกจากที่ทำงานสามารถนำมาสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคะแนนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา

ความเข้มข้นฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงาน (mg/m<sup>3</sup>) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกาสอดคล้องกับหลายผล

การศึกษา[2, 14-18] เช่น ผู้ปฏิบัติงานที่รับสัมผัสฝุ่นซิลิกามากกว่า 1.0 mg/m<sup>3</sup> ต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 10 ปี จะมีความเสี่ยงในการเกิดโรคซิลิโคซิสมากกว่า 30 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ปฏิบัติงานที่รับสัมผัสฝุ่นซิลิกาน้อยกว่า 0.1 mg/m<sup>3</sup> ในเวลาน้อยกว่า 5 ปี[19] และยังมีผลงานวิจัยที่พบว่าการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกามากกว่า 3 mg/m<sup>3</sup> ต่อปีมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงของการเสียชีวิตเนื่องจากโรคซิลิโคซิส[20] อีกทั้งมีผลการศึกษาวิจัยที่รายงานว่าจำนวนชั่วโมงการทำงาน

ต่อวัน (ชั่วโมง) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา เช่น คนงานแกะสลักหินในประเทศจีนที่ทำงานมากกว่า 60 ชั่วโมงต่อสัปดาห์มีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่าในการเกิดโรคซิลิโอดฝุ่นหินทราย เมื่อเทียบกับคนที่ทำงานน้อยกว่า 50 ชั่วโมงต่อสัปดาห์[21] ซึ่งทั้งปัจจัยความเข้มข้นฝุ่นซิลิกาในสถานที่ทำงานกับระยะเวลาในการทำงานมีความสอดคล้องตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานที่กำหนดให้มีขีดจำกัดความเข้มข้นการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกาตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง เฉลี่ยต้องไม่เกิน  $0.025 \text{ mg/m}^3$ [4] ทั้งนี้จากผลการศึกษาพบว่าการมีโรคประจำตัวมีอิทธิพลเชิงลบต่อความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา อันเนื่องมาจากผู้ที่มิโรคประจำตัวจะมีพฤติกรรมสุขภาพในการป้องกันโรคที่มากกว่าคนปกติ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่พบว่าผู้ที่ป่วยเป็นวัณโรคจะมีความเสี่ยงที่จะป่วยด้วยโรคซิลิโคซิสต่ำกว่าผู้ที่ไม่ได้ป่วยเป็นวัณโรคกว่าร้อยละ 30[22] นอกจากนี้ การมีที่พักอาศัยแยกจากที่ทำงานมีอิทธิพลเชิงบวกต่อความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกา มีความสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าความเสี่ยงของการเกิดโรคซิลิโคซิสจะลดลงตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้นระหว่างสถานที่ทำงานกับที่พักอาศัย โดยผู้ปฏิบัติงานที่ที่พักอาศัยอยู่ภายในรัศมี 1 กิโลเมตรจากสถานที่ทำงานจะมีความเสี่ยงเกิดโรคซิลิโคซิสมากกว่าร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับผู้ที่อาศัยอยู่ห่างออกไปมากกว่า 5 กิโลเมตร[23]

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีสถาปัตยกรรม 4-3-2-1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยมีผลรวมของค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับร้อยละ 4.58 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาวิจัยการทำนายพฤติกรรม การป้องกันอันตรายจากฝุ่นละอองของพนักงานในโรงโม่หิน[9] โดยเมื่อ

เปรียบเทียบค่าตามเกณฑ์ของ Lewis (1982) พบว่าค่า MAPE น้อยกว่าร้อยละ 10 มีค่าความแม่นยำในการทำนายอยู่ในระดับดีมาก[24] ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทำนายความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิกาแม่นยำ

### กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ (สสส.) เลขที่ 000705/64

### จริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้ได้รับอนุมัติจริยธรรมในการดำเนินการศึกษาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยมนุษย์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เลขที่ 061/2566 เมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566

### References

- [1] *The International Agency for Research on Cancer, Silica summary of data reported and evaluation.* [Online]. Available: [https://publications.iarc.fr/\\_publications/media/download/2931/d7a4e802483b1374482768a36a7c78e1b33aa1c8.pdf](https://publications.iarc.fr/_publications/media/download/2931/d7a4e802483b1374482768a36a7c78e1b33aa1c8.pdf)
- [2] X. Liu, Q. Jiang, P. Wu, L. Han, and P. Zhou, "Global incidence, prevalence and disease burden of silicosis: 30 years overview and forecasted trends," *BMC Public Health*, 2023, vol. 23, no. 1, p. 1366.

- [3] International Labour Organization. "Global programme for the elimination of silicosis (GPES)". [Online]. Available: [https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/area-sofwork/occupational-health/WCMS\\_108566/lang--en/index.htm](https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/area-sofwork/occupational-health/WCMS_108566/lang--en/index.htm)
- [4] Department of Labour Protection and Welfare Thailand, "Announcement from the department of labor protection and welfare concerning the limits of concentration of hazardous chemicals." [Online]. Available: <http://cste.sut.ac.th/csteshe/wp-content/lews/Law28.pdf>
- [5] Ministry of Public Health Thailand. "Incidence rate of silicosis database." [Online]. Available: [https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat\\_id=f16421e617aed29602f9f09d951cce68&id=39b969f3d3eac09dd372c2258dc6c232](https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?cat_id=f16421e617aed29602f9f09d951cce68&id=39b969f3d3eac09dd372c2258dc6c232)
- [6] Ministry of Public Health Thailand. "Guidelines for surveillance, prevention, and control of stone dust lung disease (Silicosis)". [Online]. Available: <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1114120210225043320.pdf>
- [7] J.W. Baek and K. Chung, "Context deep neural network model for predicting depression risk using multiple regression," *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 18171-18181.
- [8] H. Maleki, A. Sorooshian, G. Goudarzi, Z. Baboli, Y. Tahmasebi Birgani, and M. Rahmati, "Air pollution prediction by using an artificial neural network model," *CLEAN TECHNOL ENVIR*, 2019, vol. 21, pp. 1341-1352.
- [9] K. Samana, "Integrated the stepwise multiple regression analysis and back propagation artificial neural network for predicting the preventive behaviors toward dust exposure among stone-crushing mill workers," Thammasat University, 2018.
- [10] W. Jonburom and N. Angkawisittpan, "Development of a prediction model of wind signal using artificial neural networks," Mahasarakham University, 2022.
- [11] National Institute for Occupational Safety and Health. "NIOSH manual of analytical methods," no. 7601.
- [12] United States Environmental Protection Agency, Exposure assessment tools by routes - inhalation. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>
- [13] Ministry of Industry Thailand. *Thai industrial standard, no. 2535-2555*, [Online]. Available: <http://www.hasla.or.th/LinkClick.aspx?fileticket=4f%2Fk82%2BYlTE%3D&tabid=195&mid=528>
- [14] A. M. N. L, S. Safwat, "Prediction of silicosis in iron and steel workers using artificial intelligence," *J. Southwest Jiaotong Univ.*, 2023. vol. 58, no. 2.

- [15] N. Nasirzadeh, Z. Soltanpour, Y. Mohammadian, and F. Mohammadian, "Risk Assessment of Silicosis and Lung Cancer Mortality associated with Occupational Exposure to Crystalline Silica in Iran," *J Res Health Sci*, vol. 22, no. 2, 2022, p. e00550.
- [16] J. E. Myers and M. L. Thompson, "Statistical modelling to predict silicosis risk in deceased southern african gold miners without medical evaluation," *S. Afr. J. Sci.*, vol. 118, no. 7-8, 2022, pp. 1-6.
- [17] Eakkarin L., "Factors affecting of silicosis among stone grinding mill workers in chonburi province," *Dis Control J.*, vol. 48, no. 2, 2022, pp. 415-427.
- [18] H. Quan et al., "Risk Factors of Silicosis Progression: A Retrospective Cohort Study in China," *Front Med (Lausanne)*, vol. 9, 2022, p. 832052.
- [19] D. Hochman, A. Patel, and A. Ajao, "Silicosis among construction workers: a systematic review and meta-analysis," *Am. J. Ind. Med.*, vol. 61, no.12, 2018, pp. 1035-1049.
- [20] U. Hedlund, H. Jonsson, K. Eriksson, and B. Jarvholm, "Exposure-response of silicosis mortality in Swedish iron ore miners," (in eng), *Ann Occup Hyg*, vol. 52, no. 1, 2008, pp. 3-7.
- [21] W. Chen et al., "Long-term exposure to silica dust and risk of total and cause-specific mortality in Chinese workers: a cohort study," (in eng), *PLoS Med*, vol. 9, no. 4, 2012, p. e1001206,
- [22] A. Yarahmadi et al., "Correlation between Silica Exposure and Risk of Tuberculosis in Lorestan Province of Iran," (in eng), *Tanaffos*, vol. 12, no. 2, 2013, pp. 34-40.
- [23] J. LaDou, S. Lovelace, and D. L. MacIntosh, "Silicosis: an old disease with a new face," *Occup Environ Med*, vol. 70, no.4, 2013.
- [24] C. Lewis, "International and Business Forecasting Methods Butterworths: London," 1982.

## เรื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์

### เพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจชุมชน

ชาญฉจิต วรรณนุรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

Email: chanchajit.w@dru.ac.th

Received: May 24, 2024

Revised: Jun 17, 2024

Accepted: Jul 08, 2024

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยเปรียบเทียบร้อยละความชื้นและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์กับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองคือกล้วยน้ำว้า

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีรังสีรวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียงเฉลี่ยอยู่ที่ 633.06 วัตต์/ตารางเมตร ประสิทธิภาพแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขณะใด ๆ อยู่ระหว่างร้อยละ 18.18 – 47.75 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์สูง และป้องกันความร้อนสูญเสียได้ดี ประสิทธิภาพของแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้นได้ร้อยละ 99 ผลการเปรียบเทียบค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งกล้วยน้ำว้าระยะเวลาการทดลองนาน 1 วัน และ 5 วัน คิดตามมาตรฐานอาหารเปียกพบว่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยของกล้วยน้ำว้าจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถลดความชื้นได้ดีกว่ากล้วยน้ำว้าจากตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 58.22, 56.02, 55.64 และ ร้อยละ 74.29, 72.99, 71.94 ตามลำดับ ค่าน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้งจำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 5 วัน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถลดน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าได้มากที่สุดทั้งจากตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ โดยน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าลดลงเฉลี่ยเหลือ 0.35 กิโลกรัม, 0.37 กิโลกรัม และ 0.39 กิโลกรัม ตามลำดับและเมื่อมีกำลังการผลิตที่ 20 กิโลกรัม/ครั้ง จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 9 วัน มีรายรับสุทธิ 52,459.68 ต่อปี

**คำสำคัญ :** การอบแห้ง, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, พลังงานแสงอาทิตย์, ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

## **Solar Collector Dryers to Increase Economic Value in the Community**

**Chanchajit Wannurak**

Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University

Email: chanchajit.w@dru.ac.th

Received: May 24, 2024

Revised: Jun 17, 2024

Accepted: Jul 08, 2024

### **Abstract**

The objective of this research is to develop, build and determine the efficiency of the Solar Collector dryer by comparing the percentage of moisture and weight of the products obtained from the Solar Collector dryer with the solar drying cabinet and drying by natural method The product used in the experiment was Nam-wa banana.

From the experimental results It can be concluded that the Solar Collector's solar dryer has an average hourly radiation that hits perpendicularly on an inclined plane at  $633.06 \text{ W/m}^2$ . The efficiency of the solar collector panel at any time is between 18.18 - 47.75 %. The solar collector has transmits high solar radiation absorption values and prevents heat loss well. The efficiency of the solar collector panels that were created was 99%. The results of comparing the moisture percentage of the products from drying Nam-wa bananas, tested for 1 day and 5 days, calculated according to wet food standards, found that the average moisture percentage of Nam-wa bananas from The Solar Collector solar dryer can reduce humidity better than Nam-wa bananas from solar drying cabinets and from natural drying methods. Represented as 58.22, 56.02, 55.64 and 74.29, 72.99, 71.94 percent, respectively. The weight of Nam-wa bananas from drying 5 times, 5 days each time. The Solar Collector dryer was able to reduce the weight of Nam-wa bananas the most. From solar drying cabinets and from natural drying methods. The weight of Nam-wa bananas decreased on average to 0.35 kg, 0.37 kg and 0.39 kg, respectively and when there is a production capacity of 20 kg/time Will be able to payback the investment with in approximately 9 days, with a net income of 52,459.68 per year.

**Keywords :** Drying, Solar Collector, Solar energy, Solar Drying Cabinet

### บทนำ

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่มีรายได้จากการขายพืชผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งเป็นผลผลิตตามฤดูกาลที่มีจำนวนมากและมักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับการจำหน่ายไม่หมด ส่งผลให้ผลผลิตเกิดการเน่าเสียและมีราคาตกต่ำ สิ่งหนึ่งที่สำคัญในการที่จะเก็บผลผลิตไว้ให้นานก็คือการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งวิธีการถนอมอาหารช่วยให้สามารถเก็บผลผลิตไว้บริโภคได้เป็นเวลานาน[1] โดยที่ผลผลิตนั้นไม่สูญเสียคุณภาพ

วิธีการอบแห้งหรือการตากแห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นวิธีการหนึ่งในการถนอมอาหาร มีความสะดวก ประหยัด ดังนั้นการอบแห้งจึงเป็นกระบวนการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสียและยืดระยะเวลาการเก็บรักษาได้นานขึ้นโดยไม่เน่าเสีย[2-3] วิธีการที่ง่ายที่สุดคือการตากแห้งโดยนำไปวางไว้บนตะแกรงและพัฒนาเป็นตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์[4] โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมการอบแห้งพบว่ามีการใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้ง โดยใช้หลักพื้นฐานในการออกแบบเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเริ่มต้นจากการดูอากาศเย็นจากภายนอกด้วยพัดลมดูดอากาศไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบโดยตรงทำให้ความร้อนที่อยู่ในผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่งผ่านให้กับอากาศเย็นสามารถทำให้ได้อากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้ง[5]

จากแนวคิดดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้นำตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) จากงานวิจัยการพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียแสงอาทิตย์ของผู้วิจัยเอง[6] รูปที่ 1 มาดัดแปลงต่อยอดทำเป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการอบแห้งถนอมคุณค่าทางอาหารให้กับผลผลิต หลักการทำงานของ

เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ ความร้อนที่ใช้ออบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเท อากาศขึ้น[7] และสามารถนำไปใช้ได้ในระดับชุมชน โดยการถ่ายเทเทคโนโลยีในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าในเครือข่ายชุมชน[8] มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี จังหวัดสมุทรปราการ อันจะส่งผลดีให้แก่ชุมชนได้มีความรู้ในการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อเป็นประโยชน์ต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์
3. เพื่อเปรียบเทียบร้อยละความชื้นและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์กับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 1. การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ในการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผู้วิจัยได้นำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบมาเป็นตัวหลัก ดังรูปที่ 1





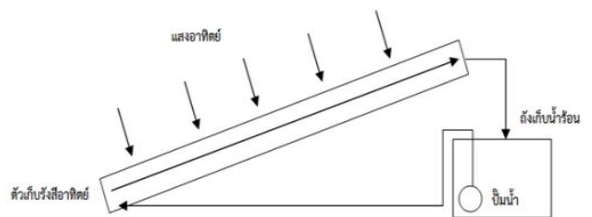
รูปที่ 1 เครื่องต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสีย แสงอาทิตย์[6]

โดยถอดถังพัก ถังกรองชั้นต้นออกและต่อท่อตรงจากปั้มน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยตรง ชัด และพ่นสีดำตัวเก็บรังสีอาทิตย์ใหม่ โครงสร้างฐานวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีขนาดกว้าง 1.20 เมตร ยาว 2.50 เมตร สูง 1.27 เมตร ทำมุม 15 องศา ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีพื้นที่ 2 ตารางเมตร มีท่อทองแดงขนาด 0.5 นิ้ว จำนวน 30 ท่อ พ่นสีดำ ด้านบนเปลี่ยนกระจกใสใหม่จากเดิม 4 มิลลิเมตร เป็น 5 มิลลิเมตร ทำเป็นบานกระจกเปิดปิด จำนวน 2 บาน ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 40 ลิตร สูง 35 เซนติเมตร 1 ใบ ปั้มน้ำมีขนาด 350 วัตต์ และ ถาดวางภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 5 ถาด กว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 95 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร รูปที่ 3 และรูปที่ 4 กำหนดตำแหน่ง วัตอุณหภูมิ 4 จุดคือ 1) ท่อน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $T_{f,i}$ ), 2) ท่อน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $T_{f,o}$ ), 3) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{amb}$ ) และ 4) ที่ถังเก็บน้ำร้อน ( $T_{f,w}$ ) มีหลักการทำงานดังนี้คือน้ำที่อยู่ในถังเก็บจะถูกปั้มไหลลงสู่ด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไปยังท่อทองแดงภายใน เมื่อแสงอาทิตย์แผ่รังสีมาที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ท่อทองแดงภายในจะถ่ายโอนความร้อนไปสู่น้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นไหลกลับขึ้นมาด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และจะไหลออกกลับเข้าไปยังถังเก็บและจากถังเก็บก็จะถูกปั้มไหลลงสู่ด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์อีกครั้ง จะไหลวนเอาพลังงานความร้อนหมุนเวียนเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

อย่างต่อเนื่อง สามารถที่จะนำผลผลิตมาทำการอบภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ รูปที่ 5



รูปที่ 2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์



รูปที่ 3 หลักการทำงานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์



รูปที่ 4 การอบภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์

## 2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 การทดลองประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยจะทำการวัดอุณหภูมิที่ 1) ท่อน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $T_{f,i}$ ), 2) ท่อน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $T_{f,o}$ ), 3) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{amb}$ ) และ 4) ที่ถังเก็บน้ำร้อน ( $T_{f,w}$ ) ทุกชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น.-17.00 น. ของทุกวันที่ทดลอง [6,9] และวัดค่ารังสีรวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบชั่วโมงในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร แสดงดังตารางที่ 1 ข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากการวัด

2.2 เมื่อพิจารณาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่ขณะใด ๆ จะพบว่าค่ารังสีที่ถูกดูดกลืนมีค่าเท่ากับค่าอัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์รวมกับค่าอัตราความร้อนที่สูญเสียจากผิวคูดรังสี[9-12] ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$Q_{Solar} = Q_{sc} + Q_{loss} \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่

$$(\tau\alpha)_e I_T A_{SC} = \dot{m}_f C_p (T_{f,o} - T_{f,i}) + U_L A_{SC} (T_p - T_{amb}) \dots \dots \dots (2)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถเขียนได้เป็นดังสมการที่ (3)

$$Q_{sc} = (\tau\alpha)_e I_T A_{SC} - U_L A_{SC} (T_p - T_{amb}) \dots \dots \dots (3)$$

เมื่อ  $Q_{sc}$  = อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W)

$(\tau\alpha)_e$  = ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$I_T$  = รังสีรวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง ( $W/m^2$ )

$A_{SC}$  = พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $m^2$ )

$U_L$  = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากผิวคูดรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2-K$ )

$T_p$  = อุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $^{\circ}C$ )

$T_{amb}$  = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $^{\circ}C$ )

$\dot{m}_f$  = อัตราไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $kg/s$ )

$C_p$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ( $J/kg-K$ )

$T_{f,i}$  = อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $^{\circ}C$ )

$T_{f,o}$  = อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $^{\circ}C$ )

2.3 ในทางปฏิบัติอุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $T_p$ ) วัดได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงปรับค่าสมการดังกล่าวโดยกำหนด ค่าตัวประกอบการดึงความร้อน (Heat Removal Factor, FR) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ [11-12] ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$Q_{SC} = FR(\tau\alpha)_e I_T A_{SC} - FR U_L A_{SC} (T_{f,i} - T_{amb}) \dots \dots (4)$$

เมื่อ  $FR$  ค่าตัวประกอบการดึงความร้อนเป็นสัดส่วนของความร้อนที่ได้จริงจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อพลังงานความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่า  $FR$  มีลักษณะคล้ายกับค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เนื่องจากเป็นค่าอัตราส่วนของพลังงานความร้อนจริงต่อพลังงานความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ดังนั้นประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector Efficiency,  $\eta_{sc}$ ) ในการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ ดังสมการที่ (5)

$$\eta_{sc} = Q_{sc} / I_T A_{SC} = FR(\tau\alpha)_e - [FR U_L (T_{f,i} - T_{amb}) / I] \dots \dots \dots (5)$$

อนึ่งหากพิจารณาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่า  $\eta_{sc}$  และ  $(T_{f,i} - T_{amb}) / I_T$  โดยการวิเคราะห์

การถดถอยเชิงเส้นจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการสมรรถนะเส้นตรง  $Y = -aX + b$  โดยค่า  $-a = -F_R U_L$  คือ ความชัน และ  $b = F_R(\tau\alpha)_e$  คือ ค่าจุดตัดแกน  $\eta_{SC}$

2.4 นำค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละชั่วโมง ( $I_T$  หรือ  $G$ ) มาคำนวณเป็นค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายชั่วโมง ( $I$ ) ในหน่วย MJ/m<sup>2</sup> [9-12] ดังสมการที่ (6)

$$I = (G*3600) / 10^6 \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ  $G =$  ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m<sup>2</sup>) โดยค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์คือค่าเดียวกับค่ารังสีรวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง ( $I_T$ )

$$I = \text{ค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายชั่วโมง (MJ/m}^2\text{)}$$

2.5 คำนวณหาปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $Q_{SC}$ ), คำนวณหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $\eta_{SC}$ ) และค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายชั่วโมง ( $I$ )

2.6 คำนวณค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งทดสอบนาน 1 วันและ 5 วัน[4]

2.7 คำนวณน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งจำนวน 5 ครั้ง [4]

### ผลการวิจัย

1. ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ Solar Collector คำนวณหาปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ ( $Q_{SC}$ ) และ

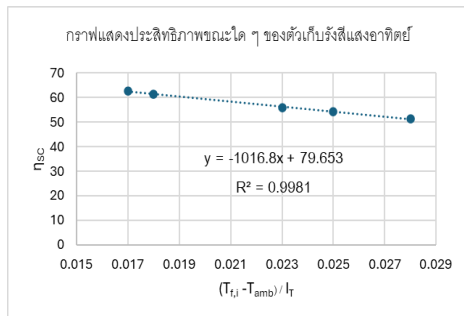
คำนวณหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $\eta_{SC}$ ) จากผลการวัดอุณหภูมิ  $T_{f,i}, T_{f,o}, T_{f,w}, T_{amb}$  และค่าเฉลี่ยรังสีรวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง ( $I_T$ ) ทุกชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวันที่ทดลองวันที่ 14-18 พฤษภาคม พ.ศ.2566 จำนวน 5 วัน ดังตารางที่ 1 และ นำค่า  $\eta_{SC}$  และ  $(T_{f,i} - T_{amb}) / I_T$  ของทุกวันที่ทดลองมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพล็อตกราฟจะได้กราฟที่แสดงประสิทธิภาพของแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อช่วงเวลา 8.00 น. เริ่มเดินเครื่องสามารถวัดค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ ( $I_T$ ) ได้ 208.4 W/m<sup>2</sup> คำนวณหาปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $Q_{SC}$ ) ได้ 253.38 W และค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $\eta_{SC}$ ) 55%, ช่วงเวลา 12.00 น. วัดค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดได้ 922 W/m<sup>2</sup> คำนวณหาปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ 1,032.9 W และค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 56.02% และช่วงเวลา 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาส่วนใหญ่ของอุณหภูมิทั้งสี่ตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นสูงสุดสอดคล้องกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตามทฤษฎี วัดค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ได้ 878 W/m<sup>2</sup> คำนวณหาปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ 902.25 W และค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 51.38% แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ  $T_{f,i}, T_{f,o}, T_{f,w}, T_{amb}$  และเวลา

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดลองเฉลี่ยจำนวน 5 วัน ตั้งแต่วันที่ 14-18 พฤษภาคม พ.ศ.2566

เวลา(น.)	$I_T(W/m^2)$	$T_{f,i}(^{\circ}C)$	$T_{f,o}(^{\circ}C)$	$T_{f,w}(^{\circ}C)$	$T_{amb}(^{\circ}C)$	$Q_{sc}(W)$	$\eta_{sc}(\%)$
8.00	208.4	32.5	32.6	32.6	28.6	253.38	55
9.00	428.6	39.5	39.9	37.9	31.6	544.36	63.5
10.00	717.8	45.2	46.2	42.5	33	898.32	62.6
11.00	847.8	50.3	51.6	46.9	34.8	1,038.4	61.24
12.00	922	56.5	57.78	52.2	35	1,032.9	56.02
13.00	952	58.9	59.9	53.7	35	1,031.31	54.16
14.00	878	58.6	59.4	53.6	34.2	902.25	51.38
15.00	631	57.7	58.1	51.9	33	499.84	39.61
16.00	492.6	53.9	54.6	49	31.4	323.48	32.83
17.00	252.4	49.2	50.4	45.8	30	6	1.19
ค่าเฉลี่ย	633.06	50.22	51.01	46.6	32.66	653.02	47.75
S.D.	261.78	8.42	8.60	6.74	2.11	357.83	18.18

นำค่า  $\eta_{sc}$  และ  $(T_{f,i}-T_{amb}) / I_T$  ของทุกวันที่ทดลองมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พล็อตกราฟจะได้กราฟที่แสดงประสิทธิภาพของแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้น ดังรูปที่ 6 โดยใช้ค่า  $I_T$  ที่มีค่ามากกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพขณะใด ๆ ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 5 พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่า  $F_R(\tau\alpha)_e$  เท่ากับ 79.65 นิวตัน แสดงว่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าค่อนข้างสูง ส่วนค่า  $-F_R U_L$  เท่ากับ  $-1016.8 \text{ m/s}^2$  มีค่าต่ำแสดงว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ป้องกันความร้อนสูญเสียได้ดีและวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นหาประสิทธิภาพของแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้นได้ 99%

2. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบร้อยละความชื้นและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กล้วยน้ำว้า) [4] ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์กับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ พบว่าค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งกล้วยน้ำว้า ทดลองนาน 1 วัน และ 5 วัน มีดังตารางที่ 2 นี้

ตารางที่ 2 ค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งกล้วยน้ำว้า ทดลองนาน 1 วัน และ 5 วัน

ครั้งที่	ร้อยละความชื้นของกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้ง					
	ทดลองนาน 1 วัน			ทดลองนาน 5 วัน		
	เครื่องอบแห้ง พลังงาน แสงอาทิตย์ด้วยตัว เก็บรังสี แสงอาทิตย์	ตู้อบแห้ง พลังงาน แสงอาทิตย์	การตากแห้ง โดยวิธีธรรมชาติ	เครื่องอบแห้ง พลังงาน แสงอาทิตย์ด้วย ตัวเก็บรังสี แสงอาทิตย์	ตู้อบแห้ง พลังงาน แสงอาทิตย์	การตาก แห้ง โดยวิธี ธรรมชาติ
1	58.82	55.45	56.92	74.07	70.53	70.53
2	59.17	56.92	56.28	74.63	72.57	71.53
3	58.48	56.28	53.20	74.63	72.57	71.94
4	56.50	56.92	56.28	74.07	73.63	72.88
5	58.14	57.25	55.97	74.07	74.18	72.57
$\bar{x}$	58.22	56.56	55.73	74.29	72.70	71.89
S.D.	1.04	0.72	1.46	0.31	1.40	0.92

จากตารางที่ 2 พบว่าการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ คิดตามมาตรฐานอาหารเปียกสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าจากการนำกล้วยน้ำว้าที่มีมวลเท่ากันคือ 1 กิโลกรัม มาทดลองนาน 1 วัน สามารถลดความชื้นในกล้วยน้ำว้าลงได้ร้อยละ 58.22 สำหรับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร้อยละ 56.02 และสำหรับการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติร้อยละ 55.64 และทดสอบนาน 5 วันสามารถลดความชื้นในกล้วย

น้ำว้าลงได้ร้อยละ 74.29, ร้อยละ 72.99 และร้อยละ 71.94 ตามลำดับ

นำค่าน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้งจำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 5 วัน จากการทดลองตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติมาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้งจำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 5 วัน ที่ได้ทดลองของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 น้ำหนักของกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้งจำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 5 วัน

ครั้งที่	น้ำหนัก (kg)	น้ำหนักกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้ง (kg)														
		เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์					ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์					การตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ				
		วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5
1	1	0.7	0.5	0.39	0.35	0.35	0.8	0.72	0.62	0.56	0.42	0.76	0.6	0.52	0.44	0.42
2	1	0.69	0.58	0.4	0.36	0.34	0.76	0.6	0.48	0.42	0.38	0.78	0.6	0.5	0.42	0.4
3	1	0.71	0.5	0.41	0.37	0.34	0.78	0.61	0.5	0.42	0.38	0.79	0.62	0.53	0.44	0.39
4	1	0.77	0.51	0.4	0.37	0.35	0.76	0.59	0.49	0.4	0.36	0.78	0.6	0.51	0.42	0.37
5	1	0.72	0.53	0.4	0.36	0.35	0.75	0.59	0.48	0.4	0.35	0.79	0.61	0.5	0.42	0.38
$\bar{x}$	1	0.72	0.52	0.4	0.36	0.35	0.77	0.62	0.57	0.44	0.37	0.78	0.6	0.51	0.42	0.39

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2567

จากตาราง 3 พบว่าน้ำหนักของกล้วยน้ำว้า 1 กิโลกรัม จากการทดสอบนาน 1 วัน เริ่มต้นลดลงเฉลี่ยเหลือ 0.72 กิโลกรัม สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ น้ำหนักของกล้วยน้ำว้าลดลงเฉลี่ยเหลือ 0.77 กิโลกรัม สำหรับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าลดลงเฉลี่ยเหลือ 0.78 กิโลกรัม สำหรับการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ และจากการทดลองนาน 5 วัน น้ำหนักของกล้วยน้ำว้าลดลงเฉลี่ยเหลือ 0.35 กิโลกรัม, 0.37 กิโลกรัม และ 0.39 กิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ลดน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าได้มากที่สุดทั้งจากตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และจากการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ

จากนั้นได้มีการจัดโครงการการถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยกรรมวิธีการผลิตกล้วยตาก เพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจชุมชน



รูปที่ 8 อบรมภาคปฏิบัติ



รูปที่ 9 ถ่ายภาพพร้อมกัน



รูปที่ 6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์



รูปที่ 7 ชุมชนและผู้สนใจเข้าร่วมอบรม

หลังจากอบรมมีผู้สนใจที่จะผลิตกล้วยตากขายโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นรายได้เสริมจากงานประจำ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตกล้วยตากได้ 20 กิโลกรัม ต่อครั้งที่ทำการผลิต ใช้ระยะเวลาการอบกล้วยตากตั้งแต่ 8.00 น.- 17.00 น. ของ 1 วัน อบรมรวม 2 วันและตั้งแต่เวลา 8.00 น.-14.00 น. ของครึ่งวัน รวมเวลาที่ใช้ในการอบโดยประมาณ 24 ชั่วโมง ซึ่งเปรียบเทียบกับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เวลาประมาณ 33 ชั่วโมงเพื่อให้กล้วยแห้งสนิทและการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ จะใช้เวลาประมาณ 42 ชั่วโมง





รูปที่ 10 กลัวยตาก Solar Collector



รูปที่ 11 ประชาสัมพันธ์ทางออนไลน์



รูปที่ 12 ยอดขายทางออนไลน์



รูปที่ 13 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทดลองในการทำกลัวยตาก



รูปที่ 14 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทดลอง  
ในการทำกลัวยตาก



รูปที่ 15 การตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติทดลอง  
ในการทำกลัวยตาก

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกล้วยตากเป็นการหาจุดคุ้มทุนในการผลิตกล้วยตาก ดังนั้น การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนภายใต้สมมุติฐานที่กำหนดขึ้นแยกเป็นรายรับและรายจ่าย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. รายรับ มาจากการขายกล้วยตาก โดยกำหนดให้

1.1 อัตราการผลิตกล้วยตากเป็น 20 กิโลกรัมต่อการผลิต 1 ครั้ง ใช้เวลา 3 วัน

1.2 ราคาขายกล้วยตาก 150 บาท/กิโลกรัม

1.3 เวลาในการผลิต n ครั้ง

สรุปได้ว่า รายได้จากการขายกล้วยตาก

$$R = (n \text{ ครั้ง}) (150 \text{ บาท/กก.}) (20 \text{ กก./ครั้ง}) = 3,000 n$$

2. รายจ่าย เป็นต้นทุนในการผลิตกล้วยตากที่แยกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน ดังนี้

2.1 ต้นทุนคงที่เป็นต้นทุนในการจัดซื้อเครื่องซีลถุง โดยคิดเป็นเงินรวม 1,500 บาท ไม่คิดต้นทุนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.2 ต้นทุนแปรผัน ประกอบด้วยค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกล้วยตาก และค่าแรงงาน

2.2.1 กล้วยน้ำว้าขนาดปานกลาง ราคาขายส่งหวีละ 25-30 บาท ถ้าใช้ในการผลิตกล้วยตาก 20 กิโลกรัม จะใช้กล้วยน้ำว้าประมาณ 40 หวี รวมส่ง คิดเป็นเงิน 1,200 บาท

2.2.2 ถุงซีลสุญญากาศขนาด 20x25 จำนวน 100 ใบ ราคา 500 บาท รวมส่ง ถ้าใช้ในการผลิตกล้วยตาก 20 กิโลกรัมจะใช้ถุงซีลสุญญากาศ 20 ใบ คิดเป็นเงิน 100 บาท

2.2.3 สติกเกอร์กล้วยตาก ราคา 700 บาทได้ 1,000 ดวง รวมค่าออกแบบ ใช้ติดถุงกล้วยตาก 20 ดวง คิดเป็นเงิน 14 บาท

2.2.4 ค่าแรงงาน 1 คนในการผลิตกล้วยตาก 1 ครั้ง รวม 3 วัน เท่ากับ 1,089 บาท

2.2.5 ค่าพลังงานไฟฟ้า ป้อนน้ำขนาด 350 วัตต์ 1 ตัว เปิดใช้ 24 ชั่วโมงขณะทำการอบกล้วยเท่ากับ 350 วัตต์ x 1 ตัว ÷ 1,000 x 24 ชั่วโมง เท่ากับ 8.4 หน่วย/ครั้ง และเครื่องซีลถุงสุญญากาศ 110 วัตต์ เวลาในการซีลถุงสุญญากาศ 3 ชั่วโมง 110 วัตต์ x 1 ตัว ÷ 1,000 x 3 ชั่วโมง เท่ากับ 0.33 หน่วย/ครั้ง คิดในอัตราค่าใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 4 บาทต่อหน่วย ดังนั้นประมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิตกล้วยตากคิดเป็น 8.4+0.33 = 8.73 หน่วย/ครั้ง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 34.92 บาท/ครั้ง

สรุปผลการวิเคราะห์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่า

1) ค่าวัตถุดิบ ผลรวมข้อ 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3,

$$2.2.4 = 1,200 + 100 + 14 + 1,089$$

2) ค่าไฟฟ้าที่ใช้ ข้อ 2.2.5 = 34.92 บาท/ครั้ง

$$\text{ต้นทุนแปรผัน} = (n \text{ ครั้ง}) [(120.15 \text{ บาท/กิโลกรัม}) \times (20 \text{ กิโลกรัม/ครั้ง}) + (34.92 \text{ บาท/ครั้ง})] = n (2,437.92) \text{ บาท}$$

รวมต้นทุนแปรผันคิดเป็นเงิน 121.89 บาทต่อกิโลกรัม

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเบื้องต้น พิจารณาจากความเท่ากันของรายรับและรายจ่าย ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{รายรับ} &= \text{รายจ่ายรวม} \\ &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนแปรผัน} \\ 3,000 n &= 1,500 + 2,437.92n \quad (1) \end{aligned}$$

จากสมการที่ (1) สามารถวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนได้โดยใช้การแทนค่า n ที่แปรค่าตั้งแต่ 0 จนถึงประมาณ 365 วัน หรือ 1 ปีหรือ 96 ครั้ง ที่ทำการผลิตกล้วยตาก ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4



ตารางที่ 4 การวิเคราะห์รายรับ-รายจ่ายของการผลิตกล้วยตาก

จำนวนครั้งที่ผลิต	เงิน (บาท)				
	รายรับ	ต้นทุนแปรผัน	ต้นทุนคงที่	ต้นทุนรวม	รายรับสุทธิ
0	0	0	1,500.00	1,500.00	-1,500.00
1	3,000.00	2,437.92	1,500.00	3,937.92	-937.92
2	6,000.00	4,875.84	1,500.00	6,375.84	-375.84
3	9,000.00	7,313.76	1,500.00	8,813.76	186.24
4	12,000.00	9,751.68	1,500.00	11,251.68	748.32
8	24,000.00	19,503.36	1,500.00	21,003.36	2,996.64
16	48,000.00	39,006.72	1,500.00	40,506.72	7,493.28
24	72,000.00	58,510.08	1,500.00	60,010.08	11,989.92
32	96,000.00	78,013.44	1,500.00	79,513.44	16,486.56
40	120,000.00	97,516.80	1,500.00	99,016.80	20,983.20
48	144,000.00	117,020.16	1,500.00	118,520.16	25,479.84
56	168,000.00	136,523.52	1,500.00	138,023.52	29,976.48
64	192,000.00	156,026.88	1,500.00	157,526.88	34,473.12
72	216,000.00	175,530.24	1,500.00	177,030.24	38,969.76
80	240,000.00	195,033.60	1,500.00	196,533.60	43,466.40
88	264,000.00	214,536.96	1,500.00	216,036.96	47,963.04
96	288,000.00	234,040.32	1,500.00	235,540.32	52,459.68

จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่าตลอดเวลาการผลิต รายรับมีค่าสูงกว่ารายจ่ายแปรผัน 562.08 บาทต่อครั้ง (มาจาก 3,000 - 2,437.92) และเวลาที่ผลิตแล้วได้จุดคุ้มทุนเบื้องต้นคือการผลิตครั้งที่ 3 และเมื่อมีกำลังการผลิตที่ 20 กิโลกรัม/ครั้ง จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 9 วัน มีรายรับสุทธิ 52,459.68 ต่อปี มีกำลังการผลิตที่ 20 กิโลกรัม/ครั้ง จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 9 วัน มีรายรับสุทธิ 52,459.68 ต่อปี

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ ภูสมมา และผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชชัย สอนสนาม ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยดี

#### สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์มีรังสีรวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียงเฉลี่ยอยู่ที่ 633.06 วัตต์ต่อตารางเมตร

ประสิทธิภาพแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขณะใด ๆ อยู่ระหว่างร้อยละ 18.18 – 47.75 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์สูง และป้องกันความร้อนสูญเสียได้ดี ประสิทธิภาพของแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้นได้ร้อยละ 99 ผลการเปรียบเทียบค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งกล้วยน้ำว้าทดลองนาน 1 วัน และ 5 วัน คิดตามมาตรฐานอาหารเปียก พบว่าร้อยละความชื้นเฉลี่ยของกล้วยน้ำว้าจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์สามารถลดความชื้นได้ดีกว่ากล้วยน้ำว้าจากตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และจากการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ ค่าน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้งจำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 5 วัน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์สามารถลดน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าได้มากที่สุดทั้งจากตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และจากการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ และเมื่อ

### References

- [1] How to preserve food, December. 15, 2023. [Online]. Available: <https://signuphowto.blogspot.com/2012/02/>
- [2] iEnergyGuru Drying, December. 15, 2023. [Online]. Available: <https://ienergyguru.com/2015/09/drying/>
- [3] C. Serm, Nakhon Pathom: Silpakorn University, 2017.
- [4] C. Uthai, “Design and construction of a convection solar energy drying cabinet”, *Master of Science Thesis, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, Thailand, 2010.*
- [5] P. Fankaew and K. Wutticaree, “Design and construction of a flat-plate solar-powered pineapple dryer,” *National Industrial Education Conference: King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, no. 7, November. 2014, pp. 49-54.
- [6] W. Chanchajit, “The development of solar water treatment prototype system,” *Research Dhonburi Rajabhat University*, Bangkok 2018.
- [7] Want to use solar energy, “Drying with solar energy,” December. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.xn-12cmaam3eno6bybj3a2e7ak2dmhe5b1u9a3ktd.com/?p=41>
- [8] Y. Gun, “Guidelines for Conservation and Revitalization of Local Knowledge on Growing Muang Non Durians in Order to Add Economic Value of Community,” *M.A. MAJOR (Cultural Science)*, Maharakam University, 2010.
- [9] P. Chackapun and L. Sungseeng, “A performance study of thermosyphon flat-plate solar hot water heater,” *Ubon Ratchathani University Academic Journal*, vol. 2, no. 8, May – August. 2006, pp. 9-18.
- [10] C. Natthaphon, Chiang Mai: College of Renewable Energy Maejo University, 2019.

- [11] F. Marco, A. Marco, and D. Umberto, “Assessment of the optical efficiency in solar collectors: Experimental method for a concentrating solar power,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 40, March. 2023, pp. 1-20.
- [12] A. Mohammad, H. Ben, H. Andrew and O. Dominic, “Determining the Effect of Inlet Flow Conditions on the Thermal Efficiency of a Flat Plate Solar Collector,” *Fluids*, vol. 364, September. 2018, pp. 1-17.

## การประเมินการสูญเสียและความบกพร่องทางการได้ยิน

### ของพนักงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษแห่งหนึ่ง

พิชามณูช หนิมสุข<sup>1</sup>, ลักษณา เหล่าเกียรติ<sup>2\*</sup>

<sup>1, 2</sup>คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: laksana.laokiat@gmail.com<sup>2</sup>

Received: Jul 14, 2024

Revised: Jul 21, 2024

Accepted: Jul 25, 2024

#### บทคัดย่อ

เสียงดังเป็นปัญหาที่พบในภาคอุตสาหกรรมทั่วโลกและส่งผลโดยตรงต่อการได้ยิน การสูญเสียการได้ยินทำให้เกิดอุปสรรคในการสื่อสาร ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน และส่งผลต่อการใช้ชีวิตประจำวัน การวิจัยเชิงวิเคราะห์นี้ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกของการสูญเสียการได้ยิน ความชุกของความบกพร่องทางการได้ยิน และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยิน ในกลุ่มพนักงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ จำนวน 186 คน ใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินปี พ.ศ. 2558 – 2565 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบจับคู่ และสถิติไคสแควร์ กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการศึกษาพบระดับเสียงเฉลี่ยในสภาพแวดล้อมการทำงาน 87.15 เดซิเบลเอ ความชุกของการสูญเสียการได้ยินร้อยละ 37.1 โดยมีค่าเฉลี่ยระดับการได้ยินในหูข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างมากกว่า 40 เดซิเบล ที่ความถี่ 4000 – 6000 เฮิรตซ์และพบความชุกของความบกพร่องทางการได้ยินร้อยละ 79.0 ในจำนวนนี้ มีความบกพร่องของการได้ยินในระดับเล็กน้อยถึงปานกลางของหูข้างที่ดีกว่า ร้อยละ 67.8 และของหูข้างที่แยกว่าร้อยละ 87.4 สำหรับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยิน คือ อายุของพนักงาน ( $p$ -value = 0.010) และอายุงาน ( $p$ -value = 0.009) เนื่องจากการสูญเสียการได้ยินจากเสียงเป็นสิ่งที่ป้องกันได้ การบริหารจัดการเพื่อลดเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงาน ร่วมกับการส่งเสริมและบริหารจัดการให้พนักงานมีความตระหนักในการป้องกันตนเองจึงเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

**คำสำคัญ :** การสูญเสียการได้ยิน, ความบกพร่องทางการได้ยิน, สมรรถภาพการได้ยิน, โรงงานผลิตกระดาษ

## **Hearing loss and impairment assessment among workers exposed to excessive noise in a paper plant industry**

**Pichamon Nimsook<sup>1</sup>, Laksana Laokiat<sup>2\*</sup>**

<sup>1,2</sup>Faculty of Public Health, Thammasat University

Email: laksana.laokiat@gmail.com<sup>2</sup>

Received: Jul 14, 2024

Revised: Jul 21, 2024

Accepted: Jul 25, 2024

### **Abstract**

Noise is a problem encountered in industries worldwide and directly affects hearing. Hearing loss creates a communication barrier, causes errors in work, and affects daily life. This analytic research aimed to study the prevalence of hearing loss, the prevalence of hearing impairment, and the factors associated with hearing loss among 186 workers in the paper plant industry. The audiometry records available for the period of 2015-2022 were analyzed using frequency, percentage, means, S.D., Independent pair t-test and Chi-square test. The statistical significance was set at  $P < 0.05$ . The results revealed that the mean noise level in working environment was 87.15 dBA. Prevalence of hearing loss was 36.0% with the means of hearing threshold levels in one or both ears were more than 40 dB at 4000-6000 Hertz. Prevalence of hearing impairment was 79.0%. Among the workers with hearing impairment, 67.8% had slight to moderate hearing impairment at better ears and 87.4% at worse ears. The factors associated with hearing loss were age ( $p$ -value=0.010) and year of works ( $p$ -value=0.009). Since hearing loss is preventable, continuous management to reduce noise in the working environment, together with managing and encouraging employees' awareness of self-protection, must be implemented.

**Keywords :** Hearing Loss, Hearing Impairment, Audiometric test, Paper Industry

### บทนำ

การสูญเสียการได้ยินจากการประกอบอาชีพเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั่วโลก เช่น ในปีค.ศ. 2019 ประเทศสหรัฐอเมริกาพบผู้ที่สูญเสียการได้ยินจากการประกอบอาชีพถึง 14,500 คน ซึ่งถือว่าเป็น 1.4 คนต่อพันงาน 10,000 คน ส่วนประเทศออสเตรเลียพบว่า ในปี ค.ศ. 2001 มีพนักงานที่ปฏิบัติงานในโรงงานมีการสูญเสียการได้ยินถึงร้อยละ 88.0 ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินทั้งหมด นอกจากนี้ องค์การอนามัยโลก ยังได้กล่าวถึงการสูญเสียการได้ยินในประเทศไทยว่า พบผู้ที่สูญเสียการได้ยินถึงร้อยละ 13.3 อีกด้วย [1] นอกจากนี้ยังพบว่าประเทศที่มีรายได้ต่ำและปานกลาง จะพบผู้ที่มีการสูญเสียการได้ยินถึงร้อยละ 80 กลุ่มคนที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปี จะมีร้อยละการสูญเสียการได้ยินเพิ่มขึ้น [2] และสำนักงานกองทุนเงินทดแทน กระทรวงแรงงาน ได้มีการวิเคราะห์สถิติโรคหูตึงจากเสียง พบจำนวน 73 คน นับเป็นอันดับที่สองในโรคที่เกิดขึ้นจากสาเหตุทางกายภาพ รองจากโรคจากแสงอัลตราไวโอเล็ต [3]

การสูญเสียการได้ยินยังส่งผลต่อภาระทางการเงินและเศรษฐกิจด้วย โดยพบว่าทั่วโลกมีค่าใช้จ่ายสำหรับการสูญเสียการได้ยินมากถึง 980 พันล้านเหรียญสหรัฐ [4] โดยภาระทางเศรษฐกิจนี้ส่งผลต่อสังคมอย่างมากและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการสูญเสียการได้ยินเป็นโรคที่ไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ และถึงแม้ว่าสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินจะไม่ทำให้เสียชีวิต แต่เป็นโรคที่ส่งผลต่อการใช้ชีวิตประจำวันเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้จะเกิดอุปสรรคในการสื่อสารกับบุคคลรอบข้างแล้ว ยังอาจทำให้เกิดภาวะวิตกกังวลขาดความมั่นใจ ส่งผลให้หลีกเลี่ยงการมีปฏิสัมพันธ์กับสังคมได้

ผู้ปฏิบัติงานที่ต้องปฏิบัติงานในสถานประกอบการที่มีเสียงดังจากเครื่องจักรที่มีใช้ในกระบวนการผลิต มีโอกาสสัมผัสเสียงดังเป็นผลให้

เกิดการสูญเสียการได้ยินหรือส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการได้ยิน ซึ่งมีแนวโน้มการเกิดโรคสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดปัญหาการติดต่อสื่อสารกับสมาชิกในครอบครัว ชุมชน และเพื่อนร่วมงาน ก่อให้เกิดความเครียด มีปัญหาด้านจิตใจ และส่งผลทำให้คุณภาพชีวิตลดลง มีความบกพร่องในการสื่อสารทำให้ความสามารถในการรับเสียงสัญญาณขณะปฏิบัติงานลดลง เกิดความผิดพลาดในการแปลความหมาย อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บจากการทำงาน [5]

การศึกษาในประเทศไทยเกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับการได้ยิน แบ่งเป็น 3 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยส่วนบุคคล พฤติกรรมสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน [6] ซึ่งในการศึกษามักจะใช้ผลตรวจสมรรถภาพการได้ยิน 1 ปีย้อนหลัง ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าผู้ที่สูญเสียการได้ยินนั้นมีสาเหตุจากการประกอบอาชีพหรือไม่ ซึ่งหากการสูญเสียการได้ยินยังคงตรวจไม่พบ อาจทำให้ความสามารถในการทำงานของแต่ละบุคคลลดลงได้ การทดสอบการได้ยินจึงมีประโยชน์ในการคัดกรองความบกพร่องทางการได้ยินในพนักงานที่ทำงานสัมผัสเสียงดัง การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุความชุกของการสูญเสียและความบกพร่องทางการได้ยินในพนักงาน และระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงานของอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ผลลัพธ์ของการศึกษาค้นคว้าจะยกระดับความตระหนักรู้ในพนักงานและอุตสาหกรรมเกี่ยวกับความเสี่ยงด้านสุขภาพจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน และข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการกำหนดกลยุทธ์หรือจัดกิจกรรมด้านสุขภาพซึ่งสามารถลดความเสี่ยงด้านสุขภาพของพนักงาน [7] จากระดับเสียงที่เป็นอันตรายที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรม

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาความชุกของการสูญเสียการได้ยิน และความบกพร่องทางการได้ยินของพนักงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยินจากการสัมผัสเสียงดังในกลุ่มพนักงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 1. รูปแบบการศึกษาและพื้นที่ศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์ โดยศึกษาจากเหตุไปหาผลแบบย้อนหลัง (Retrospective Cohort Study) ใช้ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินของพนักงานจากฐานข้อมูลการตรวจสุขภาพตามความเสี่ยงของอุตสาหกรรมผลิตกระดาษแห่งหนึ่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558-2565 ร่วมกับการตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่การทำงาน

#### 2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาเป็นพนักงานที่ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ จำนวน 186 คน ที่มีข้อมูลผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินขณะที่ปฏิบัติงานที่อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ โดยกลุ่มตัวอย่างการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลประชากรทั้งหมดที่ผ่านตามเกณฑ์คัดเข้าดังนี้

- 1) เป็นพนักงานที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป
- 2) ปฏิบัติงานในแผนกผลิตกระดาษ (Operation) และแผนกซ่อมบำรุง (Maintenance)
- 3) มีผลการทดสอบการได้ยินพื้นฐาน (Baseline Audiogram)
- 4) มีผลการทดสอบการได้ยินปีล่าสุด (พ.ศ. 2564 หรือ พ.ศ. 2565)

และกำหนดเกณฑ์คัดออก เมื่อพบว่า มีประวัติอาการป่วยที่เกี่ยวข้องกับการได้ยิน เช่น โรคหูน้ำหนวก โรคน้ำในหูไม่เท่ากัน โรคเนื้องอก

ของประสาทการทรงตัว หรือได้รับการบาดเจ็บที่ส่งผลกระทบต่อตรงต่อการได้ยิน

#### 3. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

การศึกษานี้มีเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

3.1 แบบบันทึกข้อมูล (Data record form) ที่จัดทำขึ้นเพื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ของพนักงาน ได้แก่ อายุของพนักงาน จำนวนปีที่สัมผัสเสียงดัง (อายุงาน) แผนกที่สังกัด ผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินครอบคลุมความถี่ 6 ช่วง คือ 500 1000 2000 3000 4000 และ 6000 เฮิรตซ์ (Hz) และข้อมูลระดับเสียงในพื้นที่ปฏิบัติงาน

3.2 เครื่องมือตรวจวัดระดับเสียง (Sound Level Meter) Type 1 ยี่ห้อ Larson Davis เพื่อใช้เก็บข้อมูลระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงาน โดยก่อนใช้งานจะมีการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดเสียงให้มีคุณลักษณะสอดคล้องกับมาตรฐาน IEC 60942 จำนวน 1 เครื่อง

#### 4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลภายหลังได้รับการรับรอง จริยธรรมการวิจัยในคน จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอน ดังนี้

- 4.1 ผู้วิจัยทำหนังสือผ่านคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถึงผู้อำนวยการสายงานผลิตกระดาษเพื่อขออนุญาตเข้าเก็บข้อมูล
- 4.2 เมื่อได้รับอนุญาต ผู้วิจัยเข้าชี้แจงกับผู้ที่ได้รับมอบหมายซึ่งเป็นฝ่ายทรัพยากรบุคคลของบริษัทฯ
- 4.3 เมื่อได้รับข้อมูลจากฝ่ายทรัพยากรบุคคล ผู้วิจัยทำการบันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึกข้อมูล
- 4.4 ผู้วิจัยตรวจสอบความถูกต้องของชุดข้อมูลและทำการลงรหัส (Coding)
- 4.5 ตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่ปฏิบัติงาน กระบวนการผลิตกระดาษ รวมทั้งรวบรวมข้อมูล

ผลการตรวจวัดย้อนหลังพ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 ทั้งนี้มีการกำหนดความหมาย ดังนี้

การได้ยินปกติ (Normal Hearing) หมายถึง ผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินมีระดับการได้ยินเริ่มต้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 เดซิเบล (dB) ที่หูทั้งสองข้างในทุกความถี่ที่ตรวจวัด[8]

การสูญเสียการได้ยิน (Hearing Loss) หมายถึง ผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินที่ความถี่ใดของหูข้างใดข้างหนึ่งมีค่ามากกว่า 25 dB

ความบกพร่องของการได้ยิน (Hearing Impairment) หมายถึง ผู้ที่มีระดับการได้ยินเฉลี่ยที่ความถี่ 500, 1000, 2000 และ 4000 เฮิรตซ์มากกว่า 20 dB

## ผลการวิจัย

### 1. ข้อมูลทั่วไป

จากกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาจำนวน 186 คน ข้อมูลทั่วไปในกลุ่มตัวอย่างพบว่า ส่วนมากเป็นเพศชาย (ร้อยละ 94.6) มีอายุอยู่ในช่วง 40-49 ปี กลุ่มตัวอย่างมีอายุงานอยู่ในช่วง 11-20 ปีและอายุงาน 21 ปีเป็นต้นไปมีจำนวนเท่ากัน (ร้อยละ 35.0) ส่วนมากปฏิบัติงานในแผนกผลิตกระดาษ (ร้อยละ 56.5) ส่วนใหญ่มีการสัมผัสเสียงดังมากกว่า 88 เดซิเบลเอ (dBA) (ร้อยละ 46.2) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

		(N=186)
ปัจจัยส่วนบุคคล		จำนวน (ร้อยละ)
เพศ	ชาย	176 (94.6)
	หญิง	10 (5.4)
อายุของพนักงาน (ปี)	ค่าเฉลี่ย = 41.17, S.D=9.09, ค่าต่ำสุด = 26, ค่าสูงสุด = 55	
	20 - 29	24 (12.9)
	30 - 39	55 (29.6)
	40 - 49	61 (32.8)
	≥ 50	46 (24.7)
อายุงาน (ปี)	ค่าเฉลี่ย = 16.73, S.D=7.497, ค่าต่ำสุด = 6, ค่าสูงสุด = 31	
	< 10	56 (30.0)
	11 - 20	65 (35.0)
	≥ 21	65 (35.0)
แผนกที่สังกัด	ผลิตกระดาษ	105 (56.5)
	ซ่อมบำรุง	81 (43.5)
ระดับเสียงในพื้นที่ปฏิบัติงาน (เดซิเบลเอ)	ค่าเฉลี่ย = 87.15, S.D=3.8, ค่าต่ำสุด = 76, ค่าสูงสุด = 98	
	< 85	44 (23.7)
	85 - 87	56 (30.1)
	≥ 88	86 (46.2)



2. ความชุกของการสูญเสียการได้ยินและความบกพร่องของการได้ยิน ร้อยละ 3.8 หูข้างซ้าย ร้อยละ 3.2 ส่วนการพบพร่องของการได้ยิน พบความชุกร้อยละ 79.0 จากผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน โดยพบในหูทั้งสองข้าง ร้อยละ 67.7 หูข้างขวา พบว่า ความชุกของการสูญเสียการได้ยินร้อยละ ร้อยละ 4.8 หูข้างซ้าย ร้อยละ 6.5 37.1 โดยพบในหูทั้งสองข้าง ร้อยละ 30.1 หูข้างขวา

ตารางที่ 2 การกระจายของข้อมูลผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน

(N=186)

สมรรถภาพการได้ยิน	จำนวน (ร้อยละ)			
	หูขวา	หูซ้าย	หูทั้งสองข้าง	ไม่พบในหูทั้งสองข้าง
สูญเสียการได้ยิน	7 (3.8)	6 (3.2)	56 (30.1)	117 (62.9)
บกพร่องของการได้ยิน	9 (4.8)	12 (6.5)	126 (67.7)	39 (21.0)

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาระดับการได้ยินเฉลี่ยแยกตามความถี่ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับการได้ยินอยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งหูขวา และหูซ้าย ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่สูญเสียการได้ยินส่วนมากจะมีการสูญเสียการได้ยินที่ความถี่ 4000 เฮิรตซ์ทั้งหูขวาและหูซ้าย (ร้อยละ 24.7 และ 25.8 ตามลำดับ) รองลงมาเป็นความถี่ 6000 เฮิรตซ์ทั้งหูขวาและหูซ้าย (ร้อยละ 23.7 และ 24.7 ตามลำดับ)

ตารางที่ 3 ระดับการได้ยินเฉลี่ยของหูขวาและหูซ้ายแยกตามความถี่ของข้อมูลที่มีการได้ยินปกติหรือมีการสูญเสียการได้ยิน

(N=186)

ความถี่ (Hz)	ปกติ		สูญเสียการได้ยิน	
	ค่าเฉลี่ยระดับการได้ยิน (dB), (SD)	จำนวน (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยระดับการได้ยิน (dB), (SD)	จำนวน (ร้อยละ)
หูขวา				
500	23.01 (3.40)	156 (83.9)	34.50 (4.61)	30 (16.1)
1000	22.01 (3.80)	162 (87.1)	33.54 (5.41)	24 (12.9)
2000	20.48 (4.43)	167 (89.8)	31.84 (3.42)	19 (10.2)
3000	20.32 (4.70)	154 (82.8)	38.28 (10.21)	32 (17.2)
4000	19.86 (5.01)	140 (75.3)	42.28 (11.53)	46 (24.7)
6000	19.01 (5.40)	142 (76.3)	42.95 (13.36)	44 (23.7)

ความถี่ (Hz)	ปกติ		สูญเสียการได้ยิน	
	ค่าเฉลี่ยระดับการได้ยิน (dB), (SD)	จำนวน (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยระดับการได้ยิน (dB), (SD)	จำนวน (ร้อยละ)
หูซ้าย				
500	23.27 (3.04)	156 (83.9)	35.83 (7.08)	30 (16.1)
1000	21.98 (3.89)	162 (87.1)	35.21 (8.91)	24 (12.9)
2000	20.09 (4.72)	170 (91.4)	33.75 (4.66)	16 (8.6)
3000	20.25 (4.61)	158 (84.9)	43.21 (13.35)	28 (15.1)
4000	20.07 (4.64)	138 (74.2)	46.15 (14.26)	48 (25.8)
6000	19.50 (4.92)	140 (75.2)	49.57 (16.50)	46 (24.7)

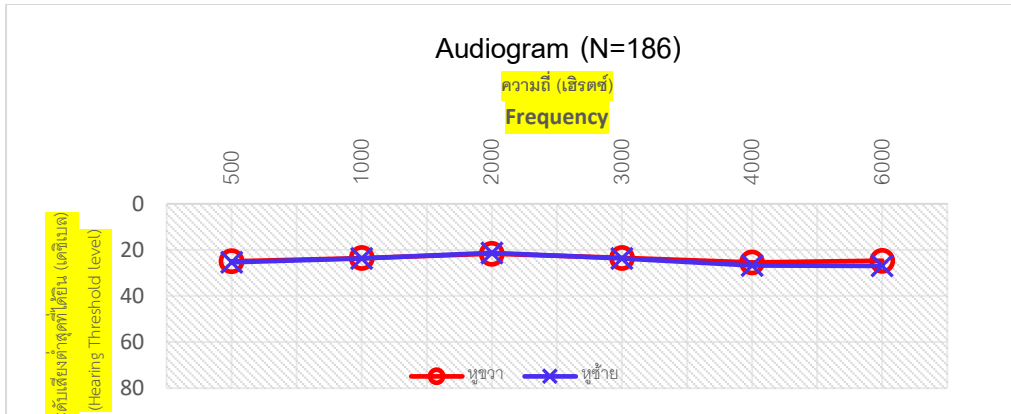
การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างผล การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินระหว่างหูขวา และหูซ้าย ของกลุ่มตัวอย่างพบว่ามีค่าเฉลี่ยระดับ การได้ยินของหูขวาอยู่ในช่วง 21.64 – 25.40 เดซิเบล และหูซ้าย 21.26 – 26.94 เดซิเบล ทั้งนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยระดับการได้ยินของหูขวาและหูซ้าย ในช่วงความถี่ 500 – 4000 เฮิรตซ์ ไม่มีความแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p$ -value= 0.259, 0.700, 0.392, 0.673 และ 0.075 ตามลำดับ) ยกเว้นที่ความถี่ 6000 เฮิรตซ์ ที่พบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p$ -value = 0.003) แสดงในตารางที่ 4 และแสดงเป็นกราฟการได้ยิน (Audiogram) รูปที่ 1

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับการได้ยินระหว่างหูขวาและหูซ้าย

ความถี่ (Hz)	ค่าเฉลี่ยระดับการได้ยิน (dB), (SD)		t (df)	p value
	หูขวา	หูซ้าย		
500	24.87 (5.56)	25.30 (6.09)	1.132	0.259
1000	23.49 (5.59)	23.68 (6.54)	0.386	0.7
2000	21.64 (5.53)	21.26 (6.08)	0.858	0.392
3000	23.41 (9.05)	23.71 (10.58)	0.423	0.673
4000	25.40 (12.06)	26.80 (14.09)	1.79	0.075
6000	24.68 (12.95)	26.94 (15.92)	2.992	0.003*

\*  $p$ -value <0.05



รูปที่ 1 กราฟการได้ยินระหว่างผู้ชายและผู้หญิงของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา

3. ระดับความบกพร่องทางการได้ยิน ร้อยละ 87.4 ความบกพร่องของการได้ยินในระดับเล็กน้อยถึงปานกลางของหูข้างที่แย่กว่า โดยพบความบกพร่องของการได้ยินในระดับรุนแรงปานกลางในหูข้างที่แย่กว่าเพียงร้อยละ 1.6 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับความบกพร่องของการได้ยินจำแนกประเภทตาม World Health Organization (WHO) (N=186)

สมรรถภาพการได้ยิน	จำนวน (ร้อยละ)					
	ค่าเฉลี่ยระดับการได้ยินที่ความถี่ 0.5, 1 k, 2 k, 4 kHz (dB)					
	ปกติ ≤ 20 dB	น้อย 21-34 dB	ปานกลาง 35-49 dB	ค่อนข้างรุนแรง 50-64 dB	รุนแรง 65-79	หูหนวก >80 dB
หูข้างที่ดีกว่า	60 (32.3)	119 (64.0)	7 (3.8)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
หูข้างที่แย่กว่า	39 (21.0)	128 (68.8)	16 (8.6)	3 (1.6)	0 (0)	0 (0)

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value = 0.010 และ 0.009 ตามลำดับ โดยอายุของพนักงาน และอายุงานที่เพิ่มขึ้นจะพบร้อยละของการสูญเสียการได้ยินเพิ่มขึ้นด้วย ส่วน เพศ แผนก และระดับเสียงที่สัมผัส ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน
- จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินของพนักงานแสดงในตารางที่ 6 พบว่า อายุของพนักงาน และอายุงาน เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินของพนักงาน

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน

(N=186)

ปัจจัยส่วนบุคคล	สมรรถภาพการได้ยิน		$\chi^2$	p-value
	ปกติ	ผิดปกติ		
<b>เพศ</b>			3.105	0.078
ชาย	110 (62.5)	66 (37.5)		
หญิง	9 (90.0)	1 (10.0)		
<b>อายุของพนักงาน (ปี)</b>			11.286	0.010*
20-29	20 (83.3)	4 (16.7)		
30-39	36 (65.5)	19 (34.5)		
40-49	42 (68.9)	19 (31.1)		
≥ 50	21 (45.7)	25 (54.3)		
<b>อายุงาน (ปี)</b>			8.684	0.009*
≤ 10	45 (80.4)	11 (19.6)		
11-20	38 (58.5)	27 (41.5)		
≥ 21	36 (55.4)	29 (44.6)		
<b>แผนกที่สังกัด</b>			0.958	0.323
ผลิตกระดาษ	64 (61.0)	41 (39.0)		
ซ่อมบำรุง	55 (67.9)	26 (32.1)		
<b>ระดับเสียงในพื้นที่การทำงาน (dBA)</b>			1.831	0.400
< 85	25 (56.8)	19 (43.2)		
85 - 87	35 (62.5)	21 (37.5)		
≥ 88	59 (68.6)	27 (31.4)		

\* p-value &lt;0.05

### สรุปและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบความชุกของการสูญเสียการได้ยินคิดเป็นร้อยละ 37.1 ซึ่งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ [8] และอุตสาหกรรมแปรรูปหิน [9] ที่พบเพียงร้อยละ 19.23 และ 19.60 ตามลำดับ ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าระดับเสียงที่พบในสภาพแวดล้อมการทำงานของแต่ละอุตสาหกรรมมีความแตกต่างกัน โดยอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์มีระดับเสียงเฉลี่ยในสภาพแวดล้อมการทำงาน 85 เดซิเบลเอ และอุตสาหกรรมแปรรูปหินมีระดับเสียงเฉลี่ยในสภาพแวดล้อมการทำงาน 77 เดซิเบลเอ ซึ่งเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ มีระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงานสูงกว่า (ค่าเฉลี่ยระดับ

เสียง 87.15 เดซิเบลเอ) จึงกล่าวได้ว่าการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีระดับเสียงเกินเกณฑ์มาตรฐาน (85 เดซิเบลเอ) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียการได้ยินได้ [10] ในส่วนของการบกร่องทางการได้ยินซึ่งทั่วโลกให้คำจำกัดความไว้หลากหลาย ดังนั้นการเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น ๆ จึงเป็นเรื่องยากและอาจไม่ถูกต้อง ในการศึกษาที่ใช้การจำแนกความบกพร่องทางการได้ยินตาม WHO [11] โดยใช้ค่าเฉลี่ยในหูข้างที่ต่ำกว่า ร้อยละ 67.8 ของกลุ่มตัวอย่างได้รับความเดือดร้อนจากความบกพร่องทางการได้ยินเล็กน้อยถึงปานกลาง ซึ่งพนักงานอาจประสบปัญหาการได้ยินบ้างระหว่างการสนทนาแต่ก็ยังสื่อสารได้

นอกจากนี้ลักษณะการสูญเสียการได้ยินที่พบในการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาในได้หวั่นที่พบว่า ร้อยละ 34 ของคนงานที่สัมผัสกับระดับเสียงที่สูงกว่า 85 เดซิเบลเอ มีระดับการได้ยินที่ 4000 เฮิรตซ์ สูงกว่า 40 เดซิเบล ในหูข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้าง และในคนงานกลุ่มนี้พบว่าร้อยละ 58 มีระดับการได้ยินระหว่าง 40 ถึง 55 เดซิเบล และร้อยละ 42 มีระดับการได้ยินที่ 4000 เฮิรตซ์สูงกว่า 55 เดซิเบล ในหูข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้าง[12] และยังพบว่าการศึกษาการได้ยินที่รุนแรงยิ่งขึ้นพบในคนงานงานก่อสร้าง การผลิตอาวุธ และอุตสาหกรรมต่อเรือหรือซ่อมแซมเรือ ซึ่งในอุตสาหกรรมเหล่านี้มีระดับเสียงสูงกว่าในอุตสาหกรรมอื่น ๆ[13] เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินระหว่างหูข้างขวาและหูซ้ายของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้พบลักษณะข้อดีโอแกรมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของโกวิทช์ นามบุญมีและคณะ[10] ที่มีการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการได้ยินของหูทั้งสองข้างในพนักงานอุตสาหกรรมแปรรูปหิน พบว่าค่าเฉลี่ยระดับการเริ่มได้ยินของหูขวาและหูซ้ายมีความใกล้เคียงและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และยังพบว่าที่ความถี่ 4000 และ 6000 เฮิรตซ์ มีสัดส่วนของการสูญเสียการได้ยินสูงกว่าความถี่อื่นทั้งในแง่ของจำนวนและระดับการได้ยิน ซึ่งในระยะเริ่มแรกของการสูญเสียการได้ยินจากเสียงมักเกิดที่ความถี่ 4000 เฮิรตซ์ มากที่สุดและจะขยายไปยังความถี่อื่น ๆ เมื่อมีการสัมผัสเสียงที่ดังขึ้นหรือมีระยะเวลาสัมผัสเสียงที่มากขึ้น[14]

อายุของพนักงานมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยิน สอดคล้องกับการศึกษาของสาวิตรี ชัยรัตน์[15] ที่พบว่าพนักงานบริษัทผลิตมอเตอร์คอมเพลสเซอร์ ที่มีอายุตั้งแต่ 40 ปีขึ้นไปมีความเสี่ยงเปลี่ยนระดับการได้ยินมากกว่าพนักงานที่มีอายุน้อยกว่า 40 ปี แม้ว่าการศึกษา

การได้ยินเป็นไปตามอายุที่เพิ่มขึ้น (Prebycusis) และตามท้องที่การอนามัยโลกระบุว่าหนึ่งในสามของผู้ที่มีอายุมากกว่า 65 ปีได้รับผลกระทบจากการสูญเสียการได้ยิน โดยความชุกของกลุ่มอายุนี้พบสูงที่สุดในเอเชียใต้ เอเชียแปซิฟิก และอนุภูมิภาคซารารแอฟริกา[16] ซึ่งการศึกษานี้พนักงานมีอายุเฉลี่ยเพียง 41 ปี และสูงสุดไม่เกิน 55 ปี จึงกล่าวได้ว่าผลการศึกษาที่ได้นี้ไม่ใช่การสูญเสียการได้ยินที่อาจจะเกิดเป็นผลมาจากการเสื่อมตามอายุของพนักงานเพียงประการเดียว ส่วนอายุงาน สะท้อนถึงระยะเวลาที่พนักงานสัมผัสเสียงมานานเท่าใด ซึ่งมักพบมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยินเนื่องจากเสียงเช่นเดียวกับอายุของพนักงาน โดยพบในกลุ่มพนักงานที่มีอายุงานมาก[11] นอกจากนี้ในบางวันพนักงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษมีการทำงานล่วงเวลา (Over time) ทำให้ระยะเวลาในการสัมผัสเสียงเพิ่มขึ้น และยังพบว่าพนักงานกว่าร้อยละ 40 มีปัญหาการได้ยินในภายหลังกว่า 10 ปีของการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีเสียงดัง โดยอายุงาน 11-20 ปี มีการสูญเสียการได้ยินร้อยละ 41.5 และอายุงานมากกว่า 20 ปี มีการสูญเสียการได้ยินร้อยละ 44.6 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ana Cristina Furtado de Carvalho Régis ที่ศึกษาในอุตสาหกรรมหลอมโลหะ พบว่าพนักงานมีภาวะสูญเสียการได้ยินถาวรหากประกอบอาชีพที่มีการสัมผัสกับเสียงดังนานกว่า 10 ปี[17]

การสูญเสียการได้ยินหรือความบกพร่องทางการได้ยินในการศึกษานี้พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอายุของพนักงาน และอายุงานดังกล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตามควรต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมให้ครบถ้วน เนื่องจากยังมีผลการศึกษาที่พบว่าทั้งสอดคล้องและไม่สอดคล้องกันในบางตัวแปรกับงานวิจัยอื่น ๆ เช่น การศึกษานี้พบว่าเพศ ไม่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยินซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของจิราพร ประกายรุ่งทอง

และคณะ[9] ขณะที่บางการศึกษาพบว่าเพศชายมีการสูญเสียการได้ยินมากกว่าเพศหญิง ซึ่งอัตราความรุนแรงของการสูญเสียการได้ยินของเพศชายมากกว่าเพศหญิงสาเหตุจากเพศชายมีปัจจัยเสี่ยงในการสัมผัสเสียงดังและสูบบุหรี่มากกว่าเพศหญิง[18] การศึกษาเปรียบเทียบการสูญเสียการได้ยินในคนที่มีความเสี่ยงและผู้ที่ไม่เสี่ยงจากเสียงในการทำงาน โดยเปรียบเทียบการสูญเสียแยกตามเพศ ในคนงานที่เสี่ยงจากเสียงดังในการทำงานโดย พบว่าเพศชายที่สัมผัสเสียงจากการทำงานมีการสูญเสียการได้ยินมากกว่าเพศหญิง[19]

ในส่วนของแผนกที่พนักงานสังกัด ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยินเช่นกัน อาจเนื่องด้วยบริเวณที่มีการปฏิบัติงานของทั้ง 2 แผนกมีระดับเสียงใกล้เคียงกัน ด้วยลักษณะการผลิตของอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรที่คล้ายกัน ซึ่งเห็นได้จากระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงานที่ตรวจวัดได้ ซึ่งก็พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อริสรา ฤทธิงามและคณะ[20] ในการศึกษาพนักงานทั้ง 2 แผนกมีระดับเสียงในพื้นที่การทำงานไม่แตกต่างกัน และมีพนักงานเพียงร้อยละ 27.3 ที่ทำงานในบริเวณที่มีระดับเสียงต่ำกว่า 85 dBA ซึ่งการสัมผัสระดับเสียงมากกว่า 85 dBA ตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวันทำให้เซลล์ขน (hair cells) ที่เป็นตัวรับเสียงถูกทำลายส่งผลให้เกิดการสูญเสียการได้ยิน[21]

โดยสรุปความชุกของการสูญเสียการได้ยินและการบดบังการได้ยินในพนักงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ส่วนใหญ่มีการสูญเสียการได้ยินที่ความถี่สูง (3000-6000 เฮิรตซ์) และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียการได้ยิน คือ อายุของพนักงานและอายุงาน สถานประกอบการควรให้ความสำคัญกับโครงการอนุรักษ์การได้ยิน ไม่ว่าจะเป็นการบริหารจัดการทางด้านวิศวกรรม การใช้อุปกรณ์

หรือเครื่องจักรที่มีเสียงดังน้อยลง ให้ความรู้พนักงานเกี่ยวกับการสูญเสียการได้ยินจากการทำงานและส่งเสริมให้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเสียงดัง เพื่อให้พนักงานมีความตระหนักในการป้องกันอันตรายจากเสียงและควรจะดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอุตสาหกรรมผลิตกระดาษที่ให้การสนับสนุนข้อมูล และขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

### จริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้ได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ เลขที่ใบรับรอง COE No.023/2566 วันที่รับรอง 16 สิงหาคม พ.ศ. 2566

### ข้อเสนอแนะ

#### 1. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1.1 ควรมีการควบคุมคุณภาพของผู้ให้บริการที่เข้ามาทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

1.2 ควรมีการเก็บข้อมูลพฤติกรรมสุขภาพของพนักงาน เพื่อพิจารณาร่วมกับการประเมินการสูญเสียการได้ยิน

1.3 ควรมีการเก็บบันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพ การได้ยินพื้นฐาน (Baseline Audiogram) ของพนักงานที่มีโอกาสปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีเสียงดังเพื่อเฝ้าระวังการสูญเสียการได้ยิน

#### 2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาตัวแปรพฤติกรรมสุขภาพการใช้สารเคมีในการทำงาน สำหรับการประเมิน

ความเสี่ยงของการสูญเสียการได้ยินจากการทำงานเนื่องจากเสียงในกลุ่มพนักงานอุตสาหกรรม

### References

- [1] World Health Organization WHO, “Situation review and update on deafness, hearing loss and intervention programmes,” WHO Regional Office for South-East Asia, 2007.
- [2] World Health Organization, “Deafness and hearing loss,” [Online]. Available: [https://www-who-int.translate.google.com/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=th&\\_x\\_tr\\_hl=th&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://www-who-int.translate.google.com/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=th&_x_tr_hl=th&_x_tr_pto=sc)
- [3] Ministry of Labor, “Situations of experiencing danger or illness from work 2017-2021,” 2022, [Online]. Available: [https://www.sso.go.th/wpr/assets/upload/files\\_storage/sso\\_th/84b88f068b29c808bf3efe3302802234.pdf](https://www.sso.go.th/wpr/assets/upload/files_storage/sso_th/84b88f068b29c808bf3efe3302802234.pdf)
- [4] World Health Organization, “Deafness and hearing loss,” [Online]. Available: [https://www.who.int/health-topics/hearing-loss#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/hearing-loss#tab=tab_1)
- [5] M. C. McReynolds, “Noise-induced hearing loss,” *Air Medical Journal*, 2005, vol. 24, no. 2, pp. 73-78.
- [6] S. W. J. Inprom, P. Thepaksorn, and B. Chaimay, “Changes in Hearing Levels Due to Loud Occupational Noises: Literature Review,” *Thai Journal of Public Health and Health Sciences*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 83-99.
- [7] W. Charassri, “The evaluation of the project, Disease-free, Safety, Physical and Mental Wellbeing Enterprise, Fujikura Electronics (Thailand) Ltd., Klong Luang District, Pathumthani Province year 2020,” *Journal of Medical and Public Health Region 4*, 2021, vol. 11, no. 2, pp. 72-78.
- [8] Criteria and methods for hearing conservation prevention program, 2018.
- [9] J. Prakairungthong and S. Kerdmuang, “Factors Associated with Hearing Loss among Workers in Auto Part Manufacturing Industry in Suphanburi province,” *Journal of Nursing and Health Care*, 2017, vol. 35, no. 3, pp. 98-108.
- [10] N. Kowit, C. Alongkorn, S. Tanika, K. Sitang, C. Ouyporn, and C. Duangratana, “Comparison of Noise-Induced Hearing Loss between Stone Processing Workers and Hotel Workers,” *Journal of Health Science of Thailand*, 2017, vol. 25, no. 1, pp. 31-40.
- [11] S. Pourabdiyan, M. Ghotbi, H. Yousefi, E. Habibi, and M. Zare, “The epidemiologic study on hearing standard threshold shift using audiometric data and noise level among workers of Isfahan metal industry,” *Koomesh*, vol. 10, 2009.
- [12] Humes L. E., “The World Health Organization’s hearing-impairment grading system: an evaluation for unaided communication in age-related hearing loss,” (in eng), *Int J Audiol*, 2019, vol. 58, no. 1, pp. 12-20.

- [13] Fuente Adrian and Hickson Louise, "Noise-induced hearing loss in Asia," *International journal of audiology*, 2011, vol. 50, no. sup1, pp. S3-S10.
- [14] Chang Shu-Ju and Chang Chin-Kuo, "Prevalence and risk factors of noise-induced hearing loss among liquefied petroleum gas (LPG) cylinder infusion workers in Taiwan," *Industrial health*, 2009, vol. 47, no. 6, pp. 603-610.
- [15] S. Chairut, "Factors Related and An Analysis of Health Effects to Standard Threshold Shift in Moter Compressor Workers," *Thammasat Medical Journal*, 2013, vol. 13, no. 1, pp. 59-79.
- [16] World Health Organization, "Ear Health," [Online] Available: <https://staging.afro.who.int/health-topics/ear-health>
- [17] Régis Ana Cristina Furtado de Carvalho, Crispim Karla Geovanna Moraes, and Ferreira Aldo Pacheco, "Incidence and prevalence of noise induced hearing loss in workers of a metallurgical company in Manaus-AM, Brazil," *Revista CEFAC*, 2014, vol. 16, pp. 1456-1462.
- [18] N. Piphatvanitcha, "Nursing care for older adults with hearing loss," *Songklanakarin Journal*, 2012, vol. 32, no. 3, pp. 67-76.
- [19] M. Kovalova et al., "Hearing loss in persons exposed and not exposed to occupational noise," *The journal of international advanced otology*, 2016, vol. 12, no. 1, p. 49.
- [20] A. Rit-ngam, J. Jaroenkarnkai, S. Jampasert, and J. Intawong, "Related Factors of Hearing Loss Among Natural Rubber Processing Industry Workers in Rayong," *Journal of Public Health Nursing*, 2017, vol. 30, no. 3, pp. 118-131.
- [21] Elizabeth L. Wagner and Jung-Bum Shin, "Mechanisms of Hair Cell Damage and Repair," (in eng), *Trends Neurosci*, 2019, vol. 42, no. 6, pp. 414-424.



# การวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุล้อรถไฟฟ้าความเร็วสูง ที่โครงสร้างทางจุลภาคเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากกระบวนการทางความร้อน ชัยชโย ชี้อตรง

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัยอกลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Email: chaichayo.sue@vru.ac.th

Received: Jul 26, 2024

Revised: Sep 02, 2024

Accepted: Sep 09, 2024

## บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้พิจารณาการขยายตัวของรอยร้าวจากการล้าของวัสดุล้อรถไฟฟ้าความเร็วสูงเกรด ER8 ซึ่งเป็นเกรดที่ใช้ทำงานอยู่ในรถไฟฟ้า Airport rail link ในประเทศไทย โดยทำการพิจารณาและทดสอบโครงสร้างของเหล็กล้อรถไฟ 2 กรณีศึกษา ได้แก่ โครงสร้างเหล็กกล้าที่ได้มาตรฐานหรือโครงสร้างดั้งเดิมของล้อรถไฟฟ้าความเร็วสูง ซึ่งมีโครงสร้างทางจุลภาคประกอบด้วยเฟสเฟอร์ไรต์และเฟสเพิร์ลไลต์ และในกรณีที่ 2 นั้น จะเป็นโครงสร้างของวัสดุล้อรถไฟฟ้าความเร็วสูงที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน เพื่อจำลองล้อรถไฟฟ้าที่ถูกใช้งานจริงและเกิดความร้อนขึ้นขณะใช้งาน โครงสร้างทางจุลภาคของล้อรถไฟฟ้าความเร็วสูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีปริมาณของเฟสเฟอร์ไรต์เพิ่มมากขึ้น และเฟสเพิร์ลไลต์ลดน้อยลง การทดสอบสมบัติทางกลนั้นกระทำโดยวิธีการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 และการทดสอบความสามารถในการต้านทานความเสียหายที่เกิดจากการล้า (fatigue) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal testing ที่ภาระขนาด 5 กิโลนิวตัน ที่ความถี่ 10 เฮิร์ต ตามมาตรฐาน ASTM E647 ผลที่ได้จากการทดสอบขยายตัวของรอยร้าวล้าด้วยภาระแบบวงรอบ (cyclic load) สามารถนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกลไกความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างทางจุลภาคของเหล็กล้อรถไฟที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลที่ได้พบว่าการเพิ่มขึ้นของเฟสเฟอร์ไรต์ส่งผลให้วัสดุล้อรถไฟฟ้ามีความยืดหยุ่นที่สูงขึ้น แต่กลับมีค่าแรงดึงสูงสุดต่ำลง รวมไปถึงความสามารถในการต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวล้าในวัสดุที่ต่ำลงไปด้วย

**คำสำคัญ :** เหล็กล้อรถไฟฟ้า, การขยายตัวของรอยร้าวล้า, เฟสเฟอร์ไรต์, เฟสเพิร์ลไลต์

## Fracture analysis of the high-speed railway wheel due to changes in microstructure caused by the heat treatment process.

Chaichayo Suetrong

Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

Email: chaichayo.sue@vru.ac.th

Received: Jul 26, 2024

Revised: Sep 02, 2024

Accepted: Sep 09, 2024

### Abstract

This study investigates the fatigue crack propagation in high-speed railway wheel material, grade ER8, used in the Airport Rail Link in Thailand. Two case studies were conducted to examine the structure of railway wheel steel. First is conventional steel structure or the original structure of high-speed railway wheel, consisting of ferrite and pearlite phases. Second is the structure of high-speed railway wheel materials after heat treatment processes to simulate actual operating conditions. Changes in the microstructure of high-speed railway wheel occur, with an increase in ferrite phase and a decrease in pearlite phase. Mechanical properties were tested using ASTM E8 tensile testing standards and fatigue crack propagation resistance testing was conducted using Universal testing machine with a load of 5 kN at a frequency of 10 Hz following ASTM E647 standards. The results showed that the increase in ferrite phase led to higher elongation but lower tensile strength of the railway wheel material. Additionally, it decreased the ability to resist fatigue crack propagation.

**Keywords :** Wheel steel, Fatigue crack propagation, Ferrite, Pearlite

### บทนำ

ลือเป็นหนึ่งในส่วนที่สำคัญที่สุดของรถไฟฟ้านี้ เนื่องจากความปลอดภัยและชีวิตของผู้โดยสารสามารถได้รับผลกระทบโดยตรงเมื่อลือเกิดความเสียหายหรือเกิดความผิดพลาดบางอย่างในวัสดุลือรถไฟ โดยเฉพาะในกรณีของรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูง ซึ่งประเทศไทยกำลังจะมีใช้งานในอนาคต ความเร็วในการขับเคลื่อนที่สูงมากของรถไฟนั้นส่งผลให้ความเสี่ยงและอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นจะร้ายแรงกว่าปกติ ดังเช่นตัวอย่างในปี 1998 มีอุบัติเหตุรถไฟที่ร้ายแรงในเยอรมนี โดยมีที่มาจากรอยร้าวขนาดเล็ก ๆ ที่เกิดจากการล้า (fatigue) ส่งผลให้ลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงเสียหายในขณะใช้งาน ทำให้เกิดการตกราง เหตุการณ์นี้มีผู้เสียชีวิตและได้รับบาดเจ็บจำนวนมาก[1] รวมถึงอีกหลากหลายเหตุการณ์ในต่างประเทศ ทำให้ชิ้นส่วนสำคัญของรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงได้ถูกนำมาพิจารณาในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น กลไกการเกิดความเสียหาย ขั้นตอนการผลิตที่มีคุณภาพ การออกแบบและการปรับปรุงโครงสร้างทางจุลภาคเพื่อหารูปแบบโครงสร้างของลือที่มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น และมีงานวิจัยจำนวนมากที่พยายามทำความเข้าใจกับกลไกความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัสดุลือรถไฟ[2-4] โดยลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูง ER8 เป็นหนึ่งในเกรดเหล็กลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีคุณสมบัติทางกลตามมาตรฐาน EN 13262 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างทางจุลภาคของเหล็กที่ใช้ในการผลิตลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงนั้นจะประกอบไปด้วยเฟสเพอร์ไรต์และเฟสเฟอไรต์โลดต์เป็นหลัก สัดส่วนที่เหมาะสมของทั้งสองเฟสในโครงสร้างทางวัสดุเป็นสิ่งที่น่าสนใจเพราะจะสามารถช่วยยืดระยะเวลาการใช้งานของลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาได้ จากงานวิจัยของ Peixoto และคณะ[5] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงในลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูง AVE ในประเทศสเปน โดยที่

อัตราการเจริญเติบโตของรอยร้าวล้าภายใต้ภาระที่กระทำในทิศทางต่าง ๆ ถูกวัดโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง Compact tension (CT) ตามมาตรฐาน ASTM E647 และเปรียบเทียบกับการทดลองภาระแบบวงรอบที่ผสมมากกว่าหนึ่งทิศทาง ในงานวิจัยของ Ren และคณะ [6] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความเสียหายของลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูง โดยรอยร้าวเริ่มต้นจากพื้นผิวของลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงและขยายความลึกของรอยร้าวมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อถูกใช้งานอย่างต่อเนื่อง และเกิดความเสียหายขั้นสูงสุดในที่สุด งานวิจัยของ Zhang และคณะ[7] ได้ให้ข้อมูลว่าการรับภาระความเค้นในทิศทางที่แตกต่างกันนั้นส่งผลต่อพฤติกรรมการแตกของเหล็กลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูง นอกจากนี้ อุณหภูมิระหว่างใช้งานยังเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้อัตราการขยายตัวของรอยร้าวล้าและอายุการใช้งานของลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงเปลี่ยนไป งานวิจัยของ Fang และคณะ [8] ได้ศึกษาเกี่ยวกับขีดจำกัดของวัสดุลือรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยผลที่ได้คืออุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุ และมีผลกระทบอย่างมากต่อการเกิดขึ้นของรอยร้าวจากการรับภาระแบบวงรอบหรือการล้า (fatigue) รวมถึงอัตราการขยายตัวของรอยร้าวล้าที่เปลี่ยนไปอีกด้วย ในงานวิจัยของ Maya Johnson และคณะ[9] ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของรอยร้าวในเหล็กแรงรถไฟฟ้าวัดความเร็วสูงที่มีโครงสร้างทางจุลภาคประกอบด้วยเฟสเพอไรต์โลดต์ทั้งหมด พบว่าความสามารถในการต้านทานการเจริญเติบโตของรอยร้าวล้าที่มีค่าความเข้มข้นของความเค้น (stress intensity factor) ในช่วงที่ต้านทานจะได้รับอิทธิพลจากระยะห่างระหว่างชั้นในโครงสร้างของเฟสเพอไรต์โลดต์ โดยเฟสเพอไรต์

โลดที่มีความละเอียดของโครงสร้างสูงกว่าจะมีคุณสมบัติที่แข็งแกร่งกว่า

การพัฒนารถไฟฟ้ความเร็วสูงมีความสำคัญอย่างมากต่อประเทศไทยในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มความสะดวกรวดสบายในการเดินทาง โดยรถไฟฟ้ความเร็วสูงสามารถลดเวลาเดินทางระหว่างเมืองใหญ่ในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้คนสามารถเดินทางไปมาระหว่างกันได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มความสะดวกรวดสบายในการทำธุรกิจและการท่องเที่ยวในประเทศ นอกจากนี้ยังช่วยลดความหนาแน่นในการจราจรและลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายรวมถึงสร้างงานจำนวนมากในระหว่างการก่อสร้าง การพัฒนาระบบรถไฟฟ้ความเร็วสูงนั้นไม่เพียงแต่ช่วยให้ประเทศไทยเจริญเติบโตอย่างยั่งยืน แต่ยังเป็นการทำให้อุณหภูมิคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้การลดเวลาเดินทางและการขนส่ง ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการลดการใช้น้ำมันและลดการปล่อยมลพิษในอากาศ ในปัจจุบันประเทศไทยมีแผนพัฒนาระบบรถไฟฟ้ความเร็วสูงในหลายเส้นทาง ตามยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคมนาคมของไทยระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) โดยแบ่งเป็นเส้นทางรถไฟฟ้ความเร็วสูงรวมระยะทางทั้งสิ้น 2,468 กิโลเมตร และมีโครงการจัดซื้อรถไฟฟ้เพิ่มขึ้นอีก 200 คัน ดังนั้นความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับรถไฟฟ้ความเร็วสูงจึงเป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับประเทศไทยในปัจจุบันและอนาคต ในงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับการเพิ่มความมั่นคงและความปลอดภัยในการใช้งานโดยการพิจารณาและศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของวัสดุล้อรถไฟฟ้ความเร็วสูงเมื่อรับภาระทางกลแบบวงรอบ (fatigue) ซึ่งเป็นรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดในการใช้งานวัสดุทางวิศวกรรม

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของเหล็กหล่อรถไฟฟ้ความเร็วสูง
2. เพื่อศึกษาความทนทานต่อการขยายตัวของรอยร้าวในวัสดุล้อรถไฟฟ้เมื่อรับภาระแบบวงรอบ
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและการต้านทานการแตกหัก
4. เพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ทั้งในด้านการผลิตและซ่อมบำรุงในอุตสาหกรรมระบบราง

### วัสดุ

วัสดุที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้คือเหล็กหล่อรถไฟฟ้เกรด ER8 ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในรถไฟฟ้ความเร็วสูง โดยบริเวณของล้อที่ถูกเลือกมาเป็นตัวอย่างทดสอบคือขอบล้อ (web) ซึ่งเป็นบริเวณที่รับภาระทางกลมากกว่าบริเวณอื่น หากเกิดความเสียหายรุนแรงที่ขอบล้อ อาจส่งผลให้รถไฟฟ้ทั้งขบวนตกลงได้ ดังนั้นขอบล้อจึงเป็นบริเวณที่ต้องมีความแข็งแรงสูงและเหมาะสมที่จะนำมาทดสอบมากกว่าส่วนอื่น ๆ โดยในรูปที่ 1 แสดงบริเวณของล้อรถไฟฟ้ที่ถูกตัดออกไปเพื่อทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ โดยใช้วิธีการตัดเหล็กด้วยแก๊สเพื่อให้ได้ชิ้นส่วนในบริเวณที่ต้องการสำหรับการทดสอบแรงดึง และการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวจากภาระวงรอบต่อไป สำหรับปริมาณองค์ประกอบเคมีของชิ้นงานตัวอย่างนั้นถูกทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ OES ผลการวิเคราะห์พบว่าวัสดุล้อรถไฟฟ้เกรด ER8 ประกอบด้วยคาร์บอน (C) 0.563%, แมงกานีส (Mn) 0.709%, ซิลิคอน (Si) 0.222%, นิกเกิล (Ni) 0.352%, โครเมียม (Cr) 0.208%, ฟอสฟอรัส

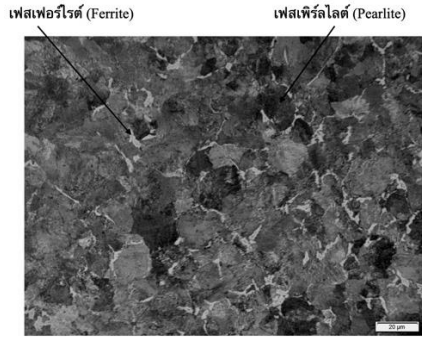
(P) 0.045%, โมลิบดีนัม (Mo) 0.123% และ กำมะถัน (S) 0.040% โดยน้ำหนัก ค่าองค์ประกอบธาตุที่ได้รับจากการตรวจสอบมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Zeng และคณะ[9] และถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบธาตุปกติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางตามมาตรฐานล้อยอดไฟเกรด ER8



ตำแหน่งที่ถูกตัดออกมาเพื่อทำการทดสอบ

รูปที่ 1 ล้อยอดไฟฟ้าความเร็วสูงเกรด ER8

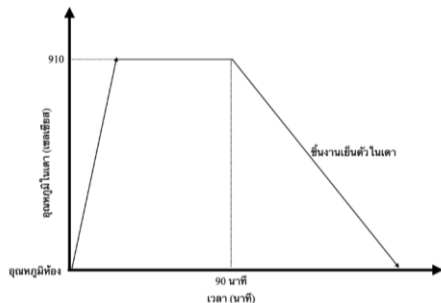
โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุล้อยอดไฟถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (LOM) ตามที่แสดงในรูปที่ 2 โดยผิวของชิ้นงานตัวอย่างถูกขัดและกัดด้วยสาร Nital ความเข้มข้น 2% สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานล้อยอดไฟฟ้าความเร็วสูงแบ่งออกเป็น 2 เฟส พื้นที่สีเทาเข้มคือเฟสเพิร์ลไลต์ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงและสามารถยึดตัวได้ดีภายใต้แรงดึง ในขณะที่พื้นที่สีขาวซึ่งมีปริมาณที่น้อยกว่าคือเฟสเฟอร์ไรต์ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงน้อยแต่มีความเหนียวสูง จากการวิเคราะห์ภาพโดยใช้การความชัดเจนของสีพบว่าปริมาณของเฟสเพิร์ลไลต์เท่ากับ 95.09% และเฟสเฟอร์ไรต์ 4.91% ซึ่งโครงสร้างของเหล็กล้อยอดไฟเกรด ER8 ที่ได้จากชิ้นงานตัวอย่างมีความใกล้เคียงกับวัสดุล้อยอดไฟฟ้าความเร็วสูงทั่วไปในงานวิจัยอ้างอิง[8, 10]



รูปที่ 2 โครงสร้างทางจุลภาคของล้อยอดไฟฟ้าความเร็วสูงเกรด ER8

### กระบวนการวิธีทางความร้อน

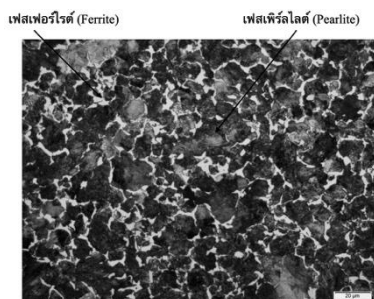
กระบวนการทางความร้อน (heat treatment process) ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุล้อยอดไฟคำนวณด้วยโปรแกรม ThermoCalc โดยใช้ค่าองค์ประกอบธาตุของวัสดุเพื่อสร้างแผนภาพการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิคงที่เทียบเวลา (TTT diagram) และแผนภาพการเย็นตัวต่อเนื่อง (CCT diagram) จากนั้นทำการกำหนดขั้นตอนของกระบวนการทางความร้อนที่เหมาะสม โดยกระบวนการทางความร้อนที่เลือกใช้เริ่มต้นจากการนำชิ้นงานทดสอบเข้าไปอบในเตาจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 910°C เป็นเวลา 90 นาที เพื่อให้โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานเปลี่ยนเป็นโครงสร้างออสเทนไนต์ที่มีความสมดุลทั้งหมด โดยอุณหภูมิที่เลือกใช้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยอ้างอิง[11] จากนั้นปิดเตาและปล่อยให้ชิ้นงานระบายความร้อนอย่างช้า ๆ ในเตาอบเพื่อให้วัสดุมีเวลามากพอที่จะเกิดโครงสร้างที่มีปริมาณเฟสเฟอร์ไรต์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยรูปที่ 3 แสดงแผนภาพอุณหภูมิและระยะเวลา



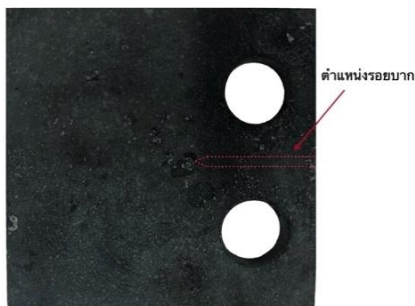
**รูปที่ 3** แผนภาพอุณหภูมิและระยะเวลาของกระบวนการทางความร้อน

ชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนจะถูกตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไป โดยภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (LOM) แสดงในรูปที่ 4 สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างที่แตกต่างจากโครงสร้างตั้งต้นได้อย่างชัดเจน ซึ่งปริมาณของเฟสเฟอร์ไรต์นั้นเพิ่มขึ้นเป็น 13.42 % และปริมาณของเฟสเพิร์ลไลต์ลดลงเหลือ 86.58% นอกจากนี้กระบวนการทางความร้อนสำหรับชิ้นงานทดสอบ จำเป็นต้องพิจารณาเกี่ยวกับความเค้นคงค้างของวัสดุ (residual stress) เนื่องจากเมื่อวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวและเมื่อเย็นลงวัสดุจะเกิดการหดตัวลงและเกิดความเค้นคงค้างขึ้นในชิ้นงานทดสอบ ซึ่งค่าความเค้นคงค้างนี้มีโอกาสที่จะส่งผลต่อความผิดพลาดในการทดสอบทางกลได้ โดยเฉพาะการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าว เนื่องจากการรับภาระแบบวงรอบ ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อค่าความเค้นคงค้าง ดังนั้นชิ้นงานทดสอบที่นำเข้าสู่เตาอบจึงเป็นชิ้นงานทดสอบที่ยังไม่ได้ทำรอยบากในชิ้นงาน และหลังจากชิ้นงานทดสอบผ่านกระบวนการทางความร้อนเสร็จสิ้น ชิ้นงานทดสอบถูกนำไปตัดสร้างรอยบากอีกครั้ง ด้วยขนาดตามมาตรฐานการทดสอบของชิ้นงาน CT โดยตำแหน่งของรอยบากในชิ้นงานแสดงในรูปที่ 5 ด้วยเส้นประสีแดง โดยความยาวของรอย

บากวัดจากจุดศูนย์กลางของจุดยึดในการทดสอบเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร



**รูปที่ 4** โครงสร้างทางจุลภาคของล้อยรถไฟฟ้าเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน



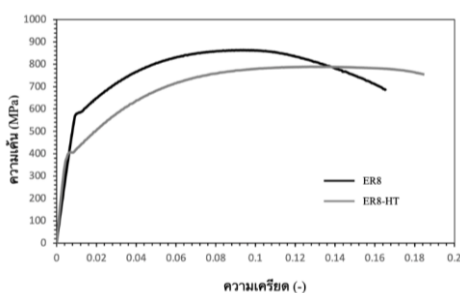
**รูปที่ 5** ชิ้นงานทดสอบหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนและตำแหน่งของรอยบาก

### ผลการทดลอง

#### การทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเพื่อหาสมบัติทางกลของชิ้นงานตัวอย่างเหล็กล้อยรถไฟฟ้าความเร็วสูงเกรด ER8 กำหนดขนาดของชิ้นงานตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM E8 โดยกำหนดความหนาของชิ้นงานเท่ากับ 5 มม. และความยาวของแกนวัด (gauge length) เท่ากับ 25 มม. การทดสอบแรงดึงใช้เครื่องทดสอบ universal testing machine ยี่ห้อ Zwick Roell รุ่น 250 kN โดยให้แรงดึงอย่างสม่ำเสมอด้วยความเร็วเท่ากับ 3 มม./นาที ที่อุณหภูมิห้อง

ข้อมูลเกี่ยวกับการยืดของชิ้นงานทดสอบถูกเก็บค่าโดยใช้เทคนิคดิจิทัลอิมเมจคอร์ริเลชัน (DIC) ตั้งแต่เริ่มต้นตั้งชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหัก กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากการทดสอบแสดงในรูปที่ 6 สำหรับชิ้นงานทดสอบโครงสร้างดั้งเดิม (ER8) แสดงผลโดยใช้เส้นสีดำ และชิ้นงานที่ผ่านการบวมการทางความร้อน (ER8-HT) แสดงผลโดยขึ้นเส้นสีเทา



รูปที่ 6 กราฟผลการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

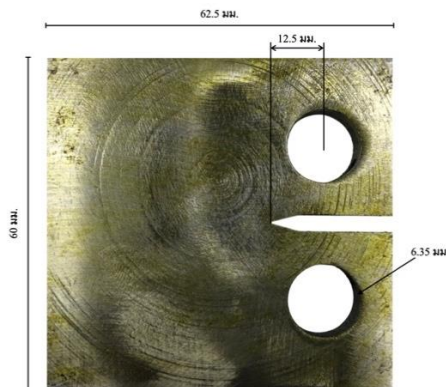
เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ชิ้นต่อโครงสร้างพบว่าค่าความเค้นครากหรือค่าความเค้นสูงสุดก่อนที่วัสดุจะเปลี่ยนรูปร่างถาวร (yield strength) ชิ้นงานตัวอย่าง ER8 เท่ากับ 578.52 MPa ส่วนชิ้นงานตัวอย่าง ER8-HT นั้นเท่ากับ 406.07 MPa ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (ultimate tensile strength) ของตัวอย่าง ER8 เท่ากับ 863.29 MPa ส่วนชิ้นงานตัวอย่าง ER8-HT นั้นเท่ากับ 789.93 MPa และค่าความยืดหยุ่น (elongation) ของชิ้นงานตัวอย่าง ER8 เท่ากับ 16.56% ส่วนชิ้นงานตัวอย่าง ER8-HT นั้นเท่ากับ 18.41% โดยค่าผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงาน ER8 มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอ้างอิง[9-10] จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบสมบัติทางกลพบว่าความแข็งแรงของตัวอย่างที่

ER8 นั้นมีค่าที่สูงกว่าชิ้นงานตัวอย่าง ER8-HT ทั้งค่าความเค้นสูงสุดและความเค้นครากเนื่องจากโครงสร้างทางจุลภาคมีอัตราส่วนของเฟสเฟอไรต์ซึ่งมีคุณสมบัติที่แข็งแรงในปริมาณที่เยอะกว่า ในทางกลับกันชิ้นงาน ER8-HT ซึ่งผ่านกระบวนการทางความร้อนและมีอัตราส่วนของเฟสเพอร์ไรต์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม

#### การทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าว

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง Compact tension (CT) ขนาดของชิ้นงานทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E647 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ใช้ในการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวจากการรับภาระแบบวงรอบ โทนความหนาที่เหมาะสมของชิ้นงานทดสอบ CT ตามที่มาตรฐานแนะนำควรอยู่ระหว่าง  $W/20 \leq B \leq W/4$  มม. โดยในงานวิจัยนี้ความกว้าง (W) ของชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 50 มม. ช่วงความหนาที่เหมาะสมของชิ้นงานทดสอบจึงควรอยู่ในช่วง  $2.5 < B < 12.5$  มม. ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีความหนา 5 มม. อีกทั้งเพื่อให้สอดคล้องกับขนาดความหนาของชิ้นงานทดสอบแรงดึงด้วย ชิ้นงานทดสอบถูกแสดงในรูปที่ 7 โดยการตัดรูปทรงชิ้นงานนั้นใช้วิธีการตัดด้วยลวด (wire cut) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความแม่นยำสูง การทดสอบหรือคำนวณหาอัตราการขยายตัวของรอยร้าวจำเป็นต้องพิจารณาค่าความเข้มข้นของความเค้น (K) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญมาก โดยมีเงื่อนไขและโหมดต่าง ๆ ที่สามารถใช้ในการพิจารณา เช่น โหมดที่1:แรงดึงเปิด, โหมดที่2:แรงเฉือนในระนาบเดียวกับความหนา และ โหมดที่ 3:แรงเฉือนในระนาบตั้งฉากกับความหนา นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการรับภาระที่

แบบผสมที่ใช้ทั้ง 2 โหมด หรือมากกว่าไปพร้อมกัน โดยการทดสอบจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนสูง



รูปที่ 7 ชิ้นงานทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวจากภาวะวงรอบ

อย่างไรก็ตามอ้างอิงจากงานวิจัยของ Borges และคณะ[12] โหมดที่ 1 เป็นโหมดที่มีความสำคัญที่สุดและสามารถส่งผลกระทบมากที่สุดต่ออัตราการขยายตัวของรอยร้าว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำโหมด 1 มาใช้ในการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าว สำหรับการทดสอบการรับภาระแบบวงรอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายตัวของรอยร้าวและค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของความเค้นระหว่างค่าสูงที่สุดและต่ำที่สุด ( $\Delta K$ ) แสดงในสมการที่ 1 โดยค่า  $f(\alpha)$  คือฟังก์ชันรูปร่างของชิ้นงานทดสอบ สามารถคำนวณได้โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM 647 และสามารถคำนวณหาอัตราการขยายตัวของรอยร้าวต่อรอบภาระ ( $da/dN$ ) ได้โดยใช้ The Paris' law ดังแสดงในสมการที่ 2 ซึ่งค่าคงที่ของ Paris ( $c, m$ ) สามารถหาได้จากผลการทดลอง

$$\Delta K = \frac{\Delta F}{B\sqrt{W}} f(\alpha) \quad (1)$$

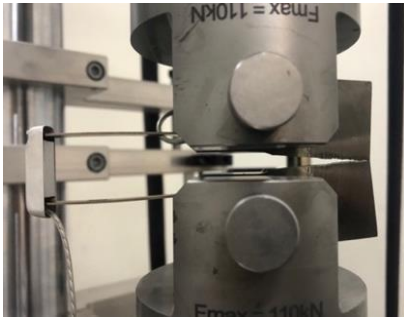
$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (2)$$

การทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวทำทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing Machine ยี่ห้อ Zwick Roell รุ่น 250 kN ด้วยความถี่ 10 เฮิร์ต และอัตราสัดส่วนแรงกดและแรงดึง (R) เท่ากับ 0.1 เพื่อพิจารณาความสามารถในการต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวของวัสดุโลหะไฟฟ้าที่มีโครงสร้างทางจุลภาคที่แตกต่างกัน ในการทดสอบนี้ใช้เครื่องวัดระยะหรือ Extensometer ที่มีความยาวของเกจวัดเท่ากับ 30 มม. ซึ่งถูกติดตั้งที่ปากของชิ้นงานทดสอบ CT ดังแสดงในรูปที่ 8 เพื่อวัดอัตราการขยายตัวของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งที่ถูกดึง โดยระยะการเปิดของปากรอยร้าว (CMOD) ของชิ้นงานทดสอบ CT ถูกใช้ในการคำนวณขนาดของรอยร้าว นอกจากนี้การสร้างรอยร้าวเริ่มต้น (pre-crack) เป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่แม่นยำ อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM E647 แนะนำให้สร้างรอยร้าวเริ่มต้นที่มีความยาวอย่างน้อย 10% ของความหนาของชิ้นงานทดสอบหรืออย่างน้อยควรมากกว่า 1 มม. ในงานวิจัยนี้ความยาวของรอยร้าวเริ่มต้นของตัวอย่าง CT คือ 2.5 มม. ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาก่อนที่จะทำการทดสอบและเก็บผลการทดสอบมาวิเคราะห์ต่อไป

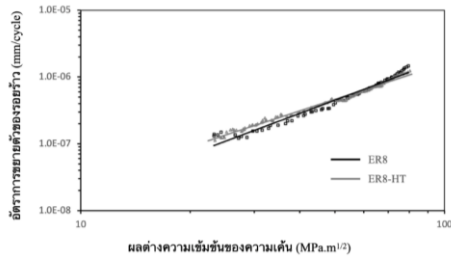
รูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวจากการรับภาระแบบวงรอบ โดยในช่วงต้นหรือภายในช่วง  $\Delta K$  ระหว่าง 20-40 MPa·m<sup>1/2</sup> ชิ้นงานทดสอบ ER8 ที่มีสัดส่วนโครงสร้างประกอบด้วยเฟสเฟอไรต์: เฟอร์ไรต์ 95.09:4.91 มีอัตราการขยายตัวของรอยร้าวที่ต่ำกว่าชิ้นงานทดสอบ ER8-HT ที่มีสัดส่วนโครงสร้างเฟอไรต์: เฟอร์ไรต์ 86.58:13.42 อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในช่วงระยะกลางที่  $\Delta K$  อยู่ระหว่าง 40-60 MPa·m<sup>1/2</sup> อัตราการขยายตัวของรอยร้าวของตัวอย่าง



ER8 เริ่มมีความใกล้เคียงกับชิ้นงานทดสอบ ER8-HT และในช่วงท้ายที่ค่า  $\Delta K$  อยู่ระหว่าง 60-80 MPa·m<sup>1/2</sup> ชิ้นงานทดสอบ ER8 เริ่มมีอัตราการขยายตัวของรอยร้าวที่สูงกว่าชิ้นงาน ER8-HT อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 8 ภาพแสดงการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวและตำแหน่งของ Extensometer



รูปที่ 9 ผลทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวในวัสดุอัลลอยไฟฟ้าที่ค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของความเค้นใด ๆ

เปรียบเทียบระหว่างชิ้นงาน ER8 และ ER8-HT ผลการทดสอบพบว่าโครงสร้างวัสดุที่แตกต่างกันนั้นส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวล้าเมื่อรับภาระ  $\Delta K$  ที่แตกต่างกัน โดยโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงาน ER8 นั้นมีคุณสมบัติที่แข็งแรงกว่าเนื่องจากปริมาณของเฟสเพิร์ลโลต์ที่สูงกว่าส่งผลให้สามารถรับภาระ  $\Delta K$  ในช่วงระยะต้นและระยะกลางได้ดี ส่วนโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงาน

ER8-HT มีคุณสมบัติยืดหยุ่นที่ดีกว่าจากปริมาณเฟสเพอร์ไรต์ที่เพิ่มขึ้นมาจากกระบวนการทางความร้อน ส่งผลให้สามารถในการรับภาระ  $\Delta K$  ในช่วงปลายหรือช่วงระยะสุดท้ายก่อนเกิดการแตกหักได้ดีกว่าสำหรับค่าคงที่ของ Paris ที่ได้จากการทดลอง ค่า c และ m ของชิ้นงานทดสอบ ถูกแสดงในตารางที่ 1 ค่าคงที่เหล่านี้มีความสำคัญในการคำนวณหาอัตราการขยายตัวของรอยร้าวล้าที่รับภาระ  $\Delta K$  ใด ๆ โดยใช้สมการของ Paris' law

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของ Paris

ชิ้นงาน	c	m
ER8	$1.52 \times 10^{-10}$	2.04
ER8-HT	$4.38 \times 10^{-10}$	1.78

### สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกลโดยใช้การทดสอบแรงดึงและการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าว เนื่องจากการรับภาระแบบวงรอบ โดยชิ้นงานทดสอบนั้นมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้กระบวนการทางความร้อน โดยการอบวัสดุล้อยที่อุณหภูมิ 910 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และปล่อยให้เย็นตัวในเตา นั้นส่งผลให้ปริมาณเฟสเพอร์ไรต์ในโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุล้อยรถไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 8.51%

2. ผลการทดสอบแรงดึงแสดงให้เห็นว่าชิ้นงาน ER8-HT ที่มีปริมาณเฟสเพอร์ไรต์มากขึ้น มีค่าความแข็งแรงลดลงทั้งค่าความเค้นครากและความเค้นสูงสุด แต่ในทางกลับกันค่าความยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของเฟสเพอร์ไรต์นั้นเป็นเฟสอ่อน

และมีความสามารถในการยืดหยุ่นได้ดีกว่าเฟสเพิร์ลไลต์ที่มีคุณสมบัติเป็นเฟสแข็ง

3. ผลการทดสอบอัตราการขยายตัวของรอยร้าวที่เกิดจากภาระวงรอบได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับภาระความเข้มข้นของความเค้นที่แตกต่างกันของโครงสร้างทางจุลภาคทั้งสองรูปแบบ โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานตัวอย่าง ER8 ที่มีปริมาณเฟสเพิร์ลไลต์สูงกว่าแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวลำที่สูงกว่าชิ้นงานตัวอย่าง ER8-HT ในช่วงที่ค่าความเข้มข้นของความเค้นอยู่ในปริมาณที่ต่ำ ( $\Delta K$  ระหว่าง 20-40 MPa·m<sup>1/2</sup>) และใกล้เคียงกันในช่วงกลาง ( $\Delta K$  ระหว่าง 40-60 MPa·m<sup>1/2</sup>) แต่ในช่วงท้ายที่ขนาดของรอยร้าวลำมีความยาวใกล้ถึงความยาววิกฤตหรือใกล้เกิดการแตกหัก ค่าความเข้มข้นของความเค้นที่สูง ( $\Delta K$  ระหว่าง 60-80 MPa·m<sup>1/2</sup>) โครงสร้างทางจุลภาคที่มีปริมาณเฟสเพอร์ไรต์มากกว่า มีความสามารถในการต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวลำได้ดีกว่า

4. พิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในการใช้งานจริงของล้อยอดรถไฟความเร็วสูง ข้อได้เปรียบของรูปแบบโครงสร้างทางจุลภาค ER8-HT คือความเหมาะสมในการใช้งานล้อยอดรถไฟในการรับภาระแบบวงรอบที่มากกระทำจำนวนที่สูงได้ดีกว่ารูปแบบโครงสร้างทางจุลภาคของ ER8 เนื่องจากอัตราการขยายตัวของรอยร้าวที่ต่ำกว่าเมื่อรับภาระวงรอบ (cyclic load) แต่ความแข็งแรงที่ลดลงนั้นอาจส่งผลให้การแตกหักของวัสดุเกิดได้ง่ายขึ้นเมื่อรับภาระคงที่ (static load) ดังนั้นในการวางแผนซ่อมบำรุงล้อยอดรถไฟจำเป็นต้องพิจารณาถึงค่าความเข้มข้นของความเค้นที่เกิดขึ้นในการใช้งานจริงและคุณสมบัติของโครงสร้างวัสดุประกอบกัน

5. สำหรับการตรวจสอบและคำนวณหาอัตราการขยายตัวของรอยร้าว โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของความเค้น

(K) ที่เกิดจากการใช้งานจริง และค่าคงที่ Paris (c และ m) ของวัสดุล้อยอดรถไฟ เมื่อตรวจพบรอยร้าวขนาดเล็กในโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุล้อยอดรถไฟ มีโอกาสในการคำนวณระยะเวลาในการใช้งานที่เหลืออยู่ของล้อยอดรถไฟได้โดยใช้สมการ Paris' law

6. สัดส่วนของเฟสเพอร์ไรต์และเฟสเพิร์ลไลต์ที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาอัตราการขยายตัวของรอยร้าวลำ สัดส่วนเฟสเพอร์ไรต์ 95.09% และเฟสเพอร์ไรต์ 4.91% นั้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการผลิตล้อยอดรถไฟในอุตสาหกรรมระบบรางในอนาคต

ผลการทดสอบเหล่านี้ช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของวัสดุในเชิงกล ช่วยในการพัฒนาวัสดุล้อยอดรถไฟความเร็วสูงที่มีประสิทธิภาพทั้งในด้านการออกแบบโครงสร้าง การซ่อมบำรุงรักษาและการวิเคราะห์ความเสียหายในอนาคต

#### กิตติกรรมประกาศ

ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ทั้งเครื่องทดสอบและคำปรึกษาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑูร อุทัยแสงสุข ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ให้คำชี้แนะและความรู้ที่เป็นประโยชน์งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ในที่สุด

#### References

- [1] V. Esslinger, R. Kieselbach, R. Koller and B. Weisse, "The railway accident of Eschede – Technical background," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 11, Aug 2004, pp. 515-535.

- [2] X. Y. Fang, W. Huang, X. F. Yang and J. G. Wang, "Effects of temperature on fatigue cracks initiation and propagation T for a high-speed railway wheel rim steel," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 109, Jan. 2020, p. 104376.
- [3] Y. Hu, L. Zhou, H. H. Ding, R. Lewis, Q. Y. Liu, J. Guo and W. J. Wang, "Microstructure evolution of railway pearlitic wheel steels under rolling-sliding contact loading," *Tribology International.*, vol. 154, Sep. 2021, p. 106685.
- [4] R. M. Nejad and F. Berto, "Fatigue fracture and fatigue life assessment of railway wheel using non-linear model for fatigue crack growth," *Int. J. Fatigue*, vol. 153, Aug. 2021, p. 106516.
- [5] D. F. C. Peixoto and P. M. S. T. De Castro, "Fatigue crack growth of a railway wheel," *Eng. Fail. Anal.* vol. 82, Aug. 2017, pp. 420–434.
- [6] X. Ren, F. Wu, F. Xiao and B. Jiang, "Corrosion induced fatigue failure of railway wheels," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 55, June. 2015, pp. 300–316.
- [7] Q. Zhang, I. Toda-Caraballo, Q. Lic, J. Han, J. Han, J. Zhao and G. Dai, "Tension-shear multiaxial fatigue damage behavior of high-speed railway wheel rim steel," *Int. J. Fatigue*, vol. 133, Dec. 2020, pp. 105416.
- [8] X. Y. Fang, Y. X. Zhao and H. W. Liu, "Study on fatigue failure mechanism at various temperatures of a high-speed railway wheel steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 696, Apr. 2017, pp. 299–314.
- [9] S. M. Johnson, A. J. Ramirez and A. Toro, "Fatigue crack growth rate of two pearlitic rail steels," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 138, Mar. 2015, pp. 63–72.
- [10] D. Zeng, J. Wang, L. Lu, C. Shen, J. Guo, T. Xu and Z. Wang, "Fatigue crack growth behavior of railway wheel steel modified by sulfides enveloping oxides inclusions," *Int. J. Fatigue*, vol. 175, Jul. 2023, p. 107811.
- [11] J. Z. Chen, B. Zhang, L. R. Zeng, Z. M. Song, Y. Y. She and G. P. Zhang, "Optimal bainite contents for maximizing fatigue cracking resistance of bainite/martensite dual-phase 25CrMo4 steels," *Steel Res. Int.*, vol. 89, May. 2018, p. 1700562.
- [12] M. F. Borges, F. V. Antunes, P. Prates, R. Branco, J. M. Vasco-Olmo and F. A. Díaz, "Model for fatigue crack growth analysis," *Proc. Struct. Integrity*, vol. 25, Jan. 2020, pp. 254–261.

## การออกแบบและสร้างเครื่องบดละเอียดเปลือกหอยแมลงภู่ สำหรับกิจกรรมดินปั้นจากเปลือกหอยในการผลิตระดับวิสาหกิจชุมชน

กิตติรัตน์ รุ่งรัตนอาบ<sup>1</sup>, ภัทรา ศรีสุข<sup>2</sup>, อีรวินทร์ ชื่นอัสดงคต<sup>3</sup>,

นฤมล เลิศคำฟู<sup>4</sup>, วรฉัตร อังคะหิรัญ<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Email: kittirat.r@rbru.ac.th<sup>1</sup>

Received: Aug 05, 2024

Revised: Sep 16, 2024

Accepted: Sep 19, 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบดละเอียดเปลือกหอยสำหรับวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว จังหวัดตราด 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องบดละเอียดเปลือกหอย วิธีดำเนินการวิจัยเริ่มจากศึกษาวิธีการทำผงเปลือกหอยแมลงภู่สำหรับทำดินปั้นจากเปลือกหอย ปริมาณการผลิต และความต้องการชุมชนต่อเครื่องบดเปลือกหอยจากสมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว ด้วยวิธีการสัมภาษณ์ กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 3 คน ต่อมาทดสอบการบดเปลือกหอยแมลงภู่ด้วยครก ปริมาณ 50 กรัม 5 ซ้ำ ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องบดโดยใช้หลักการทางกายวิภาคศาสตร์และเครื่องบดแบบโรตารีที่มีเฟืองบดรูปทรงกรวยและสามารถปรับขนาดผงเปลือกหอย ผลการสัมภาษณ์พบว่าทางชุมชนใช้ครกหินตำเปลือกหอยให้เป็นผงและร่อนผ่านตระแกรงขนาด 40 เมช โดยตำครั้งละประมาณ 50 กรัมต่อครก ชุมชนมีปริมาณการใช้ประมาณ 1-2 กิโลกรัมต่อเดือน จึงต้องการเครื่องบดเปลือกหอยที่ราคาไม่สูง เคลื่อนย้ายได้ง่าย ผู้สูงอายุสามารถใช้งานได้ ปลอดภัยและดูแลรักษาได้ง่าย ผลการทดสอบประสิทธิภาพในด้านร้อยละของน้ำหนักเปลือกหอยจากการตำด้วยครกและเครื่องบดเปลือกหอย คือ 92.63 และ 95.66 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำงานจริงของแรงงานคนตำด้วยครกและเครื่องบดเปลือกหอย คือ 1.58 และ 8.59 กรัมต่ออนาที โดยเครื่องบดเปลือกหอยที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ไม่ต้องใช้ตะแกรงร่อน ลดการสูญหายของเปลือกหอย ลดเวลาในการเตรียมผงเปลือกหอยของชุมชน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบดเปลือกหอยสำหรับการผลิตในระดับวิสาหกิจชุมชนได้

**คำสำคัญ :** เครื่องบดละเอียด, เปลือกหอยแมลงภู่, ดินปั้นจากเปลือกหอย, ประสิทธิภาพ

## **Design and Construction of Mussel Shell Fine Grinding Machine for Shell Clay Activity in Community Enterprise Production**

**Kittirat Rungrattanaubol<sup>1</sup>, Pathra Srisukho<sup>2</sup>, Teerawat Chuenatsadongkot<sup>3</sup>,**

**Narumon Lertcumfu<sup>4</sup>, Worachat Angkahiran<sup>5</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

Email: kittirat.r@rbru.ac.th<sup>1</sup>

Received: Aug 05, 2024

Revised: Sep 16, 2024

Accepted: Sep 19, 2024

### **Abstract**

This research aimed to 1) design and construct a shell fine grinding machine for the Ban Nam-Chiew community tourism enterprise in Trat Province and 2) assess the machine's efficiency. The research methodology starts with the study on the shell from members of the Ban Nam-Chiew community tourism enterprise group by interviewing 3 specific sample groups. The interview topics include how to make the fine powders of mussel shells for shell clay activity, production volume, and community demand for shell grinding machines. Next, 50 g of bleached mussel shell grinding test via a mortar and repeated 5 times. Next, a prototype grinding machine was designed and built using the principles of anatomy and a gyratory crusher that uses conical grinding gears to adjust the size of the shell powder. The interview results showed that the community used stone mortars to grind shells into powder and sieve the shell powders through a 40 mesh sieve, grinding ~50 grams each time. In addition, it was found that the community uses shell powder~ 1-2 kilograms per month. Thus, there is a need for a shell fine grinding machine that is not expensive, easy to move, can be used by the elderly, safe, and easy to maintain. The efficiency test results regarding the percentage of ground shell weight of the mortar and shell fine grinding machine were 92.63% and 95.66%, respectively. The actual working efficiency of the human using a mortar and fine grinding machine grinding were 1.58 and 8.59 g/min, respectively. Moreover, the shell fine grinding machine that was built can work continuously with no sieving method, reducing the loss of shell powder and reducing the time spent preparing shell powder in the community. Therefore, it can be applied to crush shells for production at the community enterprise level.

**Keywords :** Fine grinding machine, Mussel shell, Shell clay, Efficiency

### บทนำ

วิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียวเป็นชุมชนท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่นำเสนอเรื่องราวของวิถีชีวิตชุมชนสองศาสนา สามวัฒนธรรม มีกิจกรรมท่องเที่ยวมากมาย ได้แก่ ชมสะพาน วัดใจ ลงค้ำน้ำงมหอยปากเปิด ชมสาธิตการทำอบใบจาก การทำข้าวเกรียบยาคหน้า ชมมัสยิด มัสยิดอัลกุบรอ ล่องเรือเล็กชมวิถีชีวิตชาวประมง และกิจกรรมทำเครื่องประดับจากเปลือกหอย[1]

เครื่องประดับจากเปลือกหอยของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว จังหวัดตราด เป็นการนำขยะเปลือกหอยเหลือทิ้งชุมชน ที่มาจากครัวเรือน ร้านอาหาร และการแกะหอยสดเพื่อส่งไปจำหน่าย ก่อให้เกิดขยะเปลือกหอยจำนวนมาก ดังนั้นชุมชนจึงนำเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้งนำมาแปรรูปเป็นดินปั้นจากเปลือกหอยแมลงภู่ทำเป็นเครื่องประดับเพื่อจำหน่ายและสร้างเป็นกิจกรรมส่งเสริมการท่องเที่ยว คือ กิจกรรมสาธิตการทำเครื่องประดับจากเปลือกหอยแมลงภู่ ที่มีชื่อกิจกรรมว่า “หอยคราฟต์”[2] ซึ่งกิจกรรมนี้ช่วยลดปริมาณขยะชุมชน และใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ โดยดินปั้นจากเปลือกหอยแมลงภู่ มีส่วนผสมของเปลือกหอยแมลงภู่ผ่านการฟอกสีเปลือกหอยและเนื้อเยื่อต่างๆ และบดให้เป็นผงละเอียดด้วยครกนำไปร่อนกระชอน ตาละเอียด จนมีลักษณะคล้ายแป้ง จากนั้นผสมกับแป้งข้าวเหนียว สารกันบูด เบบียออล และกาวลาเท็กซ์ ลักษณะเนื้อดินมีสีน้ำตาลเล็กน้อยที่ผิวมองเห็นเกล็ดวาวแบบมุก[3] กระบวนการทำเปลือกหอยแมลงภู่ให้เป็นผงละเอียดด้วยครกต้องใช้เวลาร่างงาน และไม่สามารถควบคุมขนาดของผงเปลือกหอยได้

ในงานวิจัยนี้จึงออกแบบและสร้างเครื่องประดับเปลือกหอย จากนั้นประเมินประสิทธิภาพของเครื่องประดับเปลือกหอย โดยมีแนวคิดใช้หลักการลดขนาดวัสดุแบบเพื่องบดทรงกรวย[4-6]

ซึ่งหลักการนี้เป็นการปรับลดขนาดเปลือกหอยจากการบดอัดและการขัดสี ทำให้เปลือกหอยมีขนาดเล็กลง จนสามารถร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่ชุมชนใช้ประมาณ 0.45 มิลลิเมตรได้ ซึ่งเครื่องบดละเอียดเปลือกหอย สามารถควบคุมคุณภาพขนาดผงเปลือกหอย ช่วยทุ่นแรง และประหยัดเวลาในการเตรียมผงเปลือกหอยแมลงภู่ เพื่อให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว จังหวัดตราด นำไปต่อยอดสร้างผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากเปลือกหอยต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบดละเอียดเปลือกหอย สำหรับวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว จังหวัดตราด
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องบดละเอียดเปลือกหอย

### ระเบียบวิธีวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องบดเปลือกหอยสำหรับวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว จังหวัดตราด มีการศึกษาข้อมูลและกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบที่สำคัญดังนี้

#### 1. การศึกษาข้อมูลการใช้งานเปลือกหอย

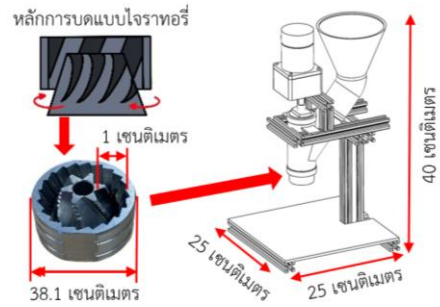
เก็บข้อมูลในด้านปริมาณการผลิตความต้องการของผู้ใช้งานและวิธีการบดเปลือกหอยของชุมชน โดยกระบวนการการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 3 คน ประกอบด้วยหัวหน้ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว จังหวัดตราด จำนวน 1 คน และผู้ดำเนินการกิจกรรมงานหอยคราฟต์ จำนวน 2 คน ทำการเก็บข้อมูลของชุมชนด้วยวิธีการสัมภาษณ์ ในประเด็นของวิธีการบดเปลือกหอยด้วยวิธีการทำด้วยครก

## 2. การทดสอบการตำด้วยครก

การทดสอบการตำด้วยครกเริ่มจากนำเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านการฟอก (เพื่อกำจัดโปรตีนที่เปลือกนอก) จำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 50 กรัม ทดสอบตำด้วยครกหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากครก 15 เซนติเมตร ความลึก 8 เซนติเมตร ทำให้เป็นผงละเอียด และใช้ตะแกรงร่อนผงขนาด 40 เมช (0.45 มิลลิเมตร) หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักผงเปลือกหอยที่ผ่านตะแกรงร่อน และบันทึกเวลาที่ใช้ในการตำเปลือกหอยจนได้ผงเปลือกหอยละเอียดที่สามารถนำไปใช้ได้

## 3. การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี

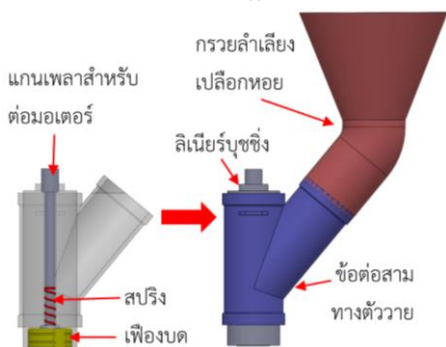
การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องบดเปลือกหอยจากหลักการบดที่ใช้เฟืองทรงกรวยบดแบบไจราทอรี (Gyratory crushers)[4] ที่ใช้การกำหนดขนาดของช่องว่างตามขนาดของวัสดุที่ต้องการบด และใช้เฟืองบดทรงกรวยแบบแกนหมุนแนวตั้งที่สามารถปรับระยะให้เคลื่อนที่ขึ้นลงได้ สำหรับกระบวนการบดหลักที่ทำหน้าที่บดอัดจากระยะของช่องว่างระหว่างแกนหมุนแนวตั้งกับส่วนที่อยู่คงที่ที่ติดตั้งไว้กับตัวเครื่อง และทำให้วัตถุลดขนาดได้จากกลไกการบดอัดและการขัดสี ซึ่งเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้เลือกใช้เฟืองบดรูปทรงกรวยที่เป็นอะไหล่สำเร็จรูป เนื่องจากสามารถหาซื้อหรือเปลี่ยนได้ง่ายเมื่อเกิดการสึกหรอ



รูปที่ 1 แบบร่างเครื่องบดเปลือกหอยแบบ

จากรูปที่ 1 วัสดุสำหรับตัวเครื่องบดและโครงขาตั้งเป็นวัสดุสแตนเลสและอะลูมิเนียมตามลำดับ โดยพิจารณาหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ทั้ง 10 ข้อ[7] ในส่วนการกำหนดขนาดของเครื่องบดเปลือกหอยพิจารณาด้วยหลักการทางกายวิภาค [8], [9] อีกทั้งอ้างอิงผลงานวิจัยของวรรณนิศานุชคุ้ม[10] สำหรับการออกแบบขนาดของเครื่องบดเปลือกหอย ที่กำหนดให้มีความสูงไม่เกิน 40 เซนติเมตร และได้ทำการร่างแบบ โดยให้เครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรีมีขนาด 25 x 25 x 40 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)

ส่วนของเฟืองบดทรงกรวยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร และระยะในการบดบดของเฟืองเท่ากับ 1 เซนติเมตร โดยวัดระยะจากฟันบดทรงกรวยด้านบน กับฟันบดของขอบวงกลมด้านใน ส่วนถัดมาโครงของเครื่องบดเปลือกหอย ใช้ท่อสแตนเลสที่เป็นข้อต่อสามทางตัววาย (ชิ้นส่วนสีน้ำเงิน ดังรูปที่ 2) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 เซนติเมตร (1 นิ้วครึ่ง) และแกนที่ยื่นออกมาทำมุม 45 องศา โดยภายในท่อที่เป็นข้อต่อสามทางตัววาย มีแกนเพลลาขนาด 0.8 เซนติเมตร สวมด้วยสปริงและเฟืองบด มีลิเนียร์บุซึ่งคอยาวยึดกับข้อต่อสามทางตัววายเพื่อประคองเฟืองบดในการหมุน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 หลักการออกแบบเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรีต้นแบบ

ในรูปที่ 2 จากแกนข้อต่อสามทางรูปตัววาย ที่เอียง 45 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 เซนติเมตร ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับกรวยลดขนาดที่เป็นช่องทางเข้าของเปลือกหอย โดยมีปากกรวยมีขนาด 12.7 เซนติเมตร (5 นิ้ว) (ชิ้นส่วนสีแดงดังรูปที่ 2)

การออกแบบขนาดของมอเตอร์ที่ใช้สำหรับลดขนาดเปลือกหอย ด้วยการวิเคราะห์หลักการทางทฤษฎีลดขนาดและสมการของบอนด์ (Bond's equation) ดังสมการที่ (1) สำหรับการบดแบบแห้ง [5]

$$P = \left( \frac{4}{3} \times 36 \cdot W_i \cdot m \left( \frac{1}{\sqrt{D_{b2}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{b1}}} \right) \right) \quad (1)$$

โดย P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

$W_i$  = ระยะเวลาที่ต้องการ (กิโลกรัมต่อวินาที)

m = ค่าวัสดุเลือกใช้ค่าเป็นหินปูน (Limestone)

เท่ากับ 12.74

$D_{b2}$  = ขนาดก่อนบด (เมตร)

$D_{b1}$  = ขนาดหลังบด (เมตร)

#### 4. การทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี

ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี โดยขนาดของผงเปลือกหอยที่ได้หลังการบดต้องมีขนาดที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ คือมีขนาดร่อนผ่านตะแกรง 40 เมช ได้ โดยเริ่มจากบดหยาบด้วยครก เพื่อควบคุมขนาดของเปลือกหอยที่นำมาบด และในระหว่างการทำงานของเครื่องบด เครื่องต้องไม่สะดุดหรือเกิดการขัดข้องในขณะทำงาน แต่ถ้าเกิดการขัดข้องให้ดำเนินการปรับแก้ไข ให้สามารถทำงานได้

#### 5. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี และการเปรียบเทียบกับการบดที่ใช้การตำด้วยครก

ทำการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการบดเปลือกหอย น้ำหนักเปลือกหอยก่อนบด (โดยเริ่มบันทึกผลตั้งแต่กกระบวนการบดหยาบด้วยครก) และหลังบดของวิธีการบดด้วยเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี และเปรียบเทียบกับวิธีการตำด้วยครก โดยทำการเก็บข้อมูลของของการทดสอบ 5 ซ้ำ ซึ่งแต่ละครั้งใช้เปลือกหอยในการทดสอบ  $50 \pm 0.2$  กรัม ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพสามารถแสดงในส่วนของร้อยละของน้ำหนักเปลือกหอยบด และความสามารถในการทำงานจริงของการบด [11], [12] ดังสมการที่ (2) และ (3) ต่อไปนี้

$$C_t = \frac{W_1}{W} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $C_t$  = ร้อยละบดเปลือกหอย (%)

$W_1$  = น้ำหนักเปลือกหอยหลังบด (กรัม)

$W$  = น้ำหนักเปลือกหอยทั้งหมด (กรัม)



$$C_a = \frac{W_1}{T} \quad (3)$$

เมื่อ  $C_a$  = ความสามารถในการทำงานจริง  
(กรัมต่อนาที)

$W_1$  = น้ำหนักเปลือกหอยหลังบด (กรัม)

$T$  = เวลาในการทำงานทั้งหมด (นาที)

### ผลการวิจัย

#### 1. ผลการศึกษาข้อมูลการใช้งานเปลือกหอย

จากการสัมภาษณ์พบว่าการทำผงเปลือกหอยแมลงภู่ของชุมชน โดยใช้ครกหินตำเปลือกหอยให้เป็นผงละเอียด ด้วยการตำครั้งละประมาณ 50 กรัม ซึ่งในการตำต้องทยอยร่อนด้วยตะแกรงขนาด 40 เมช เนื่องจากครกมีลักษณะโค้งส่งผลให้ตำเปลือกหอยได้ไม่ทั่วถึง จึงต้องตักผงเปลือกหอยบางส่วนมาร่อนตะแกรงสลับกับการตำ ประมาณ 4-5 ครั้งโดยเฉลี่ย โดยผงเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านตะแกรงร่อนมีลักษณะเป็นผงละเอียดที่ยังคงมีความวาวแบบมุก

นอกจากนั้นแล้วปริมาณการใช้งานเปลือกหอยบดในกิจกรรมดินปั้นจากเปลือกหอยของวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว มีปริมาณการเตรียมดินปั้นจากเปลือกหอยสำหรับเตรียมให้กับผู้เข้าร่วมทำกิจกรรม 10-15 คน คือ 100 กรัม ต้องใช้เปลือกหอยแมลงภู่บดปริมาณ 70 กรัม เมื่อเฉลี่ยแล้วพบว่าใน 1 เดือนจะใช้เปลือกหอยบดประมาณ 1-2 กิโลกรัม โดยผงเปลือกหอยแมลงภู่ 1 กิโลกรัมใช้เวลาในการตำประมาณ 1-2 วัน เนื่องจากเกิดความเมื่อยล้าจากกระบวนการทำ จึงจำเป็นต้องใช้เวลานาน ดังนั้นชุมชนจึงมีต้องการเครื่องบดเปลือกหอยแมลงภู่ที่ราคาไม่สูงมาก เคลื่อนย้ายได้ง่าย ผู้สูงอายุสามารถใช้งานได้ โดยเฉพาะผู้หญิง มีความปลอดภัย และสามารถดูแลรักษาทำความสะอาดทำได้ง่าย ใช้เวลาในการทำงานน้อยลง

#### 2. ผลการทดสอบการตำด้วยครก

ผลการทดสอบการตำเปลือกหอยแมลงภู่ให้เป็นผงละเอียดด้วยครก พบว่าน้ำหนักเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านตะแกรงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $46.38 \pm 0.61$  กรัม น้ำหนักที่สูญหายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.68 \pm 0.65$  กรัม และเวลาที่ใช้ในการตำทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $29.33 \pm 3.00$  นาที ซึ่งในกระบวนการตำด้วยครกมีการสูญหายของเศษเปลือกหอย เนื่องจากในขณะตำมีเศษเปลือกหอยกระเด็นออกมาบางส่วน และเกิดการสูญหายของผงเปลือกหอยขณะร่อนตะแกรง นอกจากนี้แล้วยังมีเศษผงเปลือกหอยบางส่วนติดอยู่ในครกแสดงผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการตำด้วยครก

ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกหอยแมลงภู่ (กรัม)			เวลาที่ใช้ (นาที)
	ก่อนตำ	หลังตำ	สูญหาย	
1	49.98	47.33	2.65	28.42
2	50.12	46.55	3.57	32.23
3	50.03	46.3	3.73	30.18
4	50.09	45.74	4.35	24.58
5	50.11	46.00	4.11	31.22
$\bar{x}$	50.07	46.38	3.68	29.33
S.D.	0.06	0.61	0.65	3.00

#### 3. ผลการสร้างเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรั

เครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรัต้นแบบที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ มีตัวเครื่องบดที่มีโครงสร้างเป็นสแตนเลสประกอบติดกับฐานและขาตั้งที่เป็นอะลูมิเนียม เพื่อป้องกันการเกิดสนิมที่ตัวเครื่องสามารถทำความสะอาดได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา โดยมีเงื่อนไขในการออกแบบคือ ใช้หลักการบดแบบไจราทอรั ขนาดของตัวเครื่องรวมฐานและขาตั้งมีขนาด  $25 \times 25 \times 40$  เซนติเมตร มาจากแบบจำลองสัดส่วนร่างกายและขอบเขตการเอื้อมถึงของผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป ที่พบว่ามีค่าเฉลี่ยความยาวแขนเท่ากับ 40.53 เซนติเมตร

[10] โดยการลำเลียงเปลือกหอยที่มีขนาดไม่เกิน 10 มิลลิเมตร เข้าทางส่วนบนของตัวเครื่องบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกรวยเท่ากับ 12.7 เซนติเมตร ต่อเข้ากับท่อข้อต่อสามทางตัววาล์วที่มีเอียงทำมุม 45 องศา และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 เซนติเมตร ซึ่งปลายท่อด้านล่างต่อเข้ากับเฟืองบดทรงกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร ใช้การขับเคลื่อนเฟืองบดด้วยมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องต้นแบบเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี

ผลการหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้สำหรับลดขนาดเปลือกหอย สำหรับการบดแบบแห้ง ที่มีขนาดของเปลือกหอยแผลงก่อนบดและหลังบดเท่ากับ 10 และ 0.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ และระยะเวลาที่ต้องการใช้ในการผลิต เท่ากับ 125 กรัมต่อชั่วโมง ผลการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ในหน่วยวัตต์ในทางทฤษฎีจากสมการที่ (1) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.79 วัตต์ และกำลังที่แท้จริงของการหาขนาดของมอเตอร์สำหรับใช้งานจริงใช้ค่าที่มากที่สุดที่ 20 เท่าของค่าที่ได้จากทฤษฎี[4] พบว่ามีค่าเท่ากับ 15.80 วัตต์ ดังนั้น ขนาดของมอเตอร์ที่เลือกนำมาใช้งานในงานวิจัยนี้จากภาวะที่ความเหมาะสมของขนาดมอเตอร์ที่เลือกใช้ใน

การทำงานจริงอยู่ที่ 80 % จึงมีค่าเท่ากับ 19.75 วัตต์ หรือประมาณ 20 วัตต์

#### 4. ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี

ผลของการบดหยาบเปลือกหอยก่อนเข้าเครื่องบด พบว่าที่ระยะการปรับของเฟืองบดที่การหมุนปรับระยะเฟืองบด 2 รอบจากจุดเริ่มต้นเพื่อให้ได้ขนาดของผงเปลือกหอยตรงตามความต้องการ เปลือกหอยก่อนบดที่มีขนาดมากกว่า 10 มิลลิเมตร เครื่องบดไม่สามารถทำการบดเปลือกหอยได้และเปลือกหอยเหล่านี้จะติดอยู่ภายในเครื่องบด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเตรียมเปลือกหอยและการทดสอบบดด้วยเครื่องแบบไจราทอรี

ส่วนเปลือกหอยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 มิลลิเมตร สามารถทำการบดผ่านไปได้ ดังนั้นเปลือกหอยก่อนบดควรมีขนาดเท่ากับหรือน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร เครื่องบดจึงจะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

**5. ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี และการเปรียบเทียบกับกรบดที่ใช้การตำด้วยครก**

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการบดเปลือกหอยด้วยเครื่องบดแบบไจราทอรี โดยเปลือกหอยต้องผ่านกระบวนการบดหยาบให้มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี ได้เริ่มทำการบันทึกน้ำหนักเปลือกหอยก่อนบดและเริ่มจับเวลาในการทำงาน ตั้งแต่เริ่มกระบวนการบดหยาบ เพื่อเตรียมความพร้อมของเปลือกหอยก่อนนำเข้าเครื่องบด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2

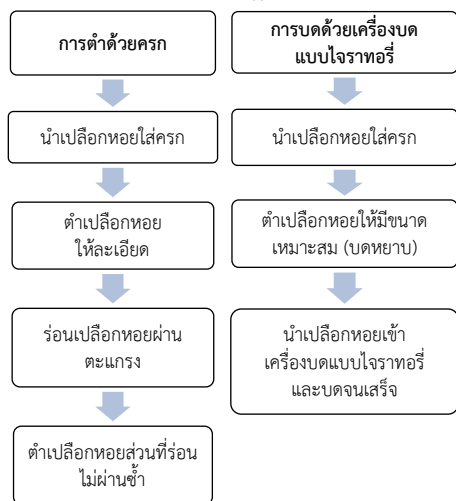
โดยในกระบวนการเตรียมเปลือกหอยแบบหยาบด้วยการตำด้วยครก พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก

เปลือกหอยแผลงภูหลังบดหยาบมีค่าเท่ากับ  $49.69 \pm 0.14$  กรัม น้ำหนักของเปลือกหอยแผลงภูที่เกิดการสูญหายในระหว่างการตำ เท่ากับ  $0.36 \pm 0.08$  กรัม และใช้เวลาในการบดเปลือกหอยแบบหยาบ เท่ากับ  $0.17 \pm 0.01$  นาที ต่อมาในกระบวนการบดด้วยเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี พบว่าค่าเฉลี่ยของ น้ำหนักเปลือกหอยแผลงภูหลังบดละเอียดมีค่าเท่ากับ  $47.87 \pm 0.68$  กรัม น้ำหนักของเปลือกหอยแผลงภูที่เกิดการสูญหายในระหว่างการการบด เท่ากับ  $1.81 \pm 0.61$  กรัม และใช้เวลาในการบดละเอียด เท่ากับ  $5.40 \pm 1.31$  นาที ซึ่งเมื่อรวมเวลารวมที่ใช้ทั้งกระบวนการสำหรับการบดเปลือกหอยด้วยวิธีนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $5.57 \pm 1.18$  นาที

**ตารางที่ 2** ผลทดลองการหาระยะเวลาและน้ำหนักที่ได้จากการเครื่องบดแบบไจราทอรี

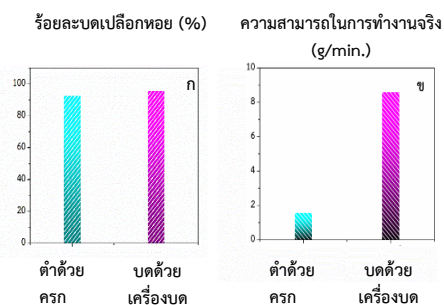
ครั้งที่	การเตรียมเปลือกหอยขั้นแรก				การบดเปลือกหอยด้วยเครื่องบด				เวลาทดสอบรวม (นาที)
	น้ำหนักก่อนตำ (กรัม)	น้ำหนักหลังตำ (กรัม)	น้ำหนักสูญหาย (กรัม)	เวลาที่ใช้ (นาที)	น้ำหนักก่อนบด (กรัม)	น้ำหนักหลังบด (กรัม)	น้ำหนักสูญหาย (กรัม)	เวลาที่ใช้ (นาที)	
1	50.18	49.86	0.32	0.16	49.86	48.12	1.74	6.36	6.52
2	50	49.63	0.37	0.18	49.63	48.31	1.32	7.23	7.41
3	50.01	49.58	0.43	0.18	49.58	46.72	2.86	4.56	5.14
4	49.97	49.54	0.43	0.16	49.54	47.83	1.71	4.48	5.04
5	50.06	49.82	0.24	0.19	49.82	48.39	1.43	4.38	4.57
$\bar{x}$	50.04	49.69	0.36	0.17	49.69	47.87	1.81	5.40	5.57
S.D.	0.08	0.14	0.08	0.01	0.14	0.68	0.61	1.31	1.18

การเปรียบเทียบกระบวนการทำงานของการบดสองแบบ พบว่าการใช้งานเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรี ส่งผลให้ทำให้กระบวนการบดต่างไปจากวิธีการตำด้วยครกแบบเดิมคือสามารถลดกระบวนการร่อนในระหว่างกวนการตำได้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบขั้นตอนการบดระหว่างการตำด้วยครกกับการบดด้วยเครื่องบดแบบโรราทอรี

ผลของการหาค่าประสิทธิภาพของการตำด้วยครกและการบดด้วยเครื่องบดในส่วนของร้อยละของน้ำหนักเปลือกหอยบด และความสามารถในการทำงานจริงของการบด จากสมการที่ (2) และ (3) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานระหว่างการบดด้วยครก กับการบดด้วยเครื่องบดแบบโรราทอรี

- ก. ร้อยละการบดเปลือกหอย
- ข. ความสามารถในการทำงานจริง

พบว่าค่าร้อยละของการบดเปลือกหอยของวิธีการตำด้วยครกและวิธีการบดด้วยเครื่องบด

เปลือกหอยแบบโรราทอรี มีค่าร้อยละเท่ากับ 92.63 และ 95.66 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในด้านปริมาณของเปลือกหอยละเอียดที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในทางกลับกันประสิทธิภาพในด้านของเวลาที่ใช้ในการบดเปลือกหอยของวิธีการตำด้วยครกและวิธีการบดด้วยเครื่องบดเปลือกหอยแบบโรราทอรีมีค่า 1.58 และ 8.59 กรัม ต่อ นาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องบดเปลือกหอยแบบโรราทอรีมีประสิทธิภาพในด้านของเวลาที่มากกว่า และสามารถประหยัดเวลาในการทำงานได้มากกว่าวิธีการตำด้วยครก

### สรุปและอภิปรายผล

จากการออกแบบและสร้างเครื่องบดเปลือกหอย สำหรับการเตรียมผงเปลือกหอยบดละเอียด เพื่อใช้ในกิจกรรมการทำเครื่องประดับดินปั้นจากเปลือกหอยแมลงภู่ (หอยคราฟต์) เครื่องบดที่ได้ มีขนาดอยู่ในระยะการเอื้อมถึงของผู้สูงอายุ ที่ 25 x 25 x 40 เซนติเมตร ที่ทำให้ผู้สูงอายุใช้งานได้สะดวก อีกทั้งหลักการบดแบบโรราทอรีสามารถปรับระยะห่างของกรวยบดได้ง่าย ทำให้ปรับขนาดของผงเปลือกหอยได้ตามต้องการ ส่งผลให้ช่วยลดกระบวนการที่ต้องเสียเวลาในการร่อน ผ่านกระชอน และลดการบดซ้ำได้หลายรอบ จึงได้เวลาในการบดเปลือกหอยที่ดีขึ้น สอดคล้องกับงานของประภัสสร และคณะ[13] ที่ปรับปรุงเครื่องมือการผลิตแล้วทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพและเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง โดยค่าร้อยละการบดเปลือกหอย ทั้งแบบวิธีตำด้วยครกและแบบบดด้วยเครื่องบดเปลือกหอย มีความสามารถใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 92.63 และ 95.66 ตามลำดับ อีกทั้งวิธีการตำด้วยครกและแบบบดด้วยเครื่องบด

เปลือกหอยแบบไจราทอรี มีระยะเวลาที่ต่างกัน มากถึง 1.58 และ 8.59 กรัมต่อนาที และเป็นที่น่าสนใจอย่างมากสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว จังหวัดตราด ซึ่งเครื่องบดเปลือกหอยแบบไจราทอรีจากงานวิจัยนี้ มีต้นทุนในการผลิตประมาณ 5,000 บาท ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องบดเปลือกหอยขายในท้องตลาดที่สามารถปรับขนาดความละเอียดของผงเปลือกหอยได้ และเครื่องบดเปลือกหอยที่มีขายยังไม่เหมาะสมสำหรับงานเครื่องประดับสำหรับกิจกรรมของวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว ส่วนมากเป็นเครื่องบดขนาดใหญ่ มีราคาสูง ใช้บดละเอียดสำหรับงานเครื่องสำอาง[14], [15] เป็นต้น

ทั้งนี้หากสามารถพัฒนาเครื่องบดเปลือกหอย โดยลดขั้นตอนการตำหยาบก่อนใส่เครื่องบดเพื่อลดเวลาในการทำงาน จึงอาจเป็นแนวทางในการต่อยอดเครื่องบดเปลือกหอยต่อไป

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณทางมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัยเงินบงกองทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2566 และขอขอบคุณ ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนท่องเที่ยวบ้านน้ำเขียว จังหวัดตราด ที่สนับสนุนเปลือกหอยแผลงูสำหรับใช้ทดลองและทดสอบ จนพัฒนาเป็นเครื่องบดเปลือกหอยสำเร็จลุล่วง

#### References

[1] Tourism Authority of Thailand (TAT.). "Tourism Community Enterprises Ban Nam Chiew," Amazing Thailand. Accessed: Aug. 3, 2024. [Online]. Available: <https://url.in.th/Azhak>

- [2] University to Tambon ( U2T. ) . *Developing community products from shell waste*. Accessed: Aug. 3, 2024. [ Online] . Available: <https://u2trbru.rbru.ac.th/blog/296>
- [3] P. Srisukho, K. Runggrattanaubol, N. Lertcumfu, P. Pimki and S. Panyata, "The development of crushed mussel shell jewelry clay at ban nam chiew tourism community enterprise in trat province," *Academic Journal: Uttaradit Rajabhat University Science and Technology*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 75-84, July-December.
- [4] M. Abadir, "Unit Operations Chapter 4: Size reduction," Cairo University Scholars. Accessed: Jun. 25, 2023. [online]. Available: [https://scholar.cu.edu.eg/?q=magdi/files/chapter\\_4\\_updated.pdf](https://scholar.cu.edu.eg/?q=magdi/files/chapter_4_updated.pdf)
- [5] Savree, "Gyratory Crushers Explained," Accessed: Aug. 3, 2024, [Online]. Available: <https://savree.com/en/encyclopedia/gyratory-crusher>
- [6] R. Pothina, V. Kecojevic and M. S. Klima, "A Gyratory Crusher Model and Impact Parameters Related to Energy Consumption," *Minerals & Metallurgical Processing*, vol. 24, no. 3, pp. 170-180, August. 2007.

- [7] T. Keawpan, S. Itsaranuwat and J. Plangnok “Principles and concepts in product design,” *Journal of Humanities and Social Sciences Surin Sajabhat Sniversity*, vol. 22, no. 2, pp. 161-182, July-December. 2020.
- [8] M. S. Sanders and E. J. McCormick, *Human factors in engineering and design*. New York: McGraw-Hill, 1993.
- [9] D. B. Chaffin, J. J. Faraway, X. Zhang and C. Woolley, “Stature, Age, and Gender Effects on Reach Motion Postures,” *Human Factors*. vol.42, no 3, pp. 408-420, February. 2000,
- [10] W. Nutkhum, “Anthropometric Modeling and Reach Envelope of The Elderly,” *Ph.D. Industrial Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima*, Thailand, 2017.
- [11] P. Surin, C. Kanta, W. Marvilat, Y. Khanthakaew and M. jaikampun, “Development of a Crushing Bamboo Shoots Machine,” *Vocational Education Innovation and Research Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 30-36, July-December. 2022.
- [12] N. Luengpipatsorn, “Development of Animal Feed Shredding and Compressing Machines,” *M. Eng. Thesis, Agricultural Machinery Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand*, 2018.
- [13] P. Tantiphawadi et al., “Production Improvement Steps: Lean, Six Sigma and Lean Automation,” *Naresuan University Engineering Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 47-64, July-December. 2020.
- [14] Phuket Rajabhat University, “Oyster Shell Grinding Mill Machine,” PR pkru Accessed: Aug. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.pkru.ac.th/th/scoop/2084-pkru-scoop-5-jan-2020>
- [15] Brightsail, “Seashell Grinding Machine Seashell Powder Making Machine supplier,” Accessed: Aug. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.brspowder.com/products-detail-239505>

# การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากพฤติกรรม การขับขี่รถยนต์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่าง

เสฏฐวุฒิ เอกรัตน์วัฒน์<sup>1\*</sup>, นพคุณ แสงเขียว<sup>2</sup>, ธนาธร เกรอด<sup>3</sup>, พีรภพ จอมทอง<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>4</sup>คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ, มหาวิทยาลัยคริสเตียน

Email: Aekrattanawat\_s@su.ac.th<sup>1</sup>

Received: Aug 08, 2024

Revised: Sep 03, 2024

Accepted: Sep 18, 2024

## บทคัดย่อ

ในประเทศไทย ภาคการขนส่งเป็นกิจกรรมหลักที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้น การศึกษานี้ต้องการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากพฤติกรรมการขับขี่รถยนต์ในการจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง รวบรวมข้อมูลโดยใช้เครื่องมือ GPS Tracker ซึ่งติดตั้งบนยานพาหนะสำหรับจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ด้วยวิธีการเลือกตัวแปรโดยวิธีลดตัวแปรเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรม การขับขี่ และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสมการสำหรับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ การเร่งความเร็วกะทันหัน การชะลอความเร็วกะทันหัน และกรณีเกินขีดจำกัดความเร็ว ได้แก่ 0.004418 KgCo<sub>2</sub>eq/นาที่ 0.04067 KgCo<sub>2</sub>eq/ครั้ง 0.2531 KgCo<sub>2</sub>eq/ครั้ง และ 0.02024 KgCo<sub>2</sub>eq/ครั้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้เสนอแนวทางการควบคุมพฤติกรรมขับขี่เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และลดความเสี่ยงที่เกิดจากพฤติกรรมขับขี่อีกด้วย

**คำสำคัญ :** พฤติกรรมการขับขี่, การวิเคราะห์การปล่อยไอเสียของยานพาหนะ, การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์, การเลือกตัวแปรโดยวิธีลดตัวแปร, การวิเคราะห์การถดถอย

## The Analysis of Carbon Dioxide Emissions from Driving Behavior Using Multiple Linear Regression: A Case Study of Sample Company

Settawut Aekrattanawat<sup>1\*</sup>, Noppakun Sangkhiew<sup>2</sup>, Thanatorn Karot<sup>3</sup>,  
Peerapop Jomtong<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

<sup>4</sup>Faculty of Health Sciences, Christian University

Email: Aekrattanawat\_s@su.ac.th<sup>1</sup>

Received: Aug 08, 2024

Revised: Sep 03, 2024

Accepted: Sep 18, 2024

### Abstract

In Thailand, the transportation sector is the main source of carbon dioxide emissions, with fuel combustion in engines being a significant contributor to greenhouse gas emissions and global warming. This study aims to examine the carbon dioxide emissions generated by the driving behaviors of sample companies during goods delivery. The data were collected using a GPS tracker installed on the delivery vehicles of these companies. Then, the data were analyzed by multiple linear regression analysis with backward elimination to examine the relationship between driving behaviors and CO<sub>2</sub> emissions and the equation for the carbon dioxide emissions quantities. The results show that the quantity of carbon dioxide emissions increases with engine running time, abrupt accelerations, abrupt decelerations, and instances exceeding the speed limit as follows: 0.004418 KgCO<sub>2</sub>eq/ min, 0.04067 KgCO<sub>2</sub>eq/ time, 0.2531 KgCO<sub>2</sub>eq/ time, and 0.02024 KgCO<sub>2</sub>eq/ time, respectively. This study also proposed guidelines for controlling driving behavior to reduce carbon dioxide emissions and reduce the risks caused by driving behavior.

**Keywords** : Driving Behavior, Vehicle Emission Analysis, Carbon Dioxide Emissions, Backward Elimination, Regression Analysis



## บทนำ

กระแสโลกร้อนทำให้มนุษย์เกิดความกังวลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและมลพิษมากขึ้น การสะสมของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากมนุษย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โอโซน (O<sub>3</sub>) มีเทน (CH<sub>4</sub>) และไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ทำให้โลกไม่สามารถระบายความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้[1, 2] แม้ว่าก๊าซเหล่านี้จะเกิดขึ้นตามธรรมชาติ แต่กิจกรรมของมนุษย์ เช่น กระบวนการอุตสาหกรรม การขนส่ง และวิถีชีวิตก็ทำให้ระดับก๊าซเหล่านี้เพิ่มขึ้นอย่างมาก[3]

ประเทศไทยมุ่งมั่นที่จะเป็นองค์กรที่ปล่อยคาร์บอนเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2593 และมุ่งสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Net Zero Greenhouse Gas Emission) ในปี พ.ศ. 2608 ตามแผนการดำเนินแผนพลังงานแห่งชาติ ธุรกิจขนาดใหญ่ในประเทศไทยได้ปรับเปลี่ยนแนวทางปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยคาร์บอน เนื่องจากแรงกดดันจากนักลงทุนที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อมและข้อบังคับที่กำหนดโดยตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยข้อบังคับเหล่านี้กำหนดให้บริษัทต่าง ๆ พัฒนาแผนโดยยึดตามหลักการ ESG (Environment, Social, Governance) นอกจากนี้ภาครัฐได้ส่งเสริมกิจกรรมหลักสามประการเพื่อรับมือกับความท้าทายนี้ได้แก่ การขยายพื้นที่ป่าสีเขียว การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด[4-6]

ในปัจจุบัน รถยนต์ไฟฟ้าจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น แต่รถยนต์ไฟฟ้ามีส่วนแบ่งการตลาดเพียง 0.036% ของรถยนต์ทั้งหมดในประเทศไทย ซึ่งการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก โดยภาคการขนส่งคิดเป็นประมาณ 32.13% ของการปล่อย CO<sub>2</sub> ทั้งหมดของประเทศไทย[7]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การผันผวนของความเร็วมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามความผันผวนของความเร็วที่เพิ่มขึ้น[8] ซึ่งผู้ขับขี่ที่มีความชำนาญจะใช้อัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าผู้ขับขี่ที่มีประสบการณ์[9] โดยการทำงานของเครื่องยนต์ในระหว่างการขับขี่ในสภาวะจริงแตกต่างจากการทำงานในสภาวะคงที่อย่างมาก ซึ่งส่งผลให้มีการปล่อยมลพิษสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ[10] นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลให้การใช้เชื้อเพลิงในยานพาหนะเพิ่มขึ้น เช่น พฤติกรรมการขับขี่ ลักษณะของยานพาหนะ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การใช้เชื้อเพลิงที่สูงขึ้นส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำงานของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น[11]

ทั้งนี้ด้วยเป้าหมายในการผลักดันประเทศไทยไปสู่ประเทศที่มีความเป็นกลางทางคาร์บอนและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ ซึ่งในปัจจุบันยังคงหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปอันเป็นกิจกรรมหลักของการดำรงชีพและภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยไม่ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดพฤติกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานรถยนต์

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากพฤติกรรมการขับขี่รถยนต์ในการจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง
2. เพื่อหาแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบริษัทตัวอย่าง

### ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำเครื่องมือ GPS Tracker ติดตั้งกับรถยนต์กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในกระบวนการจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่างจำนวน 10 คัน จากทั้งหมด 30 คัน ซึ่งเป็นกลุ่มเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 2,800 – 3,000 ซีซี ในการเดินทาง 1 ครั้งมีน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย 1,500 กิโลกรัม สถานที่จัดส่ง 6 – 10 สถานที่ ในช่วงเดือน สิงหาคม ถึงเดือน ตุลาคม ปี พ.ศ. 2566 โดยการติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวผ่านทางช่องเชื่อมต่อที่เรียกว่า “โอปติพอร์ต” (On-board Diagnostic : OBD) ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวจะทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ จากกล่องเครื่อง (Electronic Control Unit : ECU) ในการทำงานของเครื่องยนต์ ควบคู่กับข้อมูลการเคลื่อนที่ตามระบบ GPS ข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกไว้บนระบบของผู้ให้บริการ GPS Tracker และสามารถทำการเรียกข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ได้ โดยระบบจะนำปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ที่บันทึกได้ในแต่ละเที่ยววิ่งหรือช่วงเหตุการณ์ไปคำนวณกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งระบบจะกำหนดไว้ตามแต่ละรุ่นรถและประเภทของเชื้อเพลิง เพื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อย

#### 1. ตัวแปรที่ทำการรวบรวมข้อมูล

-  $d_{ij}$  คือ ระยะทางในการเดินทาง เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (กิโลเมตร)

-  $t_{ij}$  คือ ระยะเวลาที่เครื่องยนต์ทำงาน เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (นาที)

-  $OC_{ij}$  คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (ลิตร)

-  $C_{ij}$  คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อย เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

-  $ra_{ij}$  คือ จำนวนครั้งที่มีการเร่งความเร็วกะทันหัน เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (ครั้ง)

-  $shd_{ij}$  คือ จำนวนครั้งที่มีการลดความเร็วกะทันหัน เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (ครั้ง)

-  $sht_{ij}$  คือ จำนวนครั้งที่มีการหักเลี้ยวกะทันหัน เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (ครั้ง)

-  $os_{ij}$  คือ จำนวนครั้งที่มีการใช้ความเร็วเกินกำหนด เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (ครั้ง)

-  $ms_{ij}$  คือ ความเร็วสูงสุด เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

-  $avgs_{ij}$  คือ อัตราเร็วเฉลี่ย เที่ยววิ่งที่  $i$  ของรถคันที่  $j$  (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

-  $i$  คือ เที่ยววิ่งของรถ โดย  $i = 1, 2, 3, \dots, n$

-  $j$  คือ ลำดับของรถ โดย  $j = 1, 2, 3, \dots, 10$

#### 2. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ เพื่อการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการขั้นตอนการถอยกลับแบบวิธีการลดตัวแปร (Backward Elimination) ในการนำตัวแปรที่ไม่สำคัญออกเพื่อให้การวิเคราะห์นั้นมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ[12] จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรต้นมากกว่า 1 ตัว โดยความสัมพันธ์แทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_kx_k \quad (1)$$

โดย  $y$  คือ แทนข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ (output)

$\beta_0$  คือ ค่าคงที่ของสมการถดถอย ซึ่งเป็นค่าจุดตัด (Intercept) แกน  $y$  ของสมการ

$\beta_1, \beta_2 \dots \beta_k$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวตอบสนอง  $X_1, X_2, \dots, X_k$

ทั้งนี้งานวิจัยนี้เลือกใช้การวิเคราะห์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ในการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นที่สามารถใช้ทำนายหรืออธิบายค่าของตัวแปรตามโดยอิงจากค่าของตัวแปรที่ระบุไว้ เพื่อทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากยานพาหนะ

### 3. สมมติฐานของงานวิจัย

H0: ตัวแปรนั้น ไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

H1: ตัวแปรนั้น มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

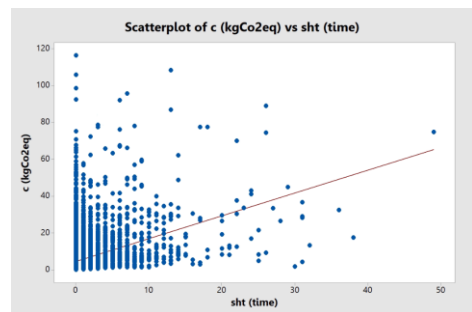
ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H0) ก็ต่อเมื่อ P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05

### ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณของระบบจากผู้ให้บริการ GPS Tracker

จากตารางที่ 1 พบว่า จำนวนครั้งในการหักเลี้ยวกะทันหัน (sht) มีค่า P-Value 0.891 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นในตัวแปรดังกล่าว จึงยอมรับ H0: ตัวแปรนั้น ไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์จากแผนภาพกระจายตัวของข้อมูลดังกล่าวจะพบว่าเส้นถดถอยที่วาดขึ้นมามีความเอียงที่ชัดเจนและแสดงแนวโน้มขาขึ้น แต่การที่

จุดข้อมูลไม่กระจายตามเส้นนี้อย่างสม่ำเสมอ บ่งบอกว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจำนวนครั้งการหักเลี้ยวกะทันหันไม่เป็นเชิงเส้นตรงสมบูรณ์ ดังรูปที่ 1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการนำตัวแปรดังกล่าวออกและทำการวิเคราะห์ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 1 แผนภาพกระจายตัวของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบกับจำนวนครั้งที่มีการหักเลี้ยวกะทันหัน

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า P-Value ของทุกตัวแปรที่สนใจ มีค่า 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 นอกจากนี้ ค่า R-square adjust มีค่าเท่าเดิมที่ 98.59% หมายความว่า การนำ sht ออกไม่ได้ทำให้ความสามารถในการอธิบายข้อมูลลดลง ดังนั้นในทุกตัวแปรที่สนใจ จึงปฏิเสธ H0: ตัวแปรนั้น มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และยอมรับ H1: ตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นตัวแปรที่สนใจต่าง ๆ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับกลุ่มตัวแปรอิสระอย่างมีนัยสำคัญและสามารถสร้างสมการพยากรณ์เชิงเส้นตรงได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุคูณสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณได้ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 1** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรถจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง

Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
Regression	8	824429	103054	113052.95	0.000
d (km)	1	138856	138856	152329.24	0.000
t (minute)	1	88	88	96.32	0.000
ra (time)	1	188	188	206.00	0.000
shd (time)	1	14	14	15.22	0.000
sht (time)	1	0	0	0.02	0.891
os (time)	1	199	199	218.35	0.000
ms (km/h)	1	30	30	32.54	0.000
avg s (km/h)	1	17	17	19.15	0.000
Residual	12919	11776	1		
Total	12927	836205			

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรถจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง (ไม่สนใจการหักเลี้ยวกะทันหัน)

Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
Regression	7	824429	117776	129213.18	0.000
d (km)	1	143374	143374	157297.90	0.000
t (minute)	1	88	88	96.38	0.000
ra (time)	1	192	192	211.07	0.000
shd (time)	1	14	14	15.21	0.000
os (time)	1	199	199	218.50	0.000
ms (km/h)	1	30	30	32.68	0.000
avg s (km/h)	1	18	18	19.27	0.000
Residual	12920	11776	1		
Total	12927	836205			

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ของรถจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง

Term	Coef	Se Coef	T-Value	P-Value
Constant	-0.1558	0.0215	-7.24	0.000
d (km)	0.263206	0.000664	396.61	0.000
t (minute)	0.004418	0.00450	9.82	0.000
ra (time)	0.04067	0.00280	14.53	0.000
shd (time)	0.2531	0.0649	3.90	0.000
os (time)	0.02024	0.00137	14.78	0.000
ms (km/h)	0.003126	0.000547	5.72	0.000
avg s (km/h)	0.004139	0.000943	4.39	0.000

ตารางที่ 4 สรุปแบบจำลองของรถจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.954716	98.59%	98.59%	98.58%

จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 นั้น สามารถ  
 ระบุสมการการวิเคราะห์ถดถอยได้ คือ  

$$\text{Carbon(KgCO}_2\text{)}_{\text{eq}} = -0.1558 + 0.263206 \text{ d (km)} + 0.004418 \text{ t (minute)} + 0.04067 \text{ ra (time)} + 0.2531 \text{ shd (time)} + 0.02024 \text{ os (time)} + 0.003126 \text{ ms (km/h)} + 0.004139 \text{ avg s (km/h)}$$
 (2)

2. แนวทางการควบคุมพฤติกรรมรถขับขึ้น  
 รถยนต์เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนได  
 ออกไซด์

ในการศึกษาครั้งนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญของ  
 การหามาตรการควบคุมพฤติกรรมรถขับขึ้น  
 รถยนต์เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  
 และลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ โดยมี  
 ข้อเสนอแนะดังวิธีการต่อไปนี้

2.1 การติดตั้งระบบติดตามรถยนต์ (GPS)  
 และระบบแจ้งเตือนเมื่อรถมีความเร็วเกินที่  
 กำหนด โดยสามารถส่งสัญญาณเสียงเตือนผู้ขับ  
 ได้ทันที และสามารถแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลระบบ  
 ได้ทันที

2.2 การอ่านรายงานพฤติกรรมรถขับ  
 ขึ้นของระบบติดตามรถยนต์ (GPS) ซึ่งจะมี  
 การบอกจำนวนครั้งในการเกิดพฤติกรรม  
 ดังกล่าวของรถยนต์แต่ละคัน

3. กำหนดดัชนีวัดผลงาน (KPI: Key  
 Performance Indicators) โดยกำหนด  
 จำนวนครั้งของการก่อพฤติกรรมอันตรายใน  
 การขับขึ้นข้างต้น

**สรุปและอภิปรายผล**

ในการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณ  
 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการ  
 จัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง โดยใช้ GPS  
 Tracker ติดตั้งกับรถยนต์กลุ่มตัวอย่างผ่าน  
 ทางช่องเชื่อมต่อที่เรียกว่า “โอบีดีพอร์ต”  
 (On-board Diagnostic : OBD) เพื่อทำการ  
 เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลโดยใช้สมการการ  
 ถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ในการคำนวณหา  
 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  
 สามารถอธิบายได้ ดังนี้

1. ในขณะที่รถมีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 กิโลเมตรจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 0.263206 KgCo<sub>2</sub>eq

2. ในขณะที่มีการทำงานของเครื่องยนต์ทุก ๆ 1 นาทีจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 0.004418 KgCo<sub>2</sub>eq

3. ในทุก ๆ ครั้งที่มีการเร่งความเร็วกะทันหันจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 0.04067 KgCo<sub>2</sub>eq

4. ในทุก ๆ ครั้งที่มีการลดความเร็วกะทันหันจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 0.2531 KgCo<sub>2</sub>eq

5. ในทุก ๆ ครั้งที่มีการใช้ความเร็วเกินที่กำหนดจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 0.02024 KgCo<sub>2</sub>eq

6. ใน 1 รอบการเดินทางส่วนหนึ่งจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณของผลลัพธ์จากผลคูณของความเร็วสูงสุดกับ 0.003126 KgCo<sub>2</sub>eq

7. ใน 1 รอบการเดินทางส่วนหนึ่งจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณของผลลัพธ์จากผลคูณของอัตราเร็วเฉลี่ยกับ 0.004139 KgCo<sub>2</sub>eq

โดยจะสามารถอธิบายได้ว่า การลดความเร็วกะทันหันเป็นพฤติกรรมที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากที่สุด การเร่งความเร็วกะทันหัน การใช้ความเร็วเกินกำหนดจะก่อให้เกิดผลดังกล่าวมากขึ้นรองลงมาตามลำดับ

จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ[13] ที่วิเคราะห์ผลกระทบของพฤติกรรมการใช้เชื้อเพลิงโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งพบว่า การขับขี่ที่ราบรื่นและการลดการเร่ง-เบรกบ่อยครั้งสามารถลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้มากขึ้น รวมทั้งสอดคล้องกับการศึกษาของ[8]

การผันผวนของความเร็วมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางให้มีการควบคุมพฤติกรรมการใช้เครื่องยนต์เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้ผู้ประกอบการของบริษัทตัวอย่างสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ในการกำกับดูแลพนักงานขับรถ เพื่อควบคุมพฤติกรรมที่อาจก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ธรรมชาติมากกว่าปกติและช่วยลดความเสี่ยงอันตรายที่เกิดจากพฤติกรรมในการขับขี่ในรูปแบบต่าง ๆ

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณบริษัทตัวอย่างสำหรับการอนุญาตให้รวบรวมข้อมูลสำหรับการศึกษานี้ นอกจากนี้ ผู้เขียนยังขอแสดงความขอบคุณเจ้าของรถทุกคนที่ให้สิทธิ์ในการติดตั้งเครื่องติดตาม GPS ในรถของตนเพื่อวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้

### References

- [1] Environmental Protection Agency. "Climate Change Indicators: Green house Gases," December. 1, 2023. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases>
- [2] The Intergovernmental Panel on Climate Change. "Climate Change 2021: The Physical Science Basis," December. 1, 2023. [Online]. Available: [www.ipcc.ch/assessment-report/ar6](http://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6)

- [3] United Nations Thailand. “Cause and Effects of Climate Change,” December. 1, 2023. [ Online] . Available: <https://thailand.un.org/en/174652-causes-and-effects-climate-change>
- [4] N. Panmanee, “ N. P. Thailand’ s Carbon Neutrality & Net Zero GHG Emission,” *Academic Conference of the Thailand Research Fund ( TRF) year 2022, The 60th Anniversary Research Science Building, Chulabhorn Research Institute Kasetsart University Thailand*, December. 17, 2022.
- [5] T. Yaanan, “Climate Change Action of Thailand: Case Study of the 26th session of the Conference of the Parties (COP26) of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC),” *Ramkhamhaeng Journal, 2022, vol. 11, no. 1*, pp. 69-108.
- [6] Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy Thailand. “National Energy Plan,” December. 2, 2023. [ Online] . Available: <https://www.eppo.go.th/epposite/index.php/th/petroleum/oil/link-doeb/item/17093-nep>
- [7] Thansettakij. “Thai EV Market: Trend or Reality,” December. 2, 2023. [Online]. Available: <https://www.thansettakij.com/blogs/columnist/setsawana/569222>
- [8] L. Zhang, T. Zhang, K. Peng, X. Zhao and Z. Xu, “Can autonomous vehicles save fuel? Findings from field experiments,” *Journal of Advanced Transportation*, vol. 1, p. 2631692, July. 2022.
- [9] Y. Huang, “Impact of drivers on real- driving fuel consumption and emissions performance,” *Science of The Total Environment*, vol. 798, 2021.
- [10] G.M. Hasan Shahariar, “Impact of driving style and traffic condition on emissions and fuel consumption during real- world transient operation,” *Fuel*, vol. 319, 2022.
- [11] S. Songsittidet and S. Junsri, “ Study on Fuel Usage of Refrigerated Pickup Trucks: A Case Study of Tatong Company Limited, Nakhon Sawan,” *Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 11-20, September. 2020.
- [12] D.C. Montgomery, E.A. Peck, And G.G. Vining, New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- [13] P. Ping, “ Impact of Driver Behavior on Fuel Consumption: Classification, Evaluation and Prediction Using Machine Learning”, *Journal of IEEE Access*, vol. 7, June 2019.

## เครื่องฟักไข่แบบสมาร์ทและการตรวจสอบไข่ด้วยเทคโนโลยีเฝ้าระวัง

เจษฎา สาทอง<sup>1</sup>, สัญญา ควรคิด<sup>2</sup>, อติศร แก้วภักดี<sup>3</sup>, ชนิษฐา แซ่ลิ้ม<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

Email: sartthong@webmail.npru.ac.th<sup>1</sup>

Received: Aug 13, 2024

Revised: Sep 25, 2024

Accepted: Oct 28, 2024

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องฟักไข่อัตโนมัติ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และการพลิกไข่แบบอัตโนมัติทุก ๆ 2 ชั่วโมง เพื่อปรับปรุงระบบการฟักไข่และอัตราการรอดของไข่ในระยะเวลาการฟัก 22-25 วัน ในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย 1) การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ฟักให้คงที่ระหว่าง 37-38 องศาเซลเซียสและความชื้นให้คงที่ระหว่าง 55-75 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โมดูล Wi-Fi ESP8266 ร่วมกับเซ็นเซอร์ DS18B20 และ DHT22 2) ระบบจะแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องฟักไข่ผ่านเครื่องแม่ข่าย Blynk บนอินเทอร์เน็ตและแอปพลิเคชัน Line บนสมาร์ตโฟน และ 3) นำเสนอเทคนิคการใช้แสงจากหลอดแอลอีดีความเข้มสูงผ่านสายใยแก้วนำแสงแบบมัลติโหมดเพื่อตรวจสอบไข่ที่มีเชื้อและไม่มีการติดเชื้อเทคนิคการตรวจสอบแบบดั้งเดิมโดยใช้วิธีลอยน้ำหรือใช้หลอดไฟทั้งสแตนด์เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไข่แบบฉับพลันและการติดเชื้อแบคทีเรียเนื่องจากการสัมผัส ส่งผลให้อัตราการรอดของไข่ที่ฟักเพิ่มขึ้นจากการฟักด้วยแม่ไก่ตามธรรมชาติประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : เครื่องฟักไข่, อุณหภูมิ, ความชื้น, สมาร์ตโฟน, โมดูล ESP8266



## Smart Egg Incubator and Egg Inspection

### Using Optical Fiber Technology

Jesada Sartthong<sup>1\*</sup>, Sanya Kuankid<sup>2</sup>, Adisorn Kaewpukdee<sup>3</sup>, Kanittha Saelim<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

Email: sartthong@webmail.npru.ac.th<sup>1</sup>

Received: Aug 13, 2024

Revised: Sep 25, 2024

Accepted: Oct 28, 2024

#### Abstract

This article presents the design and development of an automatic egg incubator for controlling temperature, humidity, and automatic egg turning every two hours to improve the incubation system and the hatch rate of eggs over a 22- to 25-day incubation period. This research consists of: 1) maintaining a stable temperature inside the incubator between 37 and 38 degrees Celsius and humidity between 55 and 75 percent using the Wi-Fi ESP8266 module combined with the DS18B20 and DHT22 sensors; 2) the system will notify users of the operational status of the incubator through the Blynk server on the internet and the Line application on smartphones; and 3) It presents a technique for using light from high-intensity LED bulbs via multimode fiber optics to check fertilized and unfertilized eggs, instead of traditional inspection techniques such as floating tests or using tungsten bulbs. This approach reduces the impact of sudden temperature changes in the eggs and minimizes bacterial contamination due to handling, resulting in an increase in hatch rates by approximately 30 percent compared to natural brooding by hens.

**Keywords :** Egg incubator, Temperature, Moisture, Smartphone, ESP8266 Module

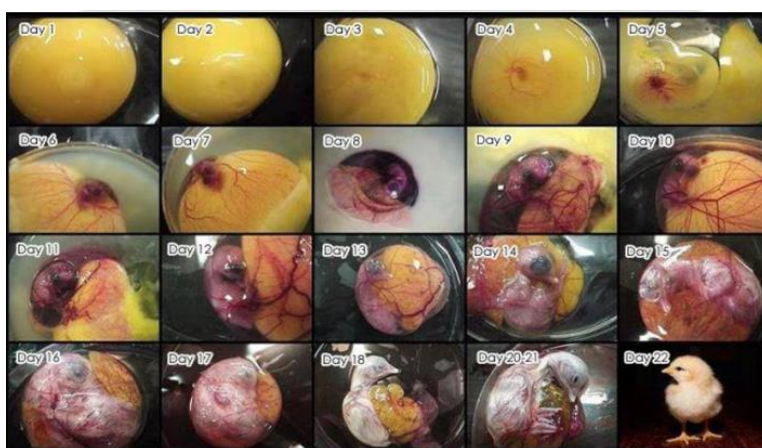
### บทนำ

สัตว์ปีกถือว่าเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยโดยเฉพาะไก่ การเลี้ยงสัตว์ปีกในประเทศไทยแบ่งออกเป็นสองระดับ คือ 1) การเลี้ยงระดับครัวเรือนหรือชุมชน และ 2) การเลี้ยงระบบฟาร์มขนาดใหญ่ การฟักไข่เพื่อให้ได้ลูกไก่ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในระบบการผลิต ปัจจุบันการฟักไข่มี 2 แบบ คือ 1) การฟักไข่ตามธรรมชาติหรือฟักโดยแม่ไก่ และ 2) การฟักไข่โดยใช้เครื่องฟักไข่ไฟฟ้า[1] ข้อดีและข้อเสียของวิธีการฟักทั้งสองแบบ ถ้าฟักโดยแม่ไก่จะมีต้นทุนต่ำ เพราะไม่ต้องลงทุนซื้อเครื่องฟักไข่และไม่เสียค่าไฟฟ้า แต่อัตรการรอดของลูกไก่จะต่ำเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องฟักไข่ไฟฟ้า ระยะเวลาการฟักไข่ของสัตว์ปีกแต่ละชนิดจะใช้เวลาไม่เท่ากัน ในกรณีของไข่ไก่จะใช้เวลาการฟักประมาณ 22-25 วัน

วิวัฒนาการของไข่ในระยะการฟักแต่ละวันแสดงดังรูปที่ 1[2] ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการฟักไข่คือ 1) การไหลเวียนของอากาศ 2) อุณหภูมิภายในตู้ฟัก 3) ความชื้นสัมพัทธ์และ 4) การกลับไข่ เครื่องฟักไข่ในปัจจุบันถูกพัฒนาจนเป็นแบบเครื่องฟักไข่อัตโนมัติ ในงานวิจัย[3, 4] พัฒนาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักโดยใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ส่วนอุปกรณ์ผลิตความร้อนจะใช้หลอดไฟทั้งสแตน ในงานวิจัย[5, 6] การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นถูกพัฒนาให้ง่ายขึ้นโดยเปลี่ยนมาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (Arduino UNO R3) และอุปกรณ์ผลิตความร้อนภายในตู้ฟัก เปลี่ยนจากหลอดไฟทั้งสแตนมาเป็นแผ่นฮีตเตอร์เพื่อประหยัดพลังงาน ซึ่งประสิทธิภาพการให้ความร้อนระหว่างแผ่นฮีตเตอร์แบบขดลวดกับแผ่นฮีตเตอร์แบบเทอร์โมอิเล็กทริก ประสิทธิภาพการให้ความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริกจะดีกว่า แสดงในผลงานวิจัยที่[7]

ในช่วงเวลาการฟัก 1-18 วันแรกจะต้องมีการพลิกไข่ทุก ๆ 2 ชั่วโมง เพื่อให้การเจริญเติบโตของตัวอ่อนเป็นไปอย่างสมบูรณ์และเพื่อไม่ให้เนื้อเยื่อของตัวอ่อนติดกับผนังไข่ ปัจจุบันการพลิกไข่จะใช้วิธีเอียงไข่ด้านละ 45 องศา สลับซ้ายขวาแบบอัตโนมัติโดยใช้มอเตอร์แบบซิงโครนัส[8] ในวันที่ 8 ของการฟักจะต้องคัดแยกไข่ที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อ ส่วนวันที่ 18 จะต้องคัดแยกไข่เชื้อตายหรือไข่ตายโคมและไข่ที่เน่าเสียออกจากตู้ฟัก



รูปที่ 1 วิวัฒนาการของไข่ในระยะเวลาการฟัก 22 วัน[1]

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการคัดแยก ในงานวิจัยที่[9] มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพดิจิทัลซึ่งเทคนิคนี้ จะมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ไฟฉายส่องหรือใช้หลอดไฟทั้งสแตนด์ แต่ต้นทุนการสร้างตู้ฟักไข่จะสูงขึ้นและระบบควบคุมจะมีความซับซ้อนมากขึ้นด้วยเช่นกัน

ตู้ฟักไข่ไฟฟ้าที่มีขายในท้องตลาดส่วนใหญ่จะมีเฉพาะฟังก์ชัน การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และการกลับไข่ ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (internet of thing technology)[10, 11] ถูกนำมาใช้พัฒนาตู้ฟักไข่ให้สามารถติดตามการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบอัตโนมัติผ่านสมาร์ตโฟนโดยใช้ส่วนประมวลผลกลางที่มีขนาดเล็ก เช่นบอร์ด Raspberry Pi บนระบบปฏิบัติการ Android นอกจากนั้นยังใช้เทคนิคการออกแบบตู้ฟักไข่แบบการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน[12, 13]

แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยฉบับนี้ จะเน้นการพัฒนาเฉพาะตู้ฟักไข่ไฟฟ้าสำหรับเกษตรกรรายย่อยหรือระดับชุมชน จำนวนไข่ที่ฟักได้ต่อรอบประมาณ 50 ฟอง มีระบบติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้ Node MCU ESP8266 มีระบบการพลิกไข่แบบอัตโนมัติ และการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ในกรณีที่อุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักผิดปกติ นอกจากนั้นยังเพิ่มฟังก์ชันการคัดแยกไข่ที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อออกจากตู้ฟักโดยใช้แสงจากหลอดแอลอีดีความเข้มสูงผ่านสายใยแก้วนำแสงแบบมัลติโหมด (multi-mode optical fiber) เพื่อส่องไข่โดยไม่ต้องนำไข่ออกจากตู้ฟักเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบฉับพลัน และลดผลการติดเชื้อจากการสัมผัสด้วยมือเพื่อเพิ่มอัตราการรอดของลูกไก่

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบตู้ฟักไข่ที่สามารถแสดงค่าอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์และแจ้งเตือนสถานะการทำงานที่ผิดปกติผ่านสมาร์ตโฟน
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาวิธีการคัดแยกไข่ที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อออกจากตู้ฟักโดยไม่ต้องนำไข่ออกจากตู้ฟักเพื่อลดผลกระทบการติดเชื้อแบคทีเรียและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบฉับพลันโดยใช้เทคโนโลยีใยแก้วนำแสง
3. เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของลูกไก่เมื่อเทียบกับการฟักไข่แบบธรรมชาติหรือการฟักไข่โดยใช้แม่ไก่

### ระเบียบวิธีวิจัย

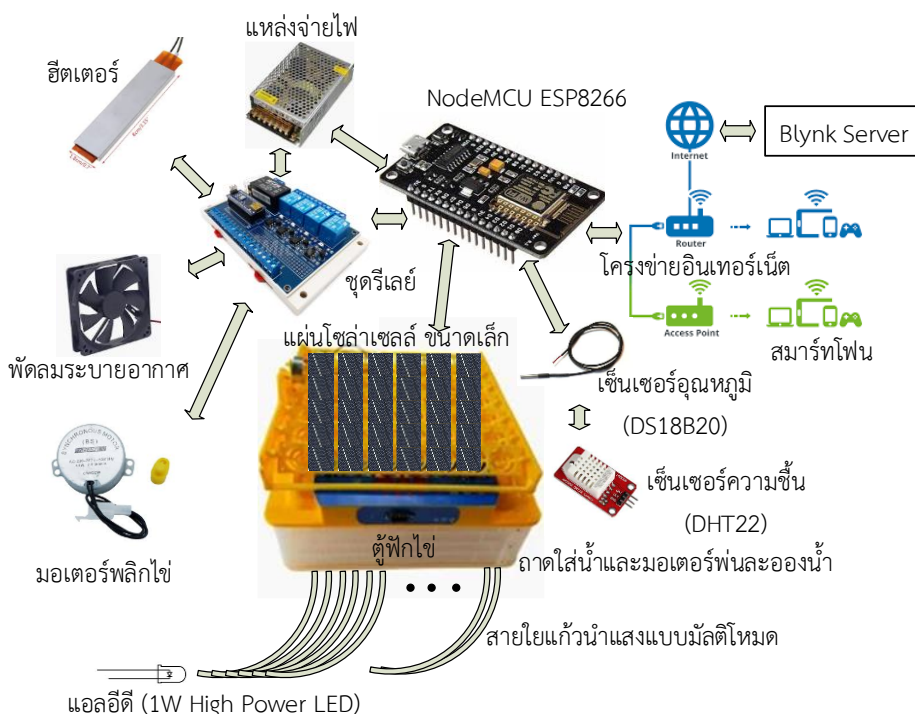
การออกแบบตู้ฟักไข่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การออกแบบฮาร์ดแวร์และ 2) การออกแบบซอฟต์แวร์ ในการออกแบบฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วยตู้ฟักไข่เปล่าที่มีขายในท้องตลาดเป็นตู้ฟักไข่เปล่าขนาด 50 ฟอง แล้วนำมาติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม ส่วนประมวลผลกลางจะเป็น Node MCU ESP8266 มีความสามารถเชื่อมต่อ WiFi ผ่านแพลตฟอร์ม Blynk และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line โดยบอร์ด ESP8266 จะเป็นศูนย์กลางในการควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด อุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นฮีตเตอร์แบบแผ่น (strip heater) ขนาด 80 W 220 Vac 50 Hz ต่อร่วมกับพัดลมระบายความร้อน 0.3 A 12 Vdc มอเตอร์กลับไข่จะเป็นแบบซิงโครนัสมอเตอร์ ขนาด 4 W 220 Vac 50 Hz ความเร็ว 3 รอบต่อนาที เซ็นเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์จะใช้ DHT22 สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ 0-100 % RH ค่าความถูกต้อง  $\pm 2$  % RH สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 80 °C เซ็นเซอร์

วัดอุณหภูมิจะใช้เบอร์ DS18B20 สามารถวัดอุณหภูมิได้ระหว่าง -50 ถึง 125 °C ค่าความถูกต้อง  $\pm 0.5$  °C ต่อร่วมกับชุดรีเลย์ แหล่งจ่ายไฟมีทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 Vdc, 5 Vdc, 12 Vdc และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220-250 Vac 50Hz อุปกรณ์แต่ละส่วนของตู้ฟักไข่แสดงในรูปที่ 2

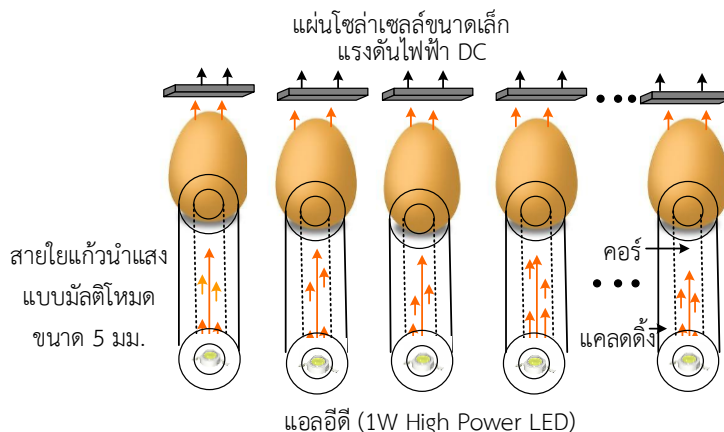
ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เพิ่มฟังก์ชันการคัดแยกไข่ที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อออกจากตู้ฟักโดยใช้หลอดแอลอีดีความเข้มสูงผ่านสายใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกแบบมัลติโหมด เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 3 แสงสีขาวจากแอลอีดีความเข้มสูงจะส่องผ่านสายใยแก้วนำแสงผ่านตัวกลางที่เป็นไข่และไปตกกระทบบนแผ่นโซล่าเซลล์ขนาดเล็กด้านบน

โดยอาศัยกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ที่ว่าความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและความหนาของสารละลายตัวกลาง โดยใช้ข้อสมมุติฐานที่ว่าในกรณีที่ไม่มีเชื้อแสงจะทะลุผ่านไปตกกระทบบนแผ่นโซล่าเซลล์ขนาดเล็กได้น้อยลงเนื่องจากการก่อก้อนเลือดในไข่แดงที่จะก่อตัวเป็นตัวอ่อนดังแสดงในรูปที่ 1 แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าไข่ไม่มีเชื้อแสงจะทะลุผ่านไปตกกระทบบนแผ่นโซล่าเซลล์ขนาดเล็กได้มากขึ้น

ในงานวิจัยนี้ จะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้จากเอาท์พุทของแผ่นโซล่าเซลล์เป็นเกณฑ์ตัดสินระหว่างไข่ที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของตู้ฟักไข่



รูปที่ 3 การตัดแยกไขที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อโดยใช้แสงผ่านสายใยแก้วนำแสงแบบมัลติโหมด

การออกแบบซอฟต์แวร์จะใช้ภาษาซี สำหรับ Node MCU ESP8266 ส่วนการตัดแยกไขที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อจะทำในวันที่ 8 และวันที่ 14 ของการฟัก

ลำดับการทดลองจะนำไขขนาด 52-65 กรัม สภาพสมบูรณ์ไม่บูบหรือแตกร้าว จำนวน 100 ฟอง เป็นไขที่เก็บไว้ไม่เกิน 7 วัน แบ่งไขออกเป็น 2 ส่วน ๆ ละ 50 ฟอง ไขในส่วนแรกใส่ในตู้ฟักไขที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4 จำนวน 50 ฟอง และไขในส่วนที่สองจำนวน 50 ฟองเท่ากัน แบ่งให้แม่ไก่ฟักเองตามธรรมชาติจำนวน 3 ตัว แม่ไก่ตัวแรกจำนวน 20 ฟอง แม่ไก่ตัวที่สองจำนวน 20 ฟอง และแม่ไก่ตัวที่สามจำนวน 10 ฟอง

การบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นจะบันทึกค่าที่เวลา 8.00 น. 12.00 น. 18.00 น. และ 20.00 น. แล้วนำมาเฉลี่ยในแต่ละวัน ซอฟต์แวร์จะทำการอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเซ็นเซอร์ส่งไปยัง Blynk server ทุก ๆ 30 นาที ค่าอุณหภูมิและความชื้นสามารถดูระยะไกลได้ โดยดูผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน ในกรณีที่ค่าอุณหภูมิและความชื้นผิดปกติ คืออุณหภูมิต่ำกว่า 35 °C หรือสูงกว่า 39 °C และความชื้นผิดปกติคือ

ความชื้นต่ำกว่า 50 % หรือสูงกว่า 80 % บอร์ด ESP 8266 จะแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line บนสมาร์ตโฟน

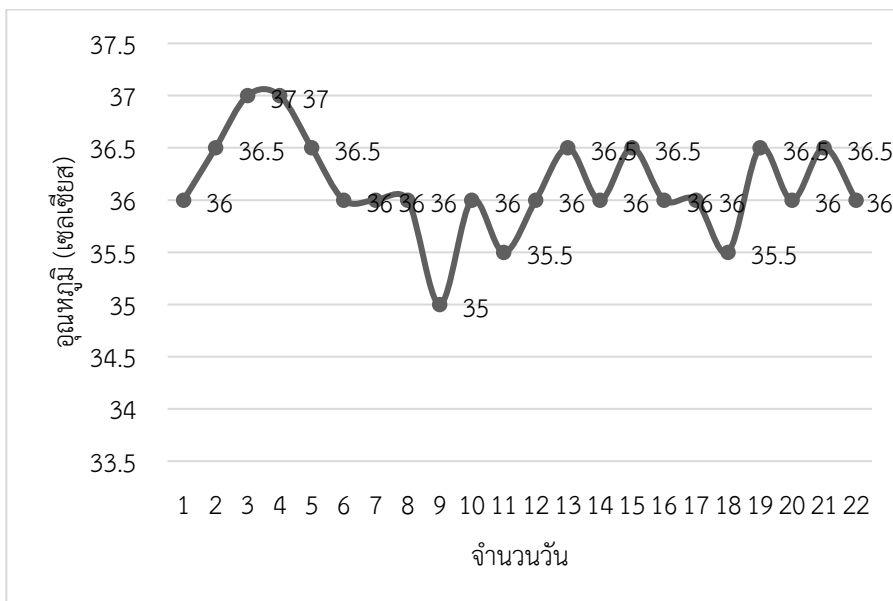
### ผลการวิจัย

ค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักแสดงผลผ่านจอ LCD ขนาด 2 แถว 16 ตัวอักษร จำนวน 2 ตัวด้านบนสุด ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลากการฟัก 22 วันแสดงดังในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 7 เป็นผลการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแผ่นโซล่าเซลล์ขนาดเล็กบนไขแต่ละฟอง จำนวนทั้งหมด 50 ฟอง โดยใช้ดิจิทัลมัลติมิเตอร์

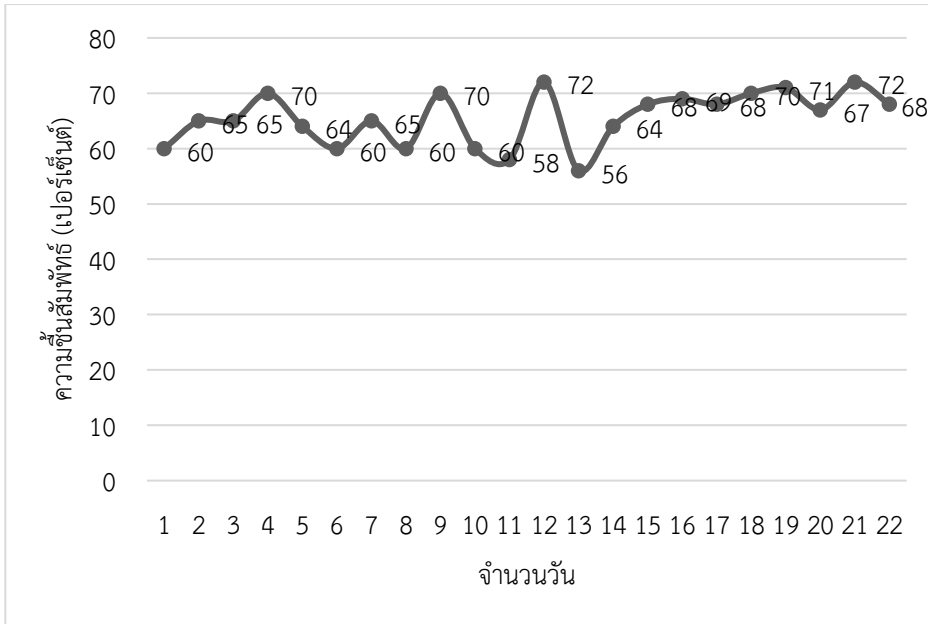
ผลการทดลองค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ของไขแต่ละฟองในวันที่ 8 มีค่าประมาณ 0.1-0.15 โวลต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมากไม่เพียงพอในการจำแนกระหว่างไขมีเชื้อกับไขไม่มีเชื้อ จนถึงระยะเวลาการฟักวันที่ 18 เป็นช่วงที่ไขมีลูกไก่อยู่ในเปลือก ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากไขแต่ละฟองถึงจะมีความแตกต่างกันมากพอที่จะใช้จำแนกระหว่างไขมีเชื้อกับไขไม่มีเชื้อ



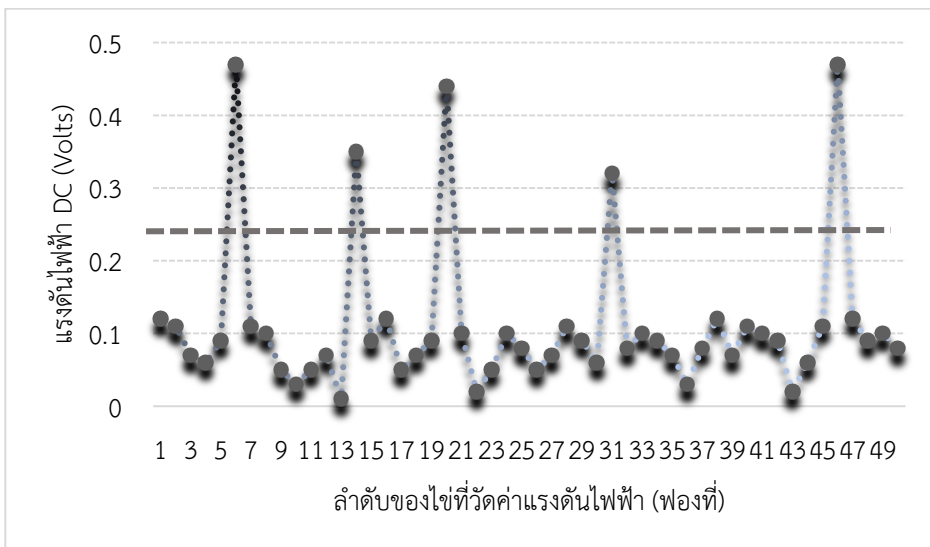
รูปที่ 4 ตู้ฟักไข่ต้นแบบที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันภายในตู้ฟักไข่

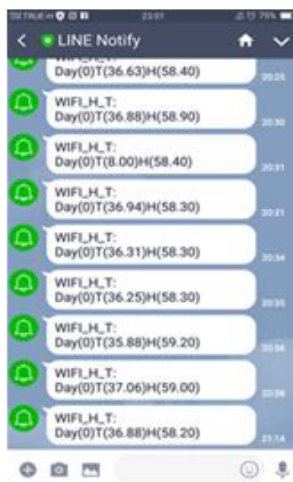


รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความขึ้นสัมผัสเฉลี่ยในแต่ละวันภายในตู้ฟักไข่



รูปที่ 7 ความแตกต่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงระหว่างไข่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อ





รูปที่ 8 ค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และการแจ้งเตือนผ่าน Line

จากผลการทดลองในรูปที่ 7 ในกรณีที่ไม่มีเชื้อสามารถฟักเป็นตัวได้จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 0.02 ถึง 0.15 โวลต์ ส่วนไข่ที่ไม่มีเชื้อจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 0.3 ถึง 0.45 โวลต์

ผลการทดลองฟักไข่ด้วยตู้ฟักไข่ที่สร้างขึ้นจำนวน 50 ฟอง เป็นไข่ที่มีเชื้อ 45 ฟองและได้ลูกไก่เกิดใหม่ 45 ตัว คิดเป็น 90% และเป็นไข่ไม่มีเชื้อ 5 ฟองคิดเป็น 10% ดังแสดงในรูปที่ 7

ส่วนผลการทดลองการฟักด้วยแม่ไก่ตามธรรมชาติเป็นไข่ที่มีเชื้อ 31 ฟอง และได้ลูกไก่เกิดใหม่ 31 ตัว คิดเป็น 62% และเป็นไข่ไม่มีเชื้อ 19 ฟองคิดเป็น 38% และมีลูกไก่ตายครั้งจำนวน 3 ตัว เนื่องมาจากแม่ไก่เหยียบลูกตัวเองตายในขณะที่ออกไปหาอาหารกิน

ข้อพิจารณาในกรณีที่เกิดความผิดปกติของอุณหภูมิและความชื้น จากผลการทดลองส่วนใหญ่จะเกิดจากพัดลมระบายอากาศพังหรือเสียหาย ระบบไฟฟ้าดับเป็นเวลานานกว่าครึ่งชั่วโมง แผ่นฮีตเตอร์ให้ความร้อนไม่ทำงาน จะทำให้อุณหภูมิและความชื้นผิดปกติ ระบบจะแจ้งเตือนผ่าน Line บนสมาร์ตโฟน ดังแสดงในรูปที่ 8 แอปพลิเคชัน Blynk เป็นแอปพลิเคชันที่ใช้

สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับอินเทอร์เน็ตในลักษณะการเชื่อมต่อเครื่องแม่ข่าย (Blynk Server) ไปยังอุปกรณ์ลูกข่าย (Client) ในงานวิจัยนี้คือบอร์ด ESP8266

### สรุปและอภิปรายผล

ตู้ฟักไข่ไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถแสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักด้วยจอ LCD แสดงผล และสามารถตรวจเช็คค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักระยะไกล (remote sensing) ด้วยสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ในกรณีที่อุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักผิดปกติระบบสามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line บนสมาร์ตโฟน จากผลการทดลองเทคนิคการคัดแยกไข่ที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อโดยใช้แสงผ่านสายใยแก้วนำแสงแบบมัลติโหมดสามารถช่วยลดผลกระทบจากการติดเชื้อแบคทีเรียและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบฉับพลันเพื่อเพิ่มอัตราการรอดของไข่ฟักได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ในประเด็นสำคัญ



ข้อดีของการฟักไข่ด้วยตู้ฟักไข่ไฟฟ้าคืออัตราการเกิดไข่ตายโคมและลูกไก่ตายคางน้อยกว่าหรืออาจจะไม่มีเลยเมื่อเทียบกับการฟักด้วยแม่ไก่แบบธรรมชาติ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการตัดแยกไข่ระหว่างไข่ที่มีเชื้อกับไม่มีเชื้อจะอยู่ที่ประมาณ 0.25 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ส่วนรูปแบบการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักแสดงดังรูปที่ 8 ตามลำดับ

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความช่วยเหลือของนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารชั้นปีที่ 4 จึงขอขอบคุณนายจิรวัดน์ อุดมสุข, นายวศิน วงศ์วีรติ และนายพีรวิชัย นาคเจริญ ที่ช่วยประกอบตู้ฟักไข่ จัดหาอุปกรณ์การวิจัย และเป็นผู้ช่วยนักวิจัยที่มีความเอื้อเฟื้อเผื่อแผ่ ไร่เร่ง แจ่มใส ที่มีความหมายมากกว่าคำว่าลูกศิษย์และอาจารย์

#### References

- [1] Department of Livestock Development. "Application of ani-mal production technology," May. 10, 2024, [Online]. Available: <https://pvlo-yaa.dld.go.th/yaa25/images/stories/office/hatchery.pdf>
- [2] Chickenfarmshop. "Egg incubator," January. 12, 2024. [Online]. Available: <http://www.chickenfarmshop.com/cat/egoly>
- [3] S. Arayawat, C. Khunyai and P. Thanasri, "Automatic egg Incubator," 10<sup>th</sup> National conference on technical education, June. 2017, pp. 329-333
- [4] A. Lue- Masueni, L. Samanpitak and Z. Kasa, "Research and Design Incubator to Control Temperature the Egg Back Automatically," *YRU Journal of Science and Technology*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 39-49.
- [5] T. Saoprakorn, B. Reekprakorn, C. Paenprakorn and W. Lumchana, "Designing and Building an Egg Incubator Control System Using Microcontroller," *Journal of Industrial Technology Buriram Rajabhat University*, 2020, vol. 2, no. 2, pp. 67-73.
- [6] Y. Sriudom, S. Sapsa, A. Tewata, Y. Moolaklang, S. Ratiphath and E. Krajangt- himaphorn, "Low cost egg incubator for communities," *The Sci Journal of Phetchaburi Rajabhat University*, 2020. vol, 17, no 2, pp. 30-40.
- [7] S. Multayen and J. Sikugha, "An Incubator to Control Temperature and Turn Eggs Automati- cally," *Journal of Science Innovation for Sustainable Development*, 2020. vol, 2, no. 2, pp. 58-64.
- [8] E. Singhadet, T. Suriwong, S. Jiajitsawat and P. Tanarak, "Performance comparison of heating coil and thermoelectric egg incubators," *Bhurapa Science Journal*, 2014. vol. 4, no. 2, pp. 271-276.

- [9] W. Lumchanao and N. Potprarinya, “Development of Egg Incubator for Detecting Embryos in Chicken Eggs Using Digital Image Processing Techniques,” *SWU Engineering Journal*, 2018. Vol. 13, no. 1, pp. 151-165.
- [10] J. Poolwan, B. Sripan and S. Kingthong, “Development of automatic temperature and humidity control systems for eggs incubators with internet of thing technology,” *RMUTSB Academic Journal*, 2021. vol. 9, no. 2, pp. 225-236.
- [11] G. Panumonwatee, N. Preecha and S. Choosumrong, “Temperature and Humidity Monitoring System on Hatching Native Chickens Egg in Electric Incubator using Internet of Things Technology,” *Journal of Applied Research on Science and Technology*, 2023, vol. 21, no. 2, pp. 14-28.
- [12] P. Thongpang, W. Rattanasiriwatt, P. Prachprayoon, G. Tungku and C. Somsut, “Designing an Egg Incubator Using Quality Function Deployment Technology,” *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 2023. vol. 9, no. 2, pp. 14-28.
- [13] B. Sookananta, M. Thumwiset, S. Kongwan, S. Sareekham and M. Pusayatanont, “Comparative study of sensors for agricultural applications,” *Journal of Engineering and Innovation*, 2024. vol. 17, no. 1, pp. 179-191.

## การปรับปรุงประสิทธิภาพการวางแผนเส้นทางเดินรถจัดส่งสินค้า กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่าง

อนวัช มนตรีวงศ์<sup>1</sup>, ชุกกรี แดสา<sup>2\*</sup>, นิกร ศิริวงศ์ไพศาล<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Email: chukree.d@psu.ac.th<sup>2</sup>

Received: Sep 06, 2024

Revised: Oct 21, 2024

Accepted: Oct 28, 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem; VRP) กรณีที่มีคลังสินค้าแห่งเดียว ลูกค้ามีหลายราย ซึ่งแต่ละรายมีปริมาณความต้องการสินค้าที่ไม่เท่ากัน แต่ทราบปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการล่วงหน้าและช่วงเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าที่แน่นอน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาและสามารถแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัดต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดกรอบเวลาในการขนส่ง (Time Windows) การแบ่งส่งสินค้า (Split Demand Delivery) และปริมาณความจุของรถบรรทุก (Capacitated) โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 2 วิธี ได้แก่ การใช้ Routing และการใช้ Clustering and Routing โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 117 ราย ของทั้ง 2 วิธี เมื่อเทียบกับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถพบว่า การใช้ Routing ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งเพิ่มขึ้น 2.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 0.006 ส่วนการใช้ Clustering and Routing สามารถทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลง 1,535.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 3.43

**คำสำคัญ :** ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ, การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน, โปรแกรมจัดเส้นทาง

## Improving the Efficiency of Planning Delivery Routes for Goods Transportation: A Case Study of Sample Company

Anawat Montreewong<sup>1</sup>, Chukree Daesa<sup>2\*</sup>, Nikorn Sirivongpaisal<sup>3</sup>

Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

Email: chukree.d@psu.ac.th<sup>2</sup>

Received: Sep 06, 2024

Revised: Oct 21, 2024

Accepted: Oct 28, 2024

### Abstract

This study presented a method for solving the Vehicle Routing Problem (VRP). In the case of having only one warehouse. There were many customers, each with a different demand for products but knew the quantity of products that customers need in advance and the exact time period for receiving the customers's products. The objective of the study was to reduce transportation costs of the cases study companies and to be able to solve problems related to various limitations, which included: Time Windows, Split Demand Delivery and Capacitated. The researcher has compared transportation costs of the 2 methods: Using routing. Using Clustering and Routing. The results obtained from transporting goods to 117 customers using both methods were compared with using the experience of drivers in planning the route, it was found that the first method made transportation costs to increase by 2.5 baht, equivalent to 0.006% and the other method could reduce transportation costs by 1,535.5 baht, equivalent to 3.43%.

**Keywords :** Vehicle Routing Problem, K-means clustering, VRP Spreadsheet Solver

## บทนำ

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง (Vehicle Routing Problem; VRP) เป็นปัญหาสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของทุกประเทศ ทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน โดยการวางแผนจัดเส้นทางเดินทางที่มีประสิทธิภาพจะทำให้เกิดต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำ และสามารถตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างทันเวลา ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบมีกรอบเวลา (vehicle Routing Problem with Time Windows; VRPTW) เป็นส่วนขยายของปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ซับซ้อนยากต่อการคำนวณ โดยปัญหานี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของปัญหาแบบ NP-hard[1] ซึ่งเป้าหมายของการแก้ปัญหา VRPTW เป็นการหาเส้นทางขนส่งที่ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งหรือระยะทางรวมต่ำที่สุด ภายใต้กรอบระยะเวลาที่กำหนดของแต่ละจุด ด้วยเหตุนี้ปัญหา VRPTW จึงเป็นปัญหาที่สำคัญและได้รับความสนใจจากกลุ่มนักวิจัยด้านโลจิสติกส์และการจัดการห่วงโซ่อุปทาน โดยมีนักวิจัยจำนวนมากได้นำเสนอวิธีแก้ปัญหา VRPTW ที่แตกต่างกันทั้งการใช้เทคนิคแบบแม่นยำ (Exact Method) การใช้วิธีการเชิงฮิวริสติกส์และเมตาฮิวริสติกส์ (Heuristics and Meta Heuristics)[2] ซึ่งวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

นักวิจัยกลุ่มแรกได้นำเสนอเทคนิคแบบแม่นยำสำหรับการแก้ปัญหา VRPTW เช่น J. F. Bard (2002) ใช้เทคนิค Branch and Cut[3], M. Desrochers (1992) ใช้เทคนิค Column Generation[4], N. Azi, (2010) ใช้เทคนิค Branch and Price[5] อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้สามารถแก้ไขปัญหา VRPTW ได้อย่างจำกัด กรณีปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นอาจไม่สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยส่วนใหญ่จึงนิยมแก้ปัญหา VRPTW ด้วยวิธีการเชิงเมตาฮิวริสติกส์ เช่น W.-C. Chiang (1996) ใช้เทคนิค

Simulated Annealing; (SA)[6], J. F. Cordeau (2001) ใช้เทคนิค Tabu Search; (TS)[7], G. B. Alvarenga (2007) ใช้เทคนิค Genetic Algorithm; (GA)[8] เนื่องจากวิธีเชิงเมตาฮิวริสติกส์เป็นวิธีการที่เหมาะสมเพียงพอที่จะถูกนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้อย่างไรก็ตาม เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบให้ดียิ่งขึ้น การผสมผสานระหว่างเมตาฮิวริสติกส์กับเทคนิคหรือวิธีการอื่น ๆ จึงเป็นหนึ่งในแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มียุติวิธีใดที่ยืนยันว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา VRPTW ดังนั้นการเลือกใช่วิธีเชิงเมตาฮิวริสติกส์และเครื่องมืออื่น ๆ จะเลือกตามปัญหาที่พบและความสนใจของแต่ละบุคคล

โปรแกรม (VRP Spreadsheet Solver; VRPSS) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Güneş Erdoğan[9] ซึ่งจุดเริ่มต้นของการพัฒนาในครั้งนี้มาจากความต้องการแก้ไขปัญหา VRP ซึ่งเป็นปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง โดยโปรแกรม VRPSS มีเป้าหมายในการลดต้นทุนการดำเนินงานขนส่งผ่านการจัดการเส้นทางของยานพาหนะ โดยโปรแกรมดังกล่าวทำงานผ่าน Microsoft Excel และใช้วิธีการหาผลลัพธ์ด้วยวิธี Local Search ซึ่งเป็นวิธีเชิงเมตาฮิวริสติกส์วิธีหนึ่งในการคำนวณระยะทางระหว่างสถานที่จาก Bing Maps ซึ่งช่วยให้ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับยานพาหนะ โดยสามารถแก้ปัญหา VRP ที่มีจำนวนลูกค้าสูงสุด 200 ราย ทั้งนี้โปรแกรม VRPSS ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานวิจัยอย่างแพร่หลาย เช่น ศุภรวิทย์ อิงคไพโรจน์ (2565) ได้นำโปรแกรม VRPSS มาใช้ในการจัดเส้นทางการเดินทาง โดยมีเป้าหมายในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าตาม

กรอบเวลาที่กำหนด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ พนักงานขับรถสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ตามเวลาที่กำหนด อีกทั้งสามารถลดระยะทางได้ร้อยละ 38 และลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงร้อยละ 39 ต่อเดือน[10] และพลอยไพลิน พริกทิม (2565) ได้นำโปรแกรม VRPSS มาใช้ในการจัดเส้นทางการเดินทาง โดยมีเป้าหมายในการลดต้นทุนการขนส่งสินค้า ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถลดระยะทางในการขนส่งรวม 3 เดือนได้ร้อยละ 54.10 และลดต้นทุนการขนส่งรวม 3 เดือนได้ร้อยละ 54.89[11] เป็นต้น

การแบ่งกลุ่มด้วยวิธีเคมีน (K-means clustering) คือวิธีการที่ใช้ในการจัดกลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (non-hierarchical cluster analysis) เป็นขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่ม (clustering) ที่ใช้ในการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มย่อย ๆ โดยเป็นการหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มแต่ละกลุ่ม ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน คือการเลือกจุดศูนย์กลางเริ่มต้น การกำหนดข้อมูลให้

เป็นกลุ่มตามจุดศูนย์กลางที่ใกล้ที่สุด และการปรับปรุงจุดศูนย์กลางตามข้อมูลใหม่ที่ได้จากการกำหนดกลุ่มใหม่ จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในการกำหนดกลุ่มตามลำดับ ขั้นตอนวิธีการนี้มักถูกใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการจัดกลุ่มข้อมูลในหลากหลายงานที่ต้องการการจัดกลุ่มที่มีความคล้ายคลึงกัน โดยการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีเคมีนนั้น ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย เช่น พิชณี มีบัว (2558) ใช้สำหรับการจัดกลุ่มลูกค้าของบริษัทโลจิสติกส์[12] และอัจฉรา ชุมพล(2563) ใช้สำหรับการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางรถขนส่ง[13] เป็นต้น

จากวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นจึงสรุปได้เป็นรายละเอียดข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบวิธีการวางแผนจัดเส้นทางรถของทั้ง 3 วิธีการ

ประเภทวิธี	Exact Method	Routing (VRPSS)	Clustering and Routing
ข้อดี	ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอ	ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงที่ดีที่สุดในเวลาสั้น	ได้ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มลูกค้าที่มีความใกล้เคียงกัน
เวลาในการประมวลผล	ใช้เวลาตั้งแต่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป (โดยเฉพาะในปัญหาที่มีขนาดใหญ่)	ใช้เวลาไม่เกินที่ถึง 1 ชั่วโมง	ใช้เวลาไม่เกินที่ถึง 1 ชั่วโมง
ขนาดของปัญหาที่แก้ได้	ขนาดเล็ก, ปานกลาง (น้อยกว่า 50 จุด, 50-200 จุด)	ขนาดกลาง, ใหญ่ (50-200 จุด, มากกว่า 200 จุด)	ขนาดใหญ่ (มากกว่า 200 จุด)
ความยืดหยุ่นในการปรับแต่ง	ต่ำ (ต้องแก้ไขตามสูตรคณิตศาสตร์)	สูง (ปรับพารามิเตอร์ได้หลากหลาย)	สูง (ทั้งในเรื่องการแบ่งกลุ่มและการทำ Routing)
ตัวอย่างวิธีการ	Branch and Bound, Branch and Cut	Genetic Algorithm, Simulated Annealing	K-means + Genetic Algorithm, Sweep Algorithm + Tabu Search
ข้อจำกัด	ใช้เวลานานในปัญหาขนาดใหญ่	อาจไม่พบผลลัพธ์ที่ดีที่สุด	ผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับวิธีการแบ่งกลุ่ม

เนื่องจากปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีกิจกรรมการขนส่งสินค้าเป็นจำนวนมากและมีเงื่อนไขค่านอกเส้นทางในการคำนวณค่าขนส่ง ทำให้ผู้วิจัยได้นำปัจจัยดังกล่าวเข้าพิจารณาร่วมด้วย จากการศึกษาทฤษฎีในตารางที่ 1 ผู้วิจัยจึงพิจารณาถึงความเหมาะสมในการทดลองหาต้นทุนค่าขนส่ง

โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การใช้ Routing และการใช้ Clustering and Routing เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 2 วิธีกับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางรถ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการจัดเส้นทางเพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 1. การจัดการข้อมูลของงานวิจัย

ขั้นตอนเริ่มต้นผู้วิจัยทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการจัดส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา โดยบริษัทดังกล่าวมีคลังสินค้าแห่งเดียวและมีจำนวนลูกค้าหลายรายตามจุด (Node) ต่าง ๆ ทั้งนี้เส้นทางการขนส่งในแต่ละรอบการวิ่งจะส่งสินค้าเฉพาะพื้นที่กรุงเทพฯ โดยเริ่มต้นจากพนักงานขับรถส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปส่งสินค้ายังลูกค้า โดยที่ทราบตำแหน่งที่ตั้งต่าง ๆ ของลูกค้าในแต่ละจุด ทราบปริมาณสินค้าล่วงหน้าและช่วงเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าที่แน่นอน ซึ่งพนักงานขับรถจะเริ่มส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่สถานที่แรกเวลา 08:00 น. เมื่อพนักงานขับรถส่งสินค้าครบทุกที่แล้วพนักงานขับรถจะขับรถกลับไปที่คลังสินค้าก่อนเวลา 18:30 น. เนื่องจากลูกค้าส่วนใหญ่จะรับสินค้าหลังเวลา 16:30 น. ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดให้ระยะเวลาการให้บริการลูกค้าเฉลี่ย 40 นาที/จุดส่ง และกำหนดให้รถขนส่งมีอัตราเร็วเฉลี่ย 60 กม./ชม. โดยรถบรรทุกที่บริษัทใช้สำหรับขนส่งสินค้าให้กับลูกค้านั้น เป็นรถบรรทุกประเภท 4 ล้อ จำนวน 20 คัน ที่มีความจุของรถบรรทุกเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** รายละเอียดรถบรรทุกที่ทำสัญญาขนส่งกับบริษัทฯ

ประเภทรถขนส่ง	ความสามารถในการบรรทุก (กก./คัน)	จำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งปัจจุบัน (คัน)
รถบรรทุกตู้тип 4 ล้อ	2,700	20

ในส่วนของวิธีการคำนวณต้นทุนคาขนส่งของบริษัทเป็นวิธีการคิดค่าขนส่งตามสัญญาจ้างของบริษัทกรณีศึกษา โดยประกอบด้วย 4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

### ตารางที่ 3 การคำนวณค่าเที่ยว

จำนวนจุดส่ง	ราคาค่าเที่ยว (บาท)
1-3	1,665
4-6	1,875
7-8	2,105
9-10	2,155

1) ค่าเที่ยว คำนวณจากจำนวนจุดส่งที่พนักงานขับรถส่งสินค้า อ้างอิงจากข้อมูลในตารางที่ 3

2) ค่าน้ำหนักเกิน คำนวณจากน้ำหนักที่รถขนส่งบรรทุกเกิน 1,500 กิโลกรัม จะถูกคิดค่าน้ำหนักเกินที่ กิโลกรัมละ 0.5 บาท เช่น รถขนส่งบรรทุกน้ำหนักได้ 1,700 กิโลกรัม ค่าน้ำหนักเกินที่บริษัทต้องจ่ายให้พนักงานขับรถจะเท่ากับ 100 บาท เป็นต้น

3) ค่าจุดเกิน คำนวณจากจำนวนจุดส่งที่ส่งสินค้าเกิน 10 จุด โดยจุดส่งถัดไปจะคิดค่าจุดเกินที่จุดส่งละ 200 บาท เช่น พนักงานขับรถส่งสินค้าได้ 11 จุด ค่าจุดเกินที่บริษัทต้องจ่ายให้พนักงานขับรถจะเท่ากับ 200 บาท เป็นต้น

4) ค่าจุดนอกเส้นทาง คำนวณจากจำนวนจุดส่งที่พนักงานขับรถส่งสินค้าข้ามพื้นที่ โดยหากพนักงานขับรถส่งสินค้าข้ามพื้นที่จะคิดค่าจุดนอกเส้นทางที่จุดส่งละ 200 บาท เช่น พนักงานขับรถส่งสินค้าข้ามพื้นที่ 2 จุด ค่าจุดนอกเส้นทางที่บริษัทต้องจ่ายให้พนักงานขับรถจะเท่ากับ 400 บาท เป็นต้น โดยพื้นที่ในการขนส่งของบริษัทมีทั้งหมด 8 พื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่กรุงเทพฯที่มีการขนส่งของบริษัทฯ

2. การดำเนินงาน

ข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางในการขนส่งนั้น เกี่ยวข้องในเรื่องของรายละเอียดรถขนส่งและรายละเอียดของลูกค้าที่จะต้องนำสินค้าไปส่ง โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมชุดข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 117 ราย ของบริษัท ทรานส์ศึกษา โดยแสดงในตารางที่ 4

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลข้างต้นมาทำการทดลองหาต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 2 วิธี ได้แก่ การใช้ Routing และการใช้ Clustering and Routing เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 2 วิธีกับการใช้ประสิทธิภาพของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถ

ตารางที่ 4 ชุดข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าของบริษัท ทรานส์ศึกษา

ชื่อลูกค้า	ความต้องการ (กก.)	เวลาเปิด-ปิด	พิกัดละติจูด-ลองจิจูด
ลูกค้า 1	27	08:00-16:00	13.7557917, 100.5113297
ลูกค้า 2	236	08:00-16:00	13.7760963, 100.5104141
...	...	...	...
ลูกค้า 117	15	08:00-16:00	13.7453766, 100.5190659



## 2.1 Routing

Sequence	Parameter	Value	Remarks
<b>0.Optional - GIS License</b>	Bing Maps Key	Am1xQBDcF3cbLPzWd7TsWm1huPTuMkUJ32L5ALctpMSIxcr2Qg9oH_8uDVEYASp	You can get a free trial key at <a href="https://www.bingmapsportal.com/">https://www.bingmapsportal.com/</a>
<b>1.Locations</b>	Number of depots	1	[1,20]
	Number of customers	117	[5,200]
<b>2.Distances</b>	Distance / duration computation	Bing Maps driving distances (km)	Recommendation: Use 'postcode, country' format for addresses
	Bing Maps route type	Fastest	Recommendation: Use 'Fastest'
	Average vehicle speed	60	Not used for the 'Bing Maps driving distances' options
<b>3.Vehicles</b>	Number of vehicle types	1	Heterogeneous VRP if greater than 1
<b>4.Solution</b>	Vehicles must return to the depot?	Yes	Open VRP if no return
	Time window type	Hard	
	Backhauls?	No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations
<b>5.Optional - Visualization</b>	Visualization background	Bing Maps	
	Location labels	Location IDs	
<b>6.Solver</b>	Warm start?	Yes	
	Show progress on the status bar?	No	May slow down the optimization algorithm
	CPU time limit (seconds)	60	Recommendation: At least 1020 seconds

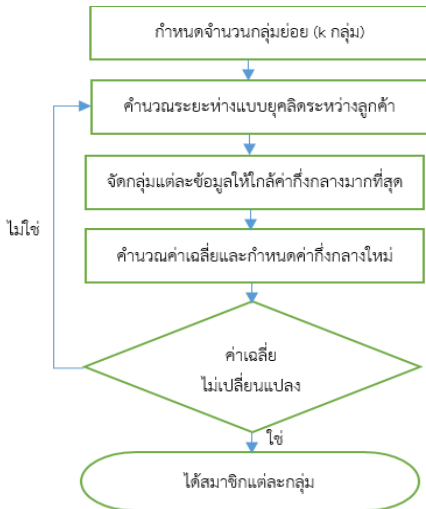
รูปที่ 2 โปรแกรม VRP Spreadsheet Solver

ขั้นตอนที่ 1 จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงหน้าข้อมูลควบคุม VRPSS ซึ่งเป็นหน้ากำหนดรูปแบบการทำงาน จำนวนจุดรับส่ง ระยะเวลาการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรม โดยจะมีระยะเวลาขั้นต่ำที่เหมาะสมแนะนำอยู่กับจำนวนของข้อมูล ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำชุดข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งประกอบด้วยจำนวนลูกค้า ความต้องการของลูกค้า พิกัดละติจูด พิกัดลองจิจูด ระยะเวลาเปิด-ปิด จำนวนรถขนส่ง ความเร็วเฉลี่ยของรถขนส่ง และความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถขนส่ง ใส่ลงไปในโปรแกรม VRPSS เพื่อคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสม

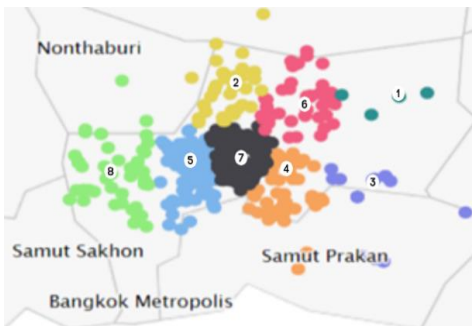
ขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยได้นำผลลัพธ์เส้นทางที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมมาคำนวณต้นทุนค่าขนส่งตามเงื่อนไขของบริษัทกรณีศึกษา

### 2.2 Clustering and Routing

ขั้นตอนที่ 1 จัดกลุ่มข้อมูลลูกค้าทั้งหมดในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา มาจำแนกกลุ่มด้วยวิธีเคมีน ซึ่งจะได้ออกมา โดยจำนวนกลุ่มย่อยผู้วิจัยกำหนดให้เท่ากับ 8 กลุ่ม ซึ่งครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯ โดยสรุปขั้นตอนการจัดกลุ่มได้ดังรูปที่ 3 และได้ผลลัพธ์จากการจัดกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาระบุกลุ่มพื้นที่ให้กับข้อมูลตัวอย่างได้ดังตารางที่ 5



รูปที่ 3 ขั้นตอนวิธีเคมีน (K-means clustering)



รูปที่ 4 ข้อมูลลูกค้าที่ถูกจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีน (K-means clustering)

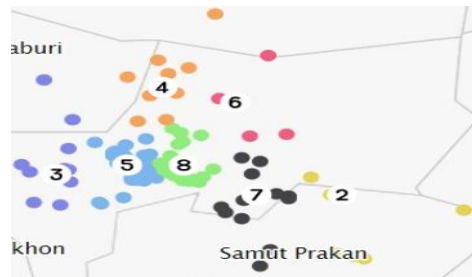
ตารางที่ 5 ตัวอย่างข้อมูลในการจัดกลุ่มย่อย

ชื่อลูกค้า	การจัดกลุ่มลูกค้า
ลูกค้า 1	กลุ่ม 4
ลูกค้า 2	กลุ่ม 4
...	...
ลูกค้า 117	กลุ่ม 6

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 1 ที่เป็นการแบ่งเขตพื้นที่กรุงเทพฯของบริษัทฯ กับรูปที่ 4 การแบ่งที่ได้จากการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีเคมีน พบว่ามีการจัดกลุ่มลูกค้าที่แตกต่างกัน เนื่องจากวิธีเคมีนนั้น คำนึงถึงการจัดกลุ่มแต่ละข้อมูลให้

ใกล้ค่ากึ่งกลางมากที่สุด ส่วนพื้นที่กรุงเทพฯ ที่มีการขนส่งของบริษัททั้ง 8 พื้นที่นั้น คำนึงถึงเขตในพื้นที่กรุงเทพฯ

ขั้นตอนที่ 2 นำชุดข้อมูลตัวอย่าง ชื่อลูกค้าของสถานที่ขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา มาตรวจสอบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดกลุ่มลูกค้าจากวิธีเคมีน พบว่าวันดังกล่าวมีกลุ่มของลูกค้า 7 กลุ่มย่อย จากทั้งหมด 8 กลุ่มย่อย โดยไม่พบกลุ่ม 1 ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ชุดข้อมูลตัวอย่างลูกค้าที่ถูกจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีน (K-means clustering)

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการนำข้อมูลของกลุ่มลูกค้า 7 กลุ่มย่อย ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาวางแผนการจัดเส้นทางด้วยโปรแกรม VRPSS ทีละกลุ่มพื้นที่

ขั้นตอนที่ 4 ผู้วิจัยได้นำผลลัพธ์เส้นทางที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม VRPSS มาคำนวณโดยใช้วิธีการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งตามเงื่อนไขของบริษัทกรณีศึกษา

### ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถจากชุดข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 117 ราย ของทั้ง 2 วิธี ได้แก่ การใช้ Routing และ Clustering

and Routing โดยทำการทดสอบบน HP ProBook 440 14 inch G10 Notebook PC Processor 13th Gen Intel® Core™ i5-1335U 1.30 GHz บน Windows 11 ซึ่งผลลัพธ์จากการประมวลผลและคำนวณต้นทุน แสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 7 ตามลำดับ

**ตารางที่ 6** ผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากการใช้วิธีการ Routing

จำนวนรถขนส่ง	จำนวนจุดส่ง	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	น้ำหนักเกิน (กก.)	จำนวนจุดเกิน	จำนวนจุดนอกเส้นทาง	ค่าเที่ยว (บาท)	ค่าน้ำหนักเกิน (บาท)	ค่าจุดเกิน (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทาง (บาท)	ค่าขนส่ง (บาท)
1	5	2,335	835	-	2	1,875	417.5	-	400	2,692.5
2	10	1,535	35	-	5	2,155	17.5	-	1,000	3,172.5
3	10	2,393	893	-	2	2,155	446.5	-	400	3,001.5
4	9	2,465	965	-	2	2,155	482.5	-	400	3,037.5
5	10	2,330	830	-	4	2,155	415	-	800	3,370
6	8	860	-	-	-	2,105	-	-	-	2,105
7	4	2,248	748	-	-	1,875	374	-	-	2,249
8	6	1,323	-	-	1	1,875	-	-	200	2,075
9	9	2,552	1,052	-	4	2,155	526	-	800	3,481
10	8	2,498	998	-	3	2,105	499	-	600	3,204
11	8	2,582	1,082	-	4	2,105	541	-	800	3,446
12	9	1,979	479	-	6	2,155	239.5	-	1,200	3,594.5
13	7	2,197	697	-	4	2,105	348.5	-	800	3,253.5
14	9	2,659	1,159	-	3	2,155	579.5	-	600	3,334.5
15	5	2,390	890	-	2	1,875	445	-	400	2,720

**ตารางที่ 7** ผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากการใช้วิธีการ Clustering and Routing

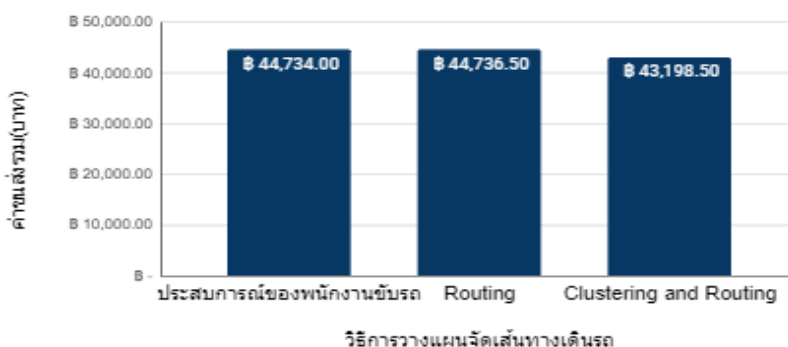
จำนวนรถขนส่ง	จำนวนจุดส่ง	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	น้ำหนักเกิน (กก.)	จำนวนจุดเกิน	จำนวนจุดนอกเส้นทาง	ค่าเที่ยว (บาท)	ค่าน้ำหนักเกิน (บาท)	ค่าจุดเกิน (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทาง (บาท)	ค่าขนส่ง (บาท)
1	10	837	-	2	2	2,155	-	-	400	2,555
2	9	2,346	846	5	5	2,155	423	-	1,000	3,578
3	9	2,368	868	2	2	2,155	434	-	400	2,989
4	3	2,600	1,100	-	-	1,665	550	-	0	2,215
5	3	2,052	552	-	-	1,665	276	-	0	1,941
6	2	2,520	1,020	-	-	1,665	510	-	0	2,175
7	10	2,012	512	3	3	2,155	256	-	600	3,011
8	5	1,607	107	2	2	1,875	53.5	-	400	2,328.5
9	5	1,564	64	2	2	1,875	32	-	400	2,307
10	6	2,249	749	2	2	1,875	374.5	-	400	2,649.5
11	9	2,519	1,019	-	1	2,155	509.5	-	200	2,864.5
12	9	1,646	146	-	1	2,155	73	-	200	2,428
13	11	2,307	807	1	-	2,155	403.5	200	-	2,758.5
14	10	2,414	914	-	4	2,155	457	-	800	3,412
15	8	1,853	353	-	2	2,105	176.5	-	400	2,681.5
16	8	1,452	-	-	6	2,105	-	-	1,200	3,305

จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 วิธี เมื่อเทียบกับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถพบว่า การใช้ Routing ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้น 2.5

บาท คิดเป็นร้อยละ 0.006 ส่วนการใช้ Clustering and Routing สามารถทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าลดลง 1,535.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 3.43 ดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 2 วิธี เมื่อเทียบกับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถ

วิธีการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถ	จำนวนรถขนส่งรวม (คัน)	ค่าเที่ยวรวม (บาท)	ค่าน้ำมันรวม (บาท)	ค่าจุดเกินรวม (บาท)	ค่าจุดนอกเส้นทางรวม (บาท)	ค่าขนส่งรวม (บาท)	ร้อยละเทียบกับประสบการณ์ของพนักงานขับรถ
ประสบการณ์ของพนักงานขับรถ	16	31,840	4,694	2,200	6,000	44,734	-
Routing	15	31,005	5,331.5	-	8,400	44,736.5	เพิ่มขึ้น 0.006
Clustering and Routing	16	32,070	4,528.5	200	6,400	43,198.5	ลดลง 3.43



รูปที่ 6 เปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 2 วิธี เมื่อเทียบกับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถ

### สรุปและอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งของทั้ง 2 วิธี ได้แก่ การใช้ Routing และการใช้ Clustering and Routing โดยผลลัพธ์ที่ได้จากชุดข้อมูลตัวอย่างการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 117 ราย ของทั้ง 2 วิธี เมื่อเทียบกับการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถพบว่า การใช้ Routing ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้น 2.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 0.006 ส่วนการใช้ Clustering and Routing สามารถทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าลดลง 1,535.5 บาท คิดเป็นร้อยละ 3.43 ดังนั้นจากการศึกษาพบว่าการใช้

Clustering and Routing นั้นให้ผลลัพธ์ต้นทุนค่าขนส่งที่เหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ Routing ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของอัจฉรา ชุมพล ที่ได้ใช้ทฤษฎีเดียวกันนี้ในงานวิจัย ดังนั้นสำหรับบริษัทกรณีศึกษาผู้วิจัยจึงแนะนำวิธีการดังกล่าวแทนการใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทาง

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณงบประมาณจากโครงการ Hi-FI และสถานประกอบการกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรณีศึกษารวมถึงให้ข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ที่จำเป็น

### References

- [1] Y. Kao, M. H. Chen, and Y. T. Huang, “A hybrid algorithm based on ACO and PSO for capacitated vehicle routing problems,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2012, pp. 1-7, 2012.
- [2] N. Wichapa, T. Sudsuansee, and P. Khokhajaikiat, “Solving the vehicle routing problems with time windows using hybrid genetic algorithm with push forward insertion heuristic and local search procedure,” *King Mongkut’s Univ. Technol. North Bangkok Acad. J.*, vol. 29, no. 1, pp. 4-13, 2019.
- [3] J. F. Bard, G. Kontoravdis, and G. Yu, “A branch-and-cut procedure for the vehicle routing problem with time windows,” *Transp. Sci.*, 2002. vol. 36, no. 2, pp. 250–269.
- [4] M. Desrochers, J. Desrosiers, and M. Solomon, “A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows,” *Oper. Res.*, 1992, vol. 40, no. 2, pp. 342–354.
- [5] N. Azi, M. Gendreau, and J.-Y. Potvin, “An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles,” *Eur. J. Oper. Res.*, 2010. vol. 202, no. 3, pp. 756–763.
- [6] W.-C. Chiang and R. A. Russell, “Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows,” *Ann. Oper. Res.*, 1996. vol. 63, no. 1, pp. 3–27.
- [7] J. F. Cordeau, G. Laporte, and A. Mercier, “A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows,” *J. Oper. Res. Soc.*, 2001. vol. 52, no. 8, pp. 928-936.
- [8] G. B. Alvarenga, G. R. Mateus, and G. de Tomi, “A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows,” *Comput. Oper. Res.*, 2007. vol. 34, no. 6, pp. 1561–1584.
- [9] G. Erdoğan, “An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems,” *Comput. Oper. Res.*, 2017. vol. 84, pp. 62-72.
- [10] S. Ingpaiboon, C. Yiengkamolasing, P. Naksidi, and W. Ngamsa-ard, “Improving the efficiency of vehicle routing using the VRP Spreadsheet Solver: A case study of ThaiNamthip Co., Ltd.,” *Southeast Bangkok Univ. J. Sci. Technol.*, 2022. vol. 2, no. 3, pp. 1-11.

- [11] P. Phriktim, P. Siora, and P. Autsavanakul, “ Reducing transportation costs: A case study of an oil filter manufacturing company,” *Thonburi Univ. J. Sci. Technol.*, 2022. vol. 6, no. 2, pp. 16-23.
- [12] P. MeeBua and J. Jitrotevej, “Customer segmentation of a logistics company providing international sea container transportation,” *KKU Sci. J.*, 2015. vol. 43, no. 2, pp. 297-308.
- [13] A. Chumpol, N. Phasan, and P. Tipsantia, “Application of the K-Means- TSP method for solving transportation routing problems: A case study of Sangchai Rungruang Co. , Ltd. ,” *Surin Rajabhat Univ. J. Manage. Sci. Res.*, 2020. vol. 4, no. 2, pp. 15-26.

## วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นวารสารตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิจัยในด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่านต่อหนึ่งบทความ และต้องได้รับความเห็นชอบจากบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยบทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารอื่น กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับและการพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง โดยมีข้อเสนอแนะในการส่งบทความดังนี้

### การเตรียมต้นฉบับบทความ

ชื่อเรื่อง (Title)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรสั้น กระชับ ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ และสื่อความหมายของเรื่องที่ทำอย่างชัดเจน
ชื่อ นามสกุลของผู้เขียน	ระบุชื่อนามสกุลเต็ม ของผู้เขียนให้ครบทุกคน <b>โดยไม่ต้องใส่คำนำหน้านามใด ๆ</b> ระบุสถานที่ทำงานหรือหน่วยงานที่สังกัดของผู้เขียน, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
บทคัดย่อ (Abstract)	มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษเป็นเนื้อความสรุปสาระสำคัญของเรื่อง ครอบคลุมวัตถุประสงค์ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย และผลสรุปมีความยาวไม่เกิน 250 คำ ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว
คำสำคัญ (Keyword)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ จำนวน 3-5 คำ
บทนำ	อธิบายถึงความสำคัญหรือที่มาของปัญหาที่ทำการศึกษาวัตถุประสงค์ และอาจรวมไปถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
เนื้อเรื่อง	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย กระชับรัดกุมและชัดเจน
วิธีการวิจัย	อธิบายขั้นตอนการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย
ผลการวิจัย	อธิบายผลการทดลองที่พบอย่างชัดเจน ครบถ้วน
สรุปและอภิปรายผล	เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร โดยต้องมีการอ้างทฤษฎีหรือผลการศึกษาของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ
กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References)	<p>การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลขตามมาตรฐานสากลดังที่แสดงไว้ในส่วนท้ายของประโยคนี้ [1] เอกสารอ้างอิงท้ายบทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงในบทความ ตามรูปแบบของ IEEE</p> <p>(<a href="http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf">http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf</a>)</p> <p><b><u>โดยแปลเอกสารอ้างอิง (References) จากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ</u></b></p>
รูปภาพและตาราง	<p>ต้องมีความคมชัดเป็นภาพขาวดำที่ชัดเจน มีคำอธิบายสั้น ๆ ครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า “ตารางที่.....” และอธิบายใส่ไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า “รูปที่.....” และมีคำอธิบายใส่ไว้ใต้รูป</p>

### รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง

#### ตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

- [1] ชื่อผู้แต่ง, *ชื่อหนังสือ(ตัวเอียง)*, (พิมพ์ครั้งที่), เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์, ปีที่พิมพ์.
- [2] สมชาย ประสิทธิ์จตุระกุล, *การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม*, กรุงเทพฯ: เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), 2001.
- [3] J.R. Quinlan, *C4.5: Programs for Machine Learning*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, California, 1993.

#### ตัวอย่างการอ้างอิงจากการประชุมวิชาการ

- [4] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ใน หรือ In, *ชื่อการประชุมวิชาการ, ชื่อย่อการประชุมวิชาการ, ชื่อสถานที่จัดงาน*, วัน เดือน ปี ที่จัดงาน, เลขหน้า.
- [5] วรฤทัย หาญโชติพันธ์, “การศึกษาแนวทางขวัญและกำลังใจในการปฏิบัติงานของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา,” ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ครั้งที่ 8*: 2559, น. 726-735.
- [6] H. Worraruethai, “Staff Morale in Working at Suan Sunandha Rajabhat University,” in *XII International Conference on Human Resource Management and Professional Development (ICHRMPD 2014), Paris, France, 2014*, pp. 27-36.

#### ตัวอย่างการอ้างอิงจากวารสาร

- [7] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” *ชื่อวารสาร*, ปีที่, ฉบับที่, เลขหน้าบทความที่อ้างอิง, เดือนที่พิมพ์, ปีที่พิมพ์.
- [8] วรฤทัย หาญโชติพันธ์, “วัสดุทางวิศวกรรม,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, ปีที่4, ฉบับที่ 2, หน้า 37-42, มกราคม-มิถุนายน, 2559.
- [9] M. Ito et al., “Application of amorphous oxide TFT to electrophoretic display,” *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 354, no. 19, pp. 2777–2782, Feb. 2008.



### การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์

- [10] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์,” วิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์ ชื่อย่อปริญญา (สาขา), ชื่อมหาวิทยาลัย, ชื่อเมือง, ชื่อประเทศ, ปีที่พิมพ์.
- [11] วรฤทัย หาญโชติพันธ์, “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการศึกษา,” วิทยานิพนธ์ บธ.ม. (การบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2551.
- [12] J. O. Williams, “Narrow-band analyzer,” Ph.D. dissertation (Electrical Engineering), Harvard University, Cambridge, MA, USA, 1993.

### การส่งต้นฉบับบทความ

ส่งบทความผ่านระบบ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/fit-ssru> เท่านั้น หากต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทงนอก แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440 Email : fit\_journals@ssru.ac.th



คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

จัดพิมพ์โดย : คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

1 ถนนอุ้งนอก เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทร 0 2160 1438 ต่อ 23 เว็บไซต์ <https://ph01.tci-thajo.org/index.php/fit-ssru>