

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ Thaksin University Journal

ปีที่ 22 ฉบับที่ 2

Vol. 22 No. 2

กรกฎาคม - ธันวาคม 2562

July - December 2019



ISSN 0859-9807 (print)

ISSN 2651-0693 (online)



คณะวิทยาศาสตร์
FACULTY OF SCIENCE





Thaksin University Journal

Name	Thaksin University Journal	
Owner	Thaksin University	
Advisory Board	Assoc. Prof. Dr. Wichai Chumni (President of Thaksin University)	
	Assoc. Prof. Dr. Nathapong Chitniratna (Vice President for Research and Academic Services)	
	Dr. Vallop Ditsuwan (Director of the Research and Development Institute Thaksin University)	
Editor	Assoc. Prof. Dr. Nikom Choosiri	(Thaksin University)
	Asst. Prof. Dr. Prasong Kessaratikoon	(Thaksin University)
Editorial Board	Prof. Dr. Charan Chantakhana	(Kasetsart University)
	Prof. Dr. Visut Baimai	(Mahidol University)
	Prof. Dr. Suthat Yoksan	(Srinakharinwirot University)
	Prof. Dr. Apichart Suksamrarn	(Ramkhamhaeng University)
	Prof. Dr. Surin Setamanit	(Chulalongkorn University)
	Prof. Dr. Somjit Supannatas	(Mahidol University)
	Prof. Dr. Soottawat Benjakul	(Prince of Songkla University)
	Prof. Dr. Saowapa Angsupanich	(Prince of Songkla University)
	Assoc. Prof. Dr. Kanchit Malaivongs	(Office of the Royal Society)
	Assoc. Prof. Dr. Hirihattaya Phetmung	(Thaksin University)
	Assoc. Prof. Dr. Sappasith Klomklao	(Thaksin University)
	Assoc. Prof. Dr. Punyapat Chaimay	(Thaksin University)
	Asst. Prof. Pattarawalai Talungchit	(Mahidol University)
	Asst. Prof. Dr. Kornvika Kongkul	(Thaksin University)
	Asst. Prof. Dr. Jatuporn Kaew-On	(Thaksin University)
	Dr. Sirirat Sinprajakpol	(Thaksin University)
	Dr. Khwanchit Suwannoppharat	(Thaksin University)
Journal Management	Miss Ornkamon Kraiwong	(Thaksin University)
	Miss Phimnada Maneewong	(Thaksin University)
	Miss Ranee Sunsang	(Thaksin University)
	Miss Kanyanat Liadrak	(Thaksin University)
Objectives	1. To publicize research work and articles in the field of multidisciplinary of science and technology of staff and researchers of Thaksin University and other organizations	
	2. To publicize information related to research	
	3. To exchange research knowledge and concepts	
Publication Frequency	Published 2 times a year in January – June and July – December	
Book format	A4 size (21x29.7 cm.)	
	Art cover with 250 grams. four-color	
	80-gram paper, 1 color, 74 pages for main content	
Publication	Online	

Membership

The application for membership can be processed into ways:

Journal Authors

Researchers, academicians, or students who want to submit the article(s) must pay for reviewers' compensation, 2,000 Baht/ 70 US Dollars per article if the article is accepted.

via Krungthai Bank account:

Account Name: Thaksin University Journal

Account Number: 678-4-59223-9

Branch: Tesco Lotus – Talad Papayom

After completing the payment, the membership applicant must attach the file of payment slip online at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> or contact the journal coordinators at the following address: Research and Development Institute, Thaksin University, Phatthalung Campus

222 Moo. 2, Bann Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand 93210

Tel. 0-7460-9600 ext. 7254 or 08-1540-7304 Fax No. 0-7460-9654-5

E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or research.tsu@gmail.com

Contact Us

Thaksin University Journal Office, Research and Development Institute,

Thaksin University, Phatthalung Campus

222 Moo. 2, Baan Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand 93210

Tel. +66-7460-9600 Ext. 7254

E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or research.tsu@gmail.com

Print Place

Artwork & Media

Tel. 089-925-8455, 085-440-5398

Editorial

The present Thaksin University Journal (TSUJ) Vol. 22 No. 2 (July - December 2019) is published with 1 academic article and 9 research articles. The interesting academic article is “Biofuel from Polyhydroxyalkanoates (PHAs)” and 9 multidisciplinary of science and technology of research articles in food science (1), Thai medicine (1), technology (1), agriculture (1), informatics system and measurement (1), energy (1), Mathematics (2) and physics education (1). TSUJ readers and customers will get more knowledge and benefit from the content inside the journal and then some of articles would be cited and referred in the near future.

Authors have been a real impulsion and key in founding TSUJ as one of the best journals for publication in the subject of multidisciplinary of science and technology. I would like to thank them all in considering and trusting TSUJ as the platform for publishing their valuable work. I also thank all authors for their kind cooperation extended, checked and corrected during various stages of processing of the manuscript in TSUJ.

For the success of any journals, reviewers are an important part and therefore the reviewers merit sincere appreciation. TSUJ relies on exertion and generosity of the reviewers on assessing suitability of a manuscript for publication in TSUJ. The reviewing of a manuscript is very essential to assure the quality of manuscripts published in any journals. I thank all reviewers for their excellent contributions during the year 2019 of TSUJ.

Again, I would like to inform you that in 2020 the TSUJ will be issued 3 copies per year and each issue will be printed out on January-April, May-August and September-December. Innovative, inventive, original and well-organized multidisciplinary of science and technology articles are welcome to be reviewed and published in full paper with some restrictions on detail of content and number of pages. The TSUJ editor has the final decision-making responsibility for acceptance or rejection of all manuscripts submitted to the journal. The publisher will not become involved in editorial decisions.

In case of editorial duty, I would like to inform that TSUJ improvement plan to the international level has been discussed and accepted by Research and Development Institute of Thaksin University (RDITSU). TSUJ editorial board and I will continue to work harder and try to enhance our journal's quality up to the universal level and try to get more and more recognition in the future. Thank you very much and see you again in the next issue.

Asst. Prof. Dr. Prasong Kessaratikoon
Journal Editor

สารบัญ

บทความวิชาการ (Article)

1. เชื้อเพลิงชีวภาพจากพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต
Biofuel from Polyhydroxyalkanoates (PHAs)
โอภาส ชูบุตร Aophat Choonut กนกพร สังขรินทร์ Kanokphorn Sangkharak.....1

บทความวิจัย (Research Articles)

2. ผลของเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) ต่อการย่อยเนื้อวัว
Effect of Proteinases from Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) Viscera on Beef Hydrolysis
ศราวุธ เหมหมัด Sarawut Hemmad สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า Sappasith Klomklao.....9
3. การพัฒนาสูตรตำรับผลิตภัณฑ์เจลปรับอากาศว่านสาวหลง
Formulation of *Amomum biflorum* Jack Air Freshener Gel
ทวิภรณ์ ศิริเดช Thaweeporn Keereekoch ธีรวัชชัย ศรีสุวรรณ Thawatchai Srisuwan
พิมพ์ชนก แก้วพิทักษ์ Pimchanok Kaewpitak สมฤทัย แดงน้า Somrutai Dangnam สนั่น สุภธีรสกุล Sanan Subhaddhirasakul.....15
4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับการกรีดยางแบบใช้มีดเจ้บง
Performance Comparison of Automatic Para Rubber Tapping Machine and Jeh-bong Knife
เอกสิทธิ์ อนันต์เจริญวงศ์ Ekasit Anancharoenwong นงเยาว์ เมืองดี Nongyao Mueangdee
นริศรา มหาสินวงศ์ Narissara Mahathaninwong ปิยนาง् คงทิม Piyanart Kongtim สุธิดา หมาดโตะทะ Sutida Marthosa.....22
5. ทฤษฎีบทการลู่เข้าของจุดตรึงร่วมสำหรับการส่งแบบไม่ขยาย G
Convergence Theorem of Common Fixed Points for G-Nonexpansive Mappings
ศิวพร แซ่วัน Siwaporn Saewan จันทวรรณ น้อยศรี Chantawan Noisri
ปรีดาภรณ์ กาญจนดำรงวงศ์ Preedaporn Kanjanasamranwong.....29
6. การปรับปรุงดินกรดด้วยเถ้าจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อน
Acid Soil Improvement by Ash from Bioelectric Power Plant for Baby Corn Planting
อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์ Issariyaporn Damrongrak.....37
7. ระบบการตรวจจับก่อนการหล่นกระแทกแบบอ้างอิงด้วยฟัซซี่เป็นฐานโดยเกณฑ์แบบไดนามิก
Fuzzy Inference Based Pre-Impact Fall Detection System Using Dynamic Threshold
ณัฐ โอนาททรัพย์ Nuth Otnasap พูลพงษ์ บุญพราหมณ์ Poonpong Boonbrahm44
8. คาบของฟังก์ชันฟีโบนัชชีมอดุโล m
Periods of Fibonacci Functions Modulo m
นัทธร ทองงาม Nattaporn Thongngam รณสรณ์ ชินรัมย์ Ronnason Chinram.....53
9. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานของระบบสมาร์ตกริด
Analysis and Development of Energy Efficiency of Smart Grid System
การุณย์ ชัยวนิชย์ Karun Chaivanich สุรัตน์ เศษโพธิ์ Surat Sedpho นเรศ ไหววงศ์ Naret Yaiwong.....59
10. การสร้างชุดทดลองปฏิบัติการฟิสิกส์เรื่องการสั่นพ้องของคลื่นเสียงสำหรับครูในเขตพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้
Creation of Physics Experiment Kits on Sound Resonance in a Tube for Teachers in Southern Thailand
โรสลินา อนันตกุลวงศ์ Roseleena Anantanukulwong.....67



เชื้อเพลิงชีวภาพจากพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต

Biofuel from Polyhydroxyalkanoates (PHAs)

โอภาส ชูบุตร¹ และกนกพร สังขรักษ์^{2*}

Aophat Choonut¹ and Kanokphorn Sangkharak^{2*}

บทคัดย่อ

เชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณที่จำกัดและเมื่อเผาไหม้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดแรงกระตุ้นในการค้นหาเชื้อเพลิงชีวภาพทดแทน แบคทีเรียผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHAs) ถูกเสนอเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพทางเลือก ที่เรียกว่าไฮดรอกซีอัลคาโนเอตเมทิลเอสเทอร์ (HAME) และไฮดรอกซีบิวทิเรตเมทิลเอสเทอร์ (HBME) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไบโอดีเซล นอกจากนี้ HAME และ HBME เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีปริมาณออกซิเจนสูง แต่ไม่มีไนโตรเจนและกำมะถัน ซึ่งตรงกันข้ามกับปิโตรเลียมที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ แต่มีไนโตรเจนและกำมะถันสูง เมื่อเกิดการเผาไหม้จะนำไปสู่มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม PHAs เป็นพอลิเอสเตอร์ที่ผลิตขึ้นตามธรรมชาติโดยแบคทีเรียหลายชนิด สามารถผลิตโดยแหล่งคาร์บอนหมุนเวียน ดังนั้นการพัฒนา HAME และ HBME เป็นเชื้อเพลิงอย่างยั่งยืนหรือเป็นสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเชื้อเพลิง อาจนำไปสู่ความหลากหลายของตลาดเชื้อเพลิงชีวภาพหรือสารเติมแต่งในอนาคต บทความนี้จึงได้รวบรวมวิธีการผลิต คุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงชีวภาพจาก PHAs งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเชื้อเพลิงชีวภาพจาก PHAs ในอนาคต

คำสำคัญ: พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHAs) เชื้อเพลิงชีวภาพ ไฮดรอกซีอัลคาโนเอตเมทิลเอสเทอร์ (HAME) ไฮดรอกซีบิวทิเรตเมทิลเอสเทอร์ (HBME)

Abstract

The limited reserves and negative environmental consequences of fossil fuel have spurred the search for renewable biofuels. Polyhydroxyalkanoates (PHAs) producing-bacteria was proposed as an alternative biofuel, termed as hydroxyalkanoate methyl ester (HAME) and hydroxybutyrate methyl ester (HBME) which are similar to biodiesel. In addition, HAME and HBME are environmental friendly fuel, have high oxygen content without nitrogen and sulfur. In contrast, petroleum contains very low oxygen high nitrogen and sulfur contents, which can lead to environmental pollutions when burning. PHAs are polyesters produced in nature by numerous bacterial, including through bacterial fermentation of renewable carbon sources. The utilization of PHAs as substrate for biofuel seems reasonable at first glance. Consequently, the development of HAME and HBME as sustainable fuel or fuel additives may contribute to the diversification of biofuel or fuel additive market. In this article, production, properties and research of biofuel from PHAs were reviewed. In addition, future work on biofuel from PHAs was also discussed.

Keywords: Polyhydroxylakanoates (PHAs), Biofuel, Hydroxyalkanoate Methyl Ester (HAME), Hydroxybutyrate Methyl Ester (HBME)

¹ นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² รศ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Graduate Student, Department of Biotechnology, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Assoc. Prof. Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding author: Tel.: +66-76-609-634, E-mail address: skanokphorn@yahoo.com

(Received: August 1, 2019; Revised: October 10, 2019; Accepted: October 24, 2019)

Introduction

Polyhydroxyalkanoates (PHAs) are bio-polyesters synthesized by bacteria as intracellular storage reserves of carbon and energy [1]. PHAs have recently attracted great deal of industrial attention as promising biomaterials due to their excellent biodegradability, biocompatibility and capability of being produced from renewable resources. Microbial PHAs were proposed for the first time as a new type of biofuel, termed hydroxyalkanoate methyl ester (HAME) and hydroxybutyrate methyl ester (HBME) [2]. The PHAs based biofuel could provide a strong candidate for current biofuels or fuel additives market. When considering the production process, chemical structures and role as energy carrier, it is easily found that HAME and HBME are similar to those of biofuels, particularly similar to biodiesel that is methyl esters of long-chain fatty acids. HAME and HBME are very different from petroleum. Petroleum contains very low oxygen high nitrogen and sulfur contents, which can lead to environmental pollutions upon burning. In contrast, HAME and HBME have high oxygen content without nitrogen and sulfur. Because it has been commonly recognized that oxygenated additives can decrease exhaust smoke for diesel, reduce the ignition delays, and shorten the combustion duration and engine emissions of smoke, HC and CO can also be reduced [3]. In this article, production, properties and research of biofuel from PHAs was reviewed. In addition, future work on biofuel from PHAs was also discussed.

Polyhydroxyalkanoates (PHAs)

PHAs is a family of naturally-occurring biopolyesters synthesized by various microorganisms. First discovered by Lemogine in 1926, PHAs has since attracted much commercial and research interests due to its biodegradability, biocompatibility, chemical-diversity, and its manufacture from renewable carbon resources [4]. A PHAs molecule is typically made up of 600 to 35,000 (R)-hydroxy fatty acid monomer units. Each monomer unit harbors a side chain (R) group which is usually a saturated alkyl group but can also take the form of unsaturated alkyl groups, branched alkyl groups, and substituted alkyl groups although these forms are less common [5]. Depending on the total number of carbon atoms within a PHAs monomer, PHAs can be classified as either short-chain length PHAs (scl-PHAs; 3 to 5 carbon atoms), medium-chain length PHAs (mcl-PHAs; 6 to 14 carbon atoms), or long-chain length PHAs (lcl-PHAs; 15 or more carbon atoms). About 150 different PHAs monomers have been identified and this number continues to increase with the introduction of new types of PHAs through the chemical or physical modification of naturally-occurring PHAs. These features gave rise to diverse PHAs properties which can be tailored for various applications ranging from biodegradable packaging materials to medical products. PHAs is also considered as pharmaceutically-active compound and currently investigated as potential anti-HIV drugs, anti-cancer drugs, antibiotics, etc. [4, 6].

Energy Derived from Biofuels

Bioenergy is energy derived from biofuels. Biofuels are fuels produced directly or indirectly from organic material biomass including plant materials and animal waste [7] (Table 1). However, most people associate biofuel with liquid biofuels (bioethanol, biodiesel and straight vegetable oil). In this review the term “biofuels” refers to liquid biofuels.

Table 1 Types of biofuel for energy

Biofuels	Gaseous	Methane gas and Hydrogen gas
	Solid	Fuel wood, Charcoal, Bagasse and Sawdust
	Liquid	Methanol, Ethanol, Biodiesel and HAME/HBME

Biofuels from PHAs

The limited reserves and negative environmental consequences of fossil fuel have spurred the search for renewable biofuels. Till now, several substitution biofuels from biomass have been researched and used in some domains in our life, including hydrogen, methane/biogas, methanol, ethanol, biodiesel, *n*-butanol, acetone and others [7]. Among all of these biofuels, biodiesel and ethanol are exploited most intensively. However, extensive uses of biodiesel and ethanol have created panic in the food and feed market, leading to “food vs fuel” controversy [8]. At the same time, high production costs also restrict their large-scale application in industry and transportation. Recently, a novel biofuel termed hydroxyalkanoate methyl ester (HAME) and hydroxybutyrate methyl ester (HBME) derived from bacterial PHAs (Figure 1) was reported. HAME and HBME can be produced from residual substrates in wastewater of food processing industries or even household wastewater.

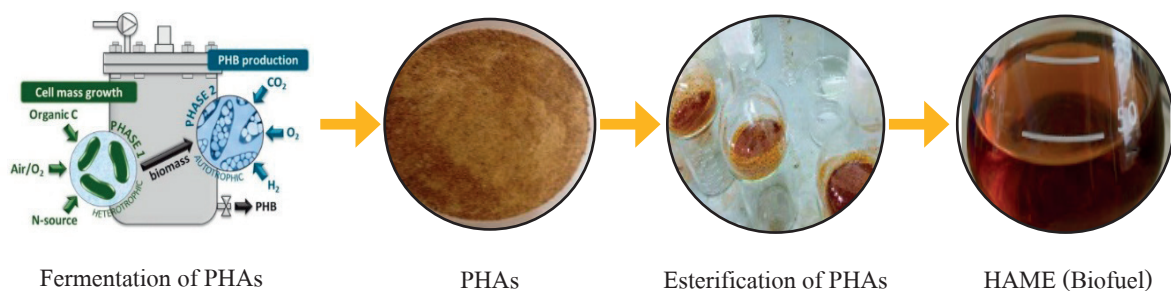


Figure 1 Biofuel from polyhydroxyalkanoates (PHAs)

The production of HAME obtained from esterification of PHAs could be biofuel (Figure 2). When considering the HAME and HBME properties showed the possible ability to be utilized as a novel biofuel or a fuel additive, the fuel properties similar to biodiesel.

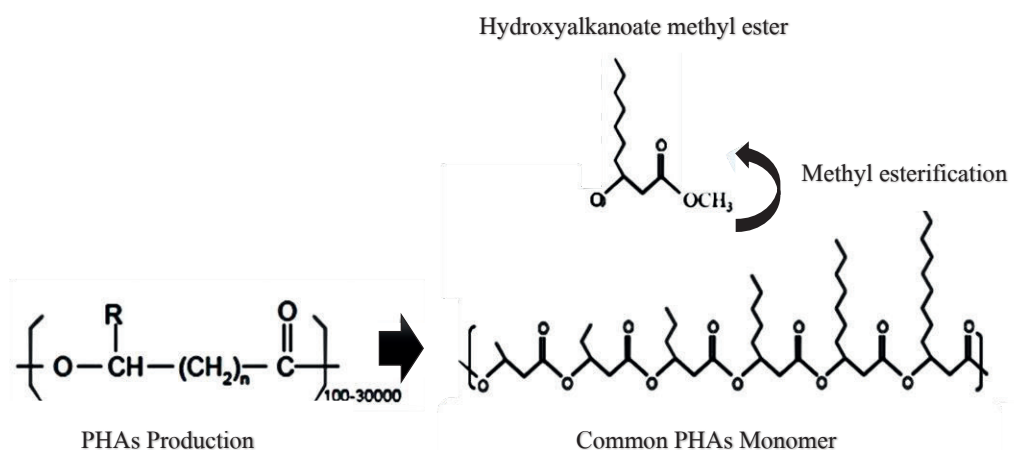


Figure 2 The production of hydroxyalkanoate methyl ester (HAME) [3]

Preparation of HAME and HBME were obtained via acid-catalyzed hydrolysis of PHAs (Figure 3). The most commonly used catalyst for the HBME production is sulfuric acid (H_2SO_4). Usually, the yield reaches an optimal value when the catalyst (H_2SO_4) concentration reaches 10 % (v/v) with methanol under a reaction temperature of 67 °C to 100 °C and a time for 50 h to 60 h. The highest yield of HBME (44.4 % to 70.7 %) was obtained (Table 2).

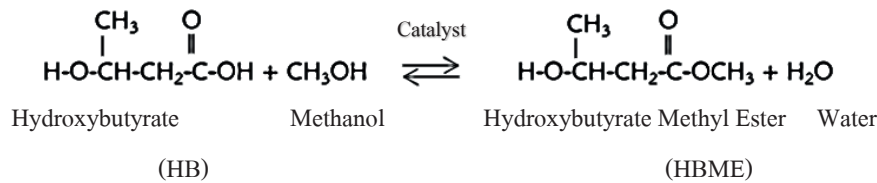


Figure 3 Synthesis of HBME from polyhydroxybutyrate (PHB) using esterification [9]

Table 2 Optimal condition of hydroxybutyrate methyl ester (HBME) production via acid-catalyzed hydrolysis of polyhydroxyalkanoates (PHAs)

Methods of HAME Production				
Acidic Methanol	Temperature (°C)	Time (h)	% HBME	References
methanol with 15 % (v/v) H ₂ SO ₄	100	60	65.0	[9]
			44.4	[10]
methanol with 10 % (v/v) H ₂ SO ₄	67	60	46.7	[11]
			68.0	[12]
methanol with 10 % (v/v) H ₂ SO ₄	67	50	70.7	[13]

Factors Affected on HAME and HBME Production

There are four primary factors affecting the yield of HAME and HBME, i.e. type of acid-catalyzed, catalyst concentration, type of alcohols, reaction time and reaction temperature.

1. Type of acid-catalyzed and concentration

For acid-catalyzed systems, sulfuric acid (H₂SO₄) has been the most investigated catalyst, but other acids, such as hydrochloric acid (HCl), phosphoric acid (H₃PO₄), and organic sulfonic acids [10]. In a pioneering work, Wang *et al.* [8] and Zhang *et al.* [3] examined the esterification of PHAs with methanol, using H₂SO₄ as the catalyst. In addition, Choonut *et al.* [10] study, the effect of acid-catalyzed type (H₂SO₄, HCl and H₃PO₄) on HBME production. The results indicated that the system containing H₂SO₄ as an acid-catalyst gave the highest yield. Sangkharak *et al.* [11] found that high HBME recovery percentage (68 %) and purity (> 95 %) were obtained by acid-catalysis using methanol with H₂SO₄.

Catalyst concentration can affect the yield of the HBME product. As mentioned before, the most commonly used catalyst for the reaction is sulfuric acid (H₂SO₄). Because, upon mixing H₂SO₄ with methanol a small amount of water will be produced, this will affect the product yield because of the hydrolysis reaction [12]. This is the reason why the catalyst should be added into the CH₃OH first and then mixed with the PHAs. As the catalyst concentration increases the conversion of polyesters and the yield of HAME and HBME increase. This is because an insufficient amount of catalysts result in an incomplete conversion of the polyesters into the methyl ester. Usually, the yield reaches an optimal value when the catalyst (H₂SO₄) concentration reaches 10 % (v/v) and then decreases a little with a further increase in catalyst concentration. Choonut *et al.* [10] found that high HBME recovery percentage (70.7 %) were obtained by acid-catalysis using methanol with 10 % (v/v) H₂SO₄ under a reaction temperature at 67 °C for 67 h. In addition, Zhang *et al.* [3] and Junpadit *et al.* [13] the preparation of HBME from PHB was addition of methanol with 15 % H₂SO₄ under 100 °C for 60 h, gave the yield of HBME 65.0 % and 44.4 %, respectively. Canakci and Gerpen [14] also reported that the completeness of ester formation increases when increasing the acid catalyst amount. A further complication of working with high acid catalyst concentration becomes apparent during the catalyst neutralization process, which precedes product separation [15]. However, an acid catalyst at a higher concentration does not increase the reaction products.

2. Type of alcohols

Alcohols used in acid-catalyzed esterification have included methanol, ethanol, propanol and butanol [10, 16]. Methanol and ethanol are used most frequently in laboratory research. As already mentioned, the low cost of methanol makes and its physical and chemical advantages, it the first choice for the reaction. Choonut *et al.* [10] study, the effect of type of alcohols (methanol and ethanol) on HBME. The PHB was acid-catalyzed for HBME production using methanol with 10 % H_2SO_4 , the highest yield. Canakci and Gerpen reported that longer chain alcohols have longer reaction times when the same reaction temperature is used [14]. The addition of one methylene group (CH_2) to the alcohol doubles the reaction time. However, the level of water in an alcohol is crucial for its successful application in the production of methyl esters [17].

3. Reaction time

The conversion rate of fatty acid esters increases with reaction time [18]. At the beginning, the reaction is slow due to the mixing and dispersion of alcohol into the PHAs. After a while, the reaction proceeds very fast. Normally, the yield reaches a maximum at a reaction time of < 90 min, and then remains relatively constant with a further increase in the reaction time [19]. Moreover, excess reaction time will lead to a reduction in the product yield due to the backward reaction of transesterification, resulting in a loss of esters [20]. Choonut *et al.* [10] study, the effect of times (10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70 h) on HBME production. HBME production increased from 12.8 % to 70.7 % when the reaction time was increased from 10 h to 50 h, under optimum condition (methanol with 10 % H_2SO_4 at 67 °C). It is clear that long times are required for high conversion rates using an acid catalyst. Feedman *et al.* [18] reported that the methanolysis of soybean oil in the presence of H_2SO_4 with alcohol at 65 °C for 50 h to reach complete conversion of the soybean oil (> 99 %).

4. Reaction temperature

Temperature clearly influences the reaction and yield of the HAME and HBME product. A higher reaction temperature results in an increased reaction rate, and a shortened reaction time. However, reaction temperature increases beyond the optimal level, the yield of the HBME product decreases because a higher reaction temperature accelerates the saponification reaction of polyesters. Zhang *et al.* [3] and Junpadit *et al.* [13] the preparation of HBME from PHB was addition of acidic methanol under 100 °C for 60 h, gave the highest yield of HBME 65.0 % and 44.4 %, respectively. Choonut *et al.* [10] and Sangkharak *et al.* [11] found that high HBME 70.7 % and 68.0 % of optimal conditions (methanol with H_2SO_4) under a reaction temperature at 67 °C. The reaction temperature must be less than the boiling point of alcohol in order to ensure that the alcohol will not leak out through vaporization [20]. Depending on the condition used, the optimal temperature ranges from 67 °C to 100 °C.

Characterization for HBME Physicochemical and Fuel Related Properties.

The Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared spectroscopy (ATR-FTIR) spectrum was used for evaluate the HBME structure and the results are shown in Table 3.

Table 3 Description of the main ATR-FTIR peaks in the spectra of HBME

Assignment (stretching)	Wavenumber (cm^{-1}) of HAME and HBME			
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d
O-H	2924	3390	3454	1045
C-H	2855	2954-2842	2960-2860	2928
C=O	1745	1713	1740	1720
C-O-C	1246	1155-1041	1260-1160	1129

^aData obtained from Choonut *et al.* [10]; ^bData obtained from Sangkharak *et al.* [11]; ^cData obtained from Zhang *et al.* [3];

^dData obtained from Kueanun *et al.* [21].

The HBME showed the intense absorption characteristic for ester carbonyl (C=O) stretching groups. The spectra indicated groups of O-H, C=O, C-O-C, and C-H. The intense band at 1745 cm^{-1} represented the presence of aliphatic carbonyl (C=O) group of R-CO-A in HBME [10]. Silverstein *et al.* [22] also reported the C=O absorption is very strong in the IR at $1750\text{--}1735\text{ cm}^{-1}$; in addition, C-O stretching bands are observed in the range of $1100\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$. The spectrum of the HBME revealed 3 major peaks of C-O-C stretching at $1155\text{--}1041\text{ cm}^{-1}$, C-H banding at $2954\text{--}2842\text{ cm}^{-1}$ and C=O stretching at 1713 cm^{-1} [11]. ATR-FTIR spectrum of the PHB sample revealed 3 major peaks of C-O-C stretching at $1260\text{--}1160\text{ cm}^{-1}$, C-H banding at $2960\text{--}2860\text{ cm}^{-1}$ and C=O stretching at $1750\text{--}1735\text{ cm}^{-1}$. However, the major difference of the FTIR spectra HBME was in the band of C=O stretching located. The PHB polymer showed the intense absorption characteristic for ester carbonyl (C=O) stretching groups in comparison with the HAME. The spectra indicated groups of O-H, C=O, C-O-C, and C-H. According to ATR-FTIR analysis, spectra of HBME were almost similar (Figure 4). The fuel properties of HBME were indicated in Table 4.

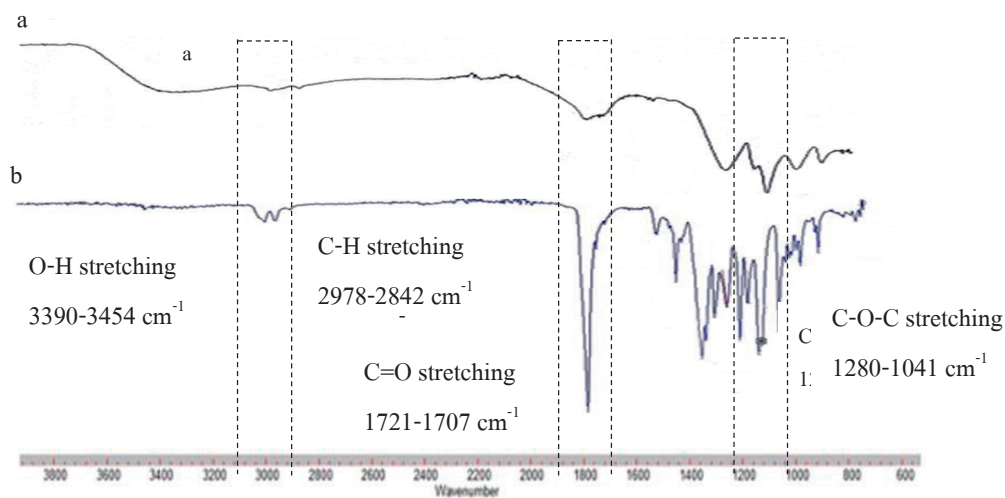


Figure 4 FTIR spectra of hydroxybutyrate methyl ester (HBME) (a) and polyhydroxybutyrate (PHB) (b) [11]

Table 4 The fuel related properties of HBME

Property	Thailand's	ASTM	HBME ^a	HBME ^b	HBME ^c
Methyl ester content (%)	≥ 96.5	not defined	96.8	no data	no data
Heating value (kJ/g)	not defined	31.5	32.9	25.1	21.1
Viscosity at 20 °C (mm ² /s)	3.5 to 5.0	1.9 to 6.0	5.3	4.0	3.8
Flash point (°C)	not defined	130 to 170	132	68.5	51.0
Pour point (°C)	≥ 12	-15 to 10	-7	no data	no data

^aData obtained from Junpadit *et al.* [13]; ^bData obtained from Sangkharak *et al.* [11]; ^cData obtained from Zhang *et al.* [3]

Almost all of the properties of HBME passed these standards of Thailand's and American Society for Testing and Materials (ASTM). Therefore, HBME revealed the possible ability to utilize HBME as a novel biofuel or fuel additive and has a feasibility to be used as an alternative biodiesel fuel [13, 21].

Conclusion and Future Direction

The rise in biofuel demand also increases, limited reserves and negative environmental consequences of fossil fuel have spurred the search for renewable. The application of polyhydroxyalkanoates (PHAs) as a source of biofuel looks very promising since it does not require highly purified PHAs, and thus, the PHAs can possibly be obtained from activated sludge or nutrient-rich wastewater, which does not compete with human or animals for food, resulting in cost reduction. The utilization of PHAs as a novel substrate for biofuel shows great promise. The recent development of PHAs production from open and continuous mixed cultures will allow the PHAs to be produced with a very low cost for the biofuel applications. After using as bioplastics from PHAs, can be methyl esterified to become biofuels, which further extends the PHAs application value.

Upcoming research should focus on improving the PHAs production in activated sludge or on using wastewater as a fermentation medium to grow high PHAs, producing mixed cultures. Because the application of PHAs does not require highly purified PHAs, the production process appears to be much simpler. In addition, improving the HAME production using different PHAs monomers may contribute to the great potential of HAME as a new type of biofuel. PHB belongs to short chain length PHAs (scl-PHAs) containing only hydroxybutyrate (HB) monomers. It is important to exploit more new biofuels; also, it is equally important to improve the quality of biofuels. The development of HAME into biolubricants or fuel additives may contribute to the diversification of biofuel or fuel additive market.

References

- [1] Lee, S. Y. (1996). Bacterial Polyhydroxyalkanoates. *Biotechnology and Bioengineering*, 49(1), 1-14.
- [2] Verlinden, R. A., Hill, D. J., Kenward, M. A., Williams, C. D., & Radecka, I. (2007). Bacterial Synthesis of Biodegradable Polyhydroxyalkanoates. *Journal of Applied Microbiology*, 102(6), 37-49.
- [3] Zhang, X., Luo, R., Wang, Z., Deng, Y., & Chen, G. Q. (2009). Application of (R)-3-Hydroxyalkanoate Methyl Esters Derived from Microbial Polyhydroxyalkanoates as Novel Biofuels. *Biomacromolecules*, 10(4), 707-11.
- [4] Russell, R. A., Holden, P. J., Garvey, C. J., Wilde, K. L., Hammerton, K. M., & Foster, L. J. (2006). Investigation of the Phase Morphology of Bacterial PHA Inclusion Bodies by Contrast Variation SANS. *Physica B: Condensed Matter*, 385-386, 859-861.
- [5] Valentin, H. E., Lee, E. Y., Choi, C. Y. & Steinbüchel, A. (1994). Identification of 4-Hydroxyhexanoic Acid as a New Constituent of Biosynthetic Polyhydroxyalkanoic Acids from Bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 40(5), 710-716.
- [6] Sudesh, K., Abe, H., & Doi, Y. (2000). Synthesis, Structure and Properties of Polyhydroxyalkanoates: Biological Polyesters. *Progress in Polymer Science*, 25(10), 1503-1555.
- [7] Filemon, A., & Uriarte, J. (2010). *Biofuels from Plant Oils*. ASEAN Foundation, Jakarta, Indonesia. ISBN No. 978-979-19684-1-6.
- [8] Wang, S.Y., Wang, Z., Liu, M.M., Xub, Y., Zhang, X.Y., & Chen, G.Q. (2010). Properties of a new gasoline oxygenate blend component: 3-Hydroxybutyrate Methyl Ester produced from Bacterial Poly-3-Hydroxybutyrate. *Biomass and Bioenergy*, 4(8), 1216-1222.
- [9] Keun, P., Rakkarn, T., Yunu, T., Paichid, N., Prasertsan, P., & Sangkharak, K. (2017). The Production of Polyhydroxybutyrate by Two-step Fermentation and the Application of Polyhydroxybutyrate as A Novel Substrate for a Biolubricant. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(6), 2459-2466.
- [10] Choonut, A., Yunu, T., Pichid, N., & Sangkharak, K. (2017). The Optimization Conditions of Polyhydroxybutyrate Methyl Ester from Polyhydroxybutyrate via Acid-catalyst. *Energy Procedia*, 138, 435-440.

- [11] Sangkharak, K., Nisa, P., Yunu, T., Srinak, K., Sornnum S., & Prasertsan, P. (2016). Biofuel Production, Characterization and Degradation 3-Hydroxybutyrate Methyl Ester from Polyhydroxybutyrate. *Chiang Mai Journal of Science*, 43, 808-817.
- [12] Guo, Y. (2005). *Alkaline-catalyzed Production of Biodiesel Fuel from Virgin Canola Oil and Recycled Waste Oils*. Doctoral Dissertation. Hong Kong: University of Hong Kong.
- [13] Junpadit, P., Boonsawang, P., & Suksaroj, T. T. (2014). Polyhydroxyalkanoate Production from Palm Oil Factory Wastes and Its Application for 3-Hydroxyalkanoate Methyl Esters as Biofuels. In *The International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2014): Science, Technology and Innovation for ASEAN Green Growth*. 67-70. November 19-21, 2014, Anantara Bangkok Riverside Resort & Spa, Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT).
- [14] Canakci, M., & Gerpen, J.V. (1999). Biodiesel Production via Acid Catalysis. *American Society of Agricultural Engineers*, 42(5), 1203-1210.
- [15] Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Suwannakarn, K., Bruce, D. A., & Goodwin, J. G. (2005). Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(14), 5353-5363.
- [16] Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel Production: A Review. *Bioresource Technology*, 70(1), 1-15.
- [17] Musa, I. A. (2016). The Effects of Alcohol to Oil Molar Ratios and the Type of Alcohol on Biodiesel Production using Transesterification Process. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 21-31.
- [18] Freedman. B., Butterfield, R. O., & Pryde. E. H. (1986). Transesterification Kinetics of Soybean Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 63(10), 1375-1380.
- [19] Leung, D. Y. C., & Guo, Y. (2006). Transesterification of Neat and Used Frying Oil: Optimization for Biodiesel Production. *Fuel Processing Technology*, 87(10), 883-890.
- [20] Leung, D. Y. C., Wu, X., & Leung, M. K. H. (2010). A Review on Biodiesel Production using Catalyzed Transesterification. *Applied Energy*, 87(4), 1083-1095.
- [21] Kueanun, P., Yunu, T., & Sangkharak, K. (2016). The Utilization of Sugarcane Molasses as a Substrate for Polyhydroxybutyrate and Its Application. In *The 12th Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT 12th)*, June 8-10, 2016, Wangchan Riverview Hotel. Phitsanulok: Naresuan University.
- [22] Silverstein, R., Bassler, G. C., & Morrill, T. C. (1991). *Spectrometric Determination of Organic Compounds* (5th Ed). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [23] Steinbüchel, A., & Valentin, H. E. (1995). Diversity of Bacterial Polyhydroxyalkanoic Acids. *FEMS Microbiology Letters*, 128(13), 219-228.

ผลของเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) ต่อการย่อยเนื้อวัว

Effect of Proteinases from Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus)

Viscera on Beef Hydrolysis

ศราวุธ เหมหมัด^{1*} และสรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า²

Sarawut Hemmad^{1*} and Sappasith Klomklao²

บทคัดย่อ

การศึกษาการทำให้เนื้อนุ่มโดยการใช้อินไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน (ร้อยละ 1 2 3 และ 4 (น้ำหนักต่อปริมาตร)) เปรียบเทียบกับเอนไซม์ปาเปน พบว่ารูปแบบของโปรตีนกล้ามเนื้อเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิล มีการย่อยของโปรตีนกล้ามเนื้อและแถบของโปรตีนบางลง ค่าแรงเฉือนของเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์มีค่าลดลง ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม จากการประเมินคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์ โปรตีนความเข้มข้นร้อยละ 4 ได้รับคะแนนลักษณะปรากฏ กลิ่น รส ความนุ่มน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวมสูงสุด จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลสามารถใช้เป็นทางเลือกแทนเอนไซม์ปาเปนในการทำให้เนื้อนุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ปลานิล เอนไซม์โปรตีน การทำให้เนื้อนุ่ม

Abstract

This study conducted to develop a method for improving tenderness of beef meat using proteinases from tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) viscera at different concentrations (1, 2, 3, and 4 % (w/v)). Their tenderizing efficacy was compared with the most popular enzyme, papain. Electrophoretic pattern of muscle proteins revealed extensive proteolysis and reduction in number of small protein bands in all treated samples. Reduction ($p < 0.05$) in shear force values were observed in enzyme-treated samples compared to control. Viscera extract-treated meat samples (4 % w/v) received better scores for appearance, flavor, juiciness, tenderness and overall acceptability. These results indicated proteinases from viscera of tilapia can be used as an effective alternative to papain.

Keywords: Tilapia, Proteinase, Tenderization

บทนำ

ปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งที่คนไทยนิยมบริโภค เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่หาง่าย ราคาไม่แพง เกษตรกรสามารถเลี้ยงปลานิลได้ตามแหล่งน้ำ ปัจจุบันความต้องการบริโภคปลานิลในประเทศไทยและตลาดในต่างประเทศเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามลำดับ ปริมาณการส่งออกปลานิลและผลิตภัณฑ์ของประเทศไทยในปี 2560 ปริมาณ 3,108.7 ตัน คิดเป็นมูลค่า 189.5 ล้านบาท รูปแบบผลิตภัณฑ์ปลานิลที่ส่งออกมากที่สุด คือ ปลานิลทั้งตัวแช่แข็ง คิดเป็นร้อยละ 73.7 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด รองลงมา คือ เนื้อปลานิลแช่แข็งร้อยละ 23.8 ปลานิลสดแช่เย็นร้อยละ 1.2 เนื้อปลานิลแช่เย็นร้อยละ 0.7 และปลานิลมีชีวิตร้อยละ 0.6 ขนาดของปลาที่ต้องการ จะมีความแตกต่างกัน สำหรับตลาดในท้องถิ่นต้องการปลานิล

¹ นักวิจัย, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² รศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Researcher, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro and Bio Industry, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Assoc. Prof. Dr., Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro and Bio Industry, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding author: Tel.: 074-693996 ext. 3403. E-mail address: raider_048@hotmail.com

(Received: April 16, 2018; Revised: May 18, 2018; Accepted: May 22, 2018)

ที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก คือน้ำหนัก 150-250 กรัมต่อตัว แต่ตลาดในเมืองใหญ่และตลาดต่างประเทศต้องการปลาขนาดใหญ่ คือน้ำหนักประมาณ 500 กรัมต่อตัว ปลาชนิดขนาดใหญ่โดยทั่วไปจะมีราคาสูงกว่าปลาน้ำหนักเล็กกว่าหนึ่งเท่าตัว ปัจจุบันพบปลานิลในแทบทุกแหล่งน้ำทั่วประเทศ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ผลผลิตปลานิลส่วนใหญ่จะบริโภคภายในประเทศอยู่ในรูปของปลาสดร้อยละ 89 การแปรรูปทำเค็ม ตากแห้งร้อยละ 5 ย่างร้อยละ 3 และรูปแบบอื่น ๆ ร้อยละ 3 อีกทั้งยังมีการส่งออกปลานิลแปรรูปในแบบแฉะและเนื้อปลาไปจำหน่ายในต่างประเทศ ได้แก่ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และอิตาลี เป็นต้น การขยายตัวของโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำทำให้มีวัสดุเศษเหลือ ได้แก่ เศษเนื้อ หนัง กระดูก และอวัยวะภายในของสัตว์น้ำต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย จากเดิมที่มีการจัดการกับวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ไม่ถูกต้องและไม่มีประสิทธิภาพ โดยการนำวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ไปฝังดินหรือทิ้งลงทะเล ทำให้เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำโดยเฉพาะเครื่องในประกอบด้วยเอนไซม์ในปริมาณสูง โดยเฉพาะเอนไซม์โปรตีน [1] ซึ่งเอนไซม์โปรตีนเป็นเอนไซม์ที่มีการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต การลอกหนังปลา [2] รวมถึงการทำให้เนื้อนุ่ม [3]

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าเครื่องในปลานิลมีเอนไซม์โปรตีนในปริมาณสูง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิ 9.0 และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลมีกิจกรรมอยู่ที่ 8,436 Unit/ml เอนไซม์จากสัตว์น้ำมีค่า Catalytic Efficiency สูงกว่าสัตว์บกและจุลินทรีย์ ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลรายงานเกี่ยวกับการนำไปใช้ในการย่อยสลายเนื้อวัวเพื่อทำให้เนื้อนุ่ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำไปประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายเนื้อวัวเพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเศษเหลือหลังจากการแปรรูป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การศึกษาผลของเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลต่อการย่อยสลายเนื้อวัว โดยรับซื้อเนื้อวัวสดภายหลังจากการฆ่าทันที อายุของวัว 3 ปี จากผู้ประกอบการในอำเภอบ้านนา โดยในการศึกษาใช้ส่วนเนื้อขาหลัง บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนใส่ในกล่องโฟม โดยอัตราส่วนน้ำแข็งต่อเนื้อวัว เท่ากับ 2:1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ขนส่งมายังสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ภายใน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อวัวไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการทดลอง

1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลต่อการย่อยเนื้อวัว
- การเตรียมเอนไซม์โปรตีน

สกัดเอนไซม์จากเครื่องในปลานิล [4] โดยนำเครื่องในปลานิลสดที่ผ่านการกำจัดไขมัน เติมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 9 กวนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 5000 x g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองส่วนใสด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 ส่วนใส ที่ได้คือสารสกัดเอนไซม์ตัดเนื้อวัวขนาด 3×3 เซนติเมตรแล้วบ่มเนื้อวัวในสารสกัดเอนไซม์ดังนี้

- 1) ชุดควบคุม ใช้ น้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร
- 2) สารสกัดเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) 15 มิลลิลิตร
- 3) สารสกัดเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) 15 มิลลิลิตร
- 4) สารสกัดเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลร้อยละ 3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) 15 มิลลิลิตร
- 5) สารสกัดเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลร้อยละ 4 (น้ำหนักต่อปริมาตร) 15 มิลลิลิตร
- 6) เอนไซม์ปาเปน (ยี่ห้อ SIGMA มีกิจกรรมของเอนไซม์ 2.9 Unit/mg solid) ร้อยละ 0.2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) [4] 15 มิลลิลิตร

ในแต่ละถุงมีเนื้อวัวทั้งหมด 4 ชิ้น แต่ละสารสกัดเอนไซม์มีจำนวน 12 ถุง แต่ละชิ้นน้ำหนัก 2 กรัม แล้วผสมให้เข้ากันเก็บในถุงโพลีเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างแต่ละสารสกัดเอนไซม์อย่างละ 3 ถุง ที่เวลา 0 12 24 และ 48 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2. การตรวจสอบ TCA Soluble Peptide

ตรวจสอบปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในกรดไตรคลอโรอะซิติก [5]

3. การตรวจสอบรูปแบบโปรตีน

ตรวจสอบรูปแบบโปรตีนของเนื้อวัวที่ผ่านการย่อยสลายของเอนไซม์โปรตีนสโดยใช้ Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) โดยใช้ 10 % Running Gel และ 4 % Stacking Gel [6]

4. การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส

ตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA-XT Plus ประเทศอังกฤษ โดยใช้ใบมีดชนิด Warner Brazler Shear Blade (HDP/BS) โดยมีอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด (Test Speed) เท่ากับ 2 มม./วินาที โดยตรวจวัดจำนวน 20 ซ้ำต่อตัวอย่าง

5. การประเมินด้านประสาทสัมผัส

นำเนื้อวัวที่บ่มสารสกัดเอนไซม์โปรตีนส ไปล้างน้ำแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จำลองตามแบบผลิตภัณฑ์เนื้ออบ ทดสอบความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ทดสอบด้านประสาทสัมผัสมีทักษะ ความชำนาญและได้รับการฝึกอบรมจำนวน 50 คนขึ้นไปโดยวัดลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความฉ่ำน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม

ผลการวิจัย

การศึกษาผลของเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลต่อการย่อยเนื้อวัว โดยตัดเนื้อวัวขนาด 3×3×3 เซนติเมตร แล้วบ่มเนื้อวัวในสารสกัดเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันแล้วผสมให้เข้ากันเก็บในถุงโพลีเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างที่เวลา 0 12 24 และ 48 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

1. การตรวจสอบ TCA Soluble Peptide และการตรวจสอบรูปแบบโปรตีน

จากการศึกษาปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกจากเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 1) โดยนำเนื้อวัวไปแช่ในสารละลาย TCA แล้วนำสารละลาย TCA ที่มีเปปไทด์ละลายอยู่ไปวิเคราะห์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลสูงขึ้นและเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น ปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกเพิ่มขึ้น เนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลที่เวลาการบ่ม 48 ชั่วโมงความเข้มข้นของเอนไซม์โปรตีนสร้อยละ 4 ปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกสูงที่สุดคือ 0.77 $\mu\text{mol Tyrosine/g Sample}$ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลและเอนไซม์ปาเปน พบว่าเอนไซม์ปาเปนมีปริมาณเปปไทด์ที่ละลายได้ในสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกสูงกว่าเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิล เนื่องจากเอนไซม์ปาเปนมีความจำเพาะและมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิล ทำให้เอนไซม์ปาเปนสามารถปลดปล่อยโปรตีนจากเนื้อวัวได้มากกว่า

จากการศึกษารูปแบบโปรตีนของเนื้อวัว โดยนำเนื้อวัวบ่มด้วยเอนไซม์โปรตีนที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และเอนไซม์ปาเปนร้อยละ 0.2 ด้วยเทคนิค Sodium Dodecyl Sulfate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) ดังภาพที่ 1 พบว่าแถบความเข้มของไมโอซินเส้นหนัก (Myosin Heavy Chain) บางลงตามความเข้มข้นของเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลที่เพิ่มขึ้นและเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (เนื้อวัวสด) และเนื้อวัวที่ไม่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์ที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง เนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์โปรตีนสความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 48 ชั่วโมงถูกย่อยมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์โปรตีนสความเข้มข้นร้อยละ 4 กับเอนไซม์ปาเปนความเข้มข้นร้อยละ 0.2 พบว่าเอนไซม์ปาเปนเข้มข้นร้อยละ 0.2 สามารถย่อยเนื้อวัวได้ดีกว่าเอนไซม์โปรตีนสความเข้มข้นร้อยละ 4 เนื่องจากเอนไซม์ปาเปนมีความจำเพาะและมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิล ทำให้เอนไซม์ปาเปนสามารถย่อยโปรตีนได้ดีกว่า ดังนั้นเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลสามารถนำไปใช้เป็นทางเลือกแทนเอนไซม์ปาเปนได้อย่างมีประสิทธิภาพ Guo-Yan Zhao และคณะ (2012) [7] รายงานว่าการย่อยสลายโปรตีนจากเนื้อวัว โดยใช้เอนไซม์ Cold-adapted Collagenolytic MCP-01 จาก *Pseudoalteromonas* sp. เอนไซม์โบรมิเลนและเอนไซม์ปาเปน โดย MCP-01 สามารถย่อย Myosin ได้เพียงเล็กน้อย ในทางตรงกันข้ามเอนไซม์ โบรมิเลนและเอนไซม์ปาเปนสามารถย่อยสลาย Myosin และ Actin ได้เกือบทั้งหมด Naveena และคณะ (2011) [5] รายงานว่าการลดลงของจำนวนและความเข้มของแถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (≥ 65 kDa) และการเพิ่มขึ้นของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (< 25 kDa) แสดงว่ามีการย่อยสลายของโปรตีน Myofibrillar

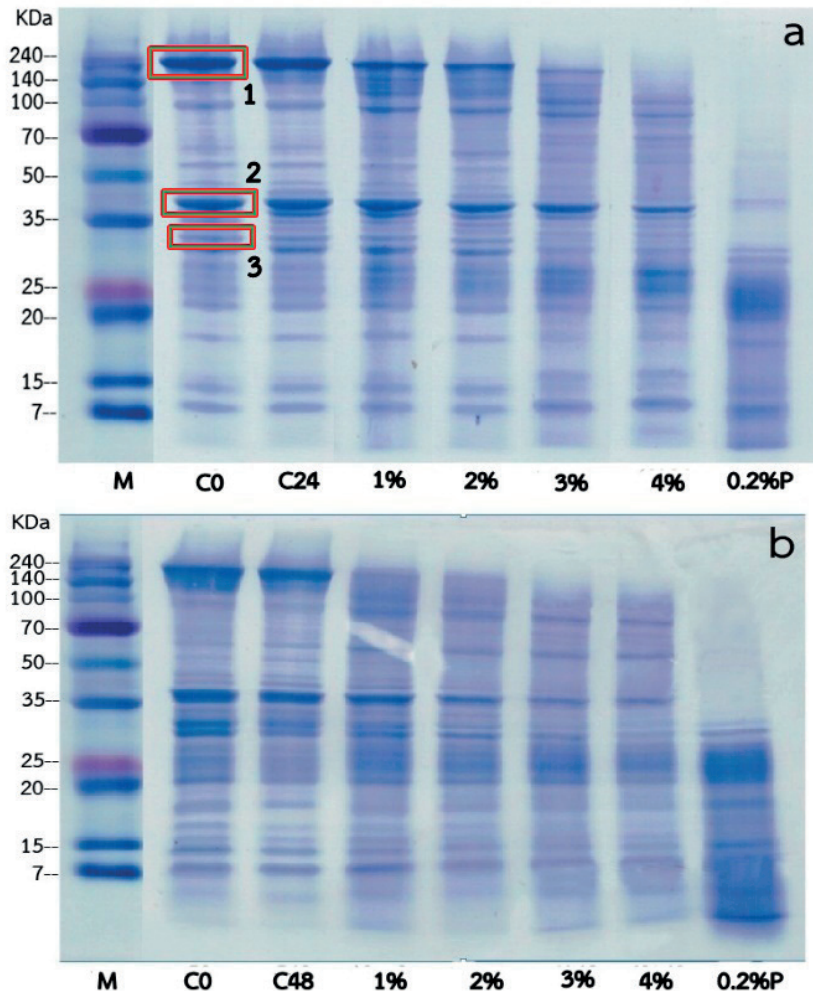
ตารางที่ 1 ปริมาณของเปปไทด์ที่ละลายได้ในสารละลายกรดไทรคลอโรอะซิติกของเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มเอนไซม์ ความเข้มข้นต่าง ๆ ในเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง

เนื้อวัวที่แช่เอนไซม์ที่ความเข้มข้น แตกต่างกัน	เปปไทด์ที่ละลายได้ในสารละลายกรดไทรคลอโรอะซิติก ($\mu\text{mol Tyrosine/g Sample}$)	
	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง
ชุดควบคุม	$0.17 \pm 0.01^{\text{Aa}}$	$0.26 \pm 0.01^{\text{Ab}}$
เอนไซม์โปรตีนส ร้อยละ 1	$0.30 \pm 0.01^{\text{Ba}}$	$0.38 \pm 0.00^{\text{Ba}}$
เอนไซม์โปรตีนส ร้อยละ 2	$0.38 \pm 0.01^{\text{Ca}}$	$0.50 \pm 0.01^{\text{Cb}}$
เอนไซม์โปรตีนส ร้อยละ 3	$0.45 \pm 0.01^{\text{Da}}$	$0.64 \pm 0.01^{\text{Db}}$
เอนไซม์โปรตีนส ร้อยละ 4	$0.55 \pm 0.01^{\text{Ea}}$	$0.77 \pm 0.01^{\text{Eb}}$
เอนไซม์ปาเปน ร้อยละ 0.2	$1.19 \pm 0.02^{\text{Fa}}$	$1.28 \pm 0.02^{\text{Fa}}$

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่าง ($p > 0.05$)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ



ภาพที่ 1 รูปแบบโปรตีนของเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์ความเข้มข้นต่าง ๆ เวลา 24 ชั่วโมง (a) และ 48 ชั่วโมง (b)
1: Myosin Heavy Chain, 2: Actin, 3: Tropomyosin, M: Molecular Weights Markers, C0: ชุดควบคุม C24, C48: เนื้อวัวชุดควบคุม
ที่ผ่านการบ่มเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ 1 2 3 และ 4 % : เนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยสารสกัดเอนไซม์โปรตีนจาก เครื่องใน
ปลานิลที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ 0.2 % P: เนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์ปาเปนเข้มข้นร้อยละ 0.2

2. การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันและเอนไซม์ป่าเปนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์โปรตีนสเพิ่มขึ้นแรงเฉือนของเนื้อวัวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบกับแรงเฉือนของเนื้อวัวในแต่ละเวลา พบว่าแรงเฉือนของเนื้อวัวจะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังนั้นกิจกรรมการย่อยสลายเนื้อวัวโดยเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์โปรตีนและระยะเวลาที่ใช้บ่มเนื้อวัว (ตารางที่ 2) เอนไซม์โปรตีนที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่เวลา 48 ชั่วโมง มีแรงเฉือนใกล้เคียงกับเอนไซม์ป่าเปนที่เป็นเอนไซม์ที่ใช้ในทางการค้าคือ 5,992.15 กรัม และ 5,228.38 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แรงเฉือนของเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่เวลาต่าง ๆ

เนื้อวัวที่บ่มเอนไซม์	แรงเฉือนของเนื้อวัวที่บ่มเอนไซม์ที่เวลาต่าง (กรัม)			
	0 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง
C	11,541.20 ± 30.05 ^{Bd}	10,504.54 ± 29.68 ^{Fc}	9,531.13 ± 19.30 ^{Fb}	9,169.32 ± 10.58 ^{Fa}
1 %	10,871.51 ± 40.05 ^{Ad}	9,481.86 ± 25.06 ^{Ec}	8,661.88 ± 61.26 ^{Eb}	8,143.01 ± 50.24 ^{Ea}
2 %	10,557.66 ± 23.75 ^{Ad}	8,727.16 ± 64.25 ^{Dc}	7,802.62 ± 20.51 ^{Db}	6,989.09 ± 50.25 ^{Da}
3 %	10,741.95 ± 25.78 ^{Ad}	8,195.07 ± 35.87 ^{Cc}	7,042.95 ± 77.46 ^{Cb}	6,534.99 ± 10.24 ^{Ca}
4 %	10,310.03 ± 24.38 ^{Ad}	7,327.43 ± 49.74 ^{Bc}	6,546.44 ± 56.54 ^{Bb}	5,992.15 ± 24.44 ^{Ba}
0.2 % P	10,543.76 ± 15.21 ^{Ad}	7,082.17 ± 73.77 ^{Ac}	5,860.27 ± 56.03 ^{Ab}	5,228.38 ± 56.44 ^{Aa}

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างในตัวอย่างเดียวกัน ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ $n = 24$

C: ชุดควบคุม

1, 2, 3 และ 4 %: เนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยสารสกัดเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลานิลที่ระดับ ความเข้มข้น ร้อยละ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ,

0.2 % P: เนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์ป่าเปนเข้มข้นร้อยละ 0.2

3. การประเมินด้านประสาทสัมผัส

จากการประเมินด้านประสาทสัมผัส โดยนำเนื้อวัวไปบ่มสารสกัดเอนไซม์โปรตีนสเปรียบเทียบกับเอนไซม์ป่าเปน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างน้ำ อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที ทดสอบความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คนโดยตรวจสอบลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความฉ่ำน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวม พบว่าเนื้อวัวที่บ่มด้วยสารสกัดเอนไซม์โปรตีนสเข้มข้น ร้อยละ 4 ผู้ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสให้คะแนน ลักษณะปรากฏ กลิ่น ความฉ่ำน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบรวมสูงที่สุดคือ 7.10 7.60 7.75 8.00 และ 7.95 คะแนนตามลำดับ ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อวัวชุดควบคุมในเวลา 0 ได้รับคะแนน 5.75 เนื่องจากเนื้อวัวมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว เคี้ยวยาก และคะแนนการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้าน กลิ่น และรสชาติของเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์ป่าเปนเข้มข้นร้อยละ 0.2 ได้รับคะแนน 5.65 และ 5.65 ตามลำดับ เนื่องจากกลิ่นและรสชาติของเนื้อวัวมีกลิ่นและรสชาติผิดไปจากเนื้อวัวอบชุดควบคุม ทำให้ผู้ทดสอบชิมไม่ยอมรับ (ตารางที่ 3) จากประเมินด้านประสาทสัมผัสเปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์โปรตีนสและเอนไซม์ป่าเปนพบว่าเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์โปรตีนสเข้มข้นร้อยละ 4 ได้คะแนนความชอบรวมมากกว่าเอนไซม์ป่าเปนเข้มข้นร้อยละ 0.2 แสดงว่าเอนไซม์โปรตีนสจากเครื่องในปลานิลสามารถนำมาใช้แทนเอนไซม์ป่าเปนในการทำให้เนื้อนุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3 การประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของเนื้อวัวที่ผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลาชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เวลา 48 ชั่วโมง

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ตัวอย่างเนื้อวัวที่บ่มสารสกัดเอนไซม์ความเข้มข้นต่างๆ เวลา 48 ชั่วโมง						
	ชุดควบคุม 0 ชั่วโมง	ชุดควบคุม 48 ชั่วโมง	โปรตีนส ร้อยละ 1	โปรตีนส ร้อยละ 2	โปรตีนส ร้อยละ 3	โปรตีนส ร้อยละ 4	ปาเปน ร้อยละ 0.2
ลักษณะปรากฏ	6.80 ± 0.61 ^{bc}	6.45 ± 0.51 ^a	6.65 ± 0.49 ^{bc}	6.5 ± 0.51 ^b	6.75 ± 1.33 ^{bc}	7.10 ± 0.45 ^c	6.80 ± 0.41 ^{bc}
กลิ่น	6.65 ± 0.49 ^c	6.65 ± 0.67 ^c	6.20 ± 0.41 ^b	6.35 ± 0.49 ^{bc}	7.45 ± 0.51 ^d	7.60 ± 0.68 ^d	5.65 ± 0.81 ^a
รสชาติ	7.05 ± 0.51 ^c	6.95 ± 0.51 ^b	7.60 ± 0.50 ^d	7.30 ± 0.47 ^{bc}	6.50 ± 0.61 ^a	7.20 ± 0.61 ^{bc}	5.65 ± 0.49 ^a
ความฉ่ำน้ำ	6.30 ± 0.47 ^a	6.65 ± 0.74 ^b	6.25 ± 0.55 ^a	7.40 ± 0.50 ^d	7.25 ± 0.64 ^c	7.75 ± 0.44 ^c	7.10 ± 0.64 ^c
ลักษณะเนื้อสัมผัส	5.75 ± 0.85 ^a	6.65 ± 0.49 ^c	6.20 ± 0.41 ^b	6.45 ± 0.76 ^b	7.65 ± 0.67 ^d	8.00 ± 0.56 ^c	7.45 ± 0.51 ^d
ความชอบรวม	6.50 ± 0.51 ^c	6.60 ± 0.50 ^c	6.30 ± 0.47 ^b	6.35 ± 0.4 ^{bc}	7.45 ± 0.51 ^d	7.95 ± 0.51 ^c	5.90 ± 0.30 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ค่าเฉลี่ย ± SD จากผู้ทดสอบชิม 50 คน

การอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลาชนิดต่อการย่อยเนื้อวัว โดยเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องใน ปลาชนิดสามารถย่อยสลายกล้ามเนื้อวัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเอนไซม์โปรตีนจากเครื่องในปลาชนิดน่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการทำให้เนื้อนุ่มได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shahidi, F. (1994). Proteins from Seafood Processing Discard. In E.Z. Sikorski, B.S. Pan & F. Shahidi, (Eds.). *Seafood Proteins*, 171-193. New York, USA : Chapman & Hall.
- [2] Shahidi, F., & Kamil, Y. Y. A. J. (2001). Enzymes from Fish and Aquatic Invertebrates and Their Application in Food Industry. *Trends in Food Science and Technology*, 12, 435-464.
- [3] Naveena, B. M., Kiran, M., Reddy, K. S., Ramakrishna, C., Vaithyanathan, S., & Devatkal, S. K. (2011). Effect of Ammonium Hydroxide on Ultrastructure and Tenderness of Buffalo Meat. *Meat Science*, 88, 727-732.
- [4] Klomklao, S., Benjakul, S., & Visessanguan, W. (2004). Comparative Studies on Proteolytic Activity of Spleen Extracts from Three Tuna Species Commonly Used in Thailand. *Journal of Food Biochemistry*, 28, 355-372.
- [5] Klomklao, S., Kishimura, H., Benjakul, S., & Simpson, B.K. (2009). Autolysis and Biochemical Properties of Endogenous Proteinase in Japanese Sandfish (*Arctoscopus japonicus*). *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1344-1350.
- [6] Laemmli, U.K. (1970). Cleavage of Structure Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680-685.
- [7] Zhao, G. Y., Zhou, M. Y., Zhao, H. L., Chen, X. L., Xie, B. B., Zhang, X. Y., He, H. L., Zhou, B.C., & Zhang, Y. Z. (2012). Tenderization Effect of Cold-adapted Collagenolytic Protease MCP-01 on Beef Meat at Low Temperature and Its Mechanism. *Food Chemistry*, 134, 1738-1744.

การพัฒนาสูตรตำรับผลิตภัณฑ์เจลปรับอากาศว่านสาวหลง Formulation of *Amomum biflorum* Jack Air Freshener Gel

ทวิภรณ์ คีรีคช¹ ธวัชชัย ศรีสุวรรณ¹ พิมพชนก แก้วพิทักษ์²

สมฤทัย แดงน่าน² และสนั่น สุขธีรสกุล^{3*}

Thaweeporn Keereekoch¹, Thawatchai Srisuwan¹, Pimchanok Kaewpitak²,

Somrutai Dangnam² and Sanan Subhaddhirasakul^{3*}

บทคัดย่อ

การพัฒนาสูตรตำรับเจลปรับอากาศว่านสาวหลง 4 สูตรที่มีน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเข้มข้นร้อยละ 0 2 4 และ 6 เมื่อนำไปทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัคร 100 คน พบว่าความพึงพอใจในด้านกลิ่นของเจลปรับอากาศที่มีน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเข้มข้นร้อยละ 2 มากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อนำไปประเมินความคงตัวทางกายภาพที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน พบว่ากลิ่น สี และเนื้อเจลไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน มีการลดลงของกลิ่นและเนื้อเจลแห้งลง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค GC-MS พบว่าน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงและเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จมีองค์ประกอบที่พบมากที่สุดแตกต่างกัน คือ Limonene และ Benzoic Acid ตามลำดับ ซึ่งการพบ Benzoic Acid ในเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จนั้น เนื่องจาก มีการใช้โซเดียมเบนโซเอตเป็นสารกันเสีย ขณะที่น้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงและเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จ มีองค์ประกอบที่เหมือนกัน 3 ชนิด คือ Camphor, β -Selinene และ α -Terpineol

คำสำคัญ: เจลปรับอากาศ ว่านสาวหลง น้ำมันหอมระเหย GC-MS

Abstract

This study was to formulate air freshener gel containing essential oil of *Amomum biflorum* Jack. Four formulations were composed of 0 %, 2 %, 4 % and 6 % essential oil. They were prepared and used for the assessment on 100 volunteers. The aroma-liking score of formulation containing 2 % essential oil was significantly higher than other formulations ($p < 0.05$). The physical stability test at 25 °C and 40 °C for 1 day showed that there were no changes in odor, color and gel texture. There was reduction of odor and gel texture dried out after being kept at room temperature for 90 days. GC-MS analysis of *Amomum biflorum* Jack essential oil and freshly prepared gel showed that there was difference in the major chemical component of *Amomum biflorum* Jack essential oil and freshly prepared gel, Limonene and Benzoic acid, respectively. Freshly prepared gel found Benzoic acid because Sodium benzoate was a preservative. In addition, three chemical components, Camphor, β -Selinene and α -Terpineol were found in *Amomum biflorum* Jack essential oil and freshly prepared gel.

Keywords: Air Freshener Gel, *Amomum biflorum* Jack, Essential Oil, GC-MS

¹ นักวิทยาศาสตร์ คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

² นักศึกษาปริญญาตรี คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

³ รศ.ดร., คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

¹ Scientist, Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

² Undergraduate Student, Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

³ Assoc. Prof. Dr., Faculty of Traditional Thai Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110

*Corresponding author: E-mail address: sanan.s@psu.ac.th

(Received: May 20, 2018; Revised: June 20, 2019; Accepted: July 9, 2019)

บทนำ

สังคมยุคปัจจุบันความเครียดจัดเป็นปัญหาสุขภาพจิตที่สำคัญของคนทุกเพศทุกวัย หลายคนจึงมองหาสิ่งต่างๆ ที่ช่วยลดความตึงเครียด การใช้ผลิตภัณฑ์ปรับอากาศจึงเป็นหนึ่งในทางเลือก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ปรับอากาศมีกลิ่นหอม เมื่อสูดดมจะทำให้รู้สึกสดชื่น ผ่อนคลาย ปัจจุบันจึงมีผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับปรับอากาศมากมายหลายรูปแบบในท้องตลาด โดยเจลปรับอากาศเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่มีความนิยมในกลุ่มผู้บริโภค เจลปรับอากาศส่วนใหญ่ใช้กลิ่นสังเคราะห์ที่มีกลิ่นค่อนข้างรุนแรง [1] ซึ่งอาจไม่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคบางกลุ่มที่ชอบกลิ่นหอมอ่อนๆ ดังนั้นการใช้น้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์เจลปรับอากาศจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ อีกทั้งมีการศึกษาเกี่ยวกับน้ำมันหอมระเหยจากพืชบางชนิด เช่น ชมนาด ลิลาวดี วาสนา และว่านสาวหลง พบว่าสามารถช่วยให้เกิดความรู้สึกผ่อนคลายได้ [2-3]

ว่านสาวหลงมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Amomum biflorum* Jack อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae เป็นไม้ล้มลุก มีเหง้าใต้ดินมีกลิ่นหอมเย็น ใบเดี่ยว เรียงสลับ มีสรรพคุณช่วยทำให้ชื่นใจ แก้หวัด บำรุงหัวใจ น้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงทั้งต้นมีสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ Camphor (17.6 %), α -Bisabolol (16.0 %), Camphene (8.2 %) และ α -Humulene (5.1 %) [4] ว่านสาวหลงส่วนเหนือดินมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าส่วนใต้ดิน มีสีเหลืองเข้มกว่า และมีกลิ่นหอมฉุนกว่า โดยมีองค์ประกอบที่พบมากที่สุดคือ Camphor อีกทั้งน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงส่วนเหนือดินมีผลทำให้เกิดการผ่อนคลายเพิ่มขึ้นในอาสาสมัคร [3] ซึ่งสามารถนำไปใช้ในสูตรสบู่เพื่อผ่อนคลายความเครียด สามารถพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของเครื่องหอม หรือนำไปใช้ในการผลิตเครื่องสำอางได้ และพบว่าไม่มีการใช้น้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเป็นส่วนผสมในสูตรตำรับเจลปรับอากาศ ซึ่งสูตรตำรับเจลปรับอากาศทั่วไปประกอบด้วย คาราจีแนน โพรพิลีนไกลคอล โซเดียมเบนโซเอต น้ำกลั่น และกลิ่นต่างๆ คณะผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาสูตรตำรับผลิตภัณฑ์เจลปรับอากาศที่มีส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเพื่อให้กลิ่นหอมช่วยให้เกิดความรู้สึกผ่อนคลาย และช่วยส่งเสริมรายได้ของเกษตรกรโดยนำว่านสาวหลงมาปลูกร่วมกับพืชเศรษฐกิจหลักได้

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. การปรับปรุงสูตรเจลปรับอากาศพื้นฐาน

ใช้สูตรเจลปรับอากาศพื้นฐานดัดแปลงมาจาก Hutagaol [5] ประกอบด้วย คาราจีแนนชนิดแคปซูลร้อยละ 3 โซเดียมเบนโซเอตร้อยละ 0.1 โพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 10 และน้ำกลั่นร้อยละ 86.90 นำมาปรับปรุงสูตรพื้นฐานโดยศึกษาความเข้มข้นของคาราจีแนนที่เหมาะสมในการเตรียมเจลปรับอากาศ 3 สูตร คือ ร้อยละ 3 4 และ 5 จากนั้นเตรียมเจลพื้นฐานโดยละลายคาราจีแนนและโซเดียมเบนโซเอตในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเพิ่มอุณหภูมิของผสมเป็น 70 องศาเซลเซียส คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นลดอุณหภูมิเป็น 65 องศาเซลเซียส เติมโพรพิลีนไกลคอล คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุเจลในกระปุกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 1.3 เซนติเมตร เปิดฝาภาชนะบรรจุวางที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีอุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 69 ± 3 เก็บตัวอย่างทุกวันนำมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความสูงของเจล มีหน่วยเป็นเซนติเมตร และชั่งน้ำหนักของเจลด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง มีหน่วยเป็นกรัม เป็นเวลา 10 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นคำนวณค่าร้อยละการสูญเสียรูปทรงของเจลปรับอากาศ (% Dimension Loss) และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเจลปรับอากาศ (% Weight Loss) ดัดแปลงมาจาก Nongnuch [1] เพื่อดูแนวโน้มอายุการใช้งานของเจลปรับอากาศต่อรูปทรงและน้ำหนัก จากนั้นเลือกสูตรที่มีความเข้มข้นของคาราจีแนนที่เหมาะสมนำไปพัฒนาในขั้นตอนถัดไป

$$\% \text{ Dimension Loss} = \frac{(\text{Dimension เริ่มต้น} - \text{Dimension สุดท้าย}) \times 100}{\text{Dimension เริ่มต้น}} \quad \text{เมื่อ Dimension} = \pi r^2 h$$

$$\% \text{ Weight Loss} = \frac{(\text{Weight เริ่มต้น} - \text{Weight สุดท้าย}) \times 100}{\text{Weight เริ่มต้น}}$$

2. การเตรียมตัวอย่างว่านสาวหลง

ว่านสาวหลงที่ใช้ในงานวิจัยเก็บจากอำเภอนะจะ จังหวัดสงขลา เมื่อเดือนตุลาคม 2560 ตัวอย่างพืชได้รับการระบุชื่อวิทยาศาสตร์โดย รศ.ดร.สนั่น สุกชีรสกุล คณะการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ Voucher Specimen คือ SS0809-03 ใช้ตัวอย่างว่านสาวหลงส่วนลำต้นและใบที่อยู่เหนือดิน จำนวน 12.36 กิโลกรัม

3. การกลั่นน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลง

นำว่านสาวหลงส่วนเหนือดินมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้น ใส่ในขวดกลั่นความจุ 10 ลิตร กลั่นน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีการต้มกลั่นด้วยน้ำตามวิธีการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ระบุไว้ในตำรามาตรฐานยาสมุนไพรไทย [6] เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นเก็บน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงที่ได้ในขวดสีชา ปิดฝาให้สนิท เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4. การเตรียมผลิตภัณฑ์เจลปรับอากาศว่านสาวหลง

เตรียมสูตรตำรับเจลปรับอากาศว่านสาวหลงจากสูตรพื้นฐานที่เหมาะสม โดยละลายคาร์โบซีแนนและโซเดียมเบนโซเอตในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเพิ่มอุณหภูมิของผสมเป็น 70 องศาเซลเซียส คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นลดอุณหภูมิเป็น 65 องศาเซลเซียส เติมน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลง โดยศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงที่เหมาะสมในการเตรียมเจลปรับอากาศ 4 สูตร คือ ร้อยละ 0 2 4 และ 6 คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุเจลในกระปุกทรงกระบอก ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปิดฝาภาชนะให้สนิท

5. การประเมินความพึงพอใจในอาสาสมัคร

อาสาสมัครที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 100 คน เป็นบุคลากรและนักศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กลุ่มตัวอย่างเพศชายและหญิง อายุระหว่าง 18-60 ปี มีสุขภาพแข็งแรง เป็นผู้ที่ไม่มีปัญหาด้านการดมกลิ่น โรคไซนัสอักเสบหรือโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ไม่มีโรคประจำตัว ไม่มีประวัติการสูบบุหรี่ ไม่อยู่ในช่วงการตั้งครรภ์ ไม่อยู่ในช่วงมีประจำเดือน และในระยะเวลา 1 เดือนที่ผ่านมาไม่มีประวัติการดื่มแอลกอฮอล์ การศึกษาที่ทำให้กล้ามเนื้อผ่อนคลายยาที่ทำให้สงบ ยาต้านความวิตกกังวล หรือยาที่มีผลต่อความดันโลหิต [3]

การประเมินความพึงพอใจเจลปรับอากาศที่มีความเข้มข้นน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงแตกต่างกัน 4 ระดับ ทำการทดลองในห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 3.8 เมตร สูง 2.8 เมตร โดยให้อาสาสมัครนั่งพักเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นสูดดมกลิ่นเจลปรับอากาศเป็นเวลา 5 นาที โดยห่างจากจมูก 1 นิ้ว เว้นระยะเวลาการสูดดมแต่ละสูตรนาน 30 นาที ให้คะแนนความรู้สึกที่มีต่อกลิ่น สี และลักษณะเนื้อเจลปรับอากาศในแบบประเมิน โดยใช้แบบประเมินชนิด 9-Point Hedonic Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด) [2] โดยผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรม เลขที่ EC.60/B06-001

วิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจด้วยสถิติ ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อหาสูตรตำรับเจลปรับอากาศที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงที่อาสาสมัครมีความพึงพอใจมากที่สุด เพื่อใช้ในการทดสอบความคงตัวในขั้นถัดไป

6. การทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์

6.1 การประเมินความคงตัวทางกายภาพของเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน โดยวัดค่าสีในระบบค่าสีมันเซลล์ (Munsell Color System) และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น สี และเนื้อเจลปรับอากาศว่านสาวหลงเปรียบเทียบกับเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จทันที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

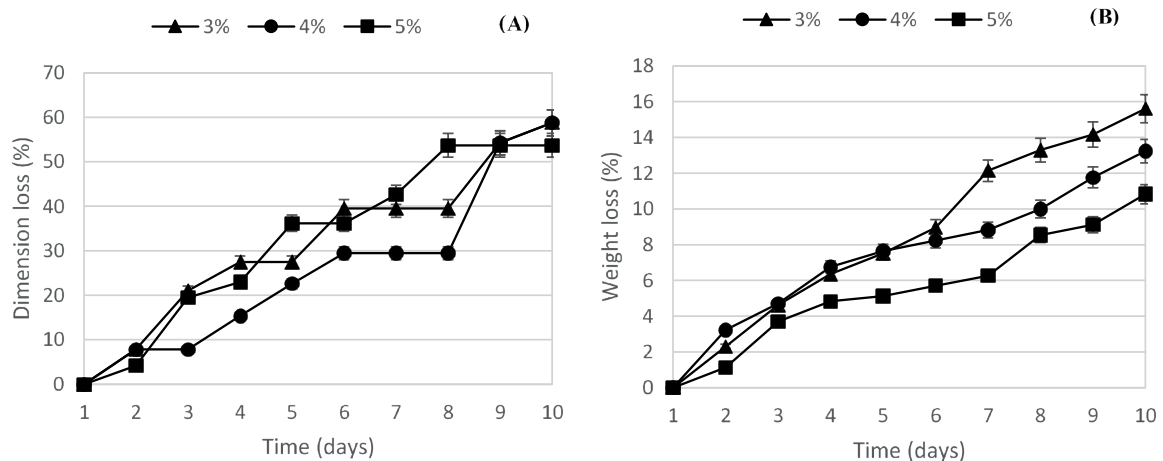
6.2 การประเมินความคงตัวทางกายภาพของเจลปรับอากาศหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน [7] เก็บตัวอย่างทุก 15 วัน เพื่อวัดค่าสีในระบบค่าสีมันเซลล์ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น สี และเนื้อเจลปรับอากาศว่านสาวหลงเปรียบเทียบกับเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จทันที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

6.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค GC-MS (7890B Gas Chromatograph-5977A Mass Selective Detector, Agilent, USA) ในน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลง และเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จ สภาวะ GC ที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยคอลัมน์ชนิด HP-5ms Ultra Inert (30 เมตร x 250 ไมโครเมตร x 0.25 ไมโครเมตร) โหมดการฉีดแบบ Splitless ก๊าซตัวพา คือ ฮีเลียม อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของส่วนการฉีด 280 องศาเซลเซียส โปรแกรมอุณหภูมิ Oven

เริ่มต้น 80 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 2.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนเป็น 150 องศาเซลเซียส คงไว้ 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนเป็น 280 องศาเซลเซียส คงไว้ 4 นาที สภาวะของ MS เป็น Electron Ionization อุณหภูมิ Transfer Line 300 องศาเซลเซียส ช่วงมวลในการวิเคราะห์ 35-550 amu ฐานข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบ คือ Wiley 10 และ NIST 14

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การปรับปรุงสูตรเจลปรับอากาศพื้นฐานโดยใช้การจี้แนมเข้มข้นร้อยละ 3, 4 และ 5 หลังจากเปิดฝาภาชนะทิ้งไว้เป็นเวลา 10 วัน เมื่อวิเคราะห์การสูญเสียรูปทรงและน้ำหนักของเจลปรับอากาศทั้ง 3 สูตร (ภาพที่ 1 A และภาพที่ 1 B) พบว่าเมื่อเก็บไว้ถึงวันที่ 10 เจลปรับอากาศทั้ง 3 สูตรมีการสูญเสียรูปทรงของเจลประมาณร้อยละ 50 โดยเจลปรับอากาศที่มีการจี้แนมเข้มข้นร้อยละ 5 มีการสูญเสียรูปทรงน้อยที่สุด และมีการสูญเสียรูปทรงคงที่ในวันที่ 8-10 แตกต่างจากอีก 2 สูตรที่มีการสูญเสียรูปทรงเพิ่มขึ้น ขณะที่การสูญเสียน้ำหนักของเจลปรับอากาศทั้ง 3 สูตร พบว่าเมื่อเก็บไว้ถึงวันที่ 10 เจลปรับอากาศทั้ง 3 สูตรมีการสูญเสียน้ำหนักของเจลแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเจลปรับอากาศที่มีการจี้แนมเข้มข้นร้อยละ 5 มีการสูญเสียน้ำหนักของเจลน้อยที่สุด เนื่องจากมีปริมาณการจี้แนมมากกว่าสูตรอื่นๆ ทำให้ของแข็งทั้งหมดมีค่าสูง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเจลน้อยกว่าสูตรอื่น เมื่อเจลมีการสูญเสียน้ำหนักไป ผิวหน้าของเจลจะแข็งกว่าสูตรอื่นๆ ทำให้น้ำจะสูญเสียออกจากเจลเป็นไปไ้ยากกว่า [1] ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่มีความเข้มข้นของการจี้แนมร้อยละ 5 ไปพัฒนาต่อในขั้นตอนถัดไป



ภาพที่ 1 (A) ผลของอายุการใช้งานเจลปรับอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของเจล
(B) ผลของอายุการใช้งานเจลปรับอากาศต่อการสูญเสียน้ำหนักของเจล

เมื่อนำรสหวานสาลี่ส่วนลำต้นและใบที่อยู่เหนือดิน จำนวน 12.36 กิโลกรัม มากลั่นโดยวิธีการต้มกลั่นด้วยน้ำ ได้น้ำมันหอมระเหยรสหวานสาลี่มีสีเหลืองใส มีกลิ่นหอม จำนวน 46.52 กรัม คิดเป็นร้อยละ 0.376 (% w/w) จากนั้นนำมาเตรียมเจลปรับอากาศที่มีน้ำมันหอมระเหยรสหวานสาลี่เข้มข้นร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 นำมาประเมินความพึงพอใจในอาสาสมัคร 100 คน หลังจากทดสอบดมกลิ่นเจลปรับอากาศแต่ละสูตรเป็นเวลา 5 นาที โดยให้คะแนนความรู้สึกที่มีต่อกลิ่น สี และลักษณะเนื้อเจลปรับอากาศ รวมทั้งคะแนนความพึงพอใจโดยรวม (ตารางที่ 1) พบว่าสูตรตำรับเจลปรับอากาศที่มีน้ำมันหอมระเหยรสหวานสาลี่จะมีคะแนนความพึงพอใจในด้านกลิ่น เนื้อเจลปรับอากาศ และคะแนนความพึงพอใจโดยรวมมากกว่าเจลปรับอากาศที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และพบว่าเจลปรับอากาศที่มีน้ำมันหอมระเหยรสหวานสาลี่เข้มข้นร้อยละ 2 มีความพึงพอใจในด้านกลิ่นมากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่มีน้ำมันหอมระเหยรสหวานสาลี่เข้มข้นร้อยละ 2 ไปทดสอบความคงตัวในขั้นตอนถัดไป

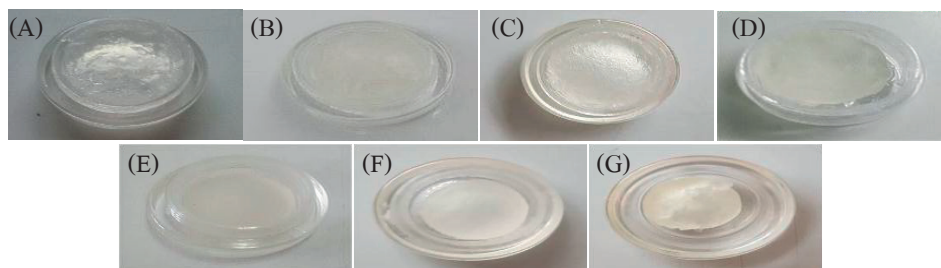
ตารางที่ 1 คะแนนความพึงพอใจต่อเจลปรับอากาศที่มีน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงระดับต่างๆ ในอาสาสมัคร 100 คน

การประเมิน	เจลปรับอากาศที่มีน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลง			
	0 %	2 %	4 %	6 %
กลิ่น	2.93 ± 2.37 ^a	5.51 ± 1.79 ^c	4.91 ± 1.71 ^b	4.71 ± 2.00 ^b
สี	5.24 ± 2.15 ^a	5.56 ± 1.93 ^a	5.53 ± 1.63 ^a	5.69 ± 1.67 ^a
เนื้อเจล	5.06 ± 1.90 ^a	5.80 ± 1.78 ^b	5.61 ± 1.41 ^b	5.55 ± 1.75 ^b
คะแนนรวม	13.23 ± 4.67 ^a	16.87 ± 3.95 ^b	16.05 ± 3.41 ^b	15.95 ± 4.06 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวที่มีตัวอักษรเหมือนกัน (a b และ c) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบด้วยสถิติ ANOVA

การทดสอบความคงตัวทางกายภาพของเจลปรับอากาศว่านสาวหลงเมื่อนำไปวางที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่น สี และเนื้อเจลเหมือนเจลหลังเตรียมเสร็จ โดยเจลปรับอากาศมีกลิ่นว่านสาวหลงมีสีเหลืองอ่อนๆ มีค่าสีในระบบมันเซลล์ คือ 5YR 8/1 นั่นคือเป็นสีเหลืองแดง (Yellow-red) มีค่าสีที่เด่นชัดเป็นสีเทาในตำแหน่งที่ 8 และค่าความอิ่มตัวของสีในตำแหน่งที่ 1 และเนื้อเจลไม่มีการแยกตัว

เมื่อทดสอบความคงตัวทางกายภาพของเจลปรับอากาศว่านสาวหลงหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงในวันที่ 15 30 45 60 75 และ 90 (ภาพที่ 2) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเจลปรับอากาศว่านสาวหลงมีกลิ่นหอมค่อยๆ ลดลง ขณะที่สีของเจลปรับอากาศว่านสาวหลงไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา 90 วัน โดยมีสีเหลืองอ่อนๆ มีค่าสีในระบบมันเซลล์ คือ 5YR 8/1 ส่วนเนื้อเจลปรับอากาศว่านสาวหลงไม่มีการแยกตัวตลอดระยะเวลา 90 วัน แต่เนื้อเจลเริ่มมีการหดตัวในวันที่ 45 และค่อยๆ หดตัวเล็กลงไปจนถึงวันที่ 90



ภาพที่ 2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเจลปรับอากาศว่านสาวหลง (A) วันที่ 0 (B) วันที่ 15 (C) วันที่ 30 (D) วันที่ 45 (E) วันที่ 60 (F) วันที่ 75 และ (G) วันที่ 90

เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงที่กลั่นได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค GC-MS (ตารางที่ 2) พบว่าประกอบด้วย Limonene (26.35 %), β -Pinene (21.73 %), Camphor (15.18 %), Camphene (11.08 %), β -Selinene (10.99 %), α -Pinene (7.33 %), γ -Terpineol (0.96 %), 4-Terpineol (0.70 %) และ α -Terpineol (0.35 %) โดยมีองค์ประกอบที่เหมือนกับน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงส่วนเหนือดินจากจังหวัดสงขลา [3] คือ Limonene, β -Pinene, Camphor, Camphene และ α -Pinene มีองค์ประกอบเหมือนกับน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงทั้งต้นจากจังหวัดเพชรบูรณ์ [4] คือ Limonene, Camphor, Camphene, α -Pinene, และ 4-Terpineol โดยการศึกษาที่มีองค์ประกอบที่พบมากที่สุด คือ Limonene ขณะที่น้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงส่วนเหนือดินจากจังหวัดสงขลาและน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงทั้งต้นจากจังหวัดเพชรบูรณ์มีองค์ประกอบที่พบมากที่สุด คือ Camphor [3-4] ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจะผันแปรตามระยะเวลาในการปลูก ฤดูกาล ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว ส่วนของพืชที่นำมาใช้ ตลอดจนสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศและธาตุอาหารในบริเวณแหล่งปลูก

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงและเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จ

No.	Components	<i>Amomum biflorum</i> Jack Essential oil		Freshly Prepared Gel	
		Rt	Total (%)	Rt	Total (%)
1	α -Pinene	8.81	7.33	ND	ND
2	Camphene	9.24	11.08	ND	ND
3	β -Pinene	10.00	21.73	ND	ND
4	Limonene	11.55	26.35	ND	ND
5	Camphor	16.19	15.18	11.02	14.36
6	β -Elemene	ND	ND	13.46	7.18
7	4-Terpineol	17.52	0.70	ND	ND
8	α -Terpineol	18.09	0.35	17.43	1.38
9	β -Selinene	27.53	10.99	17.99	1.66
10	Bicyclogermacrene	ND	ND	18.59	1.10
11	Anisaldehyde	ND	ND	29.75	1.38
12	γ -Terpineol	33.23	0.96	ND	ND
13	Benzoic acid	ND	ND	40.58	20.99
14	Phytol	ND	ND	42.18	0.55

หมายเหตุ ND: Not Detected, Rt: Retention time

จากนั้นนำน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้มาเตรียมเจลปรับอากาศที่มีน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเข้มข้นร้อยละ 2 เมื่อนำเจลหลังเตรียมเสร็จมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค GC-MS (ตารางที่ 2) พบว่าประกอบด้วย Benzoic Acid (20.99 %), Camphor (14.36 %), β -Elemene (7.18 %), β -Selinene (1.66 %), α -Terpineol (1.38 %), Anisaldehyde (1.38 %), Bicyclogermacrene (1.10 %) และ Phytol (0.55 %) โดยเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จมีองค์ประกอบที่พบมากที่สุด คือ Benzoic Acid เนื่องจากในเจลปรับอากาศมีการใช้โซเดียมเบนโซเอตเป็นสารกันเสีย ซึ่งโซเดียมเบนโซเอตเป็นเกลือโซเดียมของ Benzoic Acid จึงทำให้ตรวจพบสารดังกล่าวได้ นอกจากนี้มีองค์ประกอบ 3 ชนิดเหมือนกับน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงที่กลั่นได้ คือ Camphor, β -Selinene และ α -Terpineol มีองค์ประกอบ 6 ชนิดหายไปเมื่อนำมาเตรียมเจลปรับอากาศว่านสาวหลง ได้แก่ Limonene, β -Pinene, Camphene, α -Pinene, γ -Terpineol และ 4-Terpineol เนื่องจากการใช้ความร้อนในขั้นตอนการเตรียมเจลปรับอากาศ โดยเติมน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเมื่อส่วนผสมอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียสารบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงได้ จึงควรปรับลดอุณหภูมิขณะเติมน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลง โดยอาจเติมน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเมื่ออุณหภูมิส่วนผสมลดลงถึง 60 องศาเซลเซียส [1] อีกทั้งพบว่าเจลหลังเตรียมเสร็จมี β -Elemene, Anisaldehyde, Bicyclogermacrene และ Phytol ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงจากงานวิจัยที่เขยารงานไว้ [4, 8] แต่น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ไม่มีสารดังกล่าว อาจเนื่องมาจากตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค GC-MS มีความแตกต่างกัน โดยน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงสามารถนำไปวิเคราะห์ได้โดยตรง ขณะที่เจลปรับอากาศมีการใช้ความร้อนในขั้นตอนการเตรียม อีกทั้งมีน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเข้มข้นเพียงร้อยละ 2 และต้องใช้โซเดียมเบนโซเอตเป็นตัวทำละลายเพื่อสกัดน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงออกมาก่อนนำไปวิเคราะห์ อาจมีการเกิดปฏิกิริยาของสาร เช่น Lipid Oxidation ทำให้มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาสูตรตำรับเจลปรับอากาศว่านสาวหลงโดยใช้การจั่นเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นสูตรพื้นฐานในการเตรียมเจลปรับอากาศว่านสาวหลง 4 สูตรที่มีน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเข้มข้นของร้อยละ 0 2 4 และ 6 จากนั้นนำไปทดสอบ

ความพึงพอใจในอาสาสมัคร 100 คน พบว่าความพึงพอใจในด้านกลิ่นของเจลปรับอากาศที่มีน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเข้มข้นร้อยละ 2 มากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากนั้นนำสูตรดังกล่าวไปประเมินความคงตัวทางกายภาพ โดยนำไปวางที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่น สี และเนื้อเจลเหมือนเจลหลังเตรียมเสร็จ โดยเจลปรับอากาศมีกลิ่นว่านสาวหลง มีสีเหลืองอ่อนๆ มีค่าสีในระบบมันเซลล์ คือ 5YR 8/1 และเนื้อเจลไม่มีการแยกตัว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุก 15 วัน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปเจลปรับอากาศว่านสาวหลงมีกลิ่นค่อยๆ ลดลง ขณะที่สีไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา 90 วัน เนื้อเจลไม่มีการแยกตัว แต่เริ่มมีการหดตัวในวันที่ 45 และค่อยๆ หดตัวเล็กลงไปจนถึงวันที่ 90 เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค GC-MS พบว่าน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ Limonene, β -Pinene, Camphor, Camphene, β -Selinene และ α -Pinene ขณะที่เจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ Benzoic acid, Camphor และ β -Elemene โดยองค์ประกอบที่พบมากสุดในน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงและเจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จมีความแตกต่างกัน คือ Limonene และ Benzoic Acid ตามลำดับ ซึ่งการพบ Benzoic Acid ในเจลปรับอากาศเป็นผลมาจากการใช้โซเดียมเบนโซเอตเป็นสารกันเสีย อีกทั้งการใช้ความร้อนในขั้นตอนการเตรียมส่งผลให้เจลปรับอากาศหลังเตรียมเสร็จมีการสูญเสียสารบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงไป จึงควรปรับลดอุณหภูมิขณะเติมน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลงเพื่อลดการสูญเสียดังกล่าว นอกจากนี้ควรมีการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณเพื่อทราบความแตกต่างของปริมาณสารสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีผลการทดสอบที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Charoenkul, N., Laohakuljit, N., & Uttapap, D. (2002). Air Freshener Gel Production Using Extracted Fragrance from Pandan (*Pandanus amaryllifolius*) Leaves. *KMUTT Research and Development Journal*, 25 (2), 185-201.
- [2] Promsomboon, S., Kompetpanee, S., Phitakwatthananon, K., & Promsomboon, P. (2012). The Comparative Efficiency of Aroma Extracted from Thai Flowering Plants on Relaxation. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 30 (2), 78-85.
- [3] Subhadhirasakul, S., & Moosigapong, K. (2014). Relaxation Effect on Volunteers of Essential Oil from *Amomum biflorum* Jack. *Thaksin University Journal*, 17 (2), 17-25.
- [4] Singtothong, C., Gagnon, M. J., & Legault, J. (2013). Chemical Composition and Biological Activity of the Essential Oil of *Amomum biflorum*. *Natural Product Communications*, 8 (2), 265-267.
- [5] Hutagaol, R. (2017). Formulation of Air Freshener Gel with Carrageenan as Gelling Agent, Lemon Oil as Fragrance and Patchouli Oil as Binder. *International Journal of ChemTech Research*, 10 (4), 207-212.
- [6] Ministry of Public Health. Department of Medical Sciences. (2016). *Thai Herbal Pharmacopoeia 2016*. Bangkok: Agricultural Co-operative Federation of Thailand.
- [7] U.S. Pharmacopeial Convention. (2011). *U.S. Pharmacopeia National Formulary 2011: USP 34-NF 29*. Maryland: United States Pharmacopeial Convention.
- [8] Thubthimthed, S., Wipaporn, P., Ubon, R., & Siripen, J. (2004). Composition and Central Nervous System Depressive Effect of the Essential Oil of *Amomum biflorum*. In *Proceedings of 30th Congress on Science and Technology of Thailand*. October 19-21, 2004.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับการกรีดแบบใช้มีดเจ๊ะบง

Performance Comparison of Automatic Para Rubber Tapping Machine and Jeh-bong Knife

เอกสิทธิ์ อนันต์เจริญวงศ์^{1*} นงเยาว์ เมืองดี² นริศรา มหัทธนนวงศ์¹ ปิยนาง คงทิม¹ และสุธิดา หมาดโตะชะ¹

Ekasit Ananchaenwong^{1*}, Nongyao Mueangdee², Narissara Mahathaninwong¹, Piyanart Kongtim¹ and Sutida Marthosa¹

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติและการใช้มีดกรีดยางแบบเจ๊ะบงโดยทดลองกับ ยาง RRIM 600 อายุประมาณ 7 ปี ในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากการทดลองกรีดยางด้วยมีดกรีดยางแบบเจ๊ะบง ระบบการกรีด s/3 d1 3d/4 พบว่า ค่าเฉลี่ยของความลึกของรอยกรีด 5.6 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ยของรอยกรีด 17 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองหน้ากรีด 1.9 มิลลิเมตร ต่อการกรีด 1 ครั้ง การสิ้นเปลืองหน้ากรีดเฉลี่ยปีละ 26.5 เซนติเมตร อัตราเร็วการกรีดเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร/วินาที เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีด กรีดยางแบบเจ๊ะบง พบว่า เครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติมีความสิ้นเปลืองเปลือกยาง 2.8 มิลลิเมตร/ครั้ง ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้มีดกรีดยางเจ๊ะบง อัตราเร็วในการกรีดของเครื่องกรีดยาง 0.24 เซนติเมตร/วินาที ซึ่งช้ากว่าอัตราการกรีดด้วยมีดกรีดยางเจ๊ะบง รวมทั้งความลึกของรอยกรีดประมาณ 3.0 มิลลิเมตร และความยาวของรอยกรีด คือ 9.0 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าการกรีดด้วยมีดเจ๊ะบง จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกรีดยางด้วยเครื่องอัตโนมัติที่ได้ ต้องมีการปรับปรุงเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติซึ่งมีน้ำหนักมากเกินไป ทำให้มอเตอร์ที่ขับเคลื่อนขึ้น-ลงต้องใช้แรงมากและขับเคลื่อนใบมีดได้ช้า ควรหาวัสดุที่เบาและแข็งแรงพอ อีกทั้งองศาการกรีดที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากรางพาและความโค้งของลำต้นยางไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อความลึกและความสม่ำเสมอของรอยกรีดจึงควรมีตัวนำใบมีดที่สามารถปรับระยะหรือปรับองศาการกรีดได้ตามความโค้งของลำต้นยาง

คำสำคัญ: ยางพารา เครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ มีดกรีดยางแบบเจ๊ะบง

Abstract

The research studied the tapping performances of the automatic para rubber tapping machine and Jeh-bong tapping knife by using the RRIM 600 clone rubber trees at 7 years of age in Surat Thani Province. The Jeh-bong tapping used s/3 d1 3d/4 system. The obtained average values of tapping depth was 5.6 mm, tapping distance was 17 cm, bark consumption was 1.9 mm/tapping or 26.5 cm/year. The tapping rate of Jeh-bong knife was 0.8 cm/s. The machine tapping performance was then compared to that of the Jeh-bong knife tapping. Its bark consumption was 2.8 mm/tapping which was similar to that of the knife. Its tapping speed was 0.24 cm/s which was slower than the knife. Its tapping depth and distance were 3.0 mm and 9.0 cm and these values were less than that of the knife. Based on the obtained tapping performance, there was a need to improve the machine which is too heavy. The excessive weight demanded a high power from the motor driving the vertical motion and slowed down the blade. A light and strong material shall be used. The inconsistent tapping degree was due to the varying distances between the guiding rail and the tree trunk, consequently, it affected the tapping depth and consistency of the tapping. A blade carrier which can control its distance from the tree trunk or with an adjustable tapping degree shall be applied.

Keywords: Pararubber, Automatic Para Rubber Tapping Machine, Jeh-bong Tapping Knife

¹ อ., คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สุราษฎร์ธานี 84000

² ศศ., คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สุราษฎร์ธานี 84000

¹ Lecturer, Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani, 84000

² Asst. Prof., Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani, 84000

* Corresponding author: E-mail address: ekasit.a@psu.ac.th

(Received: October 29, 2018; Revised: January 4, 2019; Accepted: January 14, 2019)

บทนำ

ในปี 2559 มีการผลิตยางทั่วโลกประมาณ 26.7 ล้านตัน แบ่งเป็นยางสังเคราะห์ 14.4 ล้านตัน และยางธรรมชาติ 12.2 ล้านตัน [1] การเก็บเกี่ยวผลผลิตน้ำยาง เป็นการนำผลผลิตน้ำยางออกจากลำต้นยางบริเวณเปลือกของลำต้น โดยวิธีการกรีด หรือการเจาะร่วมกับการใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง [2] การกรีดยางด้วยวิธีการที่ถูกต้องสามารถเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้นและยั่งยืน จากรายงานของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกรีดที่ส่งผลต่อผลผลิต มีดังนี้คือ 1) ความลึกของรอยกรีด ซึ่งควรให้ลึกใกล้เคียงเจริญ ขึ้นกับความชำนาญของคนกรีด 2) จำนวนต้นยางที่คนกรีดสามารถกรีดได้ในแต่ละวัน การกรีดแบบ 1/3 ของลำต้นสามารถกรีดได้ 650-700 ต้นต่อวัน 3) เวลาการกรีดที่เหมาะสม ช่วงที่ให้ผลผลิตน้ำยางมากที่สุด คือ 03.00-06.00 นาฬิกา 4) ความชื้นเปลือกเปลือก ขึ้นอยู่กับความถี่ในการกรีด 5) ความคมของมีด มีดที่คมจะตัดท่อน้ำยางดีกว่าและสิ้นเปลืองเปลืองน้อยกว่า 6) ความชัน และทิศทางของรอยกรีดเนื่องจากท่อน้ำยางเอียงทำมุมประมาณ 2.1-7.1 องศาจากแนวตั้งจากบนขวามาล่างซ้าย การกรีดยางให้รอยกรีดเอียงทำมุมจากด้านบนซ้ายลงมาด้านล่างขวา ความชันของรอยกรีดควรทำมุม 30-35 องศากับแนวระดับ ทำให้ได้ผลผลิตเต็มที่ 7) อายุและขนาดของต้นยาง โดยจะต้องมีขนาดของเส้น รอบวงของลำต้นที่ตำแหน่งเปิดกรีดไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร 8) ความสูงของการเปิดกรีด ควรเปิดกรีดที่ความสูง 150 เซนติเมตรจากพื้น [3] เกษตรกรที่มีความชำนาญสามารถใช้เวลาในการกรีดยางพารา 15 วินาทีต่อต้น ใน 1 วันจะใช้เวลาเฉพาะการกรีดประมาณ 2 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า มีดกรีดยางเจาะบง การใช้มีดกรีดยางเจาะบง นอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะและความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อให้มีดเคลื่อนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา ดังนั้น คนงานกรีดยางจึงมีความสำคัญ เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ มีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีด นอกจากนี้ผลเสียของการกรีดถี่เกินไปคือ รอยได้ต่อวันต่ำ ต้นยางเป็น โรคเปลือกแห้งมากถึง 26.7 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตรวมต่ำ เปลือกงอกใหม่บาง ผลผลิตลดลงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ความสิ้นเปลืองเปลืองมาก อายุการกรีดของต้นยางสั้นลง [4] จะเห็นได้ว่า ผลผลิตและประสิทธิภาพในการกรีดด้วยมีดเจาะบงนั้นขึ้นอยู่กับความชำนาญของคนกรีด และความคมของมีดเป็นหลัก

จากปัญหาดังกล่าว จึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาเครื่องกรีดยางพาราแบบอัตโนมัติเพื่อทดแทนการใช้แรงงานจากคน และอีกอย่างหนึ่งไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะและความชำนาญมากก็สามารถกรีดยางได้ รวมทั้งจะลดการสูญเสีย หรือการบาดเจ็บจากเกษตรกรที่ไม่มีความชำนาญและประสบการณ์กรีด ซึ่งจากรายงานการวิจัยการพัฒนาประสิทธิภาพของมีดกรีดยาง เช่น เครื่องต้นแบบกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ได้มีการออกแบบ สร้าง ทดสอบ และประเมินผล เครื่องต้นแบบกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า โดยศึกษาหาหมุมมีด มุมเอียงใบมีด จำนวนฟัน อัตราป้อนต่อฟันที่เหมาะสม และเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพเทียบกับมีดกรีดยางเจาะบง เพื่อให้ได้ซึ่งคุณภาพการกรีดยางที่ดีกว่า ความหนาของเปลือกที่เป็นมาตรฐานและการสิ้นเปลืองเปลืองที่น้อยลง ไม่ต้องอาศัยความชำนาญของชาวสวนยาง [5] แต่ยังคงใช้แรงงานในการกรีด

ดังนั้นทางทีมวิจัยจึงได้ร่วมกันออกแบบเครื่องกรีดยางอัตโนมัติ ออกแบบใบมีด ระบบการเคลื่อนที่ของใบมีดด้วยมอเตอร์ ชุดควบคุมระบบการตั้งกรีดแบบอัตโนมัติ และศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรีดของเครื่องกรีดยางดังกล่าวกับการกรีดโดยมีดเจาะบงในปัจจุบัน โดยเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพต่างๆ ดังนี้ คือ ค่าเฉลี่ยความลึกของรอยกรีด ค่าเฉลี่ยความยาวของรอยกรีด ค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองหน้ากรีดและเวลาที่ใช้ในการกรีด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

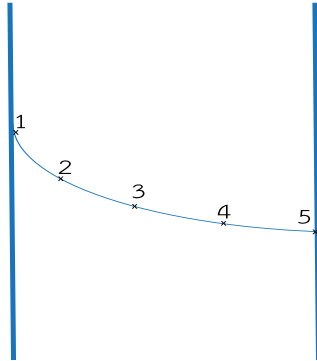
วัสดุ อุปกรณ์

เครื่องกรีดยางพาราแบบอัตโนมัติที่ทีมนักวิจัยออกแบบและมีดกรีดยางแบบเจาะบงถูกนำมาใช้กรีดยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี และใช้อุปกรณ์สำหรับการจับเวลา การเก็บข้อมูล ได้แก่ กล้องถ่ายภาพ เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 4 ตำแหน่ง เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 2 ตำแหน่ง กระดาษ ปากกา สายวัด

วิธีดำเนินการ

ในการทดลองครั้งนี้ได้คัดเลือกพื้นที่เป้าหมาย คือ สวนยางพาราที่มีอายุ 7 ปี เนื้อที่สวนยางพารา ประมาณ 10 ไร่ มีต้นยางพาราจำนวน 550 ต้น เป็นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ระบบกรีด s/3 d1 3d/4 คือกรีดหนึ่งในสามของลำต้น (s/3) กรีดติดต่อกัน สามวันเว้นหนึ่งวัน (d1 3d/4) โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรีดในด้านต่างๆ ดังนี้ 1) ประสิทธิภาพ

ของงานกรีดยาง โดยดูความลึกของรอยกรีดที่เหมาะสม 2) อัตราเร็วและเวลาที่ใช้ในการกรีดยางในแต่ละรอยกรีด จับเวลาที่เริ่มกรีดจนถึงสิ้นสุดการกรีด ในแต่ละรอยกรีด และ 3) ความสิ้นเปลืองเปลือกที่เกิดจากการกรีดยางพาราแต่ละรอยกรีด และแบ่งระยะทางที่ใช้ในการกรีดออกเป็น 5 ตำแหน่ง โดยให้ตำแหน่งที่ 1 อยู่ตำแหน่งที่เริ่มกรีดเปลือกยาง ส่วนตำแหน่งที่ 5 เป็นตำแหน่งสุดท้ายที่จะกรีดเปลือกยาง (ภาพที่ 1)



ก)

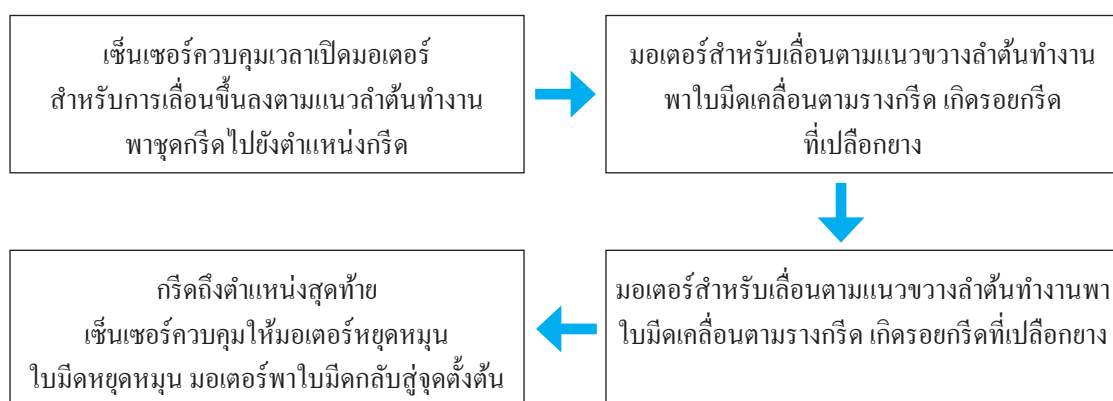


ข)

ภาพที่ 1 ก) ภาพจำลองการเก็บข้อมูลตัวรอยลึกของการกรีดยาง 5 จุด ข) การวัดรอยลึกของการกรีดยาง

งานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้เครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติซึ่งออกแบบและสร้างโดย นงเยาว์ และคณะ ซึ่งมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 3 ดังนี้ [6] คือ 1) ใบมีด เป็นหัวดอกกัดไม้ [7] ลักษณะเป็นหัวแฉก ความยาวห่างจากฐาน 6.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใบมีดประมาณ 9.0 มิลลิเมตร ทำงานโดยการหมุนรอบแกนมอเตอร์ มีหน้าที่ตัดเลื่อยเข้าเนื้อต้นยาง มีตัวลูกกลิ้งที่หมุนได้เป็นตัวนำใบมีดให้ตรงแนวรอยกรีดประสานกับรางพา 2) มอเตอร์ 3 ตัว โดยมอเตอร์ตัวที่ 1 คือ มอเตอร์สำหรับเลื่อนตำแหน่งใบมีดตามแนวขวางลำต้น มอเตอร์ตัวที่ 2 คือ มอเตอร์สำหรับหมุนใบมีด และมอเตอร์ตัวที่ 3 คือ มอเตอร์สำหรับการเลื่อนขึ้นลงตามลำต้น 3) ชุดโครงสร้างยึดเกาะกับต้นยางมี 2 ชุดหลักคือ ชุดบนและล่างมีลักษณะครึ่งวงกลม ประกอบเข้าด้วยกัน ใช้สกรูและน็อตเป็นตัวยึด สามารถปรับความกว้างได้เล็กน้อย และ 4) ชุดควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมเวลาการหมุนของมอเตอร์ ตั้งเวลาเปิดปิดการกรีดยาง แผนผังการทำงานของเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติดังแสดงในภาพที่ 2

การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกรีดยาง โดยการเก็บข้อมูลการกรีดยางจากการติดตั้งเครื่องกรีดยางอัตโนมัติกับต้นยางพารา เปรียบเทียบกับการกรีดยางโดยใช้มีดจะบัง



ภาพที่ 2 แผนผังการทำงานของเครื่องกรีดยางพาราแบบอัตโนมัติ



ก)



ข)

ภาพที่ 3 ก) ลักษณะเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติซึ่งประกอบไปด้วยชุดโครงสร้างยึดเกาะกับต้นยาง มอเตอร์ 3 ตัว ใบมีดและชุดควบคุม ข) การติดตั้งเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับต้นยางพารา [5]



ก)



ข)

ภาพที่ 4 ก) การเก็บข้อมูลวัดความยาวของรอยกรีด ข) การวัดการสิ้นเปลืองหน้ากรีด

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ประสิทธิภาพของการกรีดยางแบบใช้มีดเจ้บง ระบบกรีด s/3 d1 3d/4 (กรีดหนึ่งในสามของลำต้น (s/3) กรีดติดต่อกัน สามวัน เว้นหนึ่งวัน(d1 3d/4))

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการกรีดด้วยมีดเจ้บง ระบบกรีด s/3 d1 3d/4 เก็บข้อมูลตั้งแต่ เดือนสิงหาคม 2557 - กรกฎาคม 2558

ประสิทธิภาพของการกรีด	ผลที่ได้
ค่าเฉลี่ยความลึกของรอยกรีด /การกรีด 1 ครั้ง (มิลลิเมตร)	5.6
ค่าเฉลี่ยความยาวของรอยกรีดต่อครั้ง (เซนติเมตร)	17
ค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองหน้ากรีด/การกรีด 1 ครั้ง (มิลลิเมตร)	1.9
ค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองหน้ากรีด/ปี (เซนติเมตร)	26.5

ประสิทธิภาพของการกรีดยางโดยใช้มีดเจ้บงจะถูกแสดงด้วยข้อมูลในตารางที่ 1 ตัวอย่างเช่น ค่าความลึกของรอยกรีดต่อครั้ง ค่าความยาวของรอยกรีดต่อครั้ง ค่าการสิ้นเปลืองหน้ากรีดต่อครั้ง เป็นต้น ซึ่งค่าที่ได้จะใช้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบการกรีดโดยใช้เครื่องกรีดยางแบบอัตโนมัติ

2. ประสิทธิภาพของการกรีดยางแบบเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ

ความลึกของรอยกรีดจากเครื่องกรีดยางพาราแบบอัตโนมัติซึ่งใช้ใบมีดแบบดอกกุดไม้ที่มีความยาวจากฐานชุดพาดเคลื่อนที่เท่ากับ 6.5 เซนติเมตร จะให้รอยกรีดลึกไม่เท่ากันคือ จุดเริ่มต้นของรอยกรีดจะมีความลึกของมากที่สุดคือ 3.6-4.2 มิลลิเมตร เนื่องจาก องศาของการกรีดของใบมีดจะทำมุม 90 องศากับต้นยาง กับแนวรางที่พาชุดใบมีดเคลื่อนที่ จึงทำให้ได้รอยกรีดที่ลึกเมื่อเคลื่อนมาถึงจุดที่ 2 แนวโค้งที่พาชุดกรีด ใบมีดจะไม่ทำมุม 90 องศากับต้นยางและจะมีมุมที่ลดลง จึงทำให้ใบมีดกรีดกรีดลึกลงไปได้น้อยลง ส่งผลให้รอยลึกลดลงดังกล่าว แต่ใกล้เคียงกันกับรอยกรีดที่ตำแหน่ง 3 และ 4 คือ ประมาณ 3.0 มิลลิเมตร วิธีการเก็บข้อมูลได้แสดงในภาพที่ 4 สาเหตุที่ทำให้ได้รอยลึกไม่เท่ากันเนื่องจาก ความไม่สม่ำเสมอของลำต้นยางที่กรีด และตัววางของเครื่องกรีดอัตโนมัติกำหนดความโค้งของรางไว้ วิธีการแก้ไข คือ ต้องปรับระยะใบมีดให้เข้ากับองศาการกรีดได้ตามความโค้งของต้นยางที่เปลี่ยนไป โดยต้องมีตัวปรับระยะใบมีดในระหว่างเคลื่อนที่

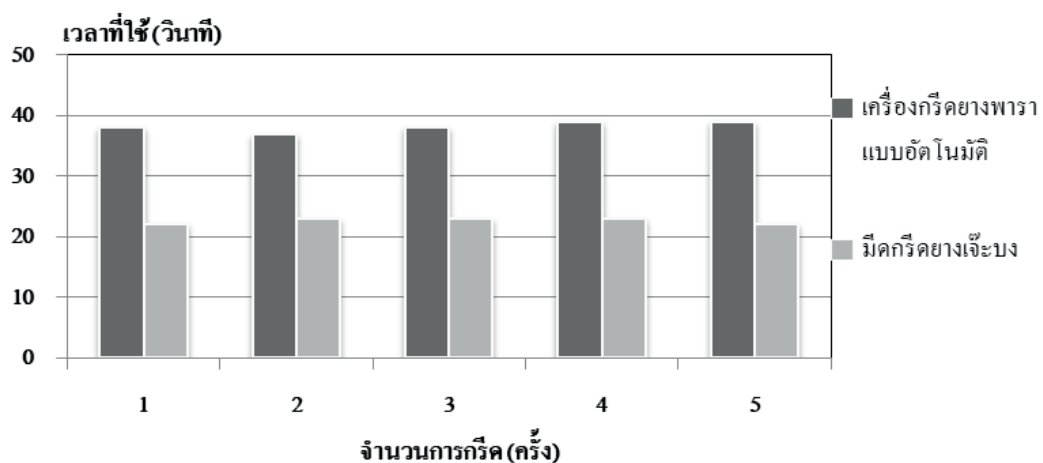
ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของการกรีดด้วยเครื่องกรีดยางพาราแบบอัตโนมัติ

ครั้งที่	ความยาว รอยกรีด (เซนติเมตร)	ความลึกรอยกรีด (มิลลิเมตร)						การสิ้นเปลืองหน้ากรีด ต่อครั้ง (มิลลิเมตร)	เวลาที่ใช้ในการกรีด (s)
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย		
1	9.0	4.2	2.6	2.5	2.3	2.7	2.86	4.6*	38
2	9.0	3.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.72	3.0	37
3	9.0	3.7	2.6	2.5	2.4	2.5	2.74	2.8	38
4	9.0	3.6	2.6	2.4	3.0	2.5	2.82	2.7	39
5	9.0	3.7	2.5	2.5	3.5	2.8	3	2.8	38

* หน้าแรกที่เปิดกรีด ไม่นำมาหาค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองหน้ากรีด

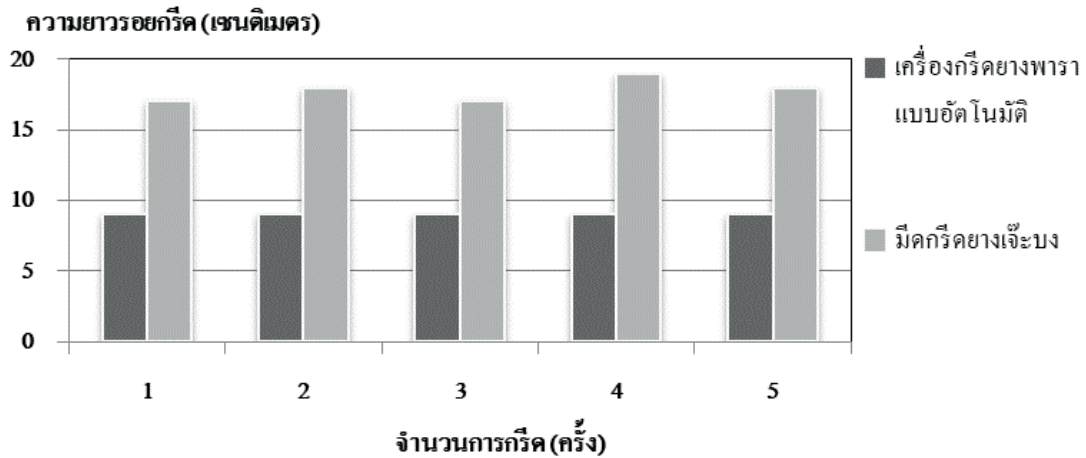
ตารางที่ 2 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองรอยกรีด พบว่า เริ่มต้นกรีดจะเป็นหน้าแรกซึ่งจะมีการสิ้นเปลืองรอยกรีดสูงที่สุดประมาณ 4.6 มิลลิเมตร แต่หลังจากหน้าที่สองลงมา การสิ้นเปลืองหน้ากรีดจะอยู่ที่ประมาณ 2.7 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับการกรีดด้วยมีดเจ้บงและการแนะนำให้กรีดโดยสถาบันวิจัยยาง [3]

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดกรีดยางแบบเจ้บง



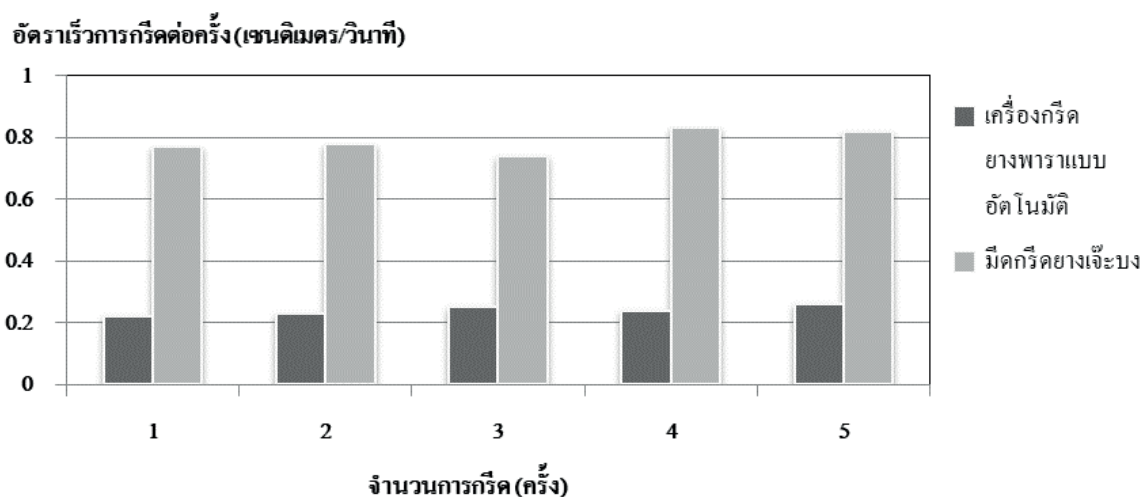
ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกรีดยางในแต่ละรอยกรีดของการกรีดยางโดยใช้มีดเจ้บงกับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ

จากภาพที่ 5 การกรีดยางโดยใช้มีดกรีดยางแบบจะบงจะใช้เวลาน้อยกว่าการกรีดยางพาราแบบอัตโนมัติ ในการกรีดยางแต่ละครั้ง ทั้งนี้เพราะการเคลื่อนลงตามรางของมีดในเครื่องอัตโนมัติต้องอาศัยแรงมอเตอร์ในการขับเคลื่อนซึ่งการเคลื่อนก็จะมีแรงเสียดทานทั้งจากรางและแรงที่ใช้หมุนใบมีดลงในเนื้อต้นยาง อาจต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังมากขึ้นในการขับเคลื่อน



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบความยาวของรอยกรีดของการกรีดยางโดยใช้มีดจะบงกับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ

ภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าความยาวของรอยกรีดของเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติจะสม่ำเสมอด้วยรอยกรีดเท่ากับ 9.0 เซนติเมตร ซึ่งจะได้เท่ากันในทุกการกรีดซ้ำ เพราะว่าความยาวของรอยกรีดถูกกำหนดโดยรางที่พาใบมีด เมื่อใบมีดเคลื่อนมาสู่รางจะมีตัวเซ็นเซอร์ควบคุมให้กลับไปตั้งต้นใหม่ และ แต่เมื่อเทียบกับการกรีดยางด้วยมีดจะบง รอยกรีด 1/3 ของลำต้นพบว่า การใช้เครื่องกรีดยางแบบอัตโนมัติจะได้รอยกรีดที่สั้นกว่าการใช้มีดจะบง เพราะว่าองศาของใบมีดกับลำต้นของเครื่องกรีดยางแบบอัตโนมัติไม่สม่ำเสมอ โดยเฉลี่ยแล้วในการทดลองด้วยการกรีดแบบใช้มีดจะบงจะได้รอยกรีดยาวเฉลี่ย 17 เซนติเมตร (สำหรับเส้นรอบวงต้นยาง 50 เซนติเมตร) และเวลาในการกรีดประมาณ 22 วินาที อัตราความเร็วจะได้เท่ากับ 0.77 เซนติเมตร/วินาที สำหรับเวลาในการกรีดตั้งแต่เริ่มต้นมอเตอร์ทำงานจนสิ้นสุดรอยกรีดของเครื่องกรีดยางอัตโนมัติต้นแบบใช้เวลาประมาณ 21 วินาที กรีดได้ 8 เซนติเมตร ซึ่งถ้าเทียบเป็นอัตราความเร็วจะได้เท่ากับ 0.25 เซนติเมตร/วินาที แต่ในกรณีที่น่าจะไม่ใกล้เคียงสม่ำเสมอ จะทำให้อัตราเร็วในการกรีดลดลงไปอีก



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบอัตราเร็วของการกรีดต่อการกรีดยางโดยใช้มีดจะบงกับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ

จากผลการวิจัย พบว่า อัตราเร็วที่ใช้ในการกรีดยางเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจี๊ยบกับมีดกรีดยางพาราแบบอัตโนมัติมีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 7) อัตราเร็วที่ใช้ในการกรีดยางนี้จะจับเวลาตั้งแต่เริ่มกรีดยางจนสิ้นสุดการกรีดยาง แต่ระยะทางที่เครื่องกรีดยางอัตโนมัติกรีดยางได้เท่ากับ 8.0-9.0 เซนติเมตร น้อยกว่าการกรีดยางแบบมีดเจี๊ยบที่ได้ระยะประมาณ 17.0 เซนติเมตร เมื่อนำมาเทียบเป็นอัตราเร็วในการกรีดยางพบว่า การกรีดยางแบบมีดเจี๊ยบได้อัตราเร็วในการกรีดยางประมาณ 0.80 เซนติเมตร/วินาที ในขณะที่การกรีดยางโดยใช้เครื่องกรีดยางอัตโนมัติได้อัตราเร็วในการกรีดยางประมาณ 0.24 เซนติเมตร/วินาที

สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรีดยางครั้งนี้ คือ การสิ้นเปลืองเปลือกริ้ว อัตราเร็วในการกรีดยาง ความลึกของรอยกรีด ความยาวของรอยกรีด และความสม่ำเสมอของรอยกรีด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ เครื่องกรีดยางพาราแบบอัตโนมัติจะสิ้นเปลืองเปลือกริ้วใกล้เคียงกับแบบมีดเจี๊ยบ ใช้เวลาในการกรีดยางมากกว่ารวมทั้งมีรอยลึกของการกรีดยาง ความยาวของรอยกรีด และความสม่ำเสมอของรอยกรีดน้อยกว่า เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติซึ่งมีน้ำหนักมากเกินไป ทำให้มอเตอร์ที่ขับเคลื่อนขึ้น-ลงต้องใช้แรงมากและขับเคลื่อนไปมาได้ช้า ควรหาวัสดุที่เบาและแข็งแรงพอ เช่น พอลิเมอร์คอมโพสิตในการทำชุดโครงสร้างเครื่อง และชุดยึดเกาะต้นยางพาราควรสามารถปรับระยะได้ โดยสามารถปรับขนาดในช่วงที่กว้างกว่าแบบในปัจจุบันเพื่อที่สามารถนำเครื่องไปใช้ได้กับต้นยางพารามากขนาด อีกทั้งองศาการกรีดยางที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากรางพาและความโค้งของลำต้นยางไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อความลึกและความสม่ำเสมอของรอยกรีดจึงควรมีตัวนำใบมีดที่สามารถปรับระยะหรือปรับองศาการกรีดยางได้ตามความโค้งของลำต้นยาง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (สัญญาเลขที่ SIT570124d) ประจำปี 2557

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rubber Research Institute. (2017). *Statistic for Thai Rubbers* (Online). Retrieved on 9 February 2018, from http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm.
- [2] Rubber Research Institute. (2012). *Annual Academic Rubber Information on 2012* (Online). Retrieved on 9 February 2018, from <http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/index.php/component/content/article/523>.
- [3] Sopchok, P., Jantuma, P., & Paechana, P. (2007). *Para Rubber Tapping and Use of Chemical to Increase Latex*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- [4] Chantuma, P. (2001). *Physiology of Rubber Trees and Tapping Systems* (Online). Retrieved on 10 March 2018, from http://it.doa.go.th/kasikorn/year-53/jan_feb_53/part-2.pdf.
- [5] Seangdang, Y. (2012). *Design and Prototyping of the Pararubber Tapping Machine by Using Electrical Motor*. Master Degree Thesis, Suranaree University of Technology.
- [6] Mueangdee, N., Mahathaninwong, N., Kongtim, P., Anancharoenwong, E., & Marthosa, S. (2017). *Automatic Para Tapping Machine*. Research Report. Prince of Songkla University.
- [7] Mahathaninwong, N., Chuchee, T., Muangdee, N., Petnikom, P., Suwanmanee, A., & Chuaymeung, A. (2016). Rubber Tapping Blades for Automatic Rubber Tapping Machine. *Thaksin University Journal*, 19(2), 23-31.

ทฤษฎีบทการลู่เข้าของจุดตรึงร่วมสำหรับการส่งแบบไม่ขยาย G

Convergence Theorem of Common Fixed Points for G-Nonexpansive Mappings

ศิวพร แซ่วัน^{1*} จันทวรรณ น้อยศรี² และปริดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์³

Siwaporn Saewan^{1*}, Chantawan Noisri² and Preedaporn Kanjanasamranwong³

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ นำเสนอขั้นตอนวิธีใหม่สำหรับการหาจุดตรึงร่วมของการส่งแบบไม่ขยาย G บนปริภูมิบานาค ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม พวกเราได้พิสูจน์ทฤษฎีบทการลู่เข้าของลำดับที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ

คำสำคัญ: กราฟระบุทิศทาง ทฤษฎีจุดตรึง การส่งแบบไม่กระจาย G

Abstract

The purpose of this paper is to introduce a new algorithm for finding a common fixed point of G-nonexpansive mappings on a Banach space. Under appropriate conditions, we prove a convergence theorem for the sequence generated by the proposed algorithm.

Keywords: Directed Graph, Fixed Point Theory, G-Nonexpansive Mapping

Introduction

Let $G = (V(G), A(G))$ be a directed graph (digraph) where $V(G)$ is a set of vertices of graph and $A(G)$ is a set of ordered pair of element of $V(G)$. We call the elements of $A(G)$ arcs or directed edges. We assume that G has no multiple edges. We denote by G^{-1} the directed graph obtained from G by reversing the direction of edges. That is, $A(G^{-1}) = \{(y, x) : (x, y) \in A(G)\}$. A weighted directed graph is a directed graph in which a number (the weight) is assigned to each edge. Let x and y be vertices of G . A path in G from x to y of length $N \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ is a sequence $\{x_i\}_{i=0}^N$ of $N+1$ vertices for which $x_0 = x$, $x_N = y$ and $(x_i, x_{i+1}) \in A(G)$ for $i = 1, 2, \dots, N-1$. A directed graph G is weakly connected if there is an undirected path between any pair of vertices, and strongly connected if there is a directed path between every pair of vertices. A directed graph G is said to be transitive if, for any $x, y, z \in V(G)$ such that (x, y) and (y, z) are in $A(G)$, we have $(x, z) \in A(G)$.

Let (E, d) be a metric space. A mapping $T : E \rightarrow E$ is said to be contractive if there is $0 < k < 1$ such that $d(Tx, Ty) \leq kd(x, y)$ for all $x, y \in E$. A mapping T is said to be nonexpansive if $d(Tx, Ty) \leq d(x, y)$ for all $x, y \in E$. Recall that a point $x \in E$ is a fixed point of a mapping T if $Tx = x$. The set of fixed point of T is denoted by $F(T)$.

Theorem 1.1 [1] Let (E, d) be a complete metric space and $T : E \rightarrow E$ be a contractive mapping. Then T has a unique fixed point.

Let E be a Banach space with the norm $\|\cdot\|$. A Banach space E is said to be strictly convex if $\left\|\frac{x+y}{2}\right\| < 1$ for all $x, y \in E$ with $\|x\| = \|y\| = 1$ and $x \neq y$ (see [2] for more details). For a sequence $\{x_n\}$ of a Banach space E and a point $x \in E$, the strong convergence of $\{x_n\}$ to x is denoted by $x_n \rightarrow x$.

¹ ศศ.ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² อ.ดร., สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ อ., สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

² Lecturer, Dr., Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³ Lecturer, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

* Corresponding author: Tel.: 089-7230444. E-mail address: si_wa_pon@hotmail.com

(Received: August 30, 2018; December 30, 2018; Accepted: January 7, 2019)

Lemma 1.2 [3] Let E be a Banach space and $B_r(0) = \{x \in E : \|x\| \leq r, r > 1\}$ be a closed ball of E . Then E is uniformly convex if and only if there exists a continuous, strictly increasing and convex function $g = [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ with $g(0) = 0$ such that

$$\|\lambda x + (1-\lambda)y\|^2 \leq \lambda \|x\|^2 + (1-\lambda)\|y\|^2 - \lambda(1-\lambda)g(\|x-y\|),$$

for all $x, y \in B_r(0)$ and $\lambda \in [0, 1]$.

Lemma 1.3 [4] Let E be a uniformly convex Banach space and $\{\alpha_n\}$ be a sequence in $[\alpha, 1-\alpha]$ for some $\alpha \in (0, 1)$. Suppose that the sequences $\{x_n\}$ and $\{y_n\}$ in E are such that $\limsup_{n \rightarrow \infty} \|\alpha_n x_n + (1-\alpha_n)y_n\| = c$ where $\limsup_{n \rightarrow \infty} \|x_n\| \leq c$ and $\limsup_{n \rightarrow \infty} \|y_n\| \leq c$ for some $c \geq 0$. Then $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - y_n\| = 0$.

Let C be a nonempty subset of a Banach space E . A point p in C is said to be a strongly asymptotic fixed point of T [5] if C contains a sequence $\{x_n\}$ which converges strongly to p such that $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - Tx_n\| = 0$. The set of strong asymptotic fixed point of T is denoted by $\tilde{F}(T)$. Let C be a nonempty subset of a real Banach space E and Δ denote diagonal of the cartesian product $C \times C$. Consider a directed graph G such that the set $V(G)$ of its vertices coincides with C and the set of its edges with $\Delta \subset A(G)$. We assume G has no multiple edges.

A mapping $T : C \rightarrow C$ is G -nonexpansive (see [6]), if T satisfies the following conditions.

(i) T preserves edges of G , i.e.,

$$(x, y) \in A(G) \Rightarrow (Tx, Ty) \in A(G), \forall (x, y) \in A(G);$$

(ii) T non-increases weights of edges of G in the following way:

$$(x, y) \in A(G) \Rightarrow \|Tx - Ty\| \leq \|x - y\|, \forall (x, y) \in A(G).$$

Example 1.4 [7] Let $E = \mathbb{R}$ and $C = \left[0, \frac{1}{2}\right]$ with norm $\|x - y\| = |x - y|$ and let $G = (V(G), A(G))$ be such that $V(G) = C$, $A(G) = \{(x, y) : x, y \in \left[0, \frac{3}{8}\right] \text{ such that } |x - y| \leq \frac{1}{8}\}$. Define $T : C \rightarrow C$ by

$$Tx = \begin{cases} \frac{8}{6}x^2 & \text{if } x \in \left[0, \frac{1}{2}\right), \\ \frac{25}{64} & \text{if } x = \frac{1}{2}. \end{cases}$$

Note that T is G -nonexpansive.

The study of fixed point theorem on Banach spaces were investigated by many authors (see [8 - 14]). In 2008, Jachymski [15] proved generalizations of the Banach's contraction principle in complete metric spaces endowed with a graph. In 2015, Tiammee et al. [7] proved Browder's convergence theorem for G -nonexpansive mappings in Hilbert spaces with a directed graph. The study of fixed point theorem for G -nonexpansive mappings in Hilbert spaces and Banach spaces were investigated by many authors (see [6 - 7], [13 - 16]). In 2017, Suparatulatorn *et al.* [17] proved a strong convergence theorem for two different hybrid methods by using CQ method for a finite family of G -nonexpansive mappings in a Hilbert space. Recently, Saewan *et al.* [18] proved a strong convergence theorem for three-step iterative scheme for G -nonexpansive mappings under condition (II). In this paper, inspired and motivated by the works mentioned above, we introduce an iterative process for finding a common element of G -nonexpansive mappings in Banach spaces E endowed with a directed graph G and we prove the strong convergence theorem under the appropriate conditions.

Materials and Methodology

1. Studying and investigating on the fixed point problem.
2. Studying and investigating on a directed graph.
3. Studying and investigating on the G -nonexpansive mapping.
4. Establishing a new theorem of the fixed point problem for G -nonexpansive mappings on Banach spaces.

Results

In this section, we prove a fixed point theorem for G-nonexpansive mapping in a Banach space endowed with a directed graph. First, we begin with some well-known results and useful definitions that will be use in results.

Property G: Let C be a nonempty subset of a normed space E and let $G = (V(G), A(G))$, where $V(G) = C$, be a directed graph. Then C is said to have Property G if every sequence $\{x_n\}$ in C converging weakly to $x \in C$, there is a subsequence $\{x_{n_k}\}$ of $\{x_n\}$ such that $(x_{n_k}, x) \in A(G)$ for any $k \in \mathbb{N}$.

Lemma 3.1 ([7]) Let E be a norm space and $G = (V(G), A(G))$ be a directed graph with $V(G) = E$. Suppose $T : E \rightarrow E$ is G-nonexpansive mapping. If E has a Property G, then T is continuous.

Theorem 3.2 ([7]) Let E be a norm space and let C be a subset of E having Property G. Let $G = (V(G), A(G))$ be a directed graph such that $V(G) = C$ and $A(G)$ is convex. Suppose $T : C \rightarrow C$ is G-nonexpansive mapping and $F(T) \times F(T) \subseteq A(G)$. Then $F(T)$ is closed and convex.

Lemma 3.3 ([19]) Let the sequences $\{a_n\}$ and $\{\delta_n\}$ of real number be satisfied:

$$a_{n+1} \leq (1 + \delta_n)a_n, \text{ where } a_n \geq 0, \delta_n \geq 0, \forall n = 1, 2, 3, \dots \text{ and } \sum_{n=1}^{\infty} \delta_n < \infty.$$

Then (i) $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ exists. (ii) If $\liminf_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$, then $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

Definition 3.4 Let C be a nonempty subset of a real Banach space E . If $F(T)$ is nonempty, then T is call semi-compact if for a bounded sequence $\{x_n\}$ in C with $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - Tx_n\| = 0$, there exists a subsequence $\{x_{n_i}\}$ of $\{x_n\}$ such that $x_{n_i} \rightarrow p \in C$.

Next, we introduce a new iterative scheme for finding a common fixed point of G-nonexpansive mappings in a real Banach space as follows.

Theorem 3.5

Let E be a real Banach space and let C be a nonempty closed convex subset of E endowed with a directed graph $G = (V(G), A(G))$ such that $V(G) = C$ and $A(G)$ is convex. The mappings $T_i (i = 1, 2, 3)$ are G-nonexpansive from C into itself. Assume that $F := \bigcap_{i=1}^3 F(T_i)$ is nonempty and closed subset of C . For an initial point $x_0 \in C$, define the sequence $\{x_n\}$ in C by the iterative schemes:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= (1 - \alpha_{n,1})x_n + \alpha_{n,1}T_1y_n, \\ y_n &= (1 - \alpha_{n,2})x_n + \alpha_{n,2}T_2z_n, \\ z_n &= (1 - \alpha_{n,3})x_n + \alpha_{n,3}T_3x_n, \end{aligned} \quad (3.1)$$

Where $\{\alpha_{n,i}\}_{i=1}^3$ are real sequences in $[\alpha, 1 - \alpha]$ for some $\alpha \in (0, \frac{1}{2})$.

If the graph G is transitive and for $u \in F$ be such that $(x_0, u), (y_0, u), (z_0, u), (u, x_0), (u, y_0), (u, z_0) \in A(G)$. Then

(i) $(x_n, u), (y_n, u), (z_n, u), (u, x_n), (u, y_n), (u, z_n), (x_n, y_n), (y_n, z_n)$ and (x_n, z_n) are in $A(G)$.

(ii) $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\|$ exists.

(iii) $\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_i x_n - x_n\| = 0$, for $i = 1, 2, 3$.

(iv) Assume that $\liminf_{n \rightarrow \infty} d(x_n, F) = 0$, where $d(x, F) = \inf_{p \in F} \|x - p\|$. Then $\{x_n\}$ converges strongly to a common fixed point of F .

(v) Assume that T_i is semi-compact for some $i = 1, 2, 3$. Then $\{x_n\}$ converges strongly to a common fixed point of F .

Proof. For $u \in F$, $(x_0, u), (y_0, u), (z_0, u) \in A(G)$ and $T_i (i = 1, 2, 3)$ are edge-preserving. Then we have $(T_1 y_0, u), (T_2 z_0, u), (T_3 x_0, u) \in A(G)$. By the convexity of $A(G)$ and $(T_1 y_0, u), (x_0, u) \in A(G)$, we have $(x_1, u) \in A(G)$. By edge-preserving of T_3 , then $(T_3 x_1, u) \in A(G)$. By the convexity of $A(G)$ and $(T_3 x_1, u), (x_1, u) \in A(G)$, we have $(z_1, u) \in A(G)$. By edge-preserving of T_2 , then $(T_2 z_1, u) \in A(G)$. By the convexity of $A(G)$ and $(T_2 z_1, u), (x_1, u) \in A(G)$, we have $(y_1, u) \in A(G)$. For $(x_k, u), (y_k, u), (z_k, u) \in A(G)$. Since $A(G)$ is convex and $T_i, i = 1, 2, 3$ are edge-preserving,

then $(T_1 y_k, u), (T_2 z_k, u), (T_3 x_k, u) \in A(G)$. Since (x_k, u) and $(T_1 y_k, u) \in A(G)$ and $A(G)$ is convex, then we get

$$(1 - \alpha_{k,1})(x_k, u) + \alpha_{k,1}(T_1 y_k, u) = ((1 - \alpha_{k,1})x_k + \alpha_{k,1}T_1 y_k, u) = (x_{k+1}, u) \in A(G). \quad (3.2)$$

By edge-preserving of T_3 , then $(T_3 x_{k+1}, u) \in A(G)$. Since $(T_3 x_{k+1}, u), (x_{k+1}, u) \in A(G)$ and $A(G)$ is convex, we get

$$(1 - \alpha_{k,3})(x_{k+1}, u) + \alpha_{k,3}(T_3 x_{k+1}, u) = ((1 - \alpha_{k,3})x_{k+1} + \alpha_{k,3}T_3 x_{k+1}, u) = (z_{k+1}, u) \in A(G). \quad (3.3)$$

By edge-preserving of T_2 , then $(T_2 z_{k+1}, u) \in A(G)$. Since $(T_2 z_{k+1}, u), (x_{k+1}, u) \in A(G)$ and $A(G)$ is convex, we get

$$(1 - \alpha_{k,2})(x_{k+1}, u) + \alpha_{k,2}(T_2 z_{k+1}, u) = ((1 - \alpha_{k,2})x_{k+1} + \alpha_{k,2}T_2 z_{k+1}, u) = (y_{k+1}, u) \in A(G). \quad (3.4)$$

By induction, we get $(x_n, u), (y_n, u), (z_n, u) \in A(G)$ for all $n \geq 1$.

For $(u, x_0), (u, y_0), (u, z_0) \in A(G)$ by a similar argument that $(u, x_n), (u, y_n), (u, z_n) \in A(G)$. From the transitivity of G , that $(x_n, y_n), (y_n, z_n), (x_n, z_n) \in A(G)$.

Next, we show that $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\|$ exists.

For $u \in F$ and $(x_0, u), (y_0, u), (z_0, u), (u, x_0), (u, y_0), (u, z_0) \in A(G)$. Notice that

$$\begin{aligned} \|x_{n+1} - u\| &= \|(1 - \alpha_{n,1})x_n + \alpha_{n,1}T_1 y_n - u\| \\ &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\|T_1 y_n - u\| \\ &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\|y_n - u\| \\ &= (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\|(1 - \alpha_{n,2})x_n + \alpha_{n,2}T_2 z_n - u\| \\ &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}((1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\| + \alpha_{n,2}\|T_2 z_n - u\|) \\ &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}((1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\| + \alpha_{n,2}\|z_n - u\|) \\ &= (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\alpha_{n,2}\|z_n - u\| \\ &= (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\alpha_{n,2}\|(1 - \alpha_{n,3})x_n + \alpha_{n,3}T_3 x_n - u\| \\ &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\alpha_{n,2}((1 - \alpha_{n,3})\|x_n - u\| + \alpha_{n,3}\|T_3 x_n - u\|) \\ &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\alpha_{n,2}((1 - \alpha_{n,3})\|x_n - u\| + \alpha_{n,3}\|x_n - u\|) \\ &= (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\alpha_{n,2}(\|x_n - u\|) \\ &= (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\| + \alpha_{n,1}\|x_n - u\| \\ &= \|x_n - u\|. \end{aligned} \quad (3.5)$$

It mean that, $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\|$ exists. Then $\{x_n\}$ is bounded.

Next, we show that $\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_i x_n - x_n\| = 0$, for $i = 1, 2, 3$.

Let $u \in F$, there exists $r > 0$ such that $\|x_n - u\| \leq r$, $\|y_n - u\| \leq r$ and $\|z_n - u\| \leq r$ for all $n \geq 1$.

Put $c = \lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\|$.

If $c = 0$, then by G-nonexpansiveness of T_i , ($i = 1, 2, 3$) and $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\|$ exists, we have

$$\|x_n - T_i x_n\| \leq \|x_n - u\| + \|u - T_i x_n\| \leq \|x_n - u\| + \|u - x_n\|. \text{ Then } \lim_{n \rightarrow \infty} \|T_i x_n - x_n\| = 0.$$

If $c > 0$, by Lemma 1.1 and T_3 is G-nonexpansive, we have

$$\begin{aligned}
 \|z_n - u\|^2 &= \|(1 - \alpha_{n,3})x_n + \alpha_{n,3}T_3x_n - u\|^2 \\
 &= \|(1 - \alpha_{n,3})(x_n - u) + \alpha_{n,3}(T_3x_n - u)\|^2 \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,3})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,3}\|T_3x_n - u\|^2 - \alpha_{n,3}(1 - \alpha_{n,3})g(\|T_3x_n - x_n\|) \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,3})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,3}\|T_3x_n - u\|^2 \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,3})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,3}\|x_n - u\|^2 \\
 &= \|x_n - u\|^2.
 \end{aligned}$$

We have

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} \|z_n - u\| \leq c. \quad (3.6)$$

Since T_2 is G-nonexpansive and $\|z_n - u\|^2 \leq \|x_n - u\|^2$, we have

$$\begin{aligned}
 \|y_n - u\|^2 &= \|(1 - \alpha_{n,2})x_n + \alpha_{n,2}T_2z_n - u\|^2 \\
 &= \|(1 - \alpha_{n,2})(x_n - u) + \alpha_{n,2}(T_2z_n - u)\|^2 \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,2}\|T_2z_n - u\|^2 - \alpha_{n,2}(1 - \alpha_{n,2})g(\|T_2z_n - x_n\|) \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,2}\|T_2z_n - u\|^2 \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,2}\|z_n - u\|^2 \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,2})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,2}\|x_n - u\|^2 \\
 &= \|x_n - u\|^2.
 \end{aligned}$$

Thus

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} \|y_n - u\| \leq c. \quad (3.7)$$

Since T_1 is G-nonexpansive and $\|y_n - u\|^2 \leq \|x_n - u\|^2$, we have

$$\begin{aligned}
 \|x_{n+1} - u\|^2 &= \|(1 - \alpha_{n,1})x_n + \alpha_{n,1}T_1y_n - u\|^2 \\
 &= \|(1 - \alpha_{n,1})(x_n - u) + \alpha_{n,1}(T_1y_n - u)\|^2 \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,1}\|T_1y_n - u\|^2 - \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,1})g(\|T_1y_n - x_n\|) \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,1}\|y_n - u\|^2 - \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,1})g(\|T_1y_n - x_n\|) \\
 &\leq (1 - \alpha_{n,1})\|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,1}\|x_n - u\|^2 - \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,1})g(\|T_1y_n - x_n\|) \\
 &= \|x_n - u\|^2 - \alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,1})g(\|T_1y_n - x_n\|).
 \end{aligned}$$

Then we have that

$$\alpha_{n,1}(1 - \alpha_{n,1})g(\|T_1y_n - x_n\|) \leq \|x_n - u\|^2 - \|x_{n+1} - u\|^2. \quad (3.8)$$

Since $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\|$ exists, we have that

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g(\|T_1y_n - u\|) = 0.$$

Thus

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_1y_n - x_n\| = 0. \quad (3.9)$$

Since T_1 is G-nonexpansive, we have

$$\|x_n - u\| \leq \|x_n - T_1y_n\| + \|T_1y_n - T_1u\| \leq \|x_n - T_1y_n\| + \|y_n - u\|.$$

From (3.9), we have that

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\| \leq \lim_{n \rightarrow \infty} (\|x_n - T_1y_n\| + \|y_n - u\|) = \lim_{n \rightarrow \infty} \|y_n - u\|.$$

Then

$$c \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} \|y_n - u\|. \quad (3.10)$$

From (3.7) and (3.10), we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|y_n - u\| = c. \quad (3.11)$$

Since

$$\begin{aligned} \|y_n - u\|^2 &= \|\alpha_{n,2} T_2 z_n + (1 - \alpha_{n,2}) x_n - u\|^2 \\ &= \|\alpha_{n,2} (T_2 z_n - u) + (1 - \alpha_{n,2}) x_n - u\|^2 \\ &\leq \alpha_{n,2} \|T_2 z_n - u\|^2 + (1 - \alpha_{n,2}) \|x_n - u\|^2 - \alpha_{n,2} (1 - \alpha_{n,2}) g \|T_2 z_n - x_n\| \\ &\leq \alpha_{n,2} \|z_n - u\|^2 + (1 - \alpha_{n,2}) \|x_n - u\|^2 - \alpha_{n,2} (1 - \alpha_{n,2}) g \|T_2 z_n - x_n\| \\ &\leq \alpha_{n,2} \|x_n - u\|^2 + (1 - \alpha_{n,2}) \|x_n - u\|^2 - \alpha_{n,2} (1 - \alpha_{n,2}) g \|T_2 z_n - x_n\| \\ &= \|x_n - u\|^2 - \alpha_{n,2} (1 - \alpha_{n,2}) g \|T_2 z_n - x_n\|. \end{aligned}$$

It imply that $\alpha_{n,2} (1 - \alpha_{n,2}) g \|T_2 z_n - x_n\| \leq \|x_n - u\|^2 - \|y_n - u\|^2$.

Since $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\| = c$ and from (3.11), then we have $\lim_{n \rightarrow \infty} g \|T_2 z_n - x_n\| = 0$, we get

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_2 z_n - x_n\| = 0. \quad (3.12)$$

Since $\|x_n - u\| \leq \|x_n - T_2 z_n\| + \|T_2 z_n - T_2 u\| \leq \|x_n - T_2 z_n\| + \|z_n - u\|$.

From (3.12), we get $\lim_{n \rightarrow \infty} \|z_n - u\| \geq \lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\|$, thus

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} \|z_n - u\| \geq c. \quad (3.13)$$

From (3.6) and (3.13), that

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|z_n - u\| = c. \quad (3.14)$$

Since

$$\begin{aligned} \|z_n - u\|^2 &= \|(1 - \alpha_{n,3}) x_n + \alpha_{n,3} T_3 x_n - u\|^2 \\ &= \|(1 - \alpha_{n,3}) (x_n - u) + \alpha_{n,3} (T_3 x_n - u)\|^2 \\ &\leq (1 - \alpha_{n,3}) \|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,3} \|T_3 x_n - u\|^2 - \alpha_{n,3} (1 - \alpha_{n,3}) g (\|T_3 x_n - x_n\|) \\ &\leq (1 - \alpha_{n,3}) \|x_n - u\|^2 + \alpha_{n,3} \|x_n - u\|^2 - \alpha_{n,3} (1 - \alpha_{n,3}) g (\|T_3 x_n - x_n\|) \\ &= \|x_n - u\|^2 - \alpha_{n,3} (1 - \alpha_{n,3}) g (\|T_3 x_n - x_n\|). \end{aligned}$$

Then $\alpha_{n,3} (1 - \alpha_{n,3}) g (\|T_3 x_n - x_n\|) \leq \|x_n - u\|^2 - \|z_n - u\|^2$.

Since $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\| = c$ and $\lim_{n \rightarrow \infty} \|z_n - u\| = c$, we get $\lim_{n \rightarrow \infty} g (\|T_3 x_n - x_n\|) = 0$. From Lemma 1.2, we get

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_3 x_n - x_n\| = 0. \quad (3.15)$$

Since T_2 is G-nonexpansive,

$$\begin{aligned} \|T_2 x_n - x_n\| &\leq \|T_2 x_n - T_2 z_n\| + \|T_2 z_n - x_n\| \leq \|x_n - z_n\| + \|T_2 z_n - x_n\| \\ &= \alpha_{n,3} \|T_3 x_n - x_n\| + \|T_2 z_n - x_n\| \leq \|T_3 x_n - x_n\| + \|T_2 z_n - x_n\|. \end{aligned}$$

From $\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_2 z_n - x_n\| = 0$ and $\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_3 x_n - x_n\| = 0$, we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_2 x_n - x_n\| = 0. \quad (3.16)$$

Since T_1 is G-nonexpansive,

$$\begin{aligned} \|T_1 x_n - x_n\| &\leq \|T_1 x_n - T_1 y_n\| + \|T_1 y_n - x_n\| \leq \|x_n - y_n\| + \|T_1 y_n - x_n\| \\ &= \alpha_{n,2} \|T_2 x_n - x_n\| + \|T_2 y_n - x_n\| \leq \|T_2 x_n - x_n\| + \|T_2 y_n - x_n\|. \end{aligned}$$

From $\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_2 x_n - x_n\| = 0$ and $\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_2 y_n - x_n\| = 0$, we have
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_1 x_n - x_n\| = 0.$$

From the assumption $\liminf_{n \rightarrow \infty} d(x_n, F) = 0$ and from (3.5), we get $d(x_{n+1}, F) \leq d(x_n, F)$. By using Lemma 3.3 (ii), we get $\lim_{n \rightarrow \infty} d(x_n, F) = 0$. Since $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - u\|$ exists and $\{x_n\}$ is bounded, we get that, for any $\varepsilon > 0$, there exists a positive integer n_0 such that, $\|x_n - u\| < \frac{\varepsilon}{2}$ for $n \geq n_0$. For any positive integer m , we obtain
$$\|x_{n+m} - x_n\| \leq \|x_{n+m} - u\| + \|u - x_n\| = \|x_{n+m} - u\| + \|x_n - u\| \leq \|x_n - u\| + \|x_n - u\| \leq 2\|x_n - u\| \leq \varepsilon.$$

Thus, $\{x_n\}$ is a Cauchy sequence in E . Since E is complete, then there exists an element $q \in E$ such that $\{x_n\} \rightarrow q$. Because $\{x_n\} \subset C$ and C is closed subset of E , then $q \in C$. Since $F := \bigcap_{i=1}^3 F(T_i)$ and $F(T_i)$ is a closed subset in C for all $i = 1, 2, 3$ and from the continuity of $d(x, F)$ with $d(x_n, F) \rightarrow 0$ and $x_n \rightarrow q$ as $n \rightarrow \infty$, we have $d(q, F) = 0$. It follows that $q \in F$. From the assumption T_i is semi-compact for some $i = 1, 2, 3$ and from $\{x_n\}$ is bounded, there exists a subsequence $\{x_{n_j}\}$ of $\{x_n\}$ such that $x_{n_j} \rightarrow q \in C$ as $j \rightarrow \infty$. By continuity of T_i , we get $\lim_{n \rightarrow \infty} \|T_i x_{n_j} - x_{n_j}\| = \|q - T_i q\|$ for all $i = 1, 2, 3$ then $q \in F$. The proof is complete.

Remark If $\alpha_{n,3} \equiv 0$, then Theorem 3.5 reduces to the results of Tripak [15].

Discussion

The result of this paper holds under the assumptions that the some mapping is semi-compact and $\liminf_{n \rightarrow \infty} d(x_n, F) = 0$. We construct and prove a new convergence theorem for G-nonexpansive mappings in a real Banach space endowed with a graph.

Acknowledgement

This work was supported by Thaksin University Research Fund.

References

- [1] Banach, S. (1922). Sur les Operations Dans Les Ensembles Abstraites Et Leur Application Aux Equationa Integrals. *Fundamenta Mathematicae*, 3(1), 133-181.
- [2] Takahashi, W. (2000). *Nonlinear Functional Analysis: Fixed Point Theory and Its Application*. Yokohama: Yokohama - Publishers, Inc.
- [3] Xu, H.K. (1991). Inequalities in Banach Spaces with Applications. *Nonlinear Analysis*, 16(12), 1127-1138.
- [4] Schu, J. (1991). Weak and Strong Convergence to Fixed Points of Asymptotically Nonexpansive Mappings. *Bulletin of the Australian Mathematical Society*, 43(1), 153-159.
- [5] Reich, S. (1996). A Weak Convergence Theorem for the Alternating Method with Bregman Distance, In A.G. Kartsatos (Ed.). *Theory and Applications of Nonlinear Operators of Accretive and Monotone Type*. 313-318. Marcel Dekker, New York.
- [6] Alfuraidan, M.R. (2015). Fixed Points of Monotone Nonexpansive Mappings with a Graph. *Fixed Point Theory and Applications*, 2015(2015), 49.
- [7] Tiammee, J., Kaewkhao, A. & Suantai, S. (2015). On Browder's Convergence Theorem and Halpern Iteration Process for G-Nonexpansive Mappings in Hilbert Spaces Endowed with Graphs. *Fixed Point Theory and Applications*, 2015 (2015), 187.
- [8] XU, B.L. & Noor, M.A. (2002). Fixed Point Iterations for Asymptotically Nonexpansive Mappings in Banach Spaces. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 267(2002), 444-453.

- [9] Shahzad, N. & Al-Dubiban, R. (2006). Approximating Common Fixed Points of Nonexpansive Mappings in Banach Spaces. *Georgian Mathematical Journal*, 13(3), 529-537.
- [10] Nakajo, K. & Takahashi, W. (2003). Strongly Convergence Theorems for Nonexpansive Mappings and Nonexpansive Semigroups. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 279(2003), 372-379.
- [11] Chairat, S., Noisri, C., Kanjanasamranwong, P. & Saewan, S. (2016). A Convergence Theorem of Variational Inequality Problems and Fixed Point Problems of Multi-Valued Mappings. *Thaksin University Journal*, 19(1), 1-11.
- [12] Khongtham, Y. (2017). Fixed Point Theorems for Compatible Maps and Commuting Maps in Rectangular B-Metric Spaces, In 27th Thaksin University National Academic Conference, 155. May 3-6, 2017. BP Samila Beach Hotel & Resort. Songkhla: Thaksin University.
- [13] Jachymski, J. (2008). The Contraction Principle for Mappings on a Metric Space with a Graph. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 136(4), 1359-1373.
- [14] Jhade, P.K. & Saluja, A.S. (2014). On The Convergence of Three Step Iterative Process for Three Asymptotically Nonexpansive Multi-Maps in Banach Spaces. *Acta Universitatis Matthiae Belii, series Mathematics*, 22(2014), 23-34.
- [15] Tripak, O. (2016). Common Fixed Points of G-Nonexpansive Mappings on Banach Spaces with a Graph. *Fixed Point Theory and Application*, 87. 2016(2016), 87.
- [16] Alfuraidan, M. R. (2015). Fixed Points of Monotone Nonexpansive Mappings with a Graph. *Fixed Point Theory and Application*, 2015(2015), 49.
- [17] Suparatulatorna, R., Suantai, S. & Cholamjiak, W. (2017). Hybrid Methods for A Finite Family of G-Nonexpansive Mappings in Hilbert Spaces Endowed with Graphs. *AKCE International Journal of Graphs and Combinatorics*, 14 (2017), 101-111.
- [18] Saewan, S., Noisri, C. & Kanjanasamranwong, P. (2018). Fixed Points of G-Nonexpansive Mappings in Banach Spaces. In 28th Thaksin University National Academic Conference. 1097. May 8-9, 2018. BP Samila Beach Hotel & Resort. Songkhla: Thaksin University.
- [19] Sun, Z.H. (2003). Strong Convergence of an Implicit Iteration Process for a Finite Family of Asymptotically Quasi-Nonexpansive Mappings. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 286 (2003), 351-358.

การปรับปรุงดินกรดด้วยเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อน

Acid Soil Improvement by Ash from Bioelectric Power Plant for Baby Corn Planting

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์^{1*}
Issariyaporn Damrongrak^{1*}

บทคัดย่อ

เถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต และเป็นด่าง จึงได้ทดลองนำมาปรับปรุงดินกรด เปรียบเทียบกับปูนขาว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 5 กรรมวิธี คือ ไม่ใส่ปูน ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ใส่เถ้าถ่านผสมกับดินอัตราส่วน 1:4 (v/v) ใส่เถ้าถ่านผสมกับดินอัตราส่วน 1:2 (v/v) และใส่เถ้าถ่านผสมกับดินเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ทำ 5 ซ้ำ พบว่า การใส่เถ้าถ่านทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าใส่ปูนขาว การใส่เถ้าถ่านทำให้ pH ดินสูงขึ้น ความเป็นกรดและอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ธาตุอาหารพืชในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น แต่เหล็กที่สกัดได้ลดลง การปรับ pH ดินด้วยปูนขาวทำให้จุลธาตุลดลง โดยเฉพาะเหล็กและแมงกานีส ดังนั้นเพื่อป้องกันภาวะเกินปูน จึงควรใส่เถ้าถ่านในปริมาณเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 กรณีไม่ได้วิเคราะห์ความต้องการปูนและปริมาณสมมูลกับแคลเซียมคาร์บอเนตของเถ้าถ่าน หากดินเป็นกรดรุนแรงควรใส่อัตราไม่เกิน 1:4; เถ้าถ่าน: ดิน (v/v)

คำสำคัญ: เถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล แคลเซียมไฮดรอกไซด์ การปรับปรุงดิน ดินกรด

Abstract

Ash from bioelectric power plant (B-ash) is basic by-product. Thus, using it to correct acid soil compared to calcium hydroxide liming was tried out. Completely randomized design consists of 5 treatments: non-liming, calcium hydroxide liming to raise soil pH to 6.5, B-ash: soil, 1: 4 (v/v), B-ash: soil, 1:2 (v/v) and equivalent to calcium hydroxide adding for raising soil pH to 6.5 was used. Growth, yield and yield components of baby corn in B-ash treatments were higher than calcium hydroxide treatment. B-ash treatments could raise soil pH, decrease exchangeable acidity and exchangeable Al and increase available plant nutrients but decrease extractable Fe. Whereas, trace elements were decreased in calcium hydroxide treatment, especially Fe and Mn. Thus, to prevent over-liming, it should add B-ash for adjusting soil pH to 6.5. B-ash in the rate of 1:4, B-ash:soil (v/v) should be applied to strong acid soil without testing lime requirement of the soil and B-ash equivalent to calcium carbonate.

Keywords: Ash from Bioelectric Power Plant, Calcium Hydroxide, Soil Management, Acid Soil

บทนำ

ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นกรด ซึ่งมีศักยภาพในการเพาะปลูกต่ำ [1] ดินกรดเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ 1) เกิดจากการสูญเสียแคลเซียมไอออนที่เป็นด่าง ซึ่งเกาะอยู่บริเวณผิวคอลลอยด์ดินด้วยการชะละลาย 2) เกิดจากการแลกเปลี่ยนแคลเซียมไอออนในดินกับ H^+ จากรากพืชในกระบวนการดูดธาตุอาหารของพืช 3) เกิดจากกระบวนการสลายตัวของซากอินทรีย์ซึ่งก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ 4) เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้ผลตกค้างเป็นกรด เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และปุ๋ยยูเรีย [2-3]

¹ ผศ. ดร., หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000

¹ Asst. Prof. Dr., Agriculture Program, Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 95000

* Corresponding author: Tel.: 093-5813597. E-mail address: issariyaporn.d@yru.ac.th

(Received: November 12, 2018; Revised: January 14, 2019; Accepted: February 7, 2019)

5) เกิดจากวัตถุดิบกำนังดินที่เป็นตะกอนน้ำกร่อยมีสารประกอบไพไรต์สูง เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นกรดกำมะถัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดดินเปรี้ยวจัด (Acid Sulfate Soil) [4] สำหรับดินที่เป็นกรดยกเว้นดินเปรี้ยวจัดประมาณร้อยละ 95 มีสาเหตุมาจาก H^+ และ Al^{3+} ที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช โดยทั่วไปพืชส่วนใหญ่ เจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 6.0-7.0 (1) กรณิดินเป็นกรดมาก ๆ ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่ลดลง แต่บางธาตุสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อ pH ดินต่ำกว่า 5.0 มีโอกาสขาดธาตุโพแทสเซียม และฟอสฟอรัส เนื่องจากโพแทสเซียม ถูกชะละลาย (Leaching) ออกไปจากดินได้ง่าย ส่วนฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับโดยอะลูมิเนียม และเหล็ก กลายเป็นสารประกอบ สำหรับเหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียมจะอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้มากจนอาจเกิดเป็นพิษแก่พืชที่ปลูก [5]

โดยทั่วไปการปรับปรุงดินกรดทำได้โดยใส่ปูนทางการเกษตร (Agricultural Lime) เช่น ปูนขาว หินปูนฝุ่น ปูนโดโลไมต์ ปูนมาร์ล เปลือกหอยเผาในปริมาณที่เหมาะสม การเลือกใส่ปูนแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการจัดหา วัสดุดังกล่าวภายในท้องถิ่น [1] สำหรับภาคใต้ โดยเฉพาะจังหวัดยะลา นอกจากเป็นแหล่งผลิตปูนขาวแล้ว ยังมีเถ้าถ่านจาก โรงงานไฟฟ้าชีวมวลซึ่งเป็นของเสียจำนวนมาก เกิดจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เศษไม้ยางในการเผาไหม้ เพื่อทำให้น้ำเกิดความร้อน นำไปสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าตามระบบ เถ้าถ่านที่เกิดขึ้นมีทั้งเถ้าลอยและเถ้าหนัก ที่จำเป็นต้องหาวิธีกำจัดหรือใช้ประโยชน์อย่างเร่งด่วน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหามลพิษในอนาคต สำหรับในแง่การเกษตรเนื่องจากเถ้าถ่าน มีคุณสมบัติเป็นด่าง จึงจะนำมาใช้เพื่อปรับปรุงดินกรด ซึ่งมีพื้นที่กระจายอยู่อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในสามจังหวัดชายแดน ภาคใต้ นอกจากนี้เถ้าถ่านประกอบด้วยธาตุอาหารหลายชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นนอกจากนำมาใช้ลด ความเป็นกรดของดินแล้ว ผลพลอยได้อีกอย่างหนึ่งคือช่วยเพิ่มธาตุอาหารพืช อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัย ปริมาณ ที่เหมาะสมไม่ว่าเพื่อจุดประสงค์ปรับปรุงความเป็นกรดของดิน หรือเพื่อการเพิ่มธาตุอาหารพืช หากใส่เถ้าถ่านในปริมาณมาก เกินไป จะทำให้เกิดผลเช่นเดียวกับการใส่ปูนมากเกินไปจนเกิดภาวะเกินปูน (Over Liming) ซึ่งส่งผลต่อความไม่สมดุลของธาตุอาหาร พืชในดิน งานวิจัยนี้จึงมุ่งทดลองนำเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลมาใช้ในการปรับปรุงดินกรด ทั้งการใช้ในปริมาณที่ได้ จากการวิเคราะห์ความต้องการปูน และวิเคราะห์หาค่าสมดุลกับแคลเซียมคาร์บอเนตในห้องปฏิบัติการ และการทดลองผสม กับดินในสัดส่วนโดยปริมาตร เพื่อเป็นทางเลือกที่เกษตรกรสามารถปฏิบัติได้ง่าย โดยปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเป็นพืชทดสอบ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การศึกษาค้นคว้าวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์มี 5 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ดังนี้ ไม่ใส่ปูน (T1) ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5 (T2) ใส่เถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลผสมกับดินอัตราส่วน 1:4 โดยปริมาตร (T3) ใส่เถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล ผสมกับดินอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร (T4) ใส่เถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลผสมกับดินเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 (T5) ดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นหน้าดินของชุดดินแกลง (Ver Fine, Kaolinitic, Isohyperthermic Typic Plinthaquits) มีเนื้อดินร่วน ปนเหนียว ค่า pH 4.33 สภาพน้ำไฟฟ้า 17.66 ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร ไนโตรเจนทั้งหมด 0.90 กรัม/กิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 19.20 12.35 และ 11.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

การเตรียมดิน ชุดดินที่มีความลึก 0-20 เซนติเมตร ฟังลมให้แห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่อง 1 เซนติเมตร เพื่อปลูกพืช อีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์ความต้องการปูนด้วยวิธีบ่มด้วยปูน [6] เถ้าถ่านได้จากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดยะลา ซึ่งใช้ เศษไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง ประกอบด้วยทั้งเถ้าลอยและเถ้าหนักผสมกัน มีค่า pH (1:2.5, เถ้าถ่าน:น้ำ) 11.12 ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเท่ากับ 0.50 10.60 8.90 114.30 และ 19.10 กรัม/กิโลกรัม เตรียมดินปลูก และผสมปูนขาว หรือเถ้าถ่านตามกรรมวิธีที่กำหนด การใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ทำการหาค่า Calcium Carbonate Equivalent (CCE) ของเถ้าถ่านก่อน [7] เพื่อคำนวณปริมาณที่ต้องใส่

การปลูกข้าวโพดฝักอ่อนทำโดยเพาะเมล็ดในถาดเพาะ เมื่ออายุต้นกล้า 7 วัน ย้ายลงปลูกในกระถาง น้ำหนักดินใน กระถาง 30 กิโลกรัม กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีใส่ปุ๋ยเชิงผสมสูตร 15-15-15 ครั้งละ 2.5 กรัม/กระถาง ก่อนปลูก หลังย้ายปลูก 2 และ 4 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยยูเรีย 2.5 กรัม/กระถาง หลังย้ายปลูก 2 สัปดาห์ ดังนั้นปุ๋ยเคมีที่ใส่คิดเป็นปุ๋ยเชิงผสมสูตร 15-15-15 ปริมาณ 78 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนปุ๋ยยูเรีย 26 กิโลกรัม/ไร่ ให้น้ำในปริมาณเท่ากันทุกกระถางอย่างสม่ำเสมอ

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อน โดยวัดความสูงด้วยวิธีรวบใบ หลังจากย้ายปลูก 5 สัปดาห์ ส่วนผลผลิตทำการนับจำนวนฝัก ซึ่งน้ำหนักฝักหลังปอกเปลือก วัดความยาวฝักหลังปอกเปลือก คำนวณจำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น น้ำหนักฝักรวมเฉลี่ยต่อต้น น้ำหนักฝักเฉลี่ยฝักที่ 1 และ ฝักที่ 2 และความยาวฝักเฉลี่ยของฝักที่ 1 และฝักที่ 2

วิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ ในโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและกำมะถันที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ในดินหลังปลูกโดยวิธีมาตรฐาน [6]

นำข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน และสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยตาราง ANOVA หากพบความแปรปรวน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีด้วย DMRT

ผลการวิจัย

1. การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อปรับปรุงดินกรดด้วยเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลและปูนขาว

การปรับ pH ของดินด้วยปูนขาวหรือเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลในปริมาณต่างๆ ทำให้ต้นข้าวโพดฝักอ่อนมีความสูงมากกว่าไม่ปรับปรุงดิน ($p < 0.01$) การใส่เถ้าถ่านทำให้ต้นข้าวโพดสูงกว่าใส่ปูนขาว ($p < 0.01$) การใส่เถ้าถ่านทุกอัตราไม่ทำให้ความสูงแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนผลผลิต พบว่าการใส่เถ้าถ่านให้จำนวนฝักเฉลี่ยต่อต้น (3.0-4.4 ฝัก) มากกว่าปรับปรุงดินด้วยปูนขาว (1.0 ฝัก) จำนวนฝักเฉลี่ยในกรรมวิธีที่ไม่ปรับปรุงดิน และการใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ น้ำหนักฝักต่อต้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อฝัก ให้ผลทำนองเดียวกัน การใส่เถ้าถ่านทุกอัตราให้ความยาวฝักมากกว่าการใส่ปูนขาว ($p < 0.05$) และการไม่ปรับปรุงดินความยาวฝักไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีปรับปรุงดินด้วยการใส่ปูนขาวหรือใส่เถ้าถ่าน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อปรับปรุงดินด้วยเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล และปูนขาว

กรรมวิธี	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนฝัก (ฝัก/ต้น)	น้ำหนักฝักรวม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักฝักเฉลี่ย (กรัม/ฝัก)	ความยาวฝักเฉลี่ย (เซนติเมตร)
ไม่ใส่ปูนไม่ใส่เถ้าถ่าน	81.36 ^c	1.0 ^b	6.42 ^b	7.16 ^b	11.00 ^{ab}
ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5	100.44 ^b	1.0 ^b	9.36 ^b	8.33 ^b	9.69 ^b
ใส่เถ้าถ่านผสมกับดิน 1:4 (v/v)	132.76 ^a	4.4 ^a	67.21 ^a	19.09 ^a	12.24 ^a
ใส่เถ้าถ่านผสมกับดิน 1:2 (v/v)	118.22 ^a	3.2 ^a	48.08 ^a	19.69 ^a	12.32 ^a
ใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH เป็น 6.5	129.52 ^a	3.0 ^a	49.28 ^a	19.76 ^a	11.71 ^a
F-test	**	**	**	**	*
C.V. (%)	11.73	48.60	41.38	18.12	11.73

หมายเหตุ: * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)
อักษรที่ต่างกัน (a, b, c) ในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้ DMRT

2. สมบัติทางเคมีของดินเมื่อปรับปรุงดินกรดด้วยเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลและปูนขาว

การปรับปรุงดินกรดด้วยปูนขาวและเถ้าถ่าน ทำให้ pH ของดินสูงขึ้นอย่างเด่นชัด ($p < 0.01$) การใส่เถ้าถ่านในปริมาณเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ทำให้ pH จริงของดิน (6.70) สูงกว่าการใส่ปูนขาว (6.13) และทำให้ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง การใส่ปูนขาวหรือใส่เถ้าถ่านทำให้อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่ากรรมวิธีไม่ปรับปรุงดิน ($p < 0.01$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ หลังจากปรับปรุงดินด้วยเถ้าจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลและปูนขาว

กรรมวิธี	ความเป็นกรดเป็นด่าง (1;2.5, ดิน:น้ำ)	ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยน ได้ (เซนติโมล/กก.)	อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (เซนติโมล/กก.)
ไม่ใส่ปูนไม่ใส่เถ้าถ่าน	4.82 ^c	3.14 ^a	6.11 ^a
ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5	6.13 ^d	2.69 ^a	3.10 ^b
ใส่เถ้าถ่านผสมกับดิน 1:4 (v/v)	7.62 ^b	1.03 ^b	2.01 ^b
ใส่เถ้าถ่านผสมกับดิน 1:2 (v/v)	8.19 ^a	0.74 ^b	1.52 ^b
ใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH เป็น 6.5	6.70 ^c	1.18 ^b	1.24 ^b
F-test	**	**	**
C.V. (%)	3.42	14.13	55.23

หมายเหตุ: ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

อักษรที่ต่างกัน (a, b, c, d, e) ในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้ DMRT

การใส่เถ้าถ่านไม่ได้ทำให้ไนโตรเจนในดินแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ปรับปรุงดิน และเปรียบเทียบกับการใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH ดินให้เป็น 6.5 อย่างไรก็ตาม หากใส่เถ้าถ่านปริมาณมาก ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลง โดยในกรรมวิธีที่ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ต่ำกว่าในกรรมวิธีที่ใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 (ตารางที่ 3) การใส่เถ้าถ่านในทุกกรรมวิธีทำให้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ปรับปรุงดิน และกรรมวิธีที่ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5 โดยความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่เถ้าถ่านที่เพิ่มขึ้น การใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5 ทำให้แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าไม่ปรับปรุงดิน ($p < 0.01$) ส่วนโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 3) การใส่เถ้าถ่านหรือใส่ปูนขาวทำให้ค่ามอดูลที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ปรับปรุงดิน การใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5 ทำให้ค่ามอดูลที่เป็นประโยชน์มากกว่าใส่ปูนขาว ($p < 0.01$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ธาตุที่พืชต้องการปริมาณมากในดินหลังจากปรับปรุงดินด้วยเถ้าจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล และปูนขาว

กรรมวิธี	ไนโตรเจน ¹ (กก./กก.)	ฟอสฟอรัส ² (มก./กก.)	โพแทสเซียม ³ (มก./กก.)	แคลเซียม ³ (มก./กก.)	แมกนีเซียม ³ (มก./กก.)	กำมะถัน ² (มก./กก.)
ไม่ใส่ปูนไม่ใส่เถ้าถ่าน	0.17	10.18 ^c	211.9 ^c	122.80 ^d	15.03 ^d	34.62 ^d
ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5	0.16	26.54 ^c	265.9 ^c	882.19 ^c	44.61 ^c	38.41 ^c
ใส่เถ้าถ่านผสมกับดิน 1:4 (v/v)	0.15	152.58 ^a	1,426.9 ^b	5,018.69 ^a	76.16 ^a	219.88 ^a
ใส่เถ้าถ่านผสมกับดิน 1:2 (v/v)	0.17	78.38 ^b	2,667.1 ^a	5,283.39 ^a	79.56 ^a	122.83 ^b
ใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH เป็น 6.5	0.16	63.17 ^b	269.6 ^c	1,809.12 ^b	62.19 ^b	49.82 ^d
F-test	ns	**	**	**	**	**
C.V. (%)	19.94	24.57	19.62	9.77	4.73	11.84

หมายเหตุ: ธาตุอาหารพืชเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ¹รูปทั้งหมด (Total) ²รูปที่เป็นประโยชน์ (Available Form)

³รูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable Form)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

อักษรที่ต่างกัน (a, b, c, d, e) ในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้ DMRT

การใส่เถ้าถ่าน และใส่ปูนขาวทำให้เหล็กที่สกัดได้ลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ปรับปรุงดิน ($p < 0.01$) และความเข้มข้นของเหล็กที่สกัดได้ลดลงตามปริมาณเถ้าถ่านที่ใส่ การใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ทำให้เหล็กที่สกัดได้ (90.20) มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ลดลงมากกว่าการใส่ปูนขาว (121.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

การใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH ดินเป็น 6.5 ทำให้แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ลดลง ($p < 0.01$) แต่การใส่เถ้าถ่านทำให้ความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใส่ปริมาณมาก ส่วนการใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ให้ความเข้มข้นของ สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ปรับปรุงดิน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ธาตุที่พืชต้องการปริมาณน้อยในดินหลังจากปรับปรุงดินด้วยเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลและปูนขาว

กรรมวิธี	เหล็ก ¹ (มก./กก.)	แมงกานีส ¹ (มก./กก.)	สังกะสี ¹ (มก./กก.)	ทองแดง ¹ (มก./กก.)
ไม่ใส่ปูนไม่ใส่เถ้าถ่าน	157.94 ^a	7.23 ^b	0.645 ^c	0.347 ^c
ใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5	121.42 ^b	1.15 ^d	0.354 ^d	0.258 ^d
ใส่เถ้าถ่านผสมกับดิน 1:4 (v/v)	26.08 ^d	12.10 ^c	3.147 ^b	0.737 ^b
ใส่เถ้าถ่านผสมกับดิน 1:2 (v/v)	23.27 ^d	17.90 ^a	6.383 ^a	1.252 ^a
ใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับ pH เป็น 6.5	90.20 ^c	6.26 ^c	0.751 ^c	0.345 ^c
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	10.01	25.64	23.72	16.18

หมายเหตุ: ธาตุอาหารพืชเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ 'รูปที่สกัดได้' (Extractable Form)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

อักษรที่ต่างกัน (a, b, c, d) ในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT

อภิปรายผล

จากผลการทดลองใช้เถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล และปูนขาวเป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อนพบว่า การใส่เถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนดีกว่าการใส่ปูนขาว ไม่ว่าจะเป็นใส่เถ้าถ่านโดยผสมคลุกเคล้ากับดินในสัดส่วน 1:4 หรือ 1:2 (v/v) หรือใส่ในปริมาณที่สมมูลกับการใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ก็ทำให้ต้นข้าวโพดมีความสูงมากกว่าใส่ปูนขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่งผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมากกว่าเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นเถ้าถ่านของเศษไม้ยางพาราที่มีธาตุอาหารที่พืชต้องการหลายชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับปูนขาว ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในเถ้าถ่านดังกล่าวมี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส 0.05 และ 10.60 กรัม/กิโลกรัม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม 19.20 12.35 และ 11.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง 3.17 2.48 0.43 และ 0.06 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปูนขาวมีเพียงธาตุแคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก ดังนั้นดินที่ใส่เถ้าถ่านจึงได้รับธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากที่ได้รับจากการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 78 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยยูเรียในอัตรา 26 กิโลกรัม/ไร่ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ดิน กรณีใส่เถ้าถ่านทำให้ฟอสฟอรัสและกำมะถันที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3)

นอกจากนี้การใส่เถ้าถ่านอาจมีผลต่อการอุ้มน้ำของดิน ทำให้ความชื้นคงอยู่ในดินได้นานกว่ากรณีไม่ใส่เถ้าถ่าน [8] คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของถ่านคือการมีรูพรุนจะช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชได้ [9] จากการทดลองครั้งนี้มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ซึ่งปกติธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีจะละลายออกมาได้เร็วเมื่อมีการให้น้ำ และมีโอกาสชะล้างสู่ดินด้านล่างกระดางได้ หากถูกชะเลยจากเขตรากพืชก็ทำให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ กรณีที่มีการเติมเถ้าถ่านทำให้ธาตุอาหารดังกล่าวถูกดูดซับและค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อข้าวโพด ส่วนปูนขาวไม่มีคุณสมบัติดังกล่าว นอกจากนี้แคลเซียมไอออนที่มีมากในปูนขาวอาจไปไล่ที่โพแทสเซียม และแมกนีเซียมไอออนที่ดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ดินทำให้มีปริมาณ

น้อยลง [5] รวมทั้งปูนขาวเองก็ไม่ได้มีธาตุดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญ จึงมีส่วนทำให้กรณีสำปุนขาวร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อนด้านความสูงน้อยกว่ากรณีสำปุนขาวร่วมกับปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) และส่งผลต่อการให้ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเช่นเดียวกัน คือกรณีสำปุนขาวให้จำนวนฝักน้อยกว่าใส่เถ้าถ่านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เช่นเดียวกับน้ำหนักฝักหลังปอกเปลือกโดยกรณีสำปุนขาวให้ผลไม่แตกต่างกับกรณีสำปุนขาวไม่ปรับปรุงดิน

การใส่เถ้าถ่านซึ่งเป็นด่างช่วยเพิ่ม pH ดิน ดังเช่นกรณีสำปุนขาวปริมาณ 1:4 (v/v) pH ดินเพิ่มเป็น 7.62 หรือ หากใส่ในปริมาณที่เทียบเท่ากับการใส่ปูนขาวเพื่อยกระดับ pH เป็น 6.5 ซึ่ง pH ดินจริงเพิ่มขึ้นเป็น 6.70 (ตารางที่ 2) ส่วนการไม่ปรับปรุงดิน pH เท่ากับ 4.82 ซึ่งเป็นกรดรุนแรงมาก pH ดินที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าจากการใส่เถ้าถ่าน หรือปูนขาว ทำให้ความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง สอดคล้องกับค่า pH ของดินที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) การใส่เถ้าถ่านเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กที่สกัดได้ลดลงเนื่องจากเมื่อ pH ดินเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กละลายออกมาได้ลดลง แต่พบว่าแมงกานีส สังกะสี และทองแดงเพิ่มขึ้น แตกต่างจากการใส่ปูนขาวที่ทำให้ธาตุดังกล่าวละลายออกมาได้ลดลง (ตารางที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลมีธาตุดังกล่าวค่อนข้างสูง ดังนั้นการนำเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลมาใช้ประโยชน์ทั้งเพื่อการปรับปรุงดินกรด หรือใส่เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน ควรคำนึงถึงการเพิ่มขึ้นของจุลธาตุดังกล่าวด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช เช่น หากมีสังกะสีมากเกินไปจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง [10-11] สังกะสีรบกวนกระบวนการ Homeostasis ลดความความเข้มข้นของ เหล็ก แมกนีเซียม และแมงกานีส ส่วนทองแดงแข่งขันการดูดใช้ของพืชกับ เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี แต่การใส่แมงกานีสเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้จุลธาตุอื่นขาดแคลน [12]

การปรับ pH ดินต้องระมัดระวังการเกิดภาวะเกินปูน โดยทั่วไป pH ที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืชควรอยู่ในช่วง 6.0-6.5 [1] หากดินมี pH สูงเกินไปอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช ธาตุหลายชนิดอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ดังเช่น การใส่ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในตัวอย่างดิน ชุดดินมูโนะซึ่งเป็นดินเปรี้ยวจัด เนื้อละเอียด pH 3.84 มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 6.41 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หากเติมปูนในปริมาณที่คาดหวังให้ pH เป็นกลาง ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มเป็น 9.84 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่หากใส่ปูนในปริมาณที่คาดหวังให้เกินปูนทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงเหลือเพียง 5.57 มิลลิกรัม/กิโลกรัม [13] อย่างไรก็ตามการตอบสนองต่อการปรับปรุงดินขึ้นอยู่กับธรรมชาติของดินเองและชนิดของสารที่ใส่ รวมทั้งต้องพิจารณาชนิดพืชปลูกด้วย เนื่องจากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วง pH ดินที่แตกต่างกัน เช่น แตงโมเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 4.5-5.0 ข้าวโพดเจริญได้ในช่วง pH 5.5-7.5 ถั่วฝักยาวเจริญได้ในช่วง pH 5.5-6.8 เป็นต้น [1]

ผลการทดลองในขงพาราพบว่าหากใส่ปูนขาวจน pH ดินเพิ่มจากเดิม 3.89 เป็น 5.37 ทำให้การเจริญเติบโตต่ำกว่าไม่ใส่ปูน แต่จำเป็นต้องให้ธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต [14] เนื่องจากขงพาราสามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตได้ดีในดินกรดโดยมีกลไกปลดปล่อยกรดอินทรีย์มาจับกับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปอะลูมิเนียมฟอสเฟตปลดปล่อยออกมาให้อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ (HPO_4^- , H_2PO_4^-) ที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ [15] การพิจารณาใส่ตามปริมาณที่สมดุลกับการใส่ปูนขาวเพื่อปรับ pH เป็น 6.5 ถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมแต่อาจจะยุ่งยากสำหรับเกษตรกรทั่วไป เนื่องจากต้องทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ทราบค่าสมดุลกับแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate Equivalent, CCE) ก่อนคำนวณปริมาณที่ต้องใส่เพื่อปรับ pH ของดินให้เหมาะสมกับพืชที่ปลูก

จากผลการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดได้ โดยใช้ในปริมาณเพื่อปรับ pH ดิน เป็น 6.5 กรณีที่เกษตรกรไม่ได้วิเคราะห์ความต้องการปูนและปริมาณสมดุลกับแคลเซียมคาร์บอเนตของเถ้าถ่านเพื่อกำหนดปริมาณที่เหมาะสม สามารถใส่ได้ในอัตราไม่เกิน 1:4; เถ้าถ่าน: ดิน โดยปริมาตร เพื่อไม่ให้เกิดการได้รับจุลธาตุบางชนิดจากเถ้าถ่านมากเกินไปโดยเฉพาะสังกะสีและทองแดง ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงชนิดพืชที่ปลูกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนงบประมาณบำรุงการศึกษาจากมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ขอบขอบคุณนางสาวบุษรินทร์ แสงเกิด และนางสาวสุไรยา สืออิง นักศึกษาหลักสูตรเกษตรศาสตร์ที่ช่วยงานทดลองและเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lecturers of Department of Soil Science. (1998). *Basic Soil Science*. (8th Ed). Bangkok: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University.
- [2] Antoaneta, A. (1995). Effect of Fertilizer Application and Soil pH on the Acidic and Sorption Properties of Maize Leaves and Stems. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 21(1), 52-57.
- [3] Cakmak, D., Saljnikov, E., Perovic, V., Jaramaz, D., & Mrvic, V. (2010). Effect of Long-term Nitrogen Fertilization on Main Soil Chemical Properties in Cambisol. In *The 19th World Congress of Soil Science; Soil Solutions for a Changing World*. 291-293. August 1-6, 2010, Brisbane, Australia.
- [4] Onthong, J. (2017). *Problem Soil*. Songkla: Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University.
- [5] Braydy, N. C., & Weil, R. R. (2002). *The Nature and Properties of Soils*. (13th Ed). New Jersey: Macmillan.
- [6] Onthong, J. (2004). *Soil and Plant Analysis Manual*. Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University.
- [7] Erich, S. M., & Tsutomu, O. (1992). Titrimetric Determination of Calcium Carbonate Equivalent of Wood Ash. *Analysis*, 117, 993-995.
- [8] Hemwong, S., & Chualsuna, S. (2011). Using of Charcoal to Improve Soil Fertility for Sweet Waxy Corn Production. *Journal of Agriculture*, 27(3), 253-266.
- [9] Bruno, G., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating Physical and Chemical Properties and Highly Weathered Soils in the Tropics with Charcoal-a Review. *Biology and Fertile of Soils*, 35, 219-230.
- [10] Mousavi, S. R. (2011). Zinc in Crop Production and Interaction with Phosphorus. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 5(9), 1503-1509.
- [11] Kuntal, D., Raman, D., Shivananda, T. N., & Pintu, S. (2005). Interaction Effect between Phosphorus and Zinc on Their Availability in Soil in Relation to Their Contents in Stevia (*Stevia rebaudiana*). *The Scientific World Journal*, 5, 490-495.
- [12] Huijun, Z., Liangqi W., Tuanyao, C., Yuxiu, Z., Jinjuan, T., & Shengwen, M. (2012). The Effects of Copper, Manganese and Zinc on Plant Growth and Elemental Accumulation in Manganese-hyperaccumulato *Phytolacca*. *Americana Journal of Plant Physiology*, 169, 1243-1252.
- [13] Damrongrak, I., & Chelewamachae, R. (2006). Changes of pH, Available Phosphorus and Trace Element after Calcium Hydroxide Liming of Acid Sulphate Soil. *Journal of Yala Rajabhat University*, 1(1), 21-29.
- [14] Damrongrak, I., Onthong, J., & Nilnon, C. (2014). Effect of Soil pH and Some Micronutrient Elements on the Growth and Plant Nutrient Uptake of Para Rubber (*Hevea brasiliensis*). *King Mongkut's Agricultural Journal*, 32(3), 36-44.
- [15] Onthong, J., & Osaki, M. 2006. Adaptation of Tropical Plants to Acid Soil. *Tropics*, 15(4), 337-347.

ระบบการตรวจจับก่อนการหกล้มกระแทกแบบอ้างอิงด้วยฟัซซี่เป็นฐานโดยเกณฑ์แบบไดนามิก

Fuzzy Inference Based Pre-impact Fall Detection System Using Dynamic Threshold

ณัฐ อนุทรัพย์¹ และ พูลพงษ์ บุญพราหมณ์²

Nuth Otanasap^{1*} and Poonpong Boonbrahm²

บทคัดย่อ

ด้วยการหกล้มเป็นปัญหาสำคัญทางด้านความปลอดภัยในผู้สูงอายุ เพื่อลดผลสืบเนื่องจึงจำเป็นต้องหาวิธีการป้องกันการหกล้มแบบใหม่ๆ การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนารูปแบบการกำหนดเกณฑ์แบบไดนามิกเพื่อตรวจจับก่อนการหกล้มแบบเวลาจริง โดยบูรณาการคุณสมบัติด้านความเร็วการเคลื่อนที่ของศีรษะและหน้าอก ร่วมกับจุดศูนย์กลางถ่วงของร่างกาย ด้วยกฎฟัซซี่ลอจิก 14 ข้อแบบ Sugeno เพื่อการกำหนดท่าทางหกล้ม การเปลี่ยนแปลงท่าทาง และการเคลื่อนที่ รวมทั้งการเปรียบเทียบการใช้อุปกรณ์แบบผสมผสานแบบต่างๆ เพื่อการตัดสินใจขั้นสุดท้ายว่าเกิดการหกล้ม ด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถตรวจจับก่อนการหกล้ม โดยอาศัยสมการไล่เซ็นเซอร์ที่มีขนาดเล็กเท่าเหรียญ ทำงานร่วมกับ คินเน็กท์ทำหน้าที่ตรวจจับด้วยภาพ โดยไม่บันทึกข้อมูลเพื่อความเป็นส่วนตัว การประยุกต์เกณฑ์แบบไดนามิกที่มีแบบแผนเหมาะสมกับปัจเจกบุคคล ทำให้ระยะเวลาการแยกแยะตรวจจับการล้มและไม่ล้มแบบเวลาจริงมากที่สุด และได้เปรียบเทียบผลการอุปกรณ์หลากหลาย ทั้งคินเน็กท์ตัวเดียว สองและสามตัว ร่วมกับการใช้และไม่ใช้อุปกรณ์สวมใส่ ผลทดลองพบว่าระยะเวลาที่สามารถตรวจจับก่อนการหกล้มได้ คือ 549.83 มิลลิวินาที ด้วยบูรณาการแบบคินเน็กท์สองตัวร่วมกับอุปกรณ์สวมใส่สามารถลดปัญหาการทับซ้อนคลาดเคลื่อนของมุมมอง ด้วยความแม่นยำการตรวจจับ ร้อยละ 98.09 กลับกันการตรวจจับด้วยคินเน็กท์เพียงสองตัว ตรวจจับได้ด้วยอัตราความแม่นยำต่ำกว่าเพียง ร้อยละ 93.00

คำสำคัญ: การตรวจจับการหกล้ม การตรวจจับก่อนการหกล้ม เกณฑ์แบบไดนามิก ฟัซซี่ลอจิก การตรวจจับการหกล้มในผู้สูงอายุ

Abstract

Problems of falling are particularly vital safety in seniors. For these reasons, increasing a useful fall prevention approach is necessary to relieve the infliction of falls. This study focuses on a dynamic threshold model for real-time pre-impact fall detection that enables the falls to be identified before the body crashes to the ground. The velocity of head and chest position and the center of gravity of the subject body used for the feature combination classified by fuzzy inference for pre-impact fall detection. It only needs subjects to wear some tiny coin-size sensors that combine with the Kinect sensor, vision-based, without recording any data due to privacy issue. The dynamic threshold-based model with stereotypes suitable for an individual one, is applied for real-time fall and non-fall classification for the longest lead time of pre-impact fall detection. Moreover, the various kinds of integration of single, multiple, and triple Kinect combined with and without the wearable device are evaluated. The 14 rules of Sugeno fuzzy set defining the falling posture, movement transitions, and comparison of the different combination of devices are inferred first, whereas the final decision is produced through thinking and trigger on such fuzzy sets. The experimentation result found that the highest lead-time of pre-impact fall detection is 549.83 ms. However, the integration method that combined multiple Kinect with the wearable device can reduce camera overlapping and obscurity with the highest accuracy about 98.09 percent. Vice versa, the method using only multiple Kinect without the wearable device provide lower accuracy than 93.00 percent.

Keywords: Fall Detection, Pre-Impact Fall Detection, Dynamic Threshold, Fuzzy Logic, Fall Detection in Elderly

¹ นักศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

² รศ.ดร., สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161

¹ Ph.D. Student, Management of IT Program, School of Informatics, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

² Assoc. Prof. Dr., Management of IT Program, School of Informatics, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161

* Corresponding author: Tel. 66-7567-3000. E-mail address: nuto@sau.ac.th

(Received: November 15, 2018; Revised: January 14, 2019; Accepted: February 1, 2019)

Introduction

Falls are a vital safety interest, particularly in seniors. Almost 28–35 % of seniors aged 65 and over fall at least once every year [1]. For the sake of minimizing the impacts of aging as the human constitutional failures, therapeutics are designated. Besides, seniors are likely to recurrent falls after a fall-related occurrence. Those frequently leads to the lack of movement and self-sufficiency [2]. For these reasons, increasing a useful fall prevention approach is necessary to relieve the infliction of falls, particularly in seniors. After fall movement detection is supposed to admit proper therapeutic support for fall patients, consequently avoid accidental injuries caused by long lie syndrome [3]. Dissimilarly after or post-fall movement detection, pre-impact fall detection is accomplished to defeat the conditions specified earlier. Pre-impact fall detection relates to the method that enables falls to be identified before the body crashes to the ground (i.e., the body-ground collision).

Related Work

Pre-impact fall detection method is a significant application that has been used to save a person who takes risks [4-7]. Not only those issues but cost, noise, privacy, the complexity of computation and the suitable threshold value for pre-impact fall detection also are concerned [8]. Currently, most fall detection methods are not only using wearable and ambient based devices but also vision based. Although wearable devices [9] are low cost and small size electronic devices that can be attached to clothing or wearing in body parts, such as gyroscope and accelerometer [10]. Some of the essential problems of wearable devices are most people usually forget wearing them. Therefore vision-based approach has been developed and used for collecting information on human activities of daily living. However overlay, obtrusion, and occlusion in vision-based approach [11] are some of the essential difficulties.

According to Wu, G. [12], Activities of Daily Living (ADL) is monitoring of human walking, sitting down, picking up an object, rising from a chair and lying down on the bed. The body [12] or head [8] movement have been measured in both of vertical and horizontal of velocities and accelerations. During fall accident, the velocities in both of magnitude changing and timing of the magnitude changing will be increasingly higher than normal activities and will be triggered for fall alert. However, the only velocity of movement features not enough to classify ADL and falling event more accurately.

As the vertical projection [13] of the center-of-body onto the ground, it has usually been called the center of gravity (COG). Generally human would not fall when the projection of COG within the base of support which is formed by both human feet on the ground [14]. Vice Versa, the falling would be the high possibility while the projection of COG is outside of the base of support. The threshold-based algorithm was proposed by Bourke *et al.* [15] to differentiate fall and activities of daily living. However, a fixed threshold value cannot accomplish well for all ADL due to the difference of their attributes. If it is determined too high, there is the high possibility that some falling accidents were still undetected. Vice versa, if it is too low, the detection system generates false detections.

Furthermore, fuzzy logic models the ability to emulate the rational way of thinking to efficiently appropriate methods of thinking that are estimated rather than specific [16]. Among fuzzy logic, we can intimate mapping rules attending linguistically logical variables rather than quantities. Processing the statements provides us the possibility to reveal imprecision, ambiguity, biased truth and threshold [17]. According to Takagi–Sugeno (TS) fuzzy inference system has been used to trigger a fall alarm utilizing the information about the person's motion and the distance of gravity center to the ground. The Sugeno method of fuzzy inference had been Introduced in 1985 [18], this technique is similar to the Mamdani approach in many regards. The first two components of the fuzzy inference method, fuzzifying the inputs and utilizing the fuzzy operator, are similar. The main contrast between them is that the Sugeno output membership purposes are either linear or constant.

In this study, we focus on a dynamic threshold model for real-time scene change detection in different video sequences. The velocity of head and chest position were used for the first feature in pre-impact fall detection method. Furthermore, the COG of the subject body was also used for the second feature. These features are combined and classified by fuzzy inference system for pre-impact fall detection and prediction using both wearable and Kinect sensors.

Materials and Methods

1) Vision-based using Multiple Kinects: the Kinect sensor is proposed for the worldwide market, which produces dense depth images under poor illumination conditions. The depth data is then appropriated to determine a skeletal model of any human body in Kinect's viewpoint, which specifies each pixel as being a human body part or environment [5, 19-20]. Self-occlusion occurs when the other portion of themselves hides any parts of a human body. Particularly, when the expense of such a camera is low (e.g., the Kinect sensor). In the proposed system, multiple and triple Kinects are used.

2) Wearable Device: Wearable sensor methods propose various benefits concerning size, weight, cost, power extermination, ease of use and portability [21]. They enable tracking without the constraints due to demands for ecosystem structuring and privacy attention. The MetaWearC [22] is a whole development and creation platform for wearable and connected device applications. It emphasizes the ultra-low power nRF51822 SoC, implementing energy efficient smartphone communication and central processing. We used MetaWearC [23] units, which include a tri-axial accelerometer and tri-axial gyroscope IMU from Bosch (BMI160). The inertial sensor time series estimated by the body mounted sensors were recorded together with data from the desktop applications. Body movement events for an individual were detected from these sensors processed by the dynamic threshold algorithm. All disadvantages are improved by our method, which is simple, inexpensive and quick.

3) Velocity Characteristics: According to the fall event was explained by [24] in four phases as pre-fall phase, critical fall or pre-impact fall phase, post-fall or impact phase and recovery fall phase respectively as shown in figure 2. Importantly, the critical fall or pre-impact fall phase is motion during fall-down that short period and very accelerated movement than normal lie-down. During the pre-impact fall phase, there is the free fall temporary time that constant vertical and horizontal velocity increasingly.

4) The Center of Gravity (COG) and Based Support Area (BSA): Whatever the conditions of falling are various and complicated, a significant factor is the ability to react efficiently to 'loss of balance,' i.e., balance interference [25]. The critical factor that conclusively defines whether or not a balance disturbance leads to a fall is our experience, or failure, to recover balance. For the calculation of the COG, as shown in figure 1, it relates to the model of each skeletal joint position offered by Kinect sensors. The Euclidean metric has been used for the straight-line distance calculation between difference feature skeletal joint positions.

The DK is range among left and right ankle joint position as equation number (9), and Dj_1 and Dj_2 is the range on both sides of ankles and spine joint position as defined in equation number (8). Next, the circle region in figure 1 means for the BSA, meanwhile COG is moving inside BSA people are safety, vice versa who possibly unsecured or unstable while COG is running outside the BSA. The black dot is presented as the top view of COG projectile to BSA from human spine position. However, in some instances, the COG may proceed outside the BSA such as sitting and lying-down, therefore only the COG inadequate for pre-impact fall detection.

$$DJ = \frac{1}{2}(\sqrt{(\text{Spine}_x - \text{LAnkle}_x)^2 + (\text{Spine}_z - \text{LAnkle}_z)^2} + \sqrt{(\text{Spine}_x - \text{RAnkle}_x)^2 + (\text{Spine}_z - \text{RAnkle}_z)^2}) \quad (1)$$

$$DK = \frac{1}{2}(\sqrt{(\text{LAnkle}_x - \text{RAnkle}_x)^2 + (\text{LAnkle}_z - \text{RAnkle}_z)^2}) \quad (2)$$

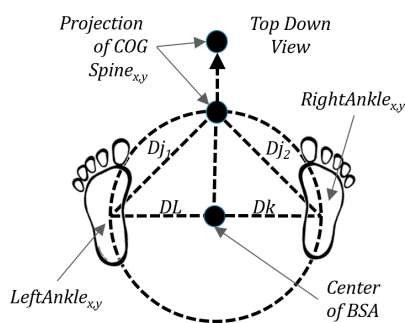


Figure 1 COG calculation

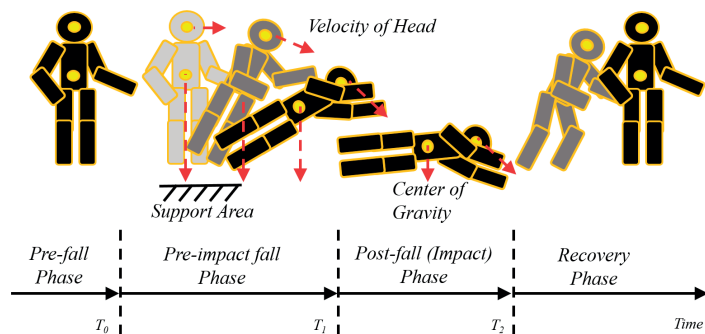


Figure 2 Four Phases of Falling Motion [24]

5) Spatiotemporal Dynamic Threshold Model: Though, a fixed threshold value cannot achieve appropriately for all activities of daily living due to the variety of their characteristics. The major problem is to reach the best estimation for each fixed threshold determination. If the fixed threshold has been set too high, it highly probable that some falling events are still undetected. Vice versa, if it is fixed too low, the detection system makes false detections as well. In this proposed method, not only using head position but also the center of gravity (COG) from various skeleton constructions provided by Kinect SDK also are used to compute without marker required. The dynamic threshold based using previous 30 frame value of the head position that provided by Kinect SDK. The simple mean value $\bar{X}$ and the standard deviation SD_n of X in the specified window are calculated as follows:

$$RTAcc, ADLAcc = \left| \sqrt{(x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2 + (z_{i-1} - z_i)^2} \right| \quad (3)$$

With Euclidean distance method [25] in (3), let the Acc being the acceleration of head position calculated by X_i , Y_i and Z_i values provided by each Kinect sensor. This equation is defined as both acceleration calculation of $ADLAcc$ movement and real-time pre-impact fall detection ($RTAcc$) also.

$$\bar{X}_{ADL} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ADLAcc_i \quad (4)$$

Then within equation number (4) let $\bar{X}_{ADL}$ being the mean value of head position velocities in each sliding window, let $ADLAcc_i$ being the acceleration of head position in ADL in the dataset and let n being the number of the frame in $ADLAcc$ dataset. The purpose of this equation is for defining the mean value of the head position in ADL for letting it be the based on dynamic threshold definition.

$$SD_{ADL} = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (ADLAcc_i - \bar{X}_{ADL})^2} \quad (5)$$

$$ADLth = \bar{X}_{ADL} + SD_{ft} \quad (6)$$

$$\bar{X}_{rt} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RTAcc_i \quad (7)$$

In equation number (5), let SD_{ADL} being the standard deviation (SD) of each ADL series from the dataset have been calculated then combining it with ADL mean value ($\bar{X}_{ADL}$) as the result of the threshold in ADL ($ADLth$) that defined in equation number (6). Within equation number (7), let $\bar{X}_{rt}$ being the mean value of head position velocities in real-time detection, and let n is the number of the previous frame in 1 second about 30 frames (33 millisecond per frame) or 30 sliding windows provided by Kinect or wearable device that calculated by equation (3) as Real Time Acceleration ($RTAcc$). The standard deviation (SD_{rt}) of each sliding window series can be calculated by equation number (8).

$$SD_{rt} = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (RTAcc_i - \bar{X}_{rt})^2} \quad (8)$$

$$DT = ((\bar{X}_{rt} + \bar{X}_{adl})/2) + SD_{rt} \quad (9)$$

In equation (9), let DT being the dynamic threshold, that calculated by combining with a mean value of ADL and real-time detection value added by the standard deviation value of real-time detection also. For head velocity detection, the head velocity of each current sliding window ($RTAcc$) has been compared by DT , if $RTAcc_i$ is higher than DT that means an injured possibility. Then, the result of velocity comparison is passed to the step of comparison between velocity and COG using DT . However, only head velocity feature inadequate to separate fall and non-fall activities cause of some activities also make velocity increasing immediately higher than the threshold such as start to running and jumping.

The result of the previous experiment [5-7] of comparison in regular activity between the dynamic threshold and velocity of daily living. The moving of dynamic threshold was increased or decreased based on the last velocity in 1 second

or 30 frames that provided by Kinect. Lead Time, Impact Time, and Pre-Impact Fall detection have also been presented also. In the fall phase, during the velocity of human body higher than the dynamic threshold that adaptive increasing based on previous normal velocity. It implied that falling accident happened. Furthermore, the time during first detected or pre-impact fall happening and peak time of human body velocity was defined as lead time. That means it valuable if lead time or fall recognized time was detected as long as possible.

6) Fuzzy Inference Based Techniques for Separation between ADLs and Fall Incidents: Since the number of fuzzy inputs and linguistic variables of any fuzzy set extensions, the amount of fuzzy rules increases exponentially. For n variables each of which can consider m values, the amount of rules is mn . The 14 rules of Sugeno fuzzy set, as Table 1 available online at <http://bit.ly/fuzzyrule-otanasap>, defining the falling posture, movement transitions, and comparison of the different combination of devices are inferred first, whereas the final decision is produced through thinking and trigger on such fuzzy sets. For the definition of each input variable for various methods, let x_i is the head velocity from Kinect number i . Then let y_i is COG of human body from Kinect number i , z is the velocity of wearable device, A_i is the dynamic threshold of velocity from Kinect number i , B_i is BSA of human body from Kinect number i , C is the dynamic threshold of velocity from wearable device, D_1 is fall is happening, and D_2 is ADL.

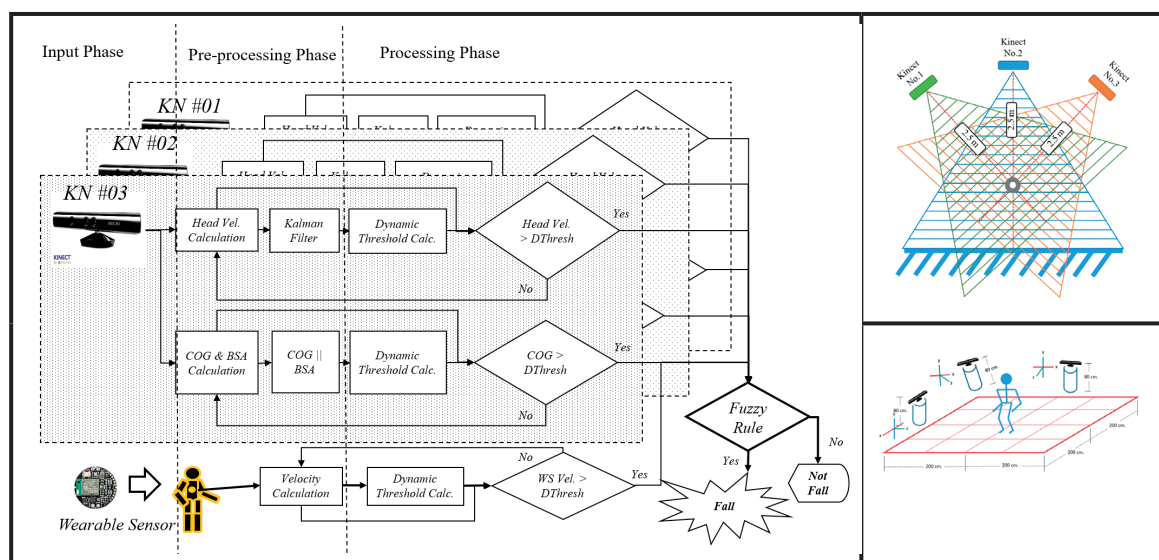


Figure 3 System Block Diagram of the proposed method, different Kinects viewpoint, set up installed on the stack

Procedure and Experimental

According to the literature review of pre-impact fall detection techniques based on computer vision based approach that has been developed and applied for obtaining data of human movements in ADL and fall accidents [1]. Therefore in this experiment, the multiple perspectives that implemented by various Kinect© sensors combined with the wearable device are proposed as shown in figure 3. The three Kinects were installed on the same height stack from the floor about 80 centimeters. The distance between them is 200 centimeters apart in 45 degrees of angle. Tracking spaces are about 400 by 800 centimeter. Each Kinect acquired 1024x1280 color images and 20 skeleton joint positions in 30 frames per second. The experimental performed by ten adolescents as volunteer age between 19 to 23 years, including 8 males and 2 females. They performed a sequence of regular ADL at a natural speed. ADL was recorded in 1100 videos. For realistic of experiments, they are performed on a 30 centimeters thick mat and 4 meters width by 8 meters long, poured soapy water on the top of the mat. As figure 4, the fall performing examples are captured for evaluation purpose that included sideward, frontward and backward falls. For realistic of the experiments, all volunteers are performed on 30 centimeters thick mat and 4 meters width by 8 meters long.

Results and Discussion

Experimental results for ADL included sitting down, standing up, object picking, walking, jogging, standing still, and jumping and simulate of falling events involved forward fall, backward fall, lateral fall left, lateral fall right. The result of experiments in various ADL activity types and the different methods of device combination present that method (n) with combined triple Kinect and wearable device, is the higher true-negative rate with correctly define as ADL in 691 times and only tiny false alarm with false positive rate in 19 times, as totally 700 times. That can be calculated specificity as 97.29 %. The second group of higher true-negative rate is the method (k), (l), and (m). They perform prediction correctly as ADL in 675 to 677 times and only little false alarm with the false positive rate in 23 to 25 times, 96.71 % to 97.43 % specificity. The third group of the true-negative rate higher than 95 percent is methods (e), (d), and (f). They operate prediction accurately as ADL in 666 to 670 times and only 30 to 34 times of false alarm, 96.71 % to 97.43 % specificity. The last group of the true-negative rate lower than 95 percent is methods (j), (g), (i), (b), (h), (a), and (c). They produce prediction precisely as ADL in 649 to 664 times and 36 to 51 times of false alarm, 92.71 % to 94.86 % specificity.



Figure 4 The fall performing examples are captured for evaluation purpose

According to the figure 5, the highest average pre-impact fall lead-time about 549.83 ± 129.46 ms detection time prior impact to the ground is the method (j) that integrated with triple Kinect viewpoint without the wearable device. The second highest average lead-time prior impact of 549.75 ± 129.79 ms is the method (h) that integrated with multiple Kinect numbers one and three without wearable device also. The third highest pre-impact fall detection lead-time with 538.92 ± 130.28 ms is the method (l) and (n) consecutively. Both of them consist of multiple and triple Kinect viewpoints combined with wearable sensor sequentially.

Refer to figure 6, the comparison for the result of accuracies, sensitivities, and specificities in various methods of both fall event and ADL have been presented. We found that the group of the technique only implemented single Kinect (a), (b), and (c) produce the lowest not only sensitivity and specificity but also accuracy and lead time. Furthermore, the group of the method that implemented only Kinect both single and multiple without the wearable device proceeds lower efficiencies and specificities than the method group of integrated both Kinect and wearable device together. However, the methods that combined both only multiple Kinect with and without the wearable device can provide higher lead time than only single Kinect with and without the wearable device. Commonly, the decision of airbag inflation is made within 15 to 30 milliseconds after the origin of the accident and fully inflated within 60-80 milliseconds approximately. According to the result of [26], the velocity and threshold-based features were used by implementing 3 markers placed on the posterior side of the trunk with 3 cameras. The average lead time before impact about 300 to 400 milliseconds approximately compare to our experimental about 538.92 milliseconds.

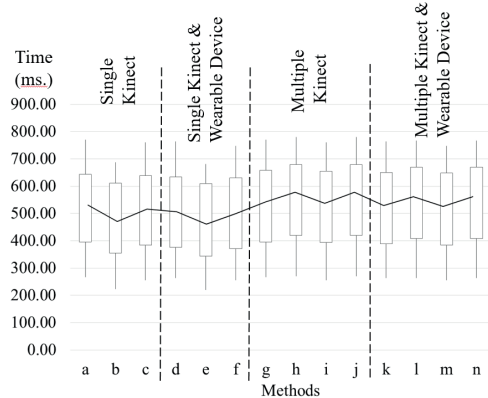


Figure 5 Pre-impact fall detection time in various methods

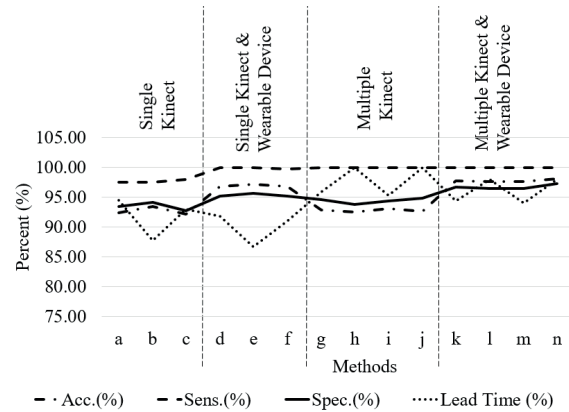


Figure 6 The comparison for accuracies, sensitivities, and specificities in various methods of fall and ADL

Conclusions

The dynamic threshold-based model that stereotypes and suitable for an individual one, are applied for real-time fall and non-fall classification for the longest lead time of pre-impact fall detection. Moreover, for selecting proper device combination techniques that differ from previous experimental [7] using only triple Kinect, various kinds of integration are evaluated that involved single, multiple, and triple Kinect combined with and without the wearable device.

The experimentation found that the highest average lead-time of pre-impact fall detection is 549.83 ± 129.46 ms prior impact. The next highest is 538.92 ± 130.28 ms that the method consists of multiple Kinect combined with wearable sensor sequentially. It shows that only using multiple Kinect without wearable device can produce longer lead time. Though, the method that combines multiple Kinect sensors with the wearable device can produce later lead time than the first one only in 10 ms approximately. However, the integration method that combined multiple Kinect with the wearable device can reduce camera overlapping and obscurity in vision-based with the highest accuracy about 98.09 percent. Vice versa, the method using only multiple Kinect without the wearable device provide lower accuracy than 93.00 percent. It does not affect the operation of peripherals such as airbag that require inflation time only 30 ms. Although with the integration method, it can reduce camera overlap and obscurity in vision-based.

References

- [1] Bagala, F., Becker, C., Cappello, A., Chiari, L., Aminian, K., Hausdorff, J. M., Zijlstra, W., & Klenk, J. (2012). Evaluation of Accelerometer-based Fall Detection Algorithms on Real-world Falls. *PloS One*, 7(5), e37062.
- [2] Rougier, C., Meunier, J., St-Arnaud, A., & Rousseau, J. (2011). Robust Video Surveillance for Fall Detection Based on Human Shape Deformation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 21(5), 611-622.
- [3] Liu, J., & Lockhart, T. E. (2009). Age-related Joint Moment Characteristics during Normal Gait and Successful Reactive-recovery from Unexpected Slip Perturbations. *Gait & Posture*, 30(3), 276-281.
- [4] Abbate, S., Avvenuti, M., Bonatesta, F., Cola, G., Corsini, P., & Vecchio, A. (2012). A Smartphone-based Fall Detection System. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(6), 883-899.
- [5] Otanasap, N. & Boonbrahm, P. (2015). Multiple Kinect for 3D Human Skeleton Posture using Axis Replacement Method. In *The 14th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2015)*. September 29 – October 3, 2015, Fukuota: Japan.
- [6] Otanasap, N., & Boonbrahm, P. (2017). Pre-impact Fall Detection System using Dynamic Threshold and 3D Bounding Box. In *The 8th International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2016)* 10225, 102250D. October 29 -31, 2016, Tokyo: Japan.
- [7] Otanasap, N., & Boonbrahm, P. (2017). Pre-impact Fall Detection Approach using Dynamic Threshold Based and Center of Gravity in Multiple Kinect Viewpoints. In *The 2017 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*. 1-6. July 12-14, 2017, Nakhon Si Thammarat: IEEE.
- [8] Rougier, C., Meunier, J., St-Arnaud, A., & Rousseau, J. (2006). Monocular 3D Head Tracking to Detect Falls of Elderly People. In *The 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 6384-6387. August 30 – September 3, 2006, New York : IEEE.
- [9] Stone, E. E., & Skubic, M. (2015). Fall Detection in Homes of Older Adults using the Microsoft Kinect. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(1), 290-301.
- [10] InvenSense (2014). *Introduces the World's First Motion Apps Platform™ for Embedded System Developers* (Online). Retrieved 5 March 2018, from <http://ir.invensense.com/phoenix.zhtml?c=237953&p=irol-newsArticle&ID=1587324>.
- [11] Mastorakis, G., & Makris, D. (2014). Fall Detection System using Kinect's Infrared Sensor. *Journal of Real-Time Image Processing*, 9(4), 635-646.
- [12] Wu, G. (2000). Distinguishing Fall Activities from Normal Activities by Velocity Characteristics. *Journal of Biomechanics*, 33(11), 1497-1500.
- [13] Kim, E., Helal, S., & Cook, D. (2010). Human Activity Recognition and Pattern Discovery. *IEEE Pervasive Computing/ IEEE Computer Society [and] IEEE Communications Society*, 9(1), 48.
- [14] Luinge, H. J., & Veltink, P. H. (2005). Measuring Orientation of Human Body Segments using Miniature Gyroscopes and Accelerometers. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 43(2), 273-282.
- [15] Bourke, A. K., O'Donovan, K. J., Nelson, J., & O'Laighin, G. M. (2008). Fall-detection through Vertical Velocity Thresholding using a Tri-axial Accelerometer Characterized using an Optical Motion-capture System. In *The 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2832-2835. August 20-25, 2008, Vancouver, BC, Canada: IEEE.
- [16] Kwolek, B., & Kepski, M. (2016). Fuzzy Inference-based Fall Detection using Kinect and Body-worn Accelerometer. *Applied Soft Computing*, 40, 305-318.
- [17] Zadeh, L. A. (1976). A Fuzzy-algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts. In *Systems Theory in the Social Sciences*. 202-282. Basel, Switzerland: Birkhäuser, Basel.
- [18] Sugeno, M. (1985). *Industrial Applications of Fuzzy Control*. Amsterdam : Elsevier Science Ltd.

- [19] Otanasap, N. & Boonbrahm, P. (2015, July). Real Time Action Detection from 3D Skeleton Data Using Multiple Kinects. In *Proceeding of the 7th Walailak Research National Conference*. 188. July 2, 2018. Nakhon Si Thammarat : Walailuk University.
- [20] Shotton, J., Fitzgibbon, A., Cook, M., Sharp, T., Finocchio, M., Moore, R., & Blake, A. (2011). Real-time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images. In *The Proceedings of the 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 1297-1304. June 20 – 25, 2011, Washington, DC, USA : IEEE.
- [21] Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., & Rodgers, M. (2012). A Review of Wearable Sensors and Systems with Application in Rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 9(1), 21.
- [22] Sabatini, A. M., Ligorio, G., Mannini, A., Genovese, V., & Pinna, L. (2016). Prior-to-and Post-impact Fall Detection using Inertial and Barometric Altimeter Measurements. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 24(7), 774-783.
- [23] Djurić-Jovičić, M. D., Jovičić, N. S., & Popović, D. B. (2011). Kinematics of Gait: New Method for Angle Estimation Based on Accelerometers. *Sensors*, 11(11), 10571-10585.
- [24] Noury, N., Rumeau, P., Bourke, A. K., ÓLaighin, G., & Lundy, J. E. (2008). A Proposal for the Classification and Evaluation of Fall Detectors. *Irbm*, 29(6), 340-349.
- [25] Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (2003). *Effects of Aging on Control of Stability*. A Textbook of Audiological Medicine: Clinical Aspects of Hearing and Balance, London: Martin Dunitz Publishers.
- [26] Otanasap, N. & Boonbrahm, P. (2014). Falling Pattern Analysis Based on 3D Euclidean Distance of Human Skeleton Joints. In *Proceedings of The International Conference of Information and Communication Technology for Embedded Systems (IC-ICTES 2014)*. (N/A). January 23-25, 2014, Ayutthaya : Thammasat and Kasetsart University.
- [27] Hirata, Y., Komatsuda, S., & Kosuge, K. (2008). Fall Prevention Control of Passive Intelligent Walker Based on Human Model. In *The 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 1222-1228. September 22-26, 2008, Acropolis Convention Center. Nice, France: IEEE.

คาบของฟังก์ชันฟีโบนัชชีมอดุโล m

Periods of Fibonacci Functions Modulo m

นักกร ทองงาม¹ และรณสรพ์ ชินรัมย์^{2,*}

Nattaporn Thongngam¹ and Ronnason Chinram^{2,*}

บทคัดย่อ

ฟังก์ชันฟีโบนัชชี คือ ฟังก์ชัน $f: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}$ โดยที่ $f(x+2) = f(x+1) + f(x)$ สำหรับทุก $x \in \mathbb{Z}$ ฟังก์ชันฟีโบนัชชีเป็นนิยามทั่วไปของลำดับฟีโบนัชชีและลำดับลูคัส วัตถุประสงค์ของบทความวิจัยนี้คือศึกษาคาบของฟังก์ชันฟีโบนัชชีมอดุโล m และเชื่อมโยงสู่คาบของลำดับฟีโบนัชชีและลำดับลูคัสมอดุโล m

คำสำคัญ: คาบ คาบปฐมฐาน ฟังก์ชันฟีโบนัชชี

Abstract

A Fibonacci function is a function $f: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}$ such that $f(x+2) = f(x+1) + f(x)$ for all $x \in \mathbb{Z}$. A Fibonacci function is a generalization of the Fibonacci sequence and Lucas sequence. The purpose of this research is to study periods of Fibonacci functions modulo m and connect to the period of the Fibonacci sequence and Lucas sequence modulo m

Keywords: Period, Primitive Period, Fibonacci Function

บทนำ

จำนวนฟีโบนัชชี (Fibonacci Number) เป็นจำนวนเต็มที่มีชื่อเสียงมากที่สุดแบบหนึ่งในประวัติศาสตร์ ชื่อของจำนวนฟีโบนัชชีตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกียรติให้กับนักคณิตศาสตร์ชาวอิตาลีชื่อ เลโอนาร์โดแห่งปิซา (Leonardo de Pisa) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนามฟีโบนัชชี (Fibonacci) ผู้ที่ได้กล่าวถึงจำนวนดังกล่าวในหนังสือ liner Abaci ที่เขาแต่งขึ้นในปี ค.ศ. 1202 ความสัมพันธ์ของจำนวนฟีโบนัชชีเป็นลำดับของจำนวนซึ่งจำนวนถัดไปเกิดจากผลบวกของสองจำนวนก่อนหน้า โดยสองจำนวนแรกคือ 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนในรูปของความสัมพันธ์เวียนเกิดโดยที่

$$F_0 = 0, F_1 = 1 \text{ และ } F_n = F_{n-1} + F_{n-2} \text{ สำหรับทุก } n > 1$$

จากความสัมพันธ์ข้างต้น จะได้ลำดับของจำนวนฟีโบนัชชีคือ

$$0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, \dots$$

จำนวนฟีโบนัชชีมีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวางสามารถดูรายละเอียดได้ในหนังสือ Koshy [1] ยิ่งไปกว่านั้นตัวอย่างบทความที่เกี่ยวกับจำนวนฟีโบนัชชี เช่น ปี พ.ศ. 2552 กัญญาณาด จิสวัสดิ์ และสมใจ จิตพิทักษ์ [2] ได้ศึกษาสมบัติการหารลงตัวบางประการของจำนวนฟีโบนัชชีและในปี พ.ศ. 2560 เก่ง วิบูลย์ธัญญ์ [3] ได้นำเสนอวิธีการต่างๆ ในการหาสูตรของลำดับฟีโบนัชชี ในทำนองเดียวกันกับจำนวนฟีโบนัชชี จำนวนลูคัสเป็นจำนวนที่อยู่ในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิด โดยที่

$$L_0 = 2, L_1 = 1 \text{ และ } L_n = L_{n-1} + L_{n-2} \text{ สำหรับทุก } n > 1$$

¹ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90110

² รศ.ดร. ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90110

¹ Undergraduate Student, Mathematics major, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai campus, Songkhla 90100

² Assoc. Prof. Dr., Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai campus, Songkhla, 90100

* Corresponding author: Email address: ronnason.c@psu.ac.th Tel. 074-288660

(Received: February 18, 2019; Revised: June 20, 2019; Accepted: July 24, 2019)

จำนวนลูคัสตั้งชื่อตามนักคณิตศาสตร์ เอ็ดวาร์ด ลูคัส (Édouard Lucas) จากความสัมพันธ์ข้างต้น จะได้ลำดับของจำนวนลูคัส คือ
 $2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, 47, 76, 123, 199, 322, 521, \dots$

ตัวอย่างความสัมพันธ์ของจำนวนฟีโบนัชชีและจำนวนลูคัส สามารถดูได้ใน [1], [4] และ [5]

ในปี ค.ศ. 1967 Elmore [6] ได้ใช้ความสัมพันธ์ของจำนวนฟีโบนัชชีนี้มาสร้างเป็นฟังก์ชันฟีโบนัชชีซึ่งนิยามโดย $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ โดยที่ $f(x+2) = f(x+1) + f(x)$ สำหรับทุก $x \in \mathbb{R}$ ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันฟีโบนัชชีสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน [7] และ [8]

ในปี ค.ศ. 2018 Jameson [9] ได้นำเสนอบทความวิจัยเกี่ยวกับคาบของจำนวนฟีโบนัชชีมอดุโล m และได้ให้สมบัติที่สำคัญเกี่ยวกับคาบของจำนวนฟีโบนัชชี ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการขยายงานวิจัยดังกล่าวไปในกรณีของฟังก์ชันฟีโบนัชชี

วัตถุประสงค์

ขยายการศึกษาคาบของจำนวนฟีโบนัชชีมอดุโล m ไปสู่ในกรณีฟังก์ชันฟีโบนัชชี

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

1. ฟังก์ชันฟีโบนัชชี

สำหรับในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาฟังก์ชันฟีโบนัชชี โดย $f: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}$ โดยที่ $f(x+2) = f(x+1) + f(x)$ สำหรับทุก $x \in \mathbb{Z}$ และ m เป็นจำนวนเต็มบวกที่มากกว่า 1

หมายเหตุ ในการนิยามฟังก์ชันฟีโบนัชชี สามารถนิยามเพียงค่า $f(0)$ และ $f(1)$ สำหรับค่าของ $f(a)$ เมื่อ a เป็นค่าอื่นๆ สามารถใช้สมบัติของฟังก์ชันฟีโบนัชชีหาค่าออกมาได้

2. หลักการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

2.1 หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์และหลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้ม

หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์

ให้ $P(n)$ แทนข้อความทางคณิตศาสตร์ โดยที่ n เป็นจำนวนเต็มบวก ถ้า

1) $P(1)$ เป็นจริง

2) สำหรับจำนวนเต็มบวก k ใดๆ ถ้า $P(k)$ เป็นจริง แล้ว $P(k+1)$ เป็นจริง
แล้วจะได้ว่า $P(n)$ เป็นจริง สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก n

หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้ม

ให้ $P(n)$ แทนข้อความทางคณิตศาสตร์ โดยที่ n เป็นจำนวนเต็มบวก ถ้า

1) $P(1)$ เป็นจริง และ

2) สำหรับจำนวนเต็มบวก k ใดๆ ถ้า $P(m)$ เป็นจริงสำหรับทุกจำนวนเต็มบวก $m \leq k$ แล้ว $P(k+1)$ เป็นจริง
แล้วจะได้ว่า $P(n)$ เป็นจริง สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก n

2.2 หลักการข่องนกพิราบ (The Pigeonhole Principle)

ให้ k เป็นจำนวนเต็มบวก ถ้ามีนกพิราบ $k+1$ ตัว บินเข้ารัง k รัง แล้วจะมีรังอย่างน้อย 1 รัง ที่มีนกพิราบอย่างน้อย 2 ตัว

2.3 ขั้นตอนวิธีการหาร

ถ้า a และ b เป็นจำนวนเต็มซึ่ง $a \nmid b$ จะมีจำนวนเต็ม q และ r เพียงชุดเดียวที่ทำให้ $b = aq + r$ โดยที่ $0 \leq r < |a|$

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ศึกษาสมบัติของฟังก์ชันฟีโบนัชชี และนิยามคาบของฟังก์ชันฟีโบนัชชี พร้อมทั้งให้สมบัติที่สำคัญของคาบของฟังก์ชันฟีโบนัชชี พร้อมทั้งพิสูจน์สมบัติทั้งหมดตามหลักการทางคณิตศาสตร์ และสร้างตัวอย่างเชื่อมโยงกับลำดับฟีโบนัชชี

ผลการวิจัย

ทฤษฎีบท 1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ $f(-n)$ และ $f(n)$

ทฤษฎีบท 1 ให้ f เป็นฟังก์ชันฟีโบนัชชี และ n เป็นจำนวนเต็มบวก ได้ว่า

1) ถ้า $f(0) = 0$ แล้ว $f(-n) = (-1)^{n+1}f(n)$

2) ถ้า $f(0) = 2f(1)$ แล้ว $f(-n) = (-1)^nf(n)$

บทพิสูจน์ การพิสูจน์ทฤษฎีบทนี้ใช้หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้มในการพิสูจน์

1) ให้ $P(n)$ แทนข้อความ $f(-n) = (-1)^{n+1}f(n)$

พิจารณา $n = 1$ ได้ว่า $f(-1) = f(1) - f(0) = f(1) = (-1)^{1+1}f(1)$

ทำให้ได้ว่า $P(1)$ เป็นจริง

ให้ k เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ และสมมติว่า $P(m)$ เป็นจริงสำหรับทุกจำนวนเต็มบวก $m \leq k$

ดังนั้น $f(-k) = (-1)^{k+1}f(k)$ และ $f(-k+1) = f(-(k-1)) = (-1)^{(k-1)+1}f(k-1)$

จาก $f(-(k+1)) = f(-k-1) = f(-k+1) - f(-k)$

ทำให้ได้ว่า $f(-(k+1)) = (-1)^{(k-1)+1}f(k-1) - (-1)^{k+1}f(k)$

ซึ่งได้ว่า $f(-(k+1)) = (-1)^{(k+1)+1}f(k-1) + (-1)^{(k+1)+1}f(k) = (-1)^{(k+1)+1}f(k+1)$

ทำให้ได้ว่า $P(k+1)$ เป็นจริง

ดังนั้น โดยหลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้ม จึงสามารถสรุปได้ว่า $f(-n) = (-1)^{n+1}f(n)$ สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก n

2) ให้ $P(n)$ แทนข้อความ $f(-n) = (-1)^nf(n)$

พิจารณาเมื่อ $n = 1$ จะได้ว่า $f(-1) = f(1) - f(0) = f(1) - 2f(1) = (-1)f(1) = (-1)^1f(1)$

ทำให้ได้ว่า $P(1)$ เป็นจริง

ให้ k เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ และสมมติว่า $P(m)$ เป็นจริงสำหรับทุกจำนวนเต็มบวก $m \leq k$

จึงได้ว่า $f(-k) = (-1)^kf(k)$ และ $f(-k+1) = f(-(k-1)) = (-1)^{k+1}f(k-1)$

และจาก $f(-(k+1)) = f(-k-1) = f(-k+1) - f(-k)$

ทำให้ได้ว่า $f(-(k+1)) = (-1)^{k+1}f(k-1) - (-1)^kf(k)$

และ $f(-(k+1)) = (-1)^{k+1}f(k-1) + (-1)^{k+1}f(k) = (-1)^{k+1}f(k+1)$

ทำให้ได้ว่า $P(k+1)$ เป็นจริง

ดังนั้น โดยอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้ม จึงทำให้สรุปได้ว่า $f(-n) = (-1)^nf(n)$ สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก n

บทแทรกต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นพจน์ของลำดับฟีโบนัชชีและลำดับลูคัสเมื่อขยายลำดับโดยใช้โดเมนเป็นเซตของจำนวนเต็มโดยใช้ทฤษฎีบท 1 ในการช่วยพิสูจน์

บทแทรก 1 ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก ได้ว่า

1) $F_{-n} = (-1)^{n+1}F_n$

2) $L_{-n} = (-1)^nL_n$

บทพิสูจน์ 1) สังเกตว่าลำดับฟีโบนัชชีจะสอดคล้องกับเงื่อนไข 1) ในทฤษฎีบท 1 จึงได้ว่า $F_{-n} = (-1)^{n+1}F_n$

2) สังเกตว่าลำดับลูคัสจะสอดคล้องกับเงื่อนไข 2) ในทฤษฎีบท 1 จึงได้ว่า $L_{-n} = (-1)^nL_n$

ตัวอย่าง 1 ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ

เมื่อพิจารณา ลำดับฟีโบนัชชี (นั่นคือ $F_0 = 0$ และ $F_1 = 1$) จะพบว่า

n	1	2	3	4	5	6	7	8
F_n	1	1	2	3	5	8	13	21
$F_{-n} = (-1)^{n+1}F_n$	1	-1	2	-3	5	-8	13	-21

นั่นคือ ลำดับฟีโบนัชชี เมื่อพิจารณาบนเซตของจำนวนเต็ม คือ

$$\dots, -21, 13, -8, 5, -3, 2, -1, 1, 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, \dots$$

พิจารณา ลำดับลูคัส (นั่นคือ $L_0 = 2$ และ $L_1 = 1$) จะได้ว่า

n	1	2	3	4	5	6	7	8
L_n	1	3	4	7	11	18	29	47
$L_{-n} = (-1)^n L_n$	-1	3	-4	7	-11	18	-29	47

ดังนั้น ลำดับของจำนวนลูคัส เมื่อพิจารณานบนเซตของจำนวนเต็ม คือ

$$\dots, 47, -29, 18, -11, 7, -4, 3, -1, 2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, 47, \dots$$

ทฤษฎีบท 2 ให้ f เป็นฟังก์ชันฟีโบนัชชีและให้ m เป็นจำนวนเต็มบวกที่มากกว่า 1 แล้วจะมี จำนวนเต็มบวก k ซึ่ง $1 \leq k \leq m^2$ ที่ทำให้ $f(n+k) \equiv f(n) \pmod{m}$ สำหรับทุกจำนวนเต็ม n

บทพิสูจน์ พิจารณาคู่ลำดับ $(f(j), f(j+1))$ มอดุโล m พบว่าโอกาสในการเกิดทั้งหมด m^2 ชุด ดังนี้

$(0,0),$	$(1,0),$	$(2,0),$	$(3,0),$	...	$(m-1,0)$
$(0,1),$	$(1,1),$	$(2,1),$	$(3,1),$	...	$(m-1,1)$
$(0,2),$	$(1,2),$	$(2,2),$	$(3,2),$	...	$(m-1,2)$
$\vdots$					
$(0,m-1),$	$(1,m-1),$	$(2,m-1),$	$(3,m-1),$	...	$(m-1,m-1)$

เมื่อพิจารณาจำนวนเต็ม $1 \leq k \leq m^2$ พบว่ามีค่าทั้งหมด m^2+1 ค่า

ดังนั้น จากหลักการของนกพิราบ จะต้องมีความจำนวนเต็ม i และ j ซึ่ง $0 \leq i < j \leq m^2$ ที่ทำให้ $(f(i), f(i+1)) \equiv (f(j), f(j+1)) \pmod{m}$

นั่นคือ $f(i) \equiv f(j) \pmod{m}$ และ $f(i+1) \equiv f(j+1) \pmod{m}$

ให้ $k = j - i$ จะพิสูจน์ว่า $f(n+k) \equiv f(n) \pmod{m}$ สำหรับทุกจำนวนเต็ม n

สังเกตว่า $f(i) \equiv f(j) \pmod{m}$

$$\equiv f(k+i) \pmod{m}$$

และ $f(i+1) \equiv f(j+1) \pmod{m}$

$$\equiv f(k+i+1) \pmod{m}$$

ต่อไปจะพิสูจน์กรณีอื่นๆ โดยใช้หลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์แบบเข้ม แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ให้ n เป็นจำนวนเต็มซึ่ง $n \geq i$

สมมติว่า $f(n) \equiv f(n+k) \pmod{m}$ และ $f(n+1) \equiv f(n+1+k) \pmod{m}$

จะได้ว่า $f(n+2) \equiv f(n+1) + f(n) \pmod{m}$

$$\equiv f(n+1+k) + f(n+k) \pmod{m}$$

$$\equiv f(n+2+k) \pmod{m}$$

จากการพิสูจน์ในกรณีนี้ทำให้ได้ว่า $f(n+k) \equiv f(n) \pmod{m}$ สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก $n > i+1$

กรณีที่ 2 ให้ n เป็นจำนวนเต็มซึ่ง $n \leq i$

สมมติว่า $f(n) \equiv f(n+k) \pmod{m}$ และ $f(n+1) \equiv f(n+1+k) \pmod{m}$

ได้ว่า $f(n-1) \equiv f(n+1) - f(n) \pmod{m}$

$$\equiv f(n+1+k) - f(n+k) \pmod{m}$$

$$\equiv f(n-1+k) \pmod{m}$$

จากการพิสูจน์ในกรณีนี้ทำให้สรุปได้ว่า $f(n+k) \equiv f(n) \pmod{m}$ สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก $n < i$

จะนิยามค่า k ที่สอดคล้องตามทฤษฎีบท 2 ว่า คาบของ f มอดุโล m ดังบทนิยามต่อไปนี้

บทนิยาม 1 ให้ f เป็นฟังก์ชันฟีโบนัชชีและ m เป็นจำนวนเต็มบวกที่มากกว่า 1 จะเรียกจำนวนเต็มบวก k ที่สอดคล้อง $f(n+k) \equiv f(n) \pmod{m}$ สำหรับทุกจำนวนเต็ม n ว่า คาบ (Period) ของ f มอดุโล m และเรียกจำนวนเต็มบวก k ที่น้อยที่สุดสอดคล้อง $f(n+k) \equiv f(n) \pmod{m}$ สำหรับทุกจำนวนเต็ม n ว่า คาบปฐมฐาน (Primitive Period) ของ f มอดุโล m และเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $k(m)$

ตัวอย่าง 2 ให้ f เป็นฟังก์ชันฟีโบนัชชีโดยที่ $f(0) = 4$ และ $f(1) = 2$

พิจารณา $m = 3$ จะได้

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f(n) \pmod{3}$	2	0	2	2	1	0	1	1	2	0

นั่นคือ $k(3) = 8$

พิจารณา $m = 5$ จะได้

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$f(n) \pmod{5}$	2	1	3	4	2	1	3	4

นั่นคือ $k(5) = 4$

บทแทรกต่อไปนี้จะแสดงถึงขอบเขตของคาบปฐมฐาน

บทแทรก 2 ให้ $k(m)$ เป็นคาบปฐมฐานของ f แล้ว $1 \leq k(m) \leq m^2$

บทพิสูจน์ ได้โดยตรงจากทฤษฎีบท 2

ทฤษฎีบทต่อไปแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของคาบและคาบปฐมฐาน

ทฤษฎีบท 3 ให้ k เป็นจำนวนเต็มบวก ได้ว่า k เป็นคาบของ f มอดุโล m ก็ต่อเมื่อ $k(m) \mid k$

บทพิสูจน์ ให้ k เป็นคาบ ดังนั้น $k \geq k(m)$ จากขั้นตอนวิธีการหาร จะมี q และ r เป็นจำนวนเต็มที่ทำให้ $k = qk(m) + r$ โดยที่ $0 \leq r < k(m)$ เนื่องจาก $k(m)$ และ k เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น q เป็นจำนวนเต็มบวก ให้ n เป็นจำนวนเต็มใดๆ ได้ว่า

$$\begin{aligned} f(n) &\equiv f(n+k) \pmod{m} \\ &\equiv f(n+r+qk(m)) \pmod{m} \\ &\equiv f(n+r+(q-1)k(m)+k(m)) \pmod{m} \\ &\equiv f(n+r+(q-1)k(m)) \pmod{m} \text{ เนื่องจาก } k(m) \text{ เป็นคาบ} \\ &\vdots \\ &\equiv f(n+r+k(m)) \pmod{m} \\ &\equiv f(n+r) \pmod{m} \end{aligned}$$

ดังนั้น $f(n) \equiv f(n+r) \pmod{m}$ สำหรับทุกจำนวนเต็ม n ถ้า $r > 0$ จะทำให้ r เป็นคาบของ f มอดุโล n ซึ่ง $r < k(m)$ ทำให้เกิดข้อขัดแย้ง จะทำให้ได้ $r = 0$ เพราะฉะนั้น $k = qk(m)$ นั่นคือ $k(m) \mid m$

ในทางกลับกัน สมมติให้ $k(m) \mid m$ ได้ว่า $k = qk(m)$ สำหรับบางจำนวนเต็มบวก q

ให้ n เป็นจำนวนเต็มใดๆ ได้ว่า

$$\begin{aligned} f(n) &\equiv f(n+k(m)) \pmod{m} \\ &\equiv f(n+2k(m)) \pmod{m} \\ &\vdots \\ &\equiv f(n+qk(m)) \pmod{m} \\ &\equiv f(n+k) \pmod{m} \end{aligned}$$

ดังนั้น k เป็นคาบของ f มอดุโล m ตามต้องการ

ทฤษฎีบทต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ $k(mn)$ กับ $k(m)$ และ $k(n)$ เมื่อ $(m,n) = 1$

ทฤษฎีบท 4 ให้ m และ n เป็นจำนวนเต็มบวกที่มากกว่า 1 ถ้า $(m,n) = 1$ แล้ว $k(mn) = [k(m), k(n)]$

บทพิสูจน์ เนื่องจาก $k(mn)$ เป็นคาบของ f มอดุโล mn จึงได้ว่า $f(N+k(mn)) \equiv f(N) \pmod{mn}$ สำหรับทุกจำนวนเต็ม N จึงได้ว่า

$$f(N+k(mn)) \equiv f(N) \pmod{m} \quad (1)$$

$$f(N+k(mn)) \equiv f(N) \pmod{n} \quad (2)$$

สำหรับทุกจำนวนเต็ม N

โดย (1) และ (2) จะได้ว่า $k(mn)$ เป็นคาบของ f มอดุโล m และเป็นคาบของ f มอดุโล n ตามลำดับ และจากทฤษฎีบท 3 ทราบว่า $k(m) \mid k(mn)$ และ $k(n) \mid k(mn)$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า $[k(m), k(n)] \mid k(mn)$

ในทางกลับกัน เนื่องจาก $k(m) \mid [k(m), k(n)]$ และ $k(n) \mid [k(m), k(n)]$ ดังนั้น จากทฤษฎีบท 3 ได้ว่า $[k(m), k(n)]$

เป็นคาบของ f มอดุโล m และคาบของ f มอดุโล n นั่นคือ

$$f(N+[k(m),k(n)]) \equiv f(N) \pmod{m} \text{ และ } f(N+[k(m),k(n)]) \equiv f(N) \pmod{n}$$

สำหรับทุกจำนวนเต็ม N

เนื่องจาก $(m, n) = 1$ ทำให้ได้ว่า $f(N+[k(m),k(n)]) \equiv f(N) \pmod{mn}$ สำหรับทุกจำนวนเต็ม N ได้ว่า $[k(m), k(n)]$ เป็นคาบของ f มอดุโล mn ดังนั้น โดยทฤษฎีบท 3 ทำให้ได้ว่า $k(mn) \mid [k(m), k(n)]$

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ถ้า $(m, n) = 1$ แล้ว $k(mn) = [k(m), k(n)]$

ตัวอย่าง 3 ให้ f เป็นฟังก์ชันฟีโบนัชชีโดยที่ $f(0)=4$ และ $f(1)=2$ จะหา $k(15)$ โดยใช้ทฤษฎีบท 4 ให้ $m=3$ และ $n=5$ นั่นคือ $mn=15$ เนื่องจาก $(3,5)=1$ จากทฤษฎีบท 4 ทำให้ได้ว่า $k(15) = [k(3), k(5)]$ และจากตัวอย่าง 2 ได้ว่า $k(15) = [k(3), k(5)] = [8, 4] = 8$

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ฟังก์ชันฟีโบนัชชีเป็นนัยทั่วไปของลำดับฟีโบนัชชีและลำดับลูคัส ในการวิจัยนี้ ได้ศึกษาคาบของฟังก์ชันฟีโบนัชชีมอดุโล m ซึ่งเป็นการขยายการศึกษาคาบของลำดับของจำนวนฟีโบนัชชีมอดุโล m และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาคาบของลำดับลูคัสมอดุโล m และลำดับอื่นที่เกิดจากกรณีเฉพาะของฟังก์ชันฟีโบนัชชี

นอกจากนี้ ผู้สนใจยังสามารถต่อยอดจากบทความนี้ได้โดยใช้ความรู้เรื่องฟังก์ชันฟีโบนัชชีขยายการศึกษาคาบของจำนวนฟีโบนัชชีอื่นๆ ได้ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านของบทความนี้ที่ได้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นบทความนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการ พสวท. ที่ได้สนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยในภาคฤดูร้อนและขอขอบคุณหน่วยวิจัยพืชคณิตและการประยุกต์ ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้สนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Koshy, T. (2001). *Fibonacci and Lucas Number with Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Jisawat, K., & Jitpitak, S. (2552). Some Divisibility Properties of Fibonacci Numbers. *Thaksin University Journal*, 12(2), 50-58.
- [3] Wiboonton, K. (2560). The Fibonacci Sequence in Mathematics Courses. *Math Journal*, 62(691), 1-11.
- [4] Carlitz, L., & Ferns, H. H. (1970). Some Fibonacci and Lucas Identities. *Fibonacci Quarterly*, 8, 61-73.
- [5] Luca, F. (2003). Fibonacci and Lucas Numbers with only One Distinct Digit. *Portugaliae Mathematica*, 57(2), 243-254.
- [6] Elmore, M. (1967). Fibonacci Functions. *Fibonacci Quarterly*, 5, 371-382.
- [7] Bunder, M. W. (1978). More Fibonacci Functions. *Fibonacci Quarterly*, 16, 97-98.
- [8] Spickerman, W. R. (1970). A Note on Fibonacci Functions. *Fibonacci Quarterly*, 8, 397-401.
- [9] Jameson, G. J. O. (2018). Fibonacci Periods and Multiples. *Mathematical Gazette*, 102(553), 63-76.

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงาน ของระบบสมาร์ตกริด

Analysis and Development of Energy Efficiency of Smart Grid System

การุณย์ ชัยวนิชย์¹ สุรัตน์ เศษโพธิ์^{1*} และนเรศ ไหญวงค์²
Karun Chaivanich¹, Surat Sedpho^{1*} and Naret Yaiwong²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางพลังงานของระบบสมาร์ตกริดในมหาวิทยาลัยพะเยา ที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 500 kW และเพื่อเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่กระบวนการผลิต การขนส่ง การติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษาและการกำจัดซาก จากผลการวิเคราะห์พบว่า การผลิตไฟฟ้าที่ 1 kWh ใช้พลังงานสะสม 3.6 MJ ระบบสมาร์ตกริดใช้พลังงานสะสม 2.252 MJ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพลังงานสะสมมากที่สุด คือ 2.234 MJ ซึ่งเท่ากับ 99.22 % ทำให้มีค่าพลังงานสุทธิเท่ากับ 1.347 ซึ่งหมายถึงระบบสมาร์ตกริดมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับที่ควรปรับปรุง ดังนั้นการบำรุงรักษาระบบเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานจาก 20 ปี เป็น 25 ปี จะทำให้พลังงานสะสมของระบบลดลง 14.17 % และสำหรับแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่จะมีการติดตั้งเพิ่มในอนาคตนั้น การเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้พลังงานต่ำในกระบวนการผลิต นอกจากจะสามารถลดพลังงานสะสมในระบบได้แล้วยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้อีกทางหนึ่งเช่นกัน

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ สมาร์ตกริด การประเมินวัฏจักรชีวิต พลังงานสะสม ประสิทธิภาพพลังงาน

Abstract

This research aims to analyze the energy efficiency of smart grid systems in University of Phayao with installed 500 kW solar panels, and to propose ways to increase the energy efficiency of the system according to Life Cycle Assessment framework from manufacturing, transportation, installation, operation, maintenance, and end of life. The results showed that the generated power from grid at 1 kWh uses accumulated energy of 3.61 MJ, while smart grid systems use accumulated energy of 2.252 MJ. The solar panels have the most accumulated energy of 2.234 MJ, which is equal to 99.22 % and making a total energy absorbed equal to 1.347. That means the energy efficiency of smart grid system have good energy efficiency. Therefore, the maintenance of the system to increase the service life from 20 years to 25 years will reduce the accumulated energy of the system by 14.17 %. The guideline to increase the efficiency of the system that will be installed in the future recommends a solar panel with low energy consumption in the manufacturing process, and in addition to being able to reduce the accumulated energy in the system also help increase the system performance in the other one as well.

Keywords: Solar Cell, Smart Grid, Life Cycle Assessment, Cumulative Energy Demand, Energy Efficiency

¹ นักศึกษาปริญญาเอก คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 56000

¹ อ.ดร., สาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 56000

² อ., โปรแกรมวิศวกรรมพลังงานและเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 57100

¹ Doctoral student, Faculty of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000

¹ Lecturer, Dr., Department of Renewable Energy, Faculty of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, 56000

² Lecturer, Energy Engineering and Electrical Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100

* Corresponding author. E-mail address: edpho@gmail.com

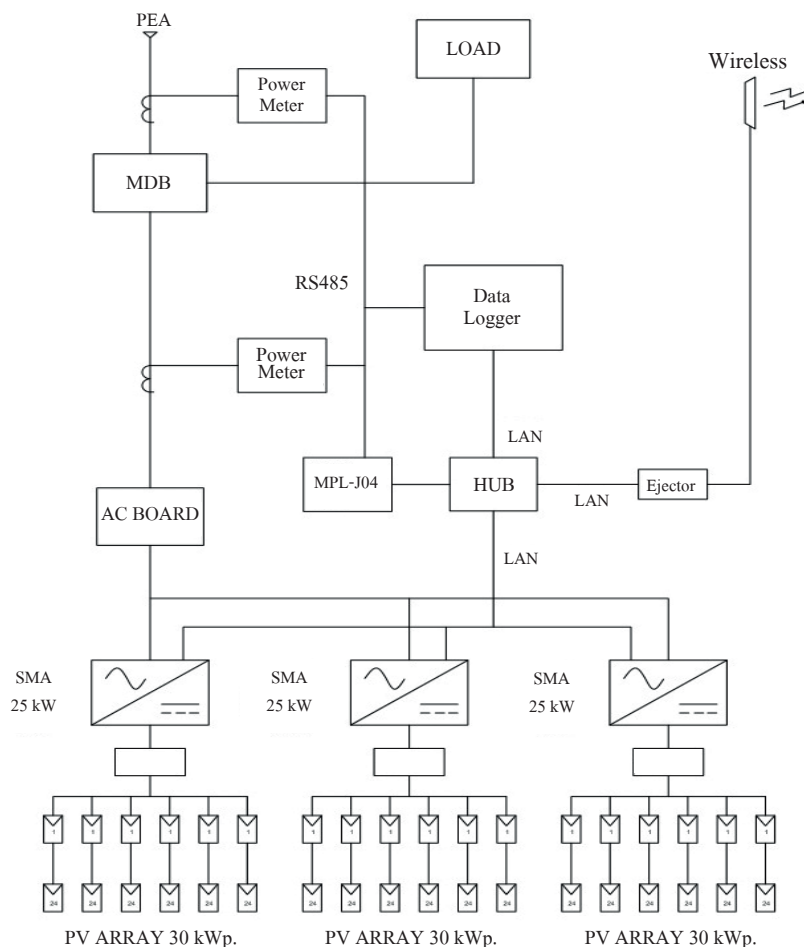
(Received: June, 5 2019; Revised: June, 22 2019; Accepted: July, 9 2019)

บทนำ

ปัจจุบัน โลกเผชิญกับปัญหาด้านพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งนับวันยังมีปริมาณเหลือใช้ลดลง อันเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแนวโน้มทางด้านราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิลให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ ต้นทุนด้านพลังงานเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากเชื้อเพลิงที่นำมาใช้จะต้องมีความเหมาะสมและไม่เป็นอุปสรรคต่อการใช้งานในระยะยาว จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดให้การสำรวจและหาแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เพื่อมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล พบว่าการนำพลังงานทดแทนมาใช้ร่วมกับการจัดการพลังงาน เช่น ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการนำระบบควบคุมการทำงานและสั่งการ [1] ส่งผลให้พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพและนำไปสู่การลดการใช้ทรัพยากรเพื่อการผลิตไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้และการผลิตไฟฟ้าตลอดทั้ง Supply Chain ของระบบสมรรถกิริยาที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งานตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตวิเคราะห์หาจุดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ วิเคราะห์ประสิทธิภาพทางพลังงาน (ความคุ้มค่าทางพลังงาน) รวมถึงนำเสนอแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเพื่อเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการบริหารจัดการระบบต่อไปในอนาคต

ระบบสมรรถกิริยาของมหาวิทยาลัยพะเยา

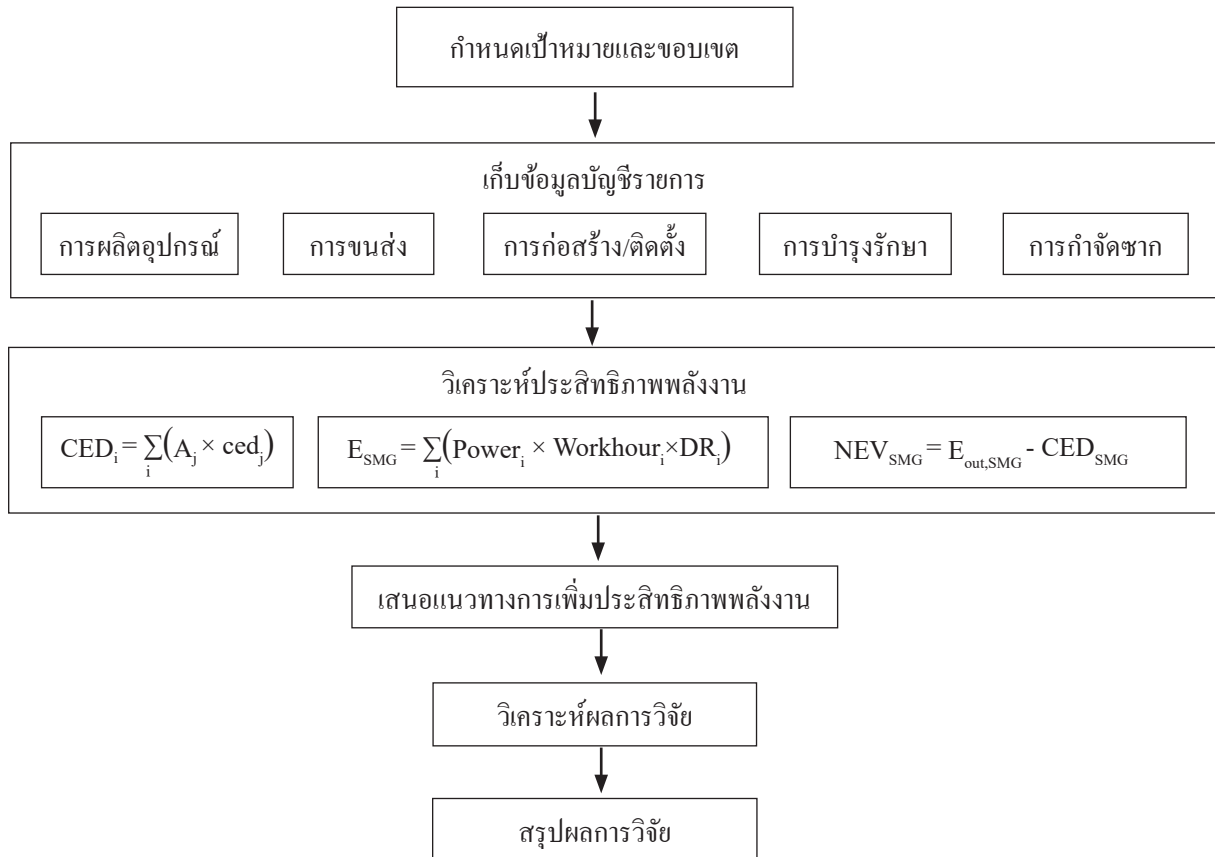
ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการจัดการไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด หรือเรียกว่า ระบบสมรรถกิริยาของมหาวิทยาลัยพะเยา ขนาด 500 kWp โดยแบ่งเป็นการติดตั้งบนหลังคา (Rooftop Installation) 470 kWp และมีการติดตั้งบนพื้นดิน (Ground Mounted Installation) 30 kWp ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสม (Poly Crystalline) SHARP รุ่น (ND-AA250) กำลังการผลิตไฟฟ้า 250 วัตต์ต่อแผง และต่อเข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจำหน่ายสายส่งของมหาวิทยาลัยพะเยาและบริหารจัดการควบคุมด้วยระบบสารสนเทศ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 90 kWp บนหลังคาอาคารคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของระบบสมาร์ตกริด โดยวิเคราะห์ตลอดทั้ง Supply Chain ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

1. เป้าหมายและขอบเขต

การกำหนดเป้าหมายของงานวิจัยเป็นการกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate ขอบเขตการวิเคราะห์พลังงานจะเริ่มตั้งแต่ การผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ (Manufacturing) การขนส่ง (Transportation) การก่อสร้าง/ติดตั้ง (Construction and Installation) การบำรุงรักษา (Operation and Maintenance) และขั้นตอนการกำจัดซาก (End of Life) เพื่อหาจุดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดหน่วยการศึกษา (Functional Unit) เป็น 1 kWh ของไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ รวมถึงวิเคราะห์หาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยตั้งสมมติฐานว่าระบบมีอายุการใช้งาน 20 ปี [2]

2. การเก็บข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาพลังงานที่ใช้ในระบบทั้งหมด จะดำเนินการเก็บข้อมูลแยกตามช่วงวัฏจักรชีวิตของระบบ เริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิตอุปกรณ์ การขนส่ง การก่อสร้าง การบำรุงรักษาและการกำจัดซาก และขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานสำหรับขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งในส่วนของระบบผลิตไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์ และวัสดุในการก่อสร้าง/ติดตั้ง จะใช้ข้อมูลปริมาณของวัสดุอุปกรณ์จากคู่มือการติดตั้ง Smart Grid ม.พะเยา [3] ร่วมกับข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตอุปกรณ์และวัสดุชนิดนั้น ๆ ของฐานข้อมูล Ecoinvent [4] ในโปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro บนสมมติฐานว่าในกระบวนการผลิตอุปกรณ์และวัสดุชนิดเดียวกันจะมีการใช้พลังงานที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

ข้อมูลการบำรุงรักษา (Maintenance) ระบบสมาร์ตกริดนั้นสามารถปฏิบัติจากคู่มือการบำรุงรักษา Smart Grid ม.พะเยา [3] สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก คือ การบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการบำรุงรักษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการดูแลอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานจะช่วยทำให้

ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงจะช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ได้อีกด้วย หลังจากเสร็จสิ้นโครงการ อุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์โครงสร้างอื่น ๆ สามารถแยกชิ้นส่วนและไปรีไซเคิลได้ ดังนั้น การคิดพลังงานในขั้นตอนการกำจัดซากนั้น จะคิดเฉพาะพลังงานที่ใช้สำหรับการขนส่งอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อไปยังจุดรับซื้อ/คัดแยก ซึ่งมีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดพะเยา ข้อมูลการขนส่งในทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงาน

การวิเคราะห์พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand: CED) คือ การประเมินการใช้พลังงานทั้งพลังงานทางตรง (Direct Consumption) ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ และพลังงานทางอ้อม (Indirect Consumption) ได้แก่ การใช้วัสดุต่าง ๆ ที่ไม่ใช่พลังงานแต่ในกระบวนการผลิตวัสดุนั้น มีการใช้พลังงานในการผลิต โดยจะวิเคราะห์ออกมาต่อหน่วยการผลิต เช่น ต่อชิ้น ต่อกล่อง หรือต่อหน่วยไฟฟ้า เป็นต้น การคิดค่าพลังงานสะสมในการผลิตไฟฟ้าของระบบสมรรถกิริต สามารถวิเคราะห์ได้ ดังสมการที่ (1)

$$CED_{SMG} = CED_{Man} + CED_{Tran} + CED_{Con} + CED_{O\&M} \quad (1)$$

CED_{SMG} คือ พลังงานสะสมของการผลิตไฟฟ้าจากระบบสมรรถกิริต (MJ), CED_{Man} คือ พลังงานสะสมในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ (MJ), CED_{Tran} คือ พลังงานสะสมในกระบวนการขนส่งอุปกรณ์ (MJ), CED_{Con} คือ พลังงานสะสมในกระบวนการก่อสร้างและติดตั้ง (MJ), $CED_{O\&M}$ คือ พลังงานสะสมในกระบวนการดำเนินงานและบำรุงรักษา (MJ)

ในการหาค่าพลังงานสะสมของแต่ละกระบวนการสามารถหาได้ ดังสมการที่ (2)

$$CED_i = \sum_j (A_{ij} \times ced_{ij}) \quad (2)$$

CED_i คือ พลังงานสะสมในขั้นตอน i (MJ), A_{ij} คือ ปริมาณทรัพยากร j ในขั้นตอนการผลิต i (unit), ced_{ij} คือ พลังงานสะสมของทรัพยากร j ในขั้นตอนการผลิต i (MJ/Unit)

ประมาณการไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมรรถกิริต ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดจากระบบสมรรถกิริตที่ติดตั้ง มหาวิทยาลัยพะเยา ที่มีขนาดกำลังการติดตั้ง 500 kWp มีอายุการใช้งาน 20 ปี ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตรสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 156.25 วัตต์ต่อตารางเมตร [5] โดยไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบสมรรถกิริตมีค่าเท่ากับ 912,500 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี โดยได้มีการคำนึงถึงค่าการลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าลดลงเท่ากับร้อยละ 0.5 ต่อปีจากประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ร้อยละ 13 [6] มีปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปี เท่ากับ 17,409,129 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ชั่วโมง/ปี สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (3)

$$E_{SMG} = [Power_i \times Workhour_i \times (1 - DR_i)] \quad (3)$$

E_{SMG} คือ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมรรถกิริตตลอดวัฏจักรชีวิต (kWh), $Power_i$ คือ กำลังการติดตั้งของระบบปีที่ i (kW), $Workhour_i$ คือ ชั่วโมงของการผลิตไฟฟ้าปีที่ i (Hour; h), DR_i คือ การลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ปีที่ i (%)

ประสิทธิภาพทางพลังงาน (Energy Efficiency) คือ ตัวชี้วัดทางด้านพลังงานที่บ่งบอก ถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะแสดงเป็นค่าพลังงานสุทธิของระบบ (Net Energy Value: NEV) ซึ่งค่าพลังงานสุทธิของระบบสมรรถกิริตจะวิเคราะห์ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh ดังสมการที่ (4)

$$NEV_{SMG} = E_{out,SMG} - CED_{SMG} \quad (4)$$

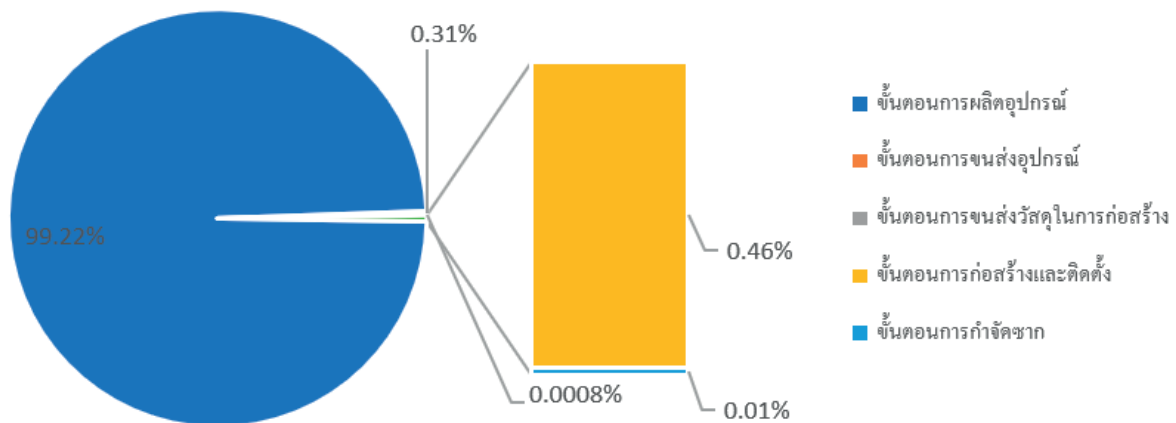
NEV_{SMG} คือ พลังงานสุทธิของระบบสมรรถกิริต, $E_{out,SMG}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh (MJ), CED_{SMG} คือ พลังงานสะสมของพลังงานในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh (MJ) ผลที่ได้จากการหาค่าพลังงานสุทธิจะเป็นค่าที่ไม่มีหน่วยและสามารถเป็นไปได้ 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 NEV_{SMG} เท่ากับ 0 หมายถึง ระบบที่พิจารณามีความสามารถในการผลิตพลังงานและการใช้พลังงานเท่ากัน มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับพอใช้

รายการ	ค่า LCI	ระยะทาง (กม.)	แบบการใช้ระยะทาง			
	ปริมาณ (ตัน)		หน่วย (ตัน-กม.)	พาหนะ	ค่า CED (MJ/หน่วย)	ผลคูณ
Copper	3.15E-08	28	8.82E-07	lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	3.06E-06
Aluminum	2.97E-08	28	8.32E-07	lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	2.89E-06
Steel	1.22E-07	28	3.44E-06	lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	1.19E-05
Total						1.79E-05

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมขั้นตอนการกำจัดซากของระบบสมาร์ตกริดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

รายการ	ค่า LCI	ระยะทาง (กม.)	แบบการใช้ระยะทาง			
	ปริมาณ (ตัน)		หน่วย (ตัน-กม.)	พาหนะ	ค่า CED (MJ/หน่วย)	ผลคูณ
PV- Solar Cell	2.18E-06	28	6.111E-05	lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	2.12E-04
Inverter 25 kW	4.65E-08	28	1.302E-06	lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	4.52E-06
Copper	3.15E-08	28	8.823E-07	lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	3.06E-06
Aluminum	2.97E-08	28	8.321E-07	lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	2.88E-06
Steel	1.23E-07	28	3.443E-06	lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	1.19E-05
Total						0.00023



ภาพที่ 3 สัดส่วนของพลังงานสะสมของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ของระบบสมาร์ตกริด

พลังงานที่ใช้ (พลังงานสะสม) ในการผลิตไฟฟ้าจากระบบสมาร์ตกริดจำนวน 1 kWh มีค่าเท่ากับ 2.252 MJ จากผลการวิเคราะห์พลังงาน พบว่า ช่วงที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็น 99.22 เปอร์เซ็นต์ของทั้งระบบ คือ ช่วงการผลิตอุปกรณ์ของระบบสมาร์ตกริด โดยมีการใช้พลังงานไป 2.234 MJ เพื่อผลิตไฟฟ้าจำนวน 1 kWh ซึ่งพลังงานที่ใช้มาจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า คือ เซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 2,000 แผง อีกทั้งในกระบวนการผลิตยังมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและหลายกระบวนการ [7] ขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานรองลงมา คือ การใช้พลังงานในการขนส่งเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีการนำเข้ามาจากญี่ปุ่นด้วยเรือและมีการขนส่งด้วยรถบรรทุกมายังมหาวิทยาลัยพะเยา โดยขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานคิดเป็น 0.742 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมด โดยส่วนใหญ่มาจากการขนส่งภายในประเทศ ส่วนของการใช้พลังงานในขั้นตอนอื่น ๆ มีนัยสำคัญน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้กล่าวไปข้างต้น

1. แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของระบบสมาร์ตกริดในปัจจุบัน

แผนการปฏิบัติการและบำรุงรักษา (Plant Operation & Maintenance) เป็นสิ่งที่สำคัญ ดังนั้น วิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.83 [8] ซึ่งอาจส่งผลทำให้ยืดอายุการใช้งานของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบสมาร์ตกริดจาก 20 ปี ออกไปเป็น 25 ปี เนื่องจากมีการปฏิบัติการบำรุงรักษาตามแผนเป็นหลักอย่างสม่ำเสมอ หากมีการใช้งานระบบได้มากถึง 25 ปี จะทำให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นจาก 17,409,129 kWh เป็น 21,495,346.88 kWh แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลเปรียบเทียบวิเคราะห์พลังงานสะสมตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปีและ 25 ปี ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอน	ผลรวม CED (MJ/kWh)	
	20 ปี	25 ปี
ขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์	2.2349	1.9183
ขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์	0.00678	0.00549
ขั้นตอนการขนส่งวัสดุในการก่อสร้าง	1.79E-05	1.45E-05
ขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้ง	0.010645	0.00862
ขั้นตอนการกำจัดซาก	0.000234	0.0146
ผลรวมทั้งระบบสมาร์ตกริด	2.252	1.947

เมื่อมีการยืดเวลาการใช้ระบบสมาร์ตกริดจาก 20 ปี เป็น 25 ปี พบว่า ค่าพลังงานสะสมลดลงจาก 2.252 MJ/kWh เป็น 1.947 MJ/kWh หรือ 13.56 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าพลังงานสุทธิเพิ่มขึ้นจาก 1.347 เป็น 1.652 ซึ่งบ่งบอกว่าระบบมีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี ดังนั้น การบำรุงรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอก็มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการเลือกอุปกรณ์เพื่อใช้ในการติดตั้งระบบเลย

2. การวางแผนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานในอนาคต

มหาวิทยาลัยพะเยามีโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติมอีก 2 เมกะวัตต์ ภายใน 5 ปี ดังนั้น การวางแผนการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานเพื่อรองรับการติดตั้งเพิ่มเติมจึงเป็นสิ่งจำเป็น จากผลงานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่าพลังงานสะสม ส่วนใหญ่เกิดมาจากพลังงานที่สะสมมาที่กระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นอุปกรณ์หลักของระบบสมาร์ตกริด ซึ่งในกระบวนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเดียวกันก็จะมีการใช้พลังงานที่ไม่แตกต่างกัน โดยผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมของระบบเดิม (0.5 เมกะวัตต์) กับระบบเพิ่มเติม (2 เมกะวัตต์) แสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งในขั้นตอนบำรุงรักษาหากผู้ดูแลระบบทำตามคู่มือบำรุงรักษาอย่างเคร่งครัด อุปกรณ์ทุกอย่างจะสามารถใช้งานได้ตลอดอายุโครงการทั้ง 20 ปี ในส่วนของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพนั้น สมมติให้มีการใช้แรงงานคนและมีการใช้น้ำในปริมาณไม่มาก จึงไม่ได้นำมาคิดรวมในการวิเคราะห์

ค่าพลังงานสะสมในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh จากระบบสมาร์ตกริดที่ติดตั้งใหม่โดยมีการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตในประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 1.9135(MJ/1kWh) หรือ 1.72 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานสุทธิเป็น 1.686 ซึ่งจะพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น หากทางมหาวิทยาลัยพะเยาต้องการ ที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติมโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพทางพลังงานที่สูงขึ้น การเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงมีกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานน้อย ก็จะสามารถทำให้เพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานได้มากขึ้น ทั้งนี้ การพิจารณาดังกล่าวต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะปัจจัยทางด้านเงินลงทุนด้วย

ตารางที่ 6 ผลเปรียบเทียบพลังงานสะสมในกำลังการผลิต 0.5 MW และ 2 MW ตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 25 ปี

ขั้นตอนกระบวนการ	พลังงานสะสม (MJ/kWh) ในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	
	กำลังการผลิต 0.5 MW	กำลังการผลิต 2 MW
ขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์	1.9183	1.90
ขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์	0.00549	0.00385
ขั้นตอนการขนส่งวัสดุในการก่อสร้าง	1.45E-05	1.46E-05
การก่อสร้างและติดตั้ง	0.00862	0.00866
ขั้นตอนการกำจัดซาก	0.0146	0.00019
ผลรวมทั้งระบบสมาร์ตกริด	1.947	1.9135

สรุปผลการศึกษา

ประสิทธิภาพทางพลังงานของระบบสมาร์ตกริดในมหาวิทยาลัยพะเยา มีการใช้พลังงาน (พลังงานสะสม) เพื่อผลิตไฟฟ้า 1 kWh (3.6 MJ) เท่ากับ 2.252 MJ โดยเซลล์แสงอาทิตย์มีพลังงานสะสมมากที่สุด 2.234 MJ หรือคิดเป็นสัดส่วน 99.22 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต และมีค่าประสิทธิภาพทางพลังงานสุทธิเท่ากับ 1.347 ซึ่งบ่งบอกว่า ระบบสมาร์ตกริดมีประสิทธิภาพทางพลังงานและความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี สำหรับระบบเดิมที่ได้ดำเนินการติดตั้งไปแล้วการบำรุงรักษาที่ดีจะทำให้ระบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจากผลงานวิจัย พบว่า การบำรุงรักษาระบบเพื่อให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นจาก 20 ปี เป็น 25 ปี สามารถลดพลังงานสะสมลงได้ 14.17 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้อีกด้วย สำหรับแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่จะติดตั้งเพิ่มเติมในอนาคตนั้น การเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกระบวนการผลิตที่ดี (มีการใช้พลังงานน้อย) รวมถึงมีประสิทธิภาพสูง จะสามารถลดพลังงานสะสมของระบบและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Koksri, S. (2011). *Smart Grid Energy Management System for Stand Alone Renewable Energy Power Generation*. Master Degree Thesis. Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
- [2] Thinpan, S., & Thanarak, P. (2013). Carbon Dioxide Emission Assessment of Thin Film Amorphous Silicon for Electric Generation. *Naresuan University Journal*, 21(3), 49-58.
- [3] University of Phayao. (2016). *Operation & Maintenance Smart grid System Manual University of Phayao*. Phayao: Sharp Thai Co., Ltd.
- [4] Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2016). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama, Kanagawa, Japan : The Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- [5] Panprayun, G. (2017). 8 kWp Rooftop PV System and Feasibility of System Expansion. *Journal of Professional Routine to Research*, 4(2), 76-86.
- [6] Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2013). Photovoltaic Degradation Rates - An Analytical Review, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(1), 12-29.
- [7] Achara, N. (2014). Solar Cell Standard and Improved Manufacturing Processes. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 3(1), 162-167.
- [8] Ketjoy, N., & Konyu, M. (2012). The Dust Effect on Photovoltaic Module Surface to Photovoltaic Power Generation. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 32(11), 555-562.

การสร้างชุดทดลองปฏิบัติการฟิสิกส์เรื่องการสั่นพ้องของคลื่นเสียง สำหรับครูในเขตพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้

Creation of Physics Experiment Kits on Sound Resonance in a Tube for Teachers in Southern Thailand

โรสลีนา อนันตกุลวงศ์*

Roseleena Anantanukulwong^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองหาค่าอัตราเร็วเสียงในอากาศโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่น จากการเปรียบเทียบตำแหน่งจุดที่ดังที่สุดโดยใช้วิธีการฟังกับใช้เครื่อง Data Logger ผลจากการทดลองพบว่า ค่าอัตราเร็วเสียงในอากาศ โดยวิธีการฟังความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าอัตราเร็วเสียง เท่ากับ 349 341 351 354 และ 350 m/s ตามลำดับ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.14 2.43 0.42 1.28 และ 0.14 % ตามลำดับ อัตราเร็วเสียงเฉลี่ยในอากาศโดยวิธีการฟัง มีค่าเท่ากับ 349 m/s และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.12 % ส่วนอัตราเร็วในอากาศโดยใช้เครื่อง Data Logger ความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าอัตราเร็วเสียงเท่ากับ 344 354 346 348 และ 355 m/s ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 1.57 1.28 0.42 1.00 และ 1.57 % ตามลำดับอัตราเร็วเสียงเฉลี่ยโดยใช้เครื่อง Data Logger มีค่าเท่ากับ 349.4 m/s และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 % เมื่อนำอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศเฉลี่ยระหว่างการหาอัตราเร็วเสียงในอากาศจากการฟังและการทดลองหาอัตราเร็วเสียงโดยใช้เครื่อง Data Logger มาเปรียบเทียบกับอัตราเร็วเสียงจากทฤษฎีมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 % ซึ่งสามารถนำไปใช้เพื่อปฏิบัติการทดลองได้

คำสำคัญ: การทดลอง การสั่นพ้อง อัตราเร็วเสียง

Abstract

The objective of this research was to construct the resonance of sound waves in an air experimental media by comparing the velocity of sound waverecord at the maximum value using listening method and data logger program. The result presented that the speed of sound wave from listening was at the frequency of 500, 550, 600, 650 and 700 Hz were 349, 341, 351, 354 and 350 m/s respectively. The measurement errors were 0.14, 2.43, 0.42, 1.28 and 0.14 % respectively. The average sound velocity in the air by listening method was 349 m/s and the error percentage was at 0.12 %. The velocity of sound record by the data logger at frequency was 500, 550, 600, 650 and 700 Hz respectively, while the sound speeds were 344, 354, 346, 348 and 355 m/s respectively. The percentage error was at 1.57, 1.28, 0.42, 1.00 and 1.57 %. The data logger speed was 349.4 m/s, and the error percentage was at 0.05 %. The average speed of sound waves in the air was determined by the listening and the speed of sound using a data logger compared to the theoretical speed of sound with a deviation of less than 1 %, which can be used as an experimental laboratory media.

Keywords: Experiment, Resonance, Speed of Sound

¹ อ., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000

¹ Lecturer, Physics Program, Department of Physics, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 95000

* Corresponding author : E-mail address: roseleena.y@yru.ac.th

(Received: July 22, 2019; Revised: September 17, 2019; Accepted: October 8, 2019)

บทนำ

การจัดการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนจะต้องเรียนรู้ทฤษฎีและการปฏิบัติ ในการเรียนวิชาปฏิบัติการนั้น จำเป็นต้องให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติหรือทดลองจริง เพื่อให้การเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [1-3] โดยมีจุดประสงค์ เพื่อให้ให้นักเรียนในเขตพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้ ได้นำปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ หรือต้องการศึกษาเข้ามาสู่ห้องทดลองหรือห้องปฏิบัติการ และทำการทดลองเพื่อตอบคำถามที่ต้องการทราบ โดยความน่าเชื่อถือของการทดลองเป็นเรื่องที่สำคัญมาก การทดลองที่มีความน่าเชื่อถือสูงจะต้องประกอบด้วยการใช้เครื่องมือในการวัดข้อมูลที่เหมาะสม มีความละเอียดเพียงพอ มีวิธีการทดลองที่รอบคอบ มีการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ได้อย่างเหมาะสมและถูกต้องแม่นยำ การศึกษาในปัจจุบันอยู่ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงและมีการปฏิรูปทางการศึกษาบ่อยครั้ง แต่ไม่ว่าการปฏิรูปการศึกษาจะทำให้หลักสูตรการเรียนการสอนต้องปรับปรุงตามไปอย่างไร ในชั้นเรียนยังคงยึดการเรียนรู้แบบศูนย์กลาง โดยมีเป้าหมายสำคัญคือการทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้สูงสุดด้านการคิดและการปฏิบัติ ดังนั้นผู้สอนถือเป็นบุคคลสำคัญที่จะคอยแนะนำ และช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้มากที่สุด [4] การนำสื่อการสอนนวัตกรรมมาใช้ในวงการศึกษา กำลังเป็นที่สนใจกันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ด้วยเหตุที่การศึกษามุ่งที่จะพัฒนาผู้เรียนให้รู้จักคิดเป็น ทำเป็น และมีความรับผิดชอบต่องานของตนเอง ดังนั้น การจัดการเรียนการสอนจึงต่างไปจากเดิม คือมุ่งให้ผู้เรียนรู้จักวิธีแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง โดยมีผู้สอนทำหน้าที่คอยช่วยเหลือแนะนำ ผู้สอนจำเป็นต้องนำเอาวิธีการสอนใหม่ๆ พร้อมทั้งสื่อการสอน และนวัตกรรมทางการศึกษามาใช้ [5] เพื่อให้ผู้เรียนเห็นภาพพจน์ที่ชัดเจนและเกิดความเข้าใจพอสมควร [6] เช่น การพัฒนาชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ด้วยระบบปรับมุมอัตโนมัติ โดยตัวนี้จะสามารถกำหนดแรงยิงที่จะยิงออกไปได้ ส่วนการปรับเปลี่ยนมุมจะใช้ Servo Motor เป็นตัวควบคุมซึ่งมุมที่ได้ออกมาจะมีค่าที่ตรง ซึ่งจะดีกว่าการปรับเปลี่ยนมุมด้วยมือ [7] และการพัฒนาชุดทดลองเรื่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ $E1/E2 = 94.70/75.00$ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองนี้ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้จริง [8] และสื่อการสอนมีความสำคัญควบคู่ไปกับเนื้อหาในบทเรียน ฟิสิกส์เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ปรากฏการณ์ส่วนใหญ่เราสามารถมองเห็นและจับได้ แต่เนื้อหาบางเรื่องเป็นปรากฏการณ์ที่เป็นนามธรรมอย่างเช่นการสั่นพ้องของคลื่นเสียงในท่อปลายเปิด ผู้เรียนจำเป็นต้องอาศัยจินตนาการหรือจำลองว่าคลื่นเสียงมีลักษณะอย่างไรในท่อ [9] เสียงจะมีอัตราเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ผ่าน โดยคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และเร็วน้อยลงในตัวกลางที่เป็นของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ [10] ถ้าเสียงเคลื่อนที่ในของแข็งต่างชนิดกันจะมีอัตราเร็วที่ต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด เช่น อัตราเร็วเสียงในแท่ง อลูมิเนียมมีค่า 5150 m/s อัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็กมีค่า 5050 m/s อัตราเร็วเสียงในแท่งทองแดงมีค่า 3700 m/s อัตราเร็วเสียงในแท่งทองเหลืองมีค่า 3500 m/s [11]

ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสร้างชุดทดลองการหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียงที่มีความน่าเชื่อถือในระดับที่มีความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีไม่เกินร้อยละ 1 % ซึ่งใช้หลักการวัดความยาวคลื่นเสียงในอากาศ โดยอาศัยปรากฏการณ์การสั่นพ้อง ในงานวิจัยนี้ ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำ และสามารถผลิตชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพต่อการใช้งานในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อนักเรียนและทางผู้วิจัยได้จัดอบรมให้ความรู้แก่คุณครูผู้สอนโรงเรียนเอกชนสอนศาสนาในพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้ ที่ขาดแคลนงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ ชุดทดลองเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพิ่มเจตคติที่ดี ต่อการเรียนวิชาฟิสิกส์ในห้องเรียนได้

วิธีการดำเนินวิจัย

1. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1.1 เครื่องมือ

1.1.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่

1.1.3 เครื่อง Data Logger ยี่ห้อ DATA HARVESI

1.1.2 ส่วน

1.1.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ (ปรอท)

1.2 วัสดุอุปกรณ์

1.2.1 ท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว

1.2.5 ลูกสูบ

1.2.9 สายไฟ

1.2.2 ฝาปิดท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว

1.2.6 ฐานไม้

1.2.10 สายวัด

1.2.3 ตัวจับท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว

1.2.7 แปรงทาสีไม้

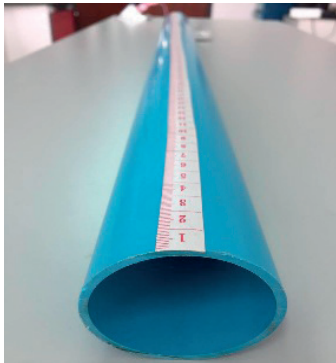
1.2.11 ไขควง

1.2.4 ลำโพง

1.2.8 แลคเกอร์ทาไม้

2. วิธีการทำเครื่องมือการสั่นพ้องของคลื่นในท่ออากาศ

นำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ตัดให้มีความยาว 100 เซนติเมตร พร้อมติดสายวัด ความยาว 100 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 จากนั้นนำแผ่นไม้ความกว้าง 50 เซนติเมตร มีความหนา 2 เซนติเมตร ตัดให้มีความยาว 112 เซนติเมตร มีความหนา 2 เซนติเมตร พร้อมทาแล็กเกอร์ให้เรียบร้อยดังภาพที่ 2 แล้วนำฝาปิดท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 2 นิ้ว พร้อมทั้งสว่านเจาะรูสองรูเพื่อเชื่อมต่อกับสายไฟของลำโพง ดังภาพที่ 3 เอาท่อพีวีซีและฝาปิดท่อพีวีซีที่เชื่อมกับลำโพงวางบนฐานไม้ที่เตรียมไว้ ดังภาพที่ 4 ใช้ตัวจับท่อพีวีซีและไขควง คล้องท่อกับแผ่นไม้ให้อยู่ติดกัน จะได้เครื่องมือชุดการทดลอง ดังภาพที่ 5 ทำการตัดไม้เป็นวงกลมเพื่อทำลูกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ทำหัวปิดท่อหรือหัวลูกสูบตัดไม้ด้วยความยาว 100 เซนติเมตร มาเชื่อมหัวลูกสูบ พร้อมทั้งติดสายวัดความยาว 100 เซนติเมตรดังภาพที่ 6



ภาพที่ 1 ท่อพีวีซี



ภาพที่ 2 ฐานไม้



ภาพที่ 3 ฝาปิดท่อ



ภาพที่ 4 ปิดท่อที่เชื่อมกับลำโพง



ภาพที่ 5 ชุดการทดลองคลื่นนิ่ง



ภาพที่ 6 ตัวลูกสูบในท่ออากาศ

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 หาอัตราเร็วเสียงของคลื่นเสียงในอากาศ [12] ดังสมการที่ 1

$$V(t) = 331.4 + 0.6 t \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่ $V(t)$ คือ อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิใดๆ (m/s), t คืออุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 27°C ในหน่วย เซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

3.2 หาคความยาวคลื่นในอากาศ [12] ดังสมการที่ 2

$$(L_2 - L_1) = \frac{\lambda}{2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ L_1 คือ ระยะจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่ 1 (cm), L_2 คือ ระยะทางจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่ 2 (cm), λ คือ ความยาวคลื่น

วิธีการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 หาดัตราเร็วของคลื่นเสียงโดยวิธีการวัดอนุภูมิ

นำเครื่องมือวัดอนุภูมิห้อง นำค่าที่ได้คำนวณหาดัตราเร็วเสียง จากสมการที่ 1

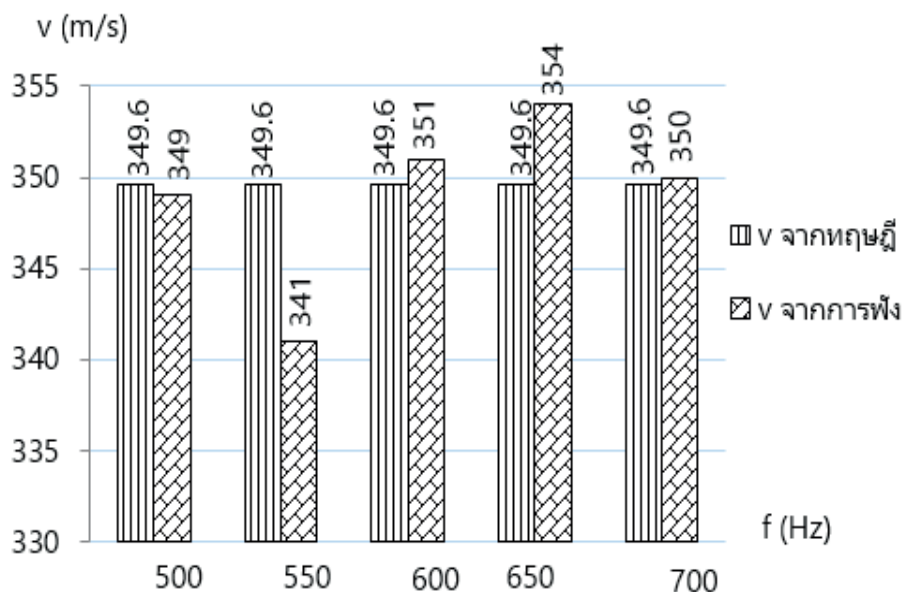
ตอนที่ 2 หาดัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ จากปรากฏการณ์การสั่นพ้องในหลอดเรโซแนนซ์

นำเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงต่อเข้ากับลำโพง ปรับค่าความถี่ที่ 500 Hz นำลำโพงประกอบกับปลายท่อเรโซแนนซ์และเปิดเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงค่อยๆเลื่อนลูกสูบออก โดยให้สังเกตที่เสียง ซึ่งสังเกตได้จากเสียงที่ได้ยินว่าถ้าดังกว่าปกติให้อ่านและบันทึกเป็นระยะ ทำการเลื่อนลูกสูบต่อไปจนได้ยินเสียงที่ดังกว่าปกติเป็นครั้งที่ 2 ให้อ่านและบันทึกเป็นระยะทำการเลื่อนลูกสูบต่อไปจนได้ยินเสียงที่ดังกว่าปกติเป็นครั้งที่ 3 ให้อ่านและบันทึกเป็นระยะนำค่าที่ได้คำนวณหาระยะตำแหน่งของลูกสูบที่ได้ยินเสียงดังที่สุด 2 ตำแหน่ง ที่อยู่ติดกันแล้วหาค่าเฉลี่ยของระยะดังกล่าวและบันทึกผล และทำการทดลองซ้ำเป็น 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ และบันทึกผล

ตอนที่ 3 หาดัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศจากปรากฏการณ์การสั่นพ้องในหลอดเรโซแนนซ์โดยใช้เครื่อง Data Logger

นำเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงต่อเข้ากับลำโพง ปรับค่าความถี่ที่ 500 Hz แล้วนำลำโพงประกอบกับปลายท่อเรโซแนนซ์ นำเครื่อง Data Logger และหัววัดเสียงมาเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์จากนั้นนำไมโครโฟนและหัววัดเสียงมาวางไว้ระหว่างลำโพงที่ประกอบกับปลายท่อเรโซแนนซ์บันทึกความเข้มเสียงทุก ๆ ระยะ 0.1 เซนติเมตรไปจนถึง 100 เซนติเมตรทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละความถี่ และจดบันทึกผลการทดลองทำการทดลองซ้ำโดยปรับค่าความถี่ที่ 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ

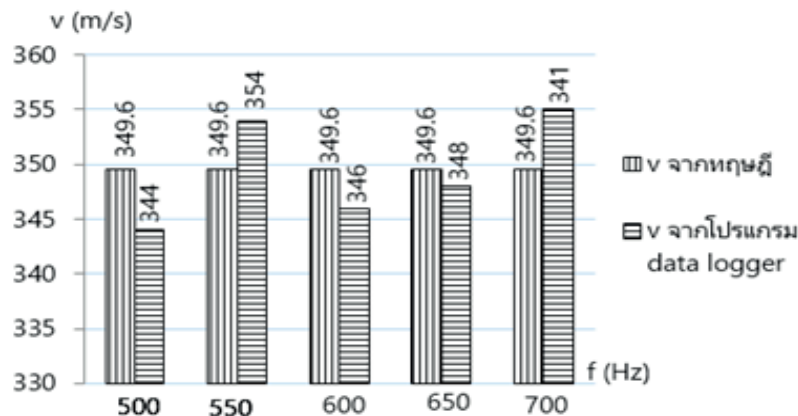
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเสียงกับความถี่

จากภาพที่ 7 เมื่อได้ตำแหน่งการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ความถี่ต่างๆแล้วสามารถหาดัตราเร็วเสียงจากการนำความยาวคลื่น ณ ตำแหน่งเสียงที่ดังที่สุดที่ การทดลองพบว่า ความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าอัตราเร็วเสียง เท่ากับ 349 341 351 354 และ 350 m/s ตามลำดับ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราเร็วจะมีความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.14 2.43 0.42 1.28 และ 0.14 % ตามลำดับ

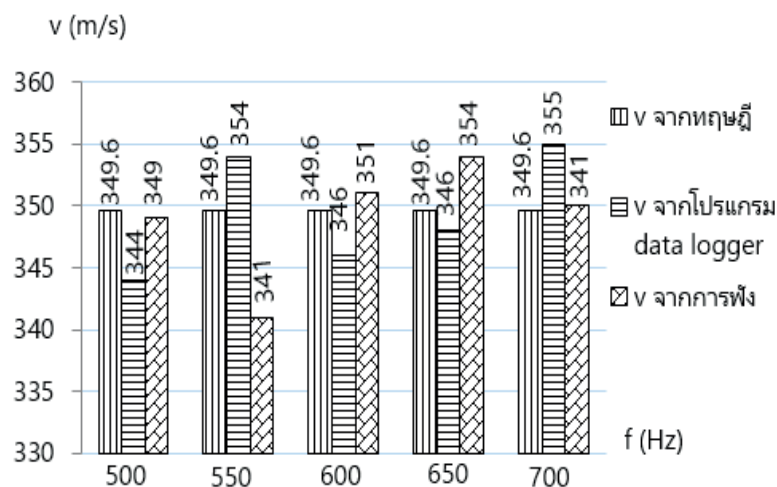
1. เปรียบเทียบอัตราเร็วของคลื่นเสียงระหว่างทฤษฎีและอัตราเร็วจากการทดลองโดยใช้โปรแกรม Data Logger



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเสียงกับความถี่

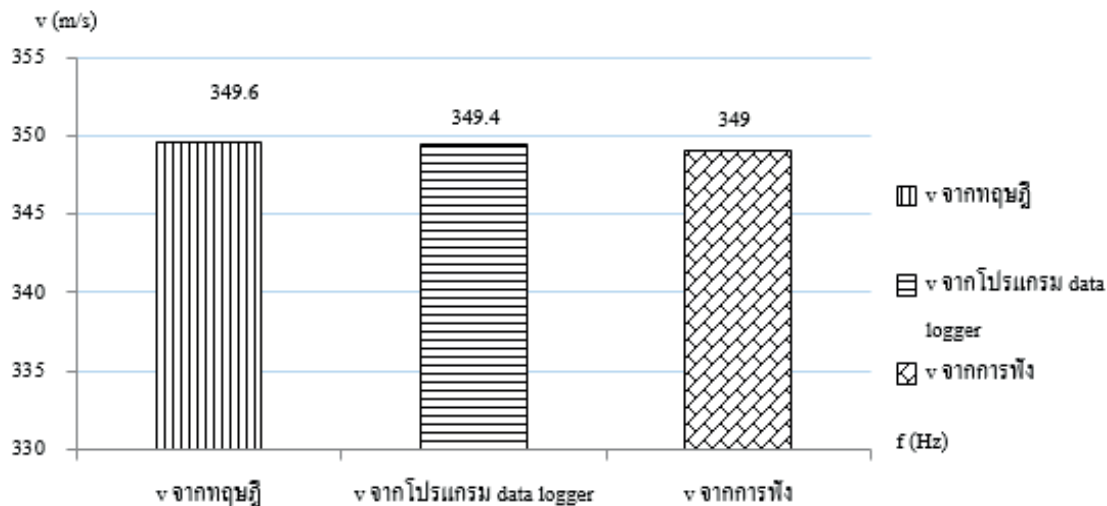
จากภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเสียงกับความถี่ การทดลองโดยใช้เครื่อง Data Logger ความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าอัตราเร็วเสียงเท่ากับ 344 354 346 348 และ 341 m/s ตามลำดับ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 1.57 1.28 0.42 1.00 และ 1.57 % ตามลำดับ

2. เปรียบเทียบ ห้าอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศจากชุดการทดลองโดยการฟังและการหาอัตราเร็วเสียงในอากาศจากการทดลองโดยใช้โปรแกรม Data Logger กับอัตราเร็วเสียงในอากาศจากทฤษฎี



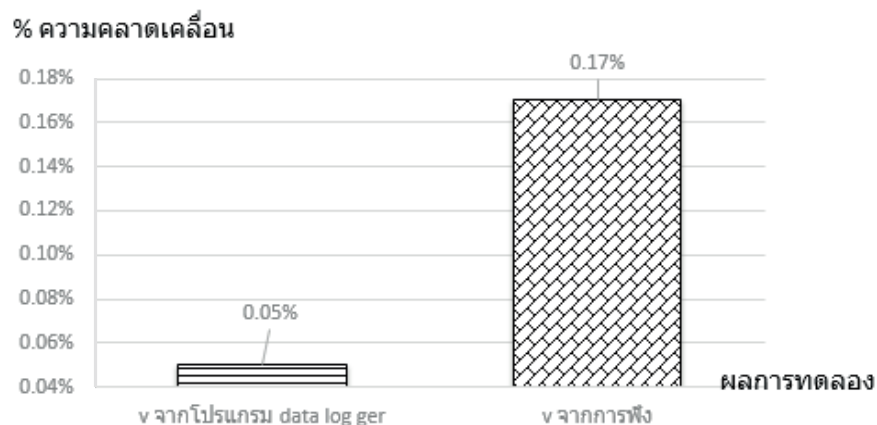
ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเสียงกับความถี่

จากภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าการทดลองหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ โดยวิธีการฟัง ความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าอัตราเร็วเสียง เท่ากับ 349 341 351 354 และ 350 m/s ตามลำดับ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.14 2.43 0.42 1.28 และ 0.14 % ตามลำดับ ส่วนอัตราเร็วในอากาศโดยใช้เครื่อง Data Logger ความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าอัตราเร็ว 344 354 346 348 และ 341 m/s ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 1.57 1.28 0.42 1.00 และ 1.57 % ตามลำดับ



ภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเสียง (V) เฉลี่ยจากการทดลอง

จากภาพที่ 10 ค่าอัตราเร็วเสียงของคลื่นในอากาศเฉลี่ย จากการฟังมีค่าเท่ากับ 349 m/s ส่วนการทดลองหาอัตราเร็วเสียงโดยใช้เครื่อง Data Logger มีค่าเท่ากับ 349.4 m/s และจากภาพที่ 11 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราเร็วเสียงของคลื่นในอากาศเฉลี่ยจากการทดลองจากการฟังจะเห็นได้ว่าการทดลองโดยวิธีการฟัง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.12 % ส่วนการทดลองโดยใช้เครื่อง Data Logger มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.05 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดทดลองปฏิบัติการการสั่นพ้องของคลื่นเสียงมีผลการทดลองหาอัตราเร็วเสียงทั้งโดยวิธีการฟังและการโดยใช้โปรแกรม Data Logger จะมีค่าคลาดเคลื่อนไม่ถึง 1 %



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลองโดยวิธีการฟังกับการทดลองจากเครื่อง Data Logger เมื่อเทียบกับค่าทฤษฎี

สรุป

ชุดทดลองการหาอัตราเร็วในอากาศโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียงที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีส่วนประกอบหลักคือส่วนของตัวชุดทดลองประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (ถ้าโพง1ตัว) เครื่องวัดความดังเสียงเครื่อง EASYSense Q Advanced Data Logger ลูกสูบ และท่อเสียง ท่อเสียงที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 100 เซนติเมตร สามารถนำไปใช้โดยอาศัยการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ผลจากการทดลองพบว่า ค่าอัตราเร็วเสียงในอากาศจากการทดลองโดยวิธีการฟัง ความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าอัตราเร็วเสียง เท่ากับ 349 341 351 354 และ 350 m/s ตามลำดับ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.14 2.43 0.42 1.28 และ 0.14 % ตามลำดับ ส่วนอัตราเร็วในอากาศโดยใช้ เครื่อง

Data Logger ความถี่ 500 550 600 650 และ 700 Hz ตามลำดับ มีค่าอัตราเร็วเสียง (V) เท่ากับ 344 354 346 348 และ 355 m/s ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 1.57 1.28 0.42 1.00 และ 1.57 % ตามลำดับ เมื่อนำอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศเฉลี่ยระหว่างการหาอัตราเร็วเสียงในอากาศจากการฟังและการทดลองหาอัตราเร็วเสียงโดยใช้เครื่อง Data Logger มาเปรียบเทียบกับอัตราเร็วเสียงจากทฤษฎีแล้ว การหาอัตราเร็วเสียงเฉลี่ยในอากาศโดยวิธีการฟังมีค่าเท่ากับ 349 m/s และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.12 % และการทดลองหาอัตราเร็วเสียงโดยใช้เครื่อง Data Logger มีค่าเท่ากับ 349.4 m/s และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.05 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดทดลองปฏิบัติการการสั่นพ้องของคลื่นเสียงมีผลการทดลองหาอัตราเร็วเสียงทั้งโดยวิธีการฟังและการโดยใช้โปรแกรม Data Logger จะมีค่าคลาดเคลื่อนไม่ถึง 1 % และจากการทดลองเป็นการบันทึกความเข้มของเสียงทุก ๆ 0.1 cm ทำให้ผลการทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย ซึ่งระยะการทดลองมีความละเอียดมากเท่าไรค่าอัตราเร็วของเสียงมากขึ้น และผลที่ออกมาในแต่ละการทดลองจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับสายตาในการกระชาระยะตำแหน่ง

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองควรผลิตชุดการทดลองจากท่อพีวีซี แบบใส่แทนท่อพีวีซี เพราะสามารถเห็นระยะการเลื่อนของลูกสูบได้อย่างชัดเจน
2. ควรเพิ่มตัวล่อกระชาระยะเพื่อลดความแตกต่างของระยะในแต่ละการทดลอง
3. การหาอัตราเร็วเสียงในอากาศของการทดลองนี้ควรทำการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดที่สุด และการกำหนดความถี่ของเครื่องขยายสัญญาณต้องมีความเหมาะสมกับหลอดเรโซแนนซ์ที่ใช้ในการทดลอง
4. จากการอบรมคุณครูผู้สอน โรงเรียนเอกชนสอนศาสนาในเขตพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้ นำชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในชั้นเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจของเนื้อหาได้ง่ายขึ้น และกระตุ้นความสนใจขณะทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tapparn, J., Chaofai, M., & Khongpakdee, S. (2018). Development of Experiment Set on Light Mixing Controlled by Smartphone. In *The 9th Hatyai National and International Conference*, 464-472. July 20-21, 2018. Blue Ocean Hall, Hatyai Business School Building, Songkhla : Hatyai University.
- [2] Chanprasert, K. (2018). Development of the Experimental Set of PHY 136: Life Science Physics on Doppler Effect. *Journal of Rangsit University: Teaching & Learning*, 12(1), 69-106.
- [3] Díaz-Melián, V. L., Rodríguez, L. A., Pedroso-Camejo, F., Mieres, J., de Armas, Y., Batista-Leyva, A. J., & Altshuler, E. (2019). Optics Undergraduate Experiments Using Smart (and Not So Smart) Phones. *Revista Cubana de Física*, 36(1), 4-7.
- [4] Noiyo, O. (2011). *The Study of the Results of Regeneration Management through Development Activity Package Learning Science Influence on the Learning Achievement and the Science Movement of Students Grade 3*. Bangkok: Assumption School, Primary Department.
- [5] Anupongongarch, P. (2011). Development of the Experiment Set for Studying Wave Resonance in Closed End Tube. *Journal of Rangsit University: Teaching & Learning*, 5(1), 5-19.
- [6] Nakchuay, T., Kessaratikoon, P., & Khongpakdee, S. (2018). Development of Experimental Set on Resonance of Sound Using Smartphones and Polyvinyl Chloride (PVC) Tube. *Thaksin University Journal*, 21(3), 183-190.
- [7] Wichasilp, C., Tonrak, S., & Insongjai, S. (2017). Development of Experimental Set for Electronic Devices and DC Circuits of Mathayomsuksa 6 Students. In *The 17th Graduate Studies of Northern Rajabhat University Network Conference*. 2497-2505. 21 July 2017. Wangchan Review Hotel. Phitsanulok: Pibulsongkram Rajabhat University.
- [8] Khambun, A. (2018). The Development with Projectile Experimental Set by Automatic Angle. *Advanced Science Journal*, 18(1), 81- 96.

- [9] Selapanvilawen, V. (2009). *Man Experimental Set for Correcting the Misconception of Sound Waves*. Independent Study, Master of Science Degree, Chiang Mai University.
- [10] The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2008). *Teacher Manual for Additional Physics*. Bangkok: Office of the Welfare Promotion Commission for Teachers and Education Personnel.
- [11] Blackstock, D. T. (2000). *Fundamentals of Physical Acoustics*. New Jersey : A Wiley–Interscience Publication.
- [12] Supap, S. (2015). *General Physics*. Bangkok: Triple Education Co., Ltd.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)		หน้า
กนกพร สังขรักษ์	Kanokphorn Sangkharak	1
การุณย์ ชัยวนิชย์	Karun Chaivanich	59
จันทวรรณ น้อยศรี	Chantawan Noisri	29
ณัฐ โธนาทรัพย์	Nuth Otnasap	44
ธวัชชัย ศรีสุวรรณ	Thawatchai Srisuwan	15
ทวีภรณ์ ศิริคช	Thaweeporn Keereekoch	15
นงเยาว์ เมืองดี	Nongyao Mueangdee	22
นริศรา มหาชนินวงศ์	Narissara Mahathaninwong	22
นเรศ ไหญ่วงศ์	Naret Yaiwong	59
นัทธร ทองงาม	Nattaporn Thongngam	53
ปิยนากุ คงทิม	Piyanart Kongtim	22
ปรีดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์	Preedaporn Kanjanasamranwong	29
พิมพ์ชนก แก้วพิทักษ์	Pimchanok Kaewpitak	15
พูลพงษ์ บุญพราหมณ์	Poonpong Boonbrahm	44
รณสรพ์ ชินรัมย์	Ronnason Chinram	53
โรสลีนา อนันตนุกุลวงศ์	Roseleena Anantanukulwong	67
สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า	Sappasith Klomklao	9
สุรัตน์ เศษโพธิ์	Surat Sedpho	29
สมฤทัย แดงน้า	Somrutai Dangnam	15
สนั่น สุขธีรสกุล	Sanan Subhaddhirasakul	15
สุธิดา หมายโต๊ะชะ	Sutida Marthosa	22
สิวพร แซ่วัน	Siwaporn Saewan	29
ศราวุธ เหมหมัด	Sarawut Hemmad	9
โอภาส ชูบุตร	Aophat Choonut	1
เอกสิทธิ์ อนันต์เจริญวงศ์	Ekasit Anancharoenwong	22
อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์	Issariyaporn Damrongrak	37

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
การทำให้นุ่ม	9
กราฟระบุทิศทาง	29
การส่งแบบไม่กระจาย	29
การปรับปรุงดิน	37
การตรวจจับการหล่น	44
การตรวจจับก่อนการหล่น	44
เกณฑ์แบบไดนามิก	44
การตรวจจับการหล่นในผู้สูงวัย	44
การประเมินวัฏจักรชีวิต	59
การทดลอง	67
การสิ้นพ้อง	67
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	37
คาบ	53
คาบปฐมฐาน	53
เชื้อเพลิงชีวภาพ	1
ดินกรด	37
เซลล์แสงอาทิตย์	59
เถาถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล	37
ทฤษฎีจุดตรึง	29
ปลานิล	9
ประสิทธิภาพพลังงาน	59
พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHAs)	1
พลังงานสะสม	59
พืชสื่อจิก	44
ฟังก์ชันฟีโบนัคชี	53
ว่านสาวหลง	15
น้ำมันหอมระเหย	15
สมาร์ตกริด	59
อัตราเร็วเสียง	67
เอนไซม์โปรตีนเอส	9
ไฮดรอกซีอัลคาโนเอตเมทิลเอสเทอร์ (HAME)	1
ไฮดรอกซีบิวทิเรตเมทิลเอสเทอร์ (HBME)	1
ยางพารา	22
เครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ	22
มีดกรีดยางแบบเจาะบง	22

Keywords Index	Page
Air Freshener Gel	15
<i>Anomum biflorum</i> Jack	15
Acid Soil	37
Ash from Bioelectric Power Plant	37
Biofuel	1
Calcium Hydroxide	37
Cumulative Energy Demand	58
Directed Graph	29
Dynamic Threshold	44
Essential Oil	15
Energy Efficiency	58
Experiment	67
Fixed Point Theory	29
Fall Detection	44
Fuzzy Logic	44
Fall Detection in Elderly	44
Fibonacci Function	53
Ge-MS	15
G-Nonexpansive Mapping	29
Hydroxybutyrate Methyl Ester (HBME)	1
Hydroxyalkanoate Methyl Ester (HAME)	1
Life Cycle Assessment	58
Polyhydroxylakanoates (PHAs)	1
Proteinase	9
Pre-Impact Fall Detection	44
Period	53
Primitive Period	53
Resonance	67
Soil Management	37
Solar Cell	59
Smart Grid	59
Speed of Sound	67
Tilapia	9
Tenderization	9
Pararubber	22
Automatic Para Rubber Tapping Machine	22
Jeh-bong Tapping Knife	22

Lists of Riviewers

Manuscripts of research articles and academic articles of Thaksin University Journal, Volume 22, No. 2 (July – December 2019) were reviewed by the reviewers as follows:

- | | |
|--|---|
| 1. Prof. Dr. Suthep Suantai | Faculty of Science, Chiang Mai University |
| 2. Assoc. Prof. Dr. Aran Hanpongkittikun | Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University |
| 3. Assoc. Prof. Dr. Boonyang Plangklang | Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi |
| 4. Assoc. Prof. Dr. Jumpen Onthong | Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University |
| 5. Assoc. Prof. Dr. Narakorn Kanasri | Faculty of Science, Khon Kaen University |
| 6. Assoc. Prof. Dr. Narin Petrot | Faculty of Science, Naresuan University |
| 7. Assoc. Prof. Dr. Prapanpong Pongsriiam | Faculty of Science, Silpakorn University |
| 8. Assoc. Prof. Dr. Saroat Rawdkuen | School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University |
| 9. Assoc. Prof. Dr. Thongchai Mala | Faculty of Agriculture, Kasetsart University |
| 10. Assoc. Prof. Pornpen Werawatganone | Faculty of Pharmaceutical Sciences, Chulalongkorn University |
| 11. Assoc. Prof. Vichai Suraphat | Faculty of Engineering, Kasetsart University |
| 12. Asst. Prof. Dr. Chakkrit SnaeaNamahoot | Faculty of Science, Naresuan University |
| 13. Asst. Prof. Dr. Anumust Deachana | Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University |
| 14. Asst. Prof. Dr. Nifatamah Makaje | Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University |
| 15. Asst. Prof. Dr. Orawan Tripak | Faculty of Science, Prince of Songkla University |
| 16. Asst. Prof. Dr. Payungsak Junyusen | Institute of Engineering, Suranaree University of Technology |
| 17. Asst. Prof. Dr. Rattanaporn Wangkeeree | Faculty of Science, Naresuan University |
| 18. Asst. Prof. Dr. Samerkae Somhom | Faculty of Science, Chiang Mai University |
| 19. Asst. Prof. Dr. Sukum Eitssayeam | Faculty of Science, Chiang Mai University |
| 20. Asst. Prof. Dr. Udom Tipparach | Faculty of Science, Ubon Ratchathani University |
| 21. Asst. Prof. Dr. Veena Satitpatipan | Faculty of Pharmacy, Mahidol University |
| 22. Asst. Prof. Pakawadee Kaewkannetra | Faculty of Technology, Khon Kaen University |
| 23. Asst. Prof. Saharat Wongsrisa | Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon |

General Information of Thaksin University

About the Journal

Thaksin University Journal is a peer-reviewed journal publishing research articles, academic articles, socially-engaged articles in Multidisciplinary of sciences and technology of researchers, educators, and staff of Thaksin University and other institutions.

Publication Conditions

1. The work described has not been published previously.
2. The author must be a member of Thaksin University Journal except for special articles that the Editor gives an exception.
3. The manuscript must be typed in Thai or English with both Thai and English abstracts.
4. Content and ideas published in this journal must be the author's only; the Editor does not necessarily agree with it.
5. The reviewers must review the manuscript.

Types of Published Articles

1. Research articles
2. Academic articles
3. Socially-Engaged articles
4. Letter to editor (to propose supportive or argumentative ideas of researchers, including presenting interesting knowledge and experience)

Journal Conditions

1. Manuscript must be typed on white A4-size paper, single side, with page number and **Angsana New Font size 14** with **not more than 8 pages** length, including figures and tables.
2. Margins
 - Top margin 1"
 - Bottom margin 1"
 - Left margin 1"
 - Right margin 1"
3. Manuscript Online Submission

The corresponding author must submit the manuscript online via Thai Journals Online (ThaiJo2) at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>.
4. The application for membership can be processed into ways:

Journal Authors

Researchers, academicians, or students who want to submit the article(s) must pay for reviewers' compensation, **2,000 Baht/ 70 US Dollars per article** if the article is accepted.

via **Krungthai** Bank account:

Account Name: Thaksin University Journal

Account Number: 678-4-59223-9

Branch: Tesco Lotus – Taland Papayom

After completing the payment, the membership applicant must attach the file of payment slip online at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> or contact the journal coordinators at the following address:

Research and Development Institute, Thaksin University, Phatthalung Campus
222 Moo. 2, Bann Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand 93210
Tel. 0-7460-9600 ext. 7254 or 08-1540-7304 Fax No. 0-7460-9654-5
E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or research.tsu@gmail.com

5. Article cancellation or dismissal has conditions as follows:

Article cancellation is done before article publication.

Article dismissal is done during or after article publication.

The cancellation or dismissal can be proceeded by downloading the form at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>; however, **if the article has already been sent to the reviewers, the corresponding author must be responsible for the reviewing fees.**

Manuscript Guidelines

The article must consist of:

1. Title

Title must be in Thai and English, **center** of the page. **The first alphabets** of all words of the title must be **capitalized with bold 20 font size**, prepositions and articles.

2. Authors

Identify all authors with **14 font size, center** of the page with **logarithm**. Position, academic title, and affiliation in the footnote on the first page: Department, Faculty and University stated in the same page, both Thai and English.

3. Abstract

Abstract must be in Thai and English, **not more than 250 words**, with **14 font size**.

4. Keywords

Keywords both in Thai and English related to the article, not more than 5 words, below the abstract.

It must be typed with 14 font size, left-margin. Proper nouns (the first alphabet of each word) must be capitalized.

5. Main Body consists of:

- 1) Introduction: Significance or background of the study, research objectives, and/or review of related literature
- 2) Research methodology
- 3) Results
- 4) Discussion
- 5) Conclusion

* 4) and 5) can probably be merged

- 6) Acknowledgement (if any)

- 7) References must be **APA 6th Edition** and in **English only**

6. Attachment

This is attached with the manuscript to certify that the experiment is biological safe, ethical (using animal samples) or moral (doing experiment in human).

7. Abbreviation and Signs

Abbreviation comes up with its full version in the first time, and only abbreviation later. Please avoid using abbreviation in the title and abstract. It is not recommended to use the abbreviation that is used less than four times in the article. The author(s) must provide definition or description of any signs used in the article when appearing in the first time.

8. Figure

Figure is at the center of the page, following by description below the figure in 14 font size. It must be clear monochrome (black and white color). If necessary, it can be colored. The word “figure” is bold, and the description is normal and set in the center of the page. Lined figure must be in clear black.

Example

kilogram /rai

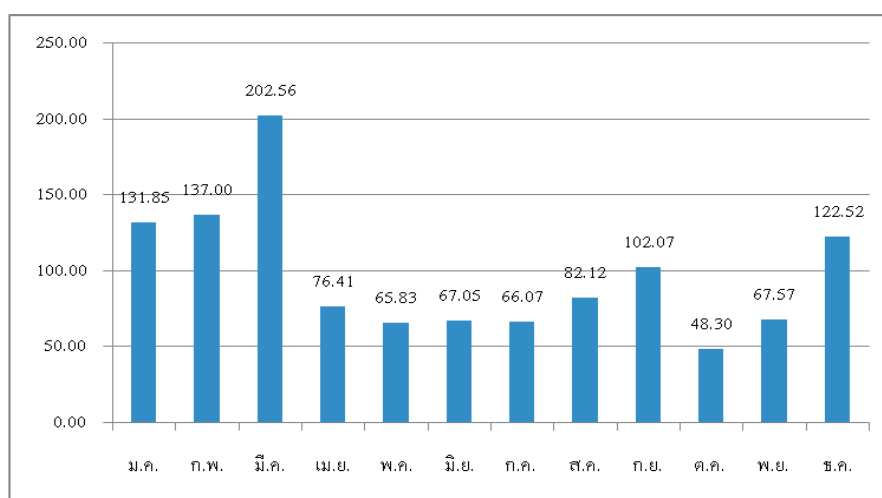


Figure 1 Fall of Monthly Leaves

9. Table

“Table” must be bold and at the left side of the column, and the description is above the table, with 14 font size.

Example

Table 1 Percentage of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium intensity in remains of decayed leaves in each period of time

Week	Nitrogen (percent)	Phosphorus (percent)	Potassium (percent)
0	0.81 ± 0.15	0.12 ± 0.08	0.44 ± 0.14
1	1.00 ± 0.05	0.09 ± 0.05	0.24 ± 0.12
2	0.89 ± 0.15	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
3	0.83 ± 0.14	0.17 ± 0.08	0.08 ± 0.02
4	0.78 ± 0.15	0.24 ± 0.24	0.09 ± 0.01
6	0.87 ± 0.11	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
8	0.84 ± 0.04	0.20 ± 0.13	0.09 ± 0.02
10	0.84 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.08 ± 0.02
12	0.80 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.07 ± 0.02

References

The reference lists must be APA 6th Edition referencing in English only and In-text Citation.

Intext Citations: Identify number in the bracket “[]” at the end of message in sequences.

1. Put the number in the bracket [] at the end of message or author’s name such as [1].
2. Put the continuous number started from 1. Any repeated list uses the same numbers.
3. All in-text citation must be in the reference lists based on the identified number in the bracket [].
4. Multi-citations for the same message:
 - 4.1 In case of not more than 2 lists, put the numbers of reference lists in numerical order using comma such as [1, 5].
 - 4.2 In case of more than 2 lists and those are continuous lists, use hyphen (-) such as [1-3], [1-5].
 - 4.3 In case of more than 2 lists and those are continuous and discontinuous lists, put comma (,) and hyphen (-) such as [1, 4-5].

In-text Citation

Identify number in the bracket “[]” at the end of message in sequences.

Example

1. Use of some chemical fertilizers or single fertilizers in too long length, which affect the lack of plant nutrition [1]...
2. Scherer [2] reported that...
3. and it also causes imbalance of plant nutrition in the soil [3-4]...

Referencing

Start the list with surname of the author, abbreviation of middle name (if any), and first name respectively, for example, Kessaratikoon, P., Choosiri, N., & Boonkrongcheep, R.

1) Books

Name of author/(year).//Book Title.//publication place:/press.

Example

- [1] Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. New Jersey: Pearson Education, Inc.,

Name of author/(year).// Book Title (edition).//publication place:/press.

Example

- [2] Satirajinda, M. (2000). *Iron & steel heat treatment engineering* (7th Ed). Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King’s Patronage.

2) Research Articles

Author’s name/(year).// Title of Article.//Journal, // volume/(issue),/page number.

Example

- [3] Keereekoch, T., Srisuwan, T., Patimin, S., Khunphan, R., Yayaman, A., Dinteb, H., & Subhadhirasakul, S. (2016). Effects of steam sterilization and potassium permanganate soak on microbial load and quality of ginger powder. *Thaksin University Journal*, 19(2), 9-21.

3) Proceeding Articles

Author's name// (year).//Title of Article.//In/Conference's Name./page//date/month/year./Conference venue//place:/press.

Example

[4] Boonkrongcheep, R., Maeha, A., & Kessaratikoon, P. (2016). Measurement and analysis of specific activities of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Thai Rice Bag Samples. In *The 24th Thaksin University National Academic Conference*. 18. May 21-24, 2016, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center. Songkhla: Thaksin University.

4) Book Chapter

Author's name// (year).//Title of Chapter.//In/Editors (if any).//Name of Book./page number//publication place:/press.

Example

[5] Lawrence, J. A., & Dodds, A. E. (2003). Goal-directed activities and life-span development. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.), *Handbook of Developmental Psychology*. 517-533. London, England: Sage Publications.

5) Articles in the Newspaper

Author's name// (year,date).//Title of Article.//Name of Newspaper.//page number.

Example

[6] Schultz, S. (2005, December 28). Calls made to strengthen state energy policies. *The Country Today*. 1A, 2A.

6) Thesis

Researcher's name// (year).//Thesis Title.//level of study/degree//publication place:/institution.

Example

[7] Paungfoo, C. (2003). *Use of molecular biology techniques in studying the nitrifying bacteria community from shrimp farming system*. Doctoral Dissertation. Prince of Songkla University.

7) Information from the Internet

Use the general form of citation following by website; for example, the author borrows the ideas from a book on the website, so the reference list consists of the name of author, year of publication, book title, and publication place. Another information should be added: searching date and URL – Retrieved + date + from URL

Author's name// (year).//Title (Online).//publication place:/press.//Retrieve ...from <http://www.....>

Example

[8] Department of Foreign Trade. (2012). *The situation of sawn rubber wood Thailand* (Online). Retrieved 3 August 2016, from <http://www.dft.go.th/en-us/Information-Service/PR-Materials/ctl/DetailUserContert/mid/660/conternted/4252>.

8) List of Interviewees

Name of interviewee/position,/interviewing place,/interviewing date/interview.

Example

[9] Pardee, H. N. Professor of Economics and Political Science, University of California. 2000, November 8, Interview.

9) Patent

Name of patent register/(year)./Name of Invention. country. patent number.

Example

[10] Jansun, E. *et. al.* (2015). *Kit for gold nanoparticles synthesis from gold-leaf*. Thailand. No. 1303000492.

10) Articles with Digital Object Identifier (DOI) or Database's Unique Identifier (If it is presented on the first page of article.)

Surname. Name.//year).// Title of Article. *Journal*,/Volume/(Issue),/page. DOI.

Example

[11] Noojeensang, K., & Waewsak, J. (2016). Assessment of sea wave power potential in the Gulf of Thailand using simulating wave nearshore (SWAN). *Thaksin University Journal*, 19(1), 12-20. DOI: 10.14456/tsuj.2016.2.



สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ

222 หมู่ 2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7254 โทรศัพท์/โทรสาร 0-7460-9655

E-mail Address : tsujournal@gmail.com, research.tsu@gmail.com