

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุตินาฏ ชรีวิบูลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธุ์ รัตนาวะดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี คำเงิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ ศุภวารสุวัฒน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.มานิช สรรพกิจทิพากร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุชา เนตรประดิษฐ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ ปัทมวรคุณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ผกามาศ ผจญแก้ว

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

รองศาสตราจารย์ศิวพันธุ์ ชูอินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ สอนสุวิทย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียา แก้วอาษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัยรัตน์ มาติะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปทุมทอง ไตรรัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย ชูศิลป์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี รตนโนภาส สุวรรณลี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ สุธะโพธ
ดร.ติณภพ แพงผม
ดร.รัชนิกร ชลไชยะ
ดร.เสาวลักษณ์ สุทธิเจริญ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกออร์กีนครปรี

กำหนดการเผยแพร่

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

ฝ่ายประสานงานและจัดการ

นางสาวดวงเนตร สารสมบัติ

เจ้าของวารสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทัยนอก เขตดุสิต
กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440

www.fit.ssru.ac.th

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

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้การวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ การพัฒนาเชิงประยุกต์ และรวมถึงงานวิจัยเชิงบูรณาการที่มีการพัฒนา เพื่อนำไปสู่การพัฒนาโครงสร้างเศรษฐกิจฐานรากที่มุ่งเน้นการแก้ปัญหาภาคเกษตร ภาคอุตสาหกรรม เพื่อยกระดับ พัฒนาคุณภาพ สมรรถนะทั้งในระดับท้องถิ่น ระดับสากล ให้สามารถพัฒนาสู่ผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างมั่นคง มั่งคั่งและยั่งยืนสอดคล้องกับ โมเดลพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ไทยแลนด์ 4.0 ซึ่งในแต่ละบทความได้รวบรวมองค์ความรู้จาก ผู้มีความเชี่ยวชาญในหลากหลายด้าน นักวิจัยและประชาชนทั่วไปสามารถนำความรู้จากวารสารนี้ไปต่อยอดในการสร้างนวัตกรรมใหม่และสามารถนำ กระบวนการ องค์ความรู้ เทคโนโลยีใหม่จากบทความไปประยุกต์สร้างสรรค์และใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริงในอนาคต วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 1 ของปีที่ 10 (เดือนมกราคม - มิถุนายน 2565) บทความวิจัยในเล่มนี้มี 8 เรื่องประกอบด้วย The Invention of Semi-automatic Lathe Wood, การพัฒนากระบวนการทำนายในการจำแนกอายุน้ำยางพาราด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ, การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์, การพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนจากวัสดุธรรมชาติ โดยใช้สารยึดติดจากเมล็ดมะขาม สารให้สีจากผลกล้วยปลาคูและผงมะเกลือ, กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมที่เคลือบอีพ็อกซีกับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย, ประสิทธิภาพของผักตบชวาต่อการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตปลาร้า, การประเมินความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากดาวเทียม Sentinel-5P ในกรุงเทพมหานครช่วงมาตรการปิดเมืองจำกัดการระบาดของโควิด-19, คุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อยในประเทศไทย ซึ่งเนื้อหาของบทความทั้งหมดนี้ได้เรียบเรียงจากผลการวิจัยที่เป็นนวัตกรรมใหม่มีความร่วมสมัยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เหมาะสำหรับการใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าของคณาจารย์ นักวิชาการและผู้ที่สนใจทั่วไป

สำหรับวารสารฉบับต่อไปคือฉบับที่ 2 ของปีที่ 10 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2565) โดยเปิดรับบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ การพัฒนาเชิงประยุกต์ เพื่อการพัฒนาชุมชนอัจฉริยะ และรวมถึงงานวิจัยเชิงบูรณาการที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ เพื่อการพัฒนาและยกระดับชุมชนอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งวารสารมีพื้นที่ให้ผู้สนใจ นักวิจัย อาจารย์ และนักศึกษาสามารถส่งผลงานมาพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ ทางวารสารมีความยินดีเป็นสื่อกลางสำหรับการเผยแพร่ผลงาน โดยบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการและพิจารณากลั่นกรอง (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญตามสาขาที่เกี่ยวข้อง

ในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีความหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ และขอขอบคุณสมาชิกวารสารและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้วารสารวิชาการฉบับที่ 1 ประจำปี พ.ศ. 2565 สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง
บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
The Invention of Semi-automatic Lathe Wood <i>Kritchakhris Nawattanaprasert, Nattapon Nenthong, Yuthapoom Seanlard, Wirat Sirisakha, Ritthikai Kangindech, Natthapong Phetthat, Tanakorn Niawkeaw</i>	1-11
การพัฒนากระบวนการทำนายในการจำแนกอายุน้ำยางพาราด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ Development of Regression Process for Storage Time of Natural Rubber Latex Classification using Microwave frequencies <i>ปพนพัชญ์ ธนาเศรษฐ์วัฒน, พรพิมล ฉายแสง, ประพนธ์ ลีกุล</i>	12-22
การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Analysis of Covariance in Completely Randomized Design <i>ยุทธ ไกยวรรณ</i>	23-31
การพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนจากวัสดุธรรมชาติ โดยใช้สารย้อมติดจากเมล็ดมะขามสารให้สีจากผลก้างปลาเคือและผงมะเกลือ Developing Screen Printing Ink from Natural Materials Using Tamarind Seeds as Mordant and Kangplakreua fruits and Ebony Powder as Colorants <i>วีระ โชติธรรมาภรณ์</i>	32-41
กำลังยึดหน่วงระหว่างเหล็กเสริมที่เคลือบอีพ็อกซี่กับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย Bonding Strength of Rebars Coating Epoxy Resin in Concrete mixed with Bagasse Ash <i>ปิยนุช ใจแก้ว, ภัคดี คบกลาง</i>	42-51

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย

หน้า

ประสิทธิภาพของผักตบชวาต่อการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสีย
จากกระบวนการผลิตปลาร้า

52-61

Efficacy of water hyacinth on phosphate absorption from Pla-ra
production process

ปิยนุช ใจแก้ว, ชาญชัย คหาปนะ, ณภัทร โพธิ์วัน

การประเมินความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
จากดาวเทียม Sentinel-5P ในกรุงเทพมหานครช่วงมาตรการปิดเมือง
จำกัดการระบาดของโควิด-19

62-71

Assessing Accuracy of Nitrogen Dioxide Concentration Data from
Sentinel-5P Satellite over Bangkok during COVID-19 Lockdown

ปริชาติ เวชยนต์, จิตยา โมกข์บุรุษ, พัทธิธรา ตาซุชาติ, พิชามณัฐ ชยาภิวัฒน์

คุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงาน
ของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย
Industrial 4.0 Characteristics affecting to the operational efficiency of
small and medium size the electronics components manufacturing in
Thailand

72-81

ไมตรี บุญจันทร์, สานิต ศิริวิศิษฐ์กุล, เกียรติชัย วีระญาณนนท์

The Invention of Semi-automatic Lathe Wood

Kritchakhris Nawattanaprasert*, Nattapon Nenthong, Yuthapoom Seanlard, Wirat Sirisakha, Ritthikai Kangindech, Natthapong Phetthat,

Tanakorn Niawkeaw

Faculty of Industrial Technology, Phranakorn Rajabhat University

Email: kritchakhris@pnru.ac.th

Received: Nov 18, 2021

Revised: Feb 22, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

Abstract

This research aims to study the condition of semi-automatic lathe wood and to develop a semi-automatic lathe wood to be effective in processing wood products. It is an experimental research in which a semi-automatic lathe wood was experimented with eucalyptus, mango, acacia, tamarind and teak wood and their components. The dependent variable and performance level testing are independent variable. From the experimenting of the wood suitability in both the X-axis and Z-axis directions, it was found that duration, length and depth are related to the blade size. The ideal wood for turning is a trial with a 35 mm X-axis blade size. The smallest wood that can be turned is a teak of 22mm. within the specified working time of 4 minutes in the Z-axis coordinate of 40 mm. While the shortest wood turned within the same time is also a teak of 32 mm. In conclusion, a teak is the most suitable wood for turning work; the wear of the wood turning knife in the X-axis, was related to the hardness of the wood which shows that wear varies with the wood hardness; while in the Z-axis, hardwoods as teak and tamarind do more damage to the blade than eucalyptus, acacia, and mango woods. The semi-automatic lathe wood developed by researchers can be used more effectively, faster, and better in production applications for a suitable wood as teak that can provide the smallest and shortest wood. Therefore, this semi-automatic lathe machine can be used in the process of producing sawn timber efficiently and rapidly as a product of the Nasom Village Community.

Keywords : semi-automatic lathe machine, lathe wood, teak wood, wear, woodturning knife

Introduction

There is a lot of industrial development in Thailand, nevertheless it is still inefficient and needs development in some aspects, such as the technology and the production efficiency. The growth of the industry is another characteristic of the industrial development of various countries. Industrial development is one of the key goals of development and leading to economic growth. Efficient use of available resources is therefore an important way to achieve economic prosperity and lead to other development. From the past, machines were used and played a very important role in the industrial sector to replace the lack of labor and to operate more efficiently. Most factories do not use modern technology due to the low budgets and lack of standard training personnel. Traditional work is manual labor and relying mainly on old knowledge (Daniel Lerner. 1958). As a result, the work is not on time and the product is of low quantity and quality. Habitual work causes problems while machines that are not suitable for the job cause damage and need to be repaired as waste. Therefore researchers have an aim to find different types of wood on the lathe, solutions to reduce costs, labor, time, and use the machine correctly for the maximum benefit (Songchai Saetang. 2016). As the government has a policy to protect the machinery manufacturing industry including the dumping the major exporting countries, Thailand began to export more processed

wood products from a surplus of domestic production. In addition to receiving export quotas from the agreement on trade in timber products, as a result, Thailand's exports of such goods grew rapidly. At present, villagers in Nasom Community, Chai Badan, Lopburi use a simple traditional wood lathe, as a result, turning various types of wood used for producing community products, souvenirs, including furniture do not support the demand for distribution and household income. The research team realized the importance of studying and developing a semi-automatic lathe wood to benefit the needs of the villagers in Nasom Village Community in the production of lumber to be more efficient and faster as well as expanding on the development of knowledge in the use of semi-automatic lathe woods. This will create a balance in turning wood work pieces and perfect machine conditions, shorten production times, and achieve more quality work.

From the research on "The Analysis of Surface Wear Parameters of Press Tools in Fine Milling" by Paw Wilkinson (1996), it was found that the variables that affect the end mill wear are cutting speed, feed velocity, depth of cut, and feed per tooth. The machining distance and metallurgical properties of the end mills obtained from research shows that if the main structure of the end mill is marten site and carbide, there will be a different decomposition. Consistent carbide degradation structures with a small difference in size will affect wear. Due to

less shear than large carbide end mills with uneven decay, the martensitic structure of high cycle steel is very hard and the choice of cutting tool material in metal cutting processes with the aim of the research study of various factors affected the selection of metal cutting tools in industrial applications. From the experimental results, it was found that factors affecting the selection of cutting tools were geometric shapes, (various shapes and sizes of knives), material of the cutting knife, the coating on the handle of the knife handle, the material of the work piece to be manufactured, and most importantly, the machining conditions. They are classified as bend radius, knife tip, knife setting angle, rake angle, relief angle, and wedge angle with cutting depth, feed (r/min), feed speed (mm/min) and cutting speed (mm/min).

Furthermore, from Kongrit Nakhonchai (2016) research on basic lathe (RIT 1-M200) which is a manual controlled lathe that can be controlled by computer or CNC Lathe with less tolerance for turning work, the method of scraping and adjusting the contact surface, i.e. bed, cross slide, head stock, tail stock, and the lead shaft is changed to ball screw type guide shaft). The dimensions of $\varnothing 16 \times 5$ with ball nut for driving the turret axis along the lathe axis or Z-axis for cross-section or X-axis

change to shaft ball screw size $\varnothing 12 \times 5$ with Ball nut (Ball nut), both axes are driven by a stepping motor (Stepping motor) using the Mach 3 control unit as a program for controlling the operation from the experiment with the movement of the turret platform to check the distance of moves with the check bar on both axes. It was found that in the X axis tested at a distance of 49.504 mm with 95% confidence (Confidence Interval: CI) and move back coverage to the actual distance of 49.504 mm resulted in insignificant differences, and the Z axis was tested at distances of 49.504 and 59.172 mm with 95% confidence (Confidence Interval: CI) for moving back and forth.

Research Objectives

1. To study and analyze the condition of the wood lathe.
2. To invention a semi-automatic lathe wood to be effective in processing wood products.

Research Conceptual Framework

The research team had studied information from documents, text books, concept theories, and related research results and process them into a conceptual framework as can be seen from Figure 1

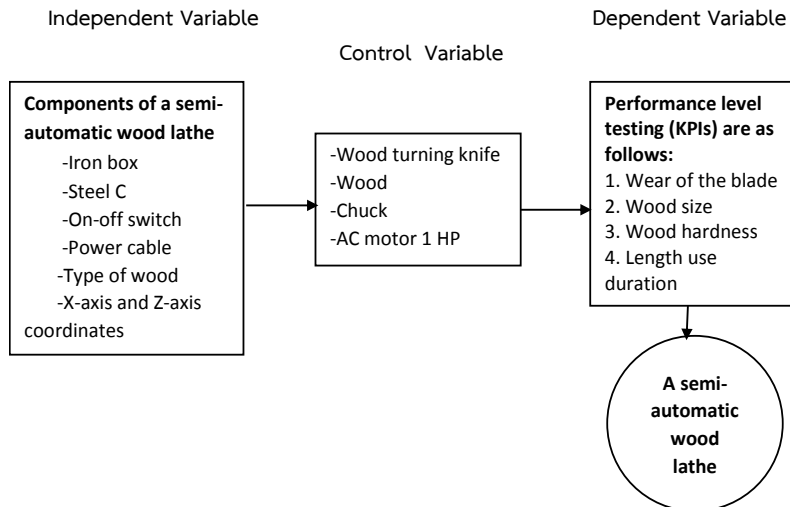


Figure 1 Research Conceptual Framework

Research methods

Data flow chart:

Step 1 Study and collect theoretical data on the lathe construction as can be seen from Figure 2.

Step 2 Design and build wood lathe base as can be seen from Figure 3.

2.1 Design a wood lathe as can be seen from Figure 4.

2.2 Build wood lathe base

2.3 Motor base design for positioning

2.4 Build motor base

2.5 Design lathe knife appearance

2.6 Build a turning knife as can be seen from Figure 5.

Step 3 Assemble wood lathe by attaching the work piece chuck and

motor to the machine base and attach to the belt and turret to the wood lathe, run electrically in the lathe and check the integrity of the wood lathe as can be seen from Figure 6.

Step 4 Testing of woods, one by one from eucalyptus, acacia, mango, tamarind, and teak (as can be seen from Figure 7,8,9,10 and 11) on lathe performance to find a wooden bar to turn that the machine can actually be used without defects.

Step 5 Summarize wood lathe performance.

Step 6 Prepare research papers and disseminate research information.

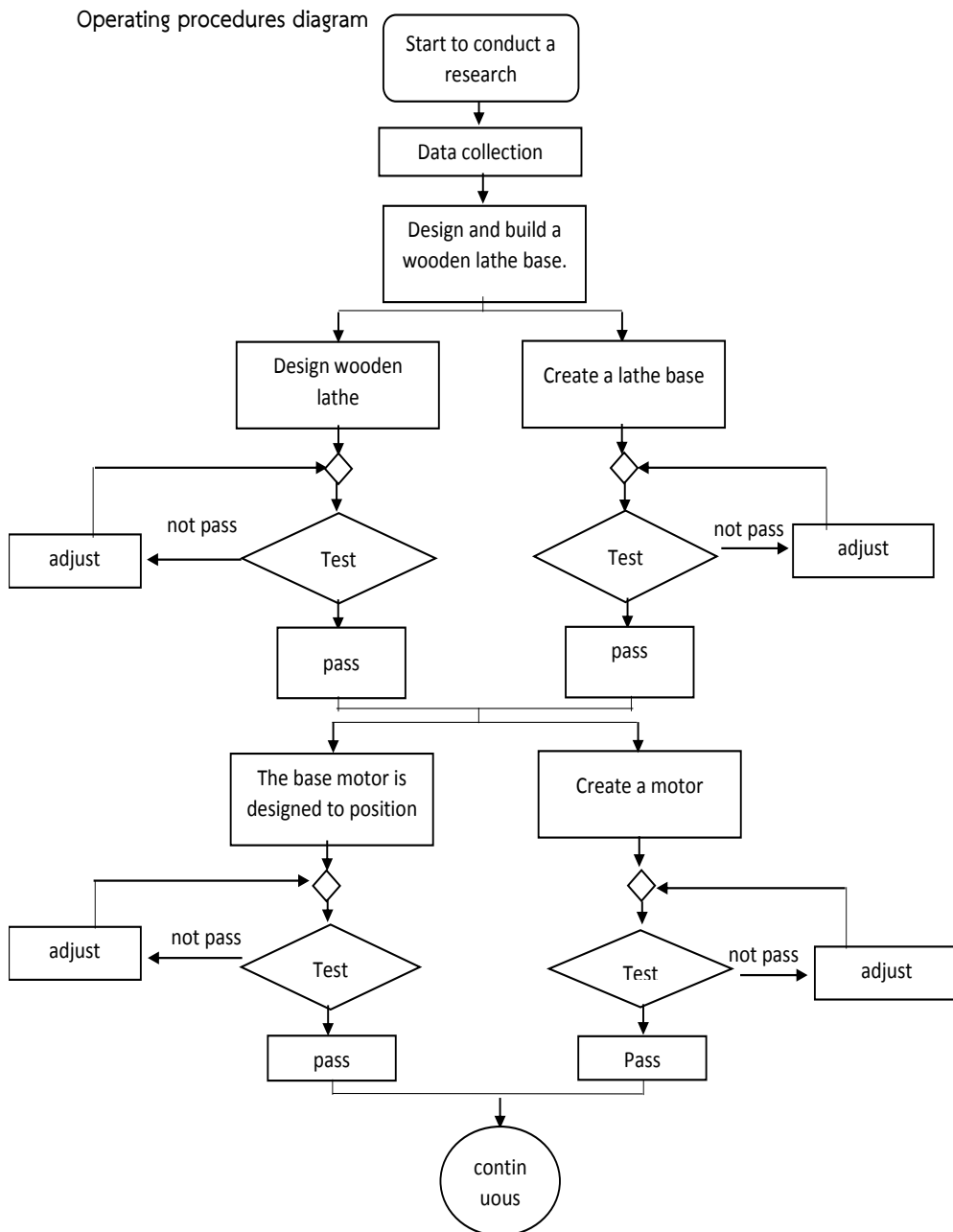


Figure 2 Operation procedure diagram

Operating procedures diagram to

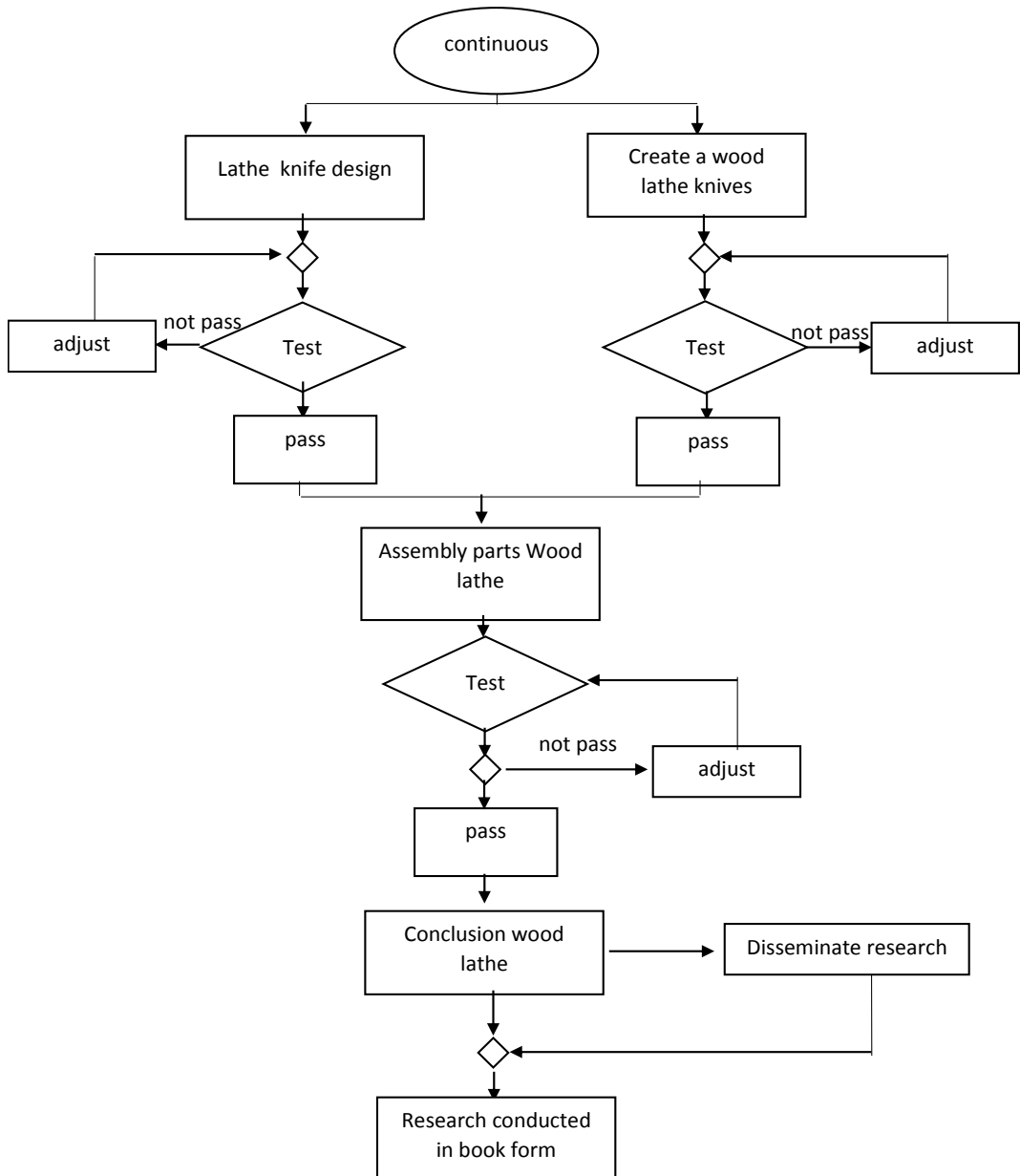


Figure 3 Operation procedure diagram (continue)



Figure 4 Semi-automatic lathe wood



Figure 7 Eucalyptus wood



Figure 5 Turning knife



Figure 8 Mango wood



Figure 6 Welding of the structure of a wood lathe



Figure 9 Acacia wood



Figure 10 Tamarind wood



Figure 11 Teak wood

Results and Discussions

The results of the 2-axis lathe experiment, the researcher controlled this experiment by determining the efficiency of the wood lathe for each wood turning, and also aimed to find the accuracy to choose the right type of wood. The researcher conducted an experiment to determine the efficiency of a 2-axis lathe which was conducted in different coordinates to study the tolerance of the X-axis coordinate and the Z-axis coordinate.

The research results are that the condition of the original wood lathe and the use of the manufacturer in the Nasom Village Community is not able to produce community products, souvenirs and furniture processed from wood. It cannot supply the demand of producing products for the distribution to the consumer markets. Moreover, the experimenting with the lathe on different types of wood, such as duration, length and depth are related to the size of the blade. The suitability of wood for both X-axis and Z-axis was tested. The wood suitable for turning from the

experiment was a 35 mm. X-axis face milling cutter. The smallest wood that could be machined was a teak with a size of 22 mm. with the minimal working time of 4 minutes in Z axis size 40 mm. The shortest machined wood is teak with size 32 mm. The working time is 4 minutes and the suitable wood type is teak that is the most suitable for turning work, as shown in Table 1 below:

Table 1 Wood Type Hardness Test of X-axis coordinates and Z-axis coordinates from facing cutters.

Wood Type	Test			
	Experiment with the X-axis 35 mm	Set Time of Work	Experiment with the Z-axis 40 mm	Set Time of Work
	Workpiece size (mm)	Minute	Workpiece size (mm)	Minute
Eucalyptus	32	4	37	4
Mango	29	4	36	4
Acacia	27	4	35	4
Tamarind	27	4	33	4
Teak	22	4	32	4

The woods used for this experiment are eucalyptus, mango, acacia, tamarind, and

teak with the X-axis/Z-axis of 32/37, 29/36, 27/35, 27/33, and 22/32 respectively, within the set time of 4 minutes work for all kind of wood.

For the wear test of the wood turning knives at the X and Z axis, the results from the experiment in the X axis showed that the blade wear was different. Due to the hardness of the teak or tamarind wood, it causes different wear. For example, the soft wood as eucalyptus, acacia, or mango did not damage the knife much, and each type of wood has a different effect on the wear of the blade. From the Z-axis experiment, it was found that the blade wear test was different due to the dissimilar hardness of wood, for example, not very hard wood did not cause much damage to the blade during the wood turning operations of a semi-automatic wood lathe.

A semi-automatic wood lathe can be developed more efficiently and faster in production applications. The hardness of teak or tamarind causes different wear. For example, a not very hard wood damages the knife less, and each type of wood has a different effect on the wear of the blade. From the Z-axis experiment, it showed that the blade wear test was different because of the dissimilar hardness of the wood.

A semi-automatic wood lathe can be developed more efficiently and faster in production applications, because the hardness of the wood that is involved causes different wear. For example, a not very hard wood damages less the knife, and each type of wood has not the same effect on the wear of the blade. From the Z-axis

experiment, it was found that the blade wear test was different because of the dissimilar hardness of wood, for example, not very hard wood damages the blade during wood turning operations by a semi-automatic wood lathe.

A semi-automatic wood lathe should be developed to be more efficient and faster in production applications. Mild wood will not cause much damage to the blade during the turning operation of a semi-automatic wood lathe, as shown in Table 2:

Table 2 Wear test of wood turning knife at X-axis

X-axis Wood Turning Knife Wear Test					
Wood Type	Teak	Tamarind	Acacia	Mango	Eucalyptus
Test Duration (Minute)	5	5	5	5	5
Wear of Wood Turning Knives	Stable	Stable	Stable	Not stable	Not stable

For the wear test of the wood turning knives at the X and Z axis, the results from the experiment in the X axis showed that the blade wear was different. Due to the hardness of teak or tamarind, it causes different wear. For example, the soft wood as eucalyptus, acacia, and mango did not damage the knife much, and each type of wood has a different effect on the wear of the blade. From the Z-axis experiment, it was found that the blade wear test was different due to the dissimilar hardness of wood, for example, not very hard wood did not cause much damage to the blade

during the wood turning operations of a semi-automatic wood lathe.

A semi-automatic wood lathe can be developed more efficiently and quickly in production applications. The hardness of the wood that is involved causes different wear. For example, a not very hard wood damages the knife less, and each type of wood has a different effect on the wear of the blade. From the Z-axis experiment, it showed that the blade wear test was different because of the dissimilar hardness of the wood.

A semi-automatic wood lathe can be developed more efficiently and quickly in production applications, because the hardness of the wood that is involved causes different wear. For example, a not very hard wood damages less the knife, and each type of wood has not the same effect on the wear of the blade. From the Z-axis experiment, it was found that the blade wear test was different because of the dissimilar hardness of wood, for example, not very hard wood damages the blade during wood turning operations by a semi-automatic wood lathe.

A semi-automatic wood lathe should be developed to be more efficient and faster in production applications. Mild wood will not cause much damage to the blade during the turning operation of a semi-automatic wood lathe.

A semi-automatic wood lathe can be developed to be more efficient and faster in production applications. Mild wood will not cause much damage to the blade

during the turning operation of a semi-automatic wood lathe, as shown in Table 3:

Table 3 Wear test of wood turning knife at Z-axis

Z-axis Wood Turning Knife Wear Test					
Wood Type	Teak	Tamarind	Acacia	Mango	Eucalyptus
Test Duration (Minute)	5	5	5	5	5
Wear of Wood Turning Knives	Stable	Stable	Not stable	Not stable	Not stable

Conclusions

The research results are as follows: 1) as the original wood lathe and the use of the manufacturer in the Nasom Village Community cannot produce wood products to supply the markets, so this invented semi-automatic lathe wood can be developed more efficiently and faster in production applications with teak and tamarind hardness that causes different wear; while acacia, mango, and eucalyptus will not cause much damage to the blade; 2) the experimenting with the lathe on different types of wood related to the blade size; 3) wood suitable for X-axis and Z-axis was a 35 mm. X-axis face milling cutter; 4) teak can provide the smallest wood from the experiment of using a 22 mm. teak wood, 4 minutes of the minimal working time, in 40 mm. Z-axis; as well as it can provide the shortest wood of 32 mm within 4 minutes, and 5) the wear test of the wood turning knives at the X-axis and Z-axis,

shows that the blade wear was different due to the hardness of the wood.

Therefore, in conclusion, the overall result is that this semi-automatic lathe wood can be used in the process of producing sawn timber as a product of the Nasom Village Community including it can be developed more efficiently and faster in production applications.

Acknowledgment

This research was supported by Research and Development Institute, Phranakorn Rajabhat University.

References

- [1] Buaphan Prompukping, *Theory of technology and modernity, 2nd printing*, Khon Kaen : Khon Kaen University, 2014.
- [2] Charlie Trakankul, *CNC technology*, Bangkok: Promotion Association (Thai-Japanese), 2012.
- [3] Daniel Lerner, *The Passing of Traditional: Modernizing the Middle*, New York: Free Press, 1958.
- [4] Kongrit Nakhonchai, "Automatic lathe process by using suitable machining conditions," Master's thesis (Engineering Management Program), Engineering: Burapha University, 2016.
- [5] Kua Wongboonsin, *Population and development*, Bangkok: Chulalongkorn University Publishing, 2015.
- [6] Manop Arjphru, *Development of a lathe knife holder*, Bangkok: Srinakharinwirot University, 2008.
- [7] Nirand Chongwuthiwet, and Poonsiri Watjanaphum, *Theories and concepts of community development, 3rd printing*, Nonthaburi: Sukhothai Thammathirat University Press, 2016.
- [8] Paw Wilkinson, *Selection of cutting tool materials in metal*, New York: Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [9] Prasit Pittayapat, *Theories related to semi-automatic systems, Automation and control equipment Electricity, 3rd Edition*. Bangkok: Expnernet, 2013.
- [10] Songchai Saetang, *Computerized machine control, 3rd printing*, Chiang Mai: Chiang Mai University, 2016.
- [11] Surasawadeerat Kulchai, *Concept and theory of lathe, 4th printing*, Bangkok: Chulalongkorn University Publishing, 2016.
- [12] Tarinsit Thammacharn, *Theories related to semi-automatic systems, Automation and control equipment Electricity, Second Edition*. Bangkok: Chulalongkorn University Publishing, 2016.
- [13] Theerapong Khanthong, "Improving the efficiency of machines," independent research degree Master's degree in Industrial Development Department of Industrial Engineering: Thammasat University, 2015.
- [14] Thosaporn Sirisamphan, *Theory of Dependency Development*, Bangkok: Chulalongkorn University Publishing, 2015.

การพัฒนากระบวนการทำนายในการจำแนกอายุน้ำยางพารา ด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

ปพนพัชญ์ ธนาเศรษฐ์วัฒน¹, พรพิมล ฉายแสง², ประพนธ์ ลีกุล^{2*}

¹สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Email: anupon.s@rbru.ac.th¹, prapan.l@rbru.ac.th²

Received: Nov 29, 2021

Revised: Apr 7, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการตรวจสอบอายุของน้ำยางพาราแบบไม่ซับซ้อน โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านคลื่นความถี่ไมโครเวฟ กำลังงานความถี่ส่งผ่านจากการจำลองในการตรวจวัดน้ำยางพารา ได้รับการวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อจำแนกอายุการเก็บรักษา วิเคราะห์อายุการเก็บรักษาของน้ำยางพารา การตรวจวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราถูกใช้พัฒนาโมเดลในการจำลองระบบ การจำลองระบบตรวจวัดน้ำยางพาราใช้การส่งผ่านคลื่น 2 คู่ ประกอบด้วย ความถี่ 10.2 กับ 10.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 10.2 กับ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ค่าความต่างของกำลังงานการส่งผ่านจากการวัดน้ำยางพารา คือ พารามิเตอร์ $|S_{12}|$ $|S_{21}|$ $|S_{34}|$ และ $|S_{43}|$ ค่าพารามิเตอร์ S ถูกใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างกระบวนการตัดสินใจที่แม่นยำ โครงสร้างที่เหมาะสมประกอบด้วย 4 อินพุตโนด 8 โนดซ่อนเร้น และ 1 เอาต์พุตโนด อัตราการเรียนรู้ 0.1 ความแม่นยำอยู่ที่ 97.62% แสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดสามารถแยกอายุน้ำยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

คำสำคัญ: อายุของน้ำยางพารา, คุณสมบัติไดอิเล็กตริก, การส่งผ่านความถี่ไมโครเวฟ, โครงข่ายประสาทเทียม

Development of Regression Process for Storage Time of Natural Rubber Latex Classification using Microwave frequencies

Paponpat Thanasetwatthana¹, Pornpimon Chaisaeng², Prapan Leekul^{2*}

¹Faculty of Management Sciences, RambhaiBarni Rajabhat University

²Faculty of Industrial Technology, RambhaiBarni Rajabhat University

Email: anupon.s@rbru.ac.th¹, prapan.l@rbru.ac.th²

Received: Nov 29, 2021

Revised: Apr 7, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

Abstract

This work presents a low complex time storage measurement of natural latex using the microwave transmission technique. The transmission power obtained from natural latex measurements are simulated and then analyzed by artificial neural networks to classify storage time. The storage time of natural latex was analyzed by continuously measuring the dielectric properties for 12 hours. Then they were used to model in simulation. In the simulation, two pairs of double frequencies transmitting and receiving antennas: the first pair at the frequencies of 10.2 and 10.4 GHz and the second one at the frequencies of 10.2 and 10.6 GHz, were used to transmit and receive the microwave signals through natural latex. The transmission power, $|S_{12}|$, $|S_{21}|$, $|S_{34}|$, and $|S_{43}|$ were used in training the artificial neural networks to develop the accurate decision-making process. The optimum structure of artificial neural networks consisted of four input nodes, eight hidden nodes, and one output node with the learning rate 0.1 that provided 97.62% accuracy. It shows that the efficiency of the presented decision-making process with artificial neural networks is suitable for storage time classification of natural latex application.

Keywords: Storage time of natural latex, Dielectric properties, Microwave transmission, Artificial neural networks

บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำยางชั้นรายใหญ่ของโลก โดยกว่าร้อยละ 85 ของผลผลิตถูกส่งออกไปยังต่างประเทศ ในปี 2563 ปริมาณการส่งออกสูงถึง 1,148,493 ตัน มีมูลค่ากว่า 39,480 ล้านบาท [1] น้ำยางชั้นเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ทุกรูปแบบ ยางรถยนต์ ยางล้อรถจักรยานยนต์ ยางพื้นรองเท้า และยางยืด เป็นต้น [2] คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำยางพาราที่มีอยู่หลายชนิด จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA no.) เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญทั้งน้ำยางพาราสดและน้ำยางชั้น เพื่อแสดงถึงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำยาง ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำยางเสื่อมสภาพ การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำยางด้วยวิธีการนับจุลินทรีย์โดยตรงใช้เวลาถึง 5 วัน ทำให้ไม่สามารถป้องกันการบูดเน่า และเสื่อมสภาพของน้ำยางที่เกิดขึ้นเร็วมาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการตรวจหาจำนวนกรดไขมันระเหยได้แทนการตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ โดยจำนวนกรดไขมันระเหยได้แปรผันตรงกับเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำยาง จำนวนกรดไขมันระเหยได้สูงแสดงถึงปริมาณจุลินทรีย์มาก จำนวนกรดไขมันระเหยได้ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานคุณภาพน้ำยางพาราสดและน้ำยางพาราชั้นตามมาตรฐาน ISO 2004-2010(E) โดยกำหนดให้จำนวนกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางสดไม่เกิน 0.06 [3] การควบคุมจำนวนกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางชั้น ต้องเริ่มตั้งแต่การควบคุมจำนวนกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางพาราสดก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิต วิธีการตรวจสอบจำนวนกรดไขมันระเหยได้ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นกระบวนการทางเคมี ซึ่งให้ผลแม่นยำ แต่มีขั้นตอนมาก เป็นการวัดแบบทำลาย ต้องเตรียมสารก่อนวัด ใช้สารเคมี [4] และใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง รวมถึงผู้วัดต้องมีความเชี่ยวชาญ ทำให้เป็นข้อจำกัดผู้ประกอบการขนาดเล็กที่ไม่สามารถตรวจสอบน้ำยางพาราสดที่เกษตรกรนำมาขาย ก่อนผลิตเป็นน้ำยางพาราชั้นได้ทั้งหมด ดังนั้นเพื่อป้องกันจำนวนกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางพาราสดสูงเกินไป จึงต้องใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram Disulphide: TMTD) และซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide: ZnO) เพื่อลดและ

ควบคุมจุลินทรีย์ ทำให้น้ำยางมีจำนวนกรดไขมันระเหยได้ต่ำกว่า 0.02 เป็นเวลานาน [5] เนื่องจากจำนวนกรดไขมันระเหยได้จะสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยจากการทดลองของ Hassan [6] พบว่าน้ำยางพาราสดที่ไม่เติมสารเติมแต่ง จำนวนกรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา จาก 0.1-0.2 ภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง ทั้งนี้สารเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ถูกจำกัดการใช้ในอุตสาหกรรมยางมียาง เนื่องจากก่อให้เกิดไนโตรซามีน (Nitrosamine) หรือสารก่อมะเร็ง ส่วนซิงค์ออกไซด์เป็นสารกลุ่มโลหะสังกะสี และตกค้างในผลิตภัณฑ์ อาจก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปกำจัดทิ้ง รวมถึงการสัมผัสกับแอมโมเนียมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การระคายเคืองต่อทางเดินอาหารและผิวหนัง [7] ดังนั้นจึงมีนักวิจัยนำเสนอวิธีการวัดจำนวนกรดไขมันระเหยได้ที่รวดเร็ว เพื่อให้สามารถตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพาราสดก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น ช่วยลดการใช้สารเคมีอันตรายเกินความจำเป็น โดย Wongwattana และคณะ [3] ได้นำเสนอเทคนิคการตรวจสอบจำนวนกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางพารา ด้วยอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared spectroscopy: NIR) ซึ่งทดสอบกับน้ำยางพาราสดและน้ำยางชั้น ที่มีช่วงจำนวนกรดไขมันระเหยได้ตั้งแต่ 0.0188 - 0.2707 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ R ที่ 0.832 และผลการทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกน้ำยางดีและน้ำยางที่เสื่อมสภาพออกจากกันได้ 91.86% เมื่อเทียบกับวิธี ISO 12099:2010(E) แต่งานวิจัยนี้ยังคงมีข้อจำกัดด้านราคา และการประมวลผลที่ซับซ้อน

ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำยางพาราด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟจึงได้รับการนำเสนอ โดยอาศัยคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่แตกต่างกันของน้ำยางพาราในแต่ละอายุการเก็บรักษา จำลองการตรวจวัดโมเดลน้ำยางพาราด้วยสายอากาศแพทช์พื้นฐาน 4 ตัว ขนาดของการส่งผ่านคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟจากการวัด ถูกใช้ในการฝึกสอนและพัฒนาระบบการตัดสินใจให้แม่นยำ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ของน้ำยางพาราสดเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น
2. เพื่อจำลองการส่งคลื่นความถี่ผ่านโมเดลน้ำยางพาราสดที่แต่ละอายุการเก็บรักษา
3. เพื่อออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกอายุการเก็บรักษาจากคลื่นส่งผ่าน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การแพร่กระจายคลื่นผ่านตัวกลาง

คุณสมบัติไดโอดอิเล็กทรอนิกส์เป็นคุณสมบัติหนึ่งของตัวกลาง ประกอบด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ϵ) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) ซึ่งมีผลต่อการลดทอนแอมพลิจูด และการเปลี่ยนแปลงเฟสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อแพร่กระจายในตัวกลาง โดยอธิบายได้ด้วยค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่น (γ) ดังสมการที่ (1) ซึ่งประกอบด้วยส่วนจริง คือค่าคงที่การลดทอน (α) แสดงถึงอัตราการลดทอนกำลังงาน และส่วนจินตภาพ คือ ค่าคงที่เฟส (β) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเฟส [8]

$$\gamma = \alpha + j\beta = j\omega\sqrt{\mu\epsilon}\sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}} \quad (1)$$

โดยที่

ω คือ ความถี่ในหน่วยเรเดียนต่อวินาที

σ คือ ค่าความนำไฟฟ้าของตัวกลาง

ดังนั้นในตัวกลางที่มีคุณสมบัติไดโอดอิเล็กทรอนิกส์แตกต่างกัน ส่งผลให้การลดทอนของกำลังงานและการเปลี่ยนแปลงของเฟสของคลื่นซึ่งแพร่กระจายจากภาคส่งสัญญาณผ่านตัวกลางไปยังภาครับสัญญาณมีค่าแตกต่างกัน นอกจากนี้ค่าการลดทอนกำลังงานเป็นค่าต่อหน่วยระยะทาง ดังนั้นเมื่อคลื่นแพร่กระจายลึกเข้าไปในตัวกลางการลดทอนจึงเพิ่มขึ้น

2. โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ถูกใช้ประมวลผลในระบบเซนเซอร์อย่างแพร่หลาย [9-11] เนื่องจากเหมาะกับการวิเคราะห์ระบบไม่เป็นเชิงเส้น [12] มีหลายอินพุต มีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตที่ซับซ้อน [13] รวมถึงยังคงทำงานได้ดีแม้อินพุตได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนของสัญญาณ [14] โครงข่ายประสาทเทียมชนิดเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron: MLP) มีโครงสร้างพื้นฐานการจัดเซลล์ประสาทเทียมเป็นชั้น ประกอบด้วยชั้นอินพุตสำหรับรับข้อมูลเข้าจำนวน i โหนด คือ v_1, v_2 ถึง v_i ชั้นที่ให้ผลผลิตของโครงข่ายคือ ชั้นเอาต์พุต ส่วนชั้นอื่นๆ ที่มีส่วนในการช่วยทำการประมวลผลอยู่ภายในเรียกว่า ชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer) ระหว่างชั้นมีการเชื่อมต่อ โดยกำหนดเส้นค่าถ่วงน้ำหนัก คือ $w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{ij}$ ไบแอสของระบบ คือ b_k และผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักที่คูณด้วยอินพุตกับค่าไบแอส คือ v_k จากนั้นค่า v_k ถูกนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่า y_k เอาต์พุต โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (y_{sig}) ซึ่งเป็นฟังก์ชันแอคติเวตแบบไม่เชิงเส้น ดังสมการที่ (2) [15]

$$y_k = y_{sig} \left(\frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}x_j + b_k}{v_k} \right) \quad (2)$$

ขั้นตอนการพัฒนาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม เริ่มจากการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม การฝึกสอนใช้การปรับโครงสร้างของจำนวนโนดซ่อนเร้นตั้งแต่ 4 6 8 และ 10 โหนด เพื่อให้การตัดสินใจทำได้แม่นยำและใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่มีผลให้การเรียนรู้ทำได้อย่างรวดเร็วและให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุด

ระเบียบวิธีวิจัย

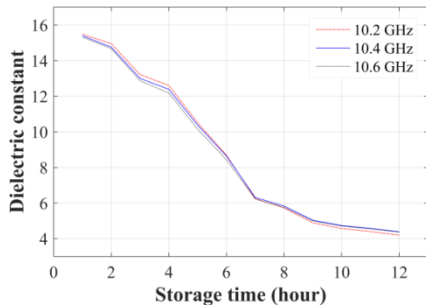
1. การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก

น้ำยางพาราสดมีช่วงอายุของการเก็บรักษาต่างกันตามระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อจำนวนกรดไขมันระเหยได้สามารถสังเกตได้จากการวิจัยของ Hassan และคณะ (2015) พบว่าที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาตั้งแต่ 0 ถึง 16 ชั่วโมง มีผลทำให้จำนวนกรดไขมันระเหยได้เปลี่ยนในช่วง 0.1 ถึง 0.2 ดังนั้นในงานนี้จึงใช้อายุการเก็บรักษาเป็นตัวแทนของจำนวนกรดไขมันระเหยได้ การวิเคราะห์เบื้องต้นในการแยกอายุการเก็บรักษาเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราสดที่ไม่ใส่สารเติมแต่งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ตัวอย่างน้ำยางพาราที่ได้รับการทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นน้ำยางพาราสดที่กรีดใหม่ การทดสอบทำในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส การตรวจวัดใช้โพรมิโคแอกเซียลสำหรับวัดไดอิเล็กตริก รุ่น Keysight N1501A ข้อมูลถูกส่งต่อเพื่อเข้ารับการประมวลผลด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายรุ่น Fieldfox N9915A ของบริษัท Agilent technology เครื่องมือวัดได้รับการปรับเทียบ เพื่อให้การวัดมีความเที่ยงตรงประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1) การวัดแบบเปิดวงจรด้วยอากาศ 2) การวัดแบบลัดวงจรด้วยกล่องลัดวงจรและ 3) การวัดโหลดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นตรวจวัดน้ำยางพาราสดตัวอย่างที่มีปริมาณ 250 มิลลิลิตร ที่ได้รับการบรรจุอยู่ในบีกเกอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1

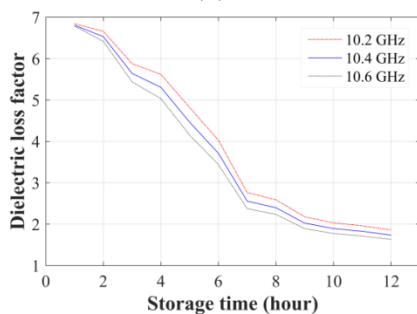


รูปที่ 1 การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพารา

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราสดได้รับการตรวจวัดทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตลอดอายุการเก็บรักษาเริ่มการตรวจวัดตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึง 12 ชั่วโมง การตรวจวัดแบ่งออกเป็น 3 ความถี่ คือ ที่ความถี่ 10.2 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับจากการตรวจวัดประกอบด้วย ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r') และค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (ϵ_r'') ผลจากการตรวจวัดแสดงให้เห็นว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า ϵ_r' ของน้ำยางพารามีค่าลดลงอยู่ในช่วง 15.5 ถึง 4.2 และลดลงอย่างชัดเจนในชั่วโมงที่ 1 ถึง 7 ซึ่งสอดคล้องกันทั้ง 3 ความถี่ ดังรูปที่ 2 (ก) และสำหรับค่า ϵ_r'' มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเช่นเดียวกันเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 1.6 และที่ความถี่ 10.2 กิกะเฮิรตซ์ มีค่า ϵ_r'' เฉลี่ยโดยรวมสูงกว่าความถี่ 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ดังรูปที่ 2 (ข)



(ก)



(ข)

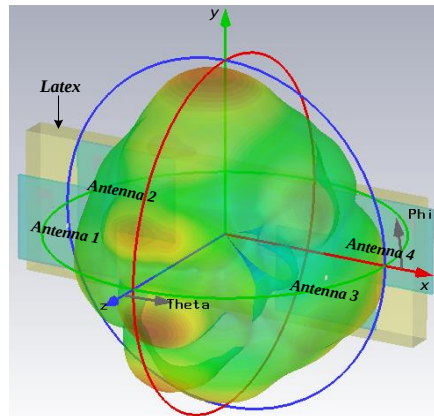
รูปที่ 2 (ก) ค่าคงที่ได้โอเล็กตริก

(ข) ตัวประกอบการสูญเสียไดโอเล็กตริก

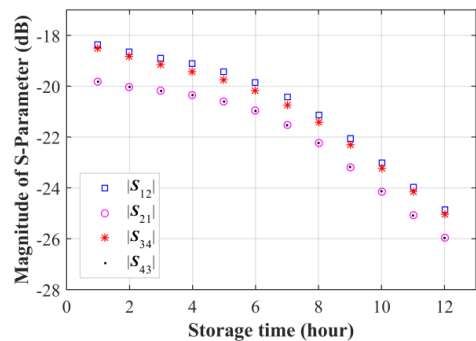
ผลจากการตรวจวัดคุณสมบัติไดโอเล็กตริกของน้ำยางแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า ϵ_r' และ ϵ_r'' ที่ความถี่ 10.2 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ลดลงอย่างต่อเนื่องในลักษณะเดียวกัน คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นเมื่อเดินทางผ่านวัสดุที่มีค่า ϵ_r' และ ϵ_r'' ต่างกัน ส่งผลให้เกิดการลดทอน การเลี้ยวเบน การเปลี่ยนแปลงขนาด (Magnitude) [8] ดังนั้นคุณสมบัติไดโอเล็กตริกที่แตกต่างกันของน้ำยางพาราจึงถูกใช้ในการพัฒนาโมเดล เพื่อใช้ในการจำลองความสามารถของคลื่นความถี่ไมโครเวฟในการตรวจสอบอายุการเก็บรักษา น้ำยางพารา

2. การจำลองการทำงานระบบ

การจำลองระบบตรวจวัดใช้สายอากาศพื้นฐานชนิดแพทช์ 4 ตัว สายอากาศทั้งหมดได้รับการวิเคราะห์คุณสมบัติและปรับโครงสร้างให้เหมาะสม



รูปที่ 3 การจำลองระบบตรวจสอบอายุการเก็บรักษาน้ำยางพารา



รูปที่ 4 จำลองการส่งผ่านคลื่นความถี่ไมโครเวฟผ่านโมเดลน้ำยางพารา

ด้วยโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า CST studio suite 2019 และสามารถทำงานได้ดีในช่วงความถี่ 10.0 ถึง 10.8 กิกะเฮิรตซ์ ผลการจำลองให้ค่าพารามิเตอร์ S_{11} S_{22} S_{33} และ S_{44} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ตลอดย่านความถี่ทำงาน คุณสมบัติไดโอเล็กตริกของน้ำยางพาราถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลเพื่อจำลองตรวจวัดจากสายอากาศทั้ง 4 ตัว สายอากาศได้รับการจัดวางเป็นคู่เพื่อตรวจวัดคู่ที่ 1 คือ สายอากาศตัวที่ 1 กับ ตัวที่ 2 ตรวจวัดที่ความถี่ 10.2 และ 10.4 กิกะเฮิรตซ์ คู่ที่ 2 คือ สายอากาศตัวที่ 3 กับ ตัวที่ 4 ตรวจวัดที่ความถี่ 10.2 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ โมเดลน้ำยางพาราอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 3 โมเดลน้ำยางพารามีค่า ϵ_r' ต่างกันตามอายุการเก็บรักษาตั้งแต่ 1 2 ถึง 12 ชั่วโมง ทั้งหมดจำนวน 12 ตัวอย่าง สายอากาศทำ

หน้าที่ส่ง-รับคลื่นความถี่ผ่านโมเดลของน้ำยางมีขนาดกว้างยาวสูง $2.5 \times 20 \times 10$ เซนติเมตร ดังแสดงดังรูปที่ 3 การจำลองการทำงานของระบบได้รับการควบคุมให้สายอากาศตรวจวัดครั้งละ 1 คู่ คู่แรกเป็นสายอากาศตัวที่ 1 และ 2 คู่ที่สองเป็นสายอากาศตัวที่ 3 และ 4 สายอากาศแต่ละตัวทำหน้าที่ทั้งส่งและรับคลื่นของกันและกันในแต่ละคู่ คลื่นเดินทางผ่านโมเดลน้ำยางพาราที่มีค่า ϵ_r' เปลี่ยนตามอายุการเก็บรักษา กำลังงานการส่งผ่านระหว่างสายอากาศคู่ที่ 1 คือ $|S_{12}|$ และ $|S_{21}|$ กำลังงานการส่งผ่านระหว่างคู่ที่ 2 คือ $|S_{34}|$ และ $|S_{43}|$ จากผลการจำลองพบว่าที่อายุการเก็บรักษา 1 ถึง 12 ชั่วโมง ขนาดของพารามิเตอร์ S ทุกตัวมีค่าลดลง ขนาดของ $|S_{12}|$ มีค่าลดลงในช่วง -18.36 ถึง -24.85 dB ขนาดของ $|S_{21}|$ และ $|S_{43}|$ มีค่าเท่ากันอยู่ในช่วง -19.83 ถึง -25.97 dB เนื่องจากสายอากาศที่ใช้ในการจำลองมีลักษณะเหมือนกัน ส่วนขนาดของ $|S_{34}|$ อยู่ช่วง -18.50 ถึง -25.03 dB ดังแสดงในรูปที่ 4 การจำลองการส่งผ่านคลื่นความถี่ผ่านโมเดลน้ำยางพารา โดยเปลี่ยนค่า ϵ_r' และ ϵ_r'' ตามอายุการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาของน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของพารามิเตอร์ S ของสายอากาศทั้ง 4 ตัว ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการแยกแยะระดับอายุการเก็บรักษา โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านด้วยคลื่นความถี่ 10.2 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ เพื่อให้ระบบมีความแม่นยำ โครงข่ายประสาทเทียมจึงได้รับการนำมาประยุกต์ใช้งานในการแยกอายุการเก็บรักษาน้ำยางพารา

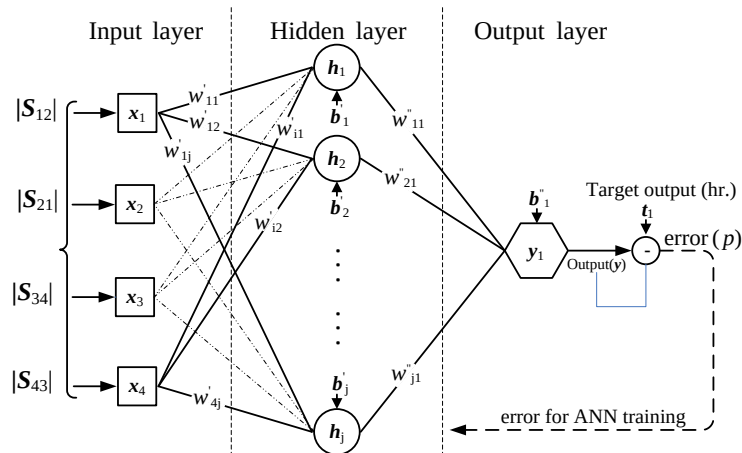
3. โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมได้รับการฝึกสอนและทดสอบเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight: w) ที่มีความแม่นยำในการตัดสินใจสูงสุด รวมถึงปรับปรุงโครงสร้างให้มีความซับซ้อนต่ำเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งาน การฝึกสอนใช้การปรับอัตรา

เรียนรู้และจำนวนโนดซ่อนเร้น โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในระบบการตัดสินใจทั้งหมด 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นอินพุต ชั้นซ่อนเร้น และชั้นเอาต์พุต จำนวนโนดอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมใช้ทั้งหมด 4 โนด คือ พารามิเตอร์ $|S_{12}|$ $|S_{21}|$ $|S_{34}|$ และ $|S_{43}|$ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการจำลองการตรวจวัดโมเดลน้ำยางพาราที่เปลี่ยนค่า ϵ_r ตามอายุการเก็บรักษาตั้งแต่ 1 ถึง 12 ชั่วโมง ค่าพารามิเตอร์มีทั้งหมด 4 กลุ่มข้อมูล แต่ละกลุ่มมีทั้งหมด 12 ข้อมูล จึงมีจำนวนข้อมูลรวม 48 ค่า ข้อมูลได้รับการแบ่งเพื่อใช้ในการฝึกสอน (Training) 50% และใช้ในการทดสอบ (Testing) 50% ของข้อมูลทั้งหมด เป้าหมาย (Targets) สำหรับการฝึกสอน คือ เวลาในการเก็บรักษาอายุน้ำยางพารา โดยใช้จำนวนเอาต์พุตโนดที่ 1 โนด ชั้นอินพุตทำหน้าที่รับข้อมูล $|S_{12}|$ $|S_{21}|$ $|S_{34}|$ และ $|S_{43}|$ จากการจำลองการตรวจวัดของระบบมาใช้ในการเรียนรู้ จำนวนโนดอินพุต คือ x_1, x_2 ถึง x_4 ในชั้นซ่อนเร้น คือ h_1, h_2 ถึง h_j และโครงสร้างของจำนวนโนดซ่อนเร้น ได้รับการปรับตั้งแต่ 4 6 8 และ 10 โนด และในชั้นเอาต์พุต คือ y_1 เป็นเอาต์พุตจากการเรียนรู้ เอาต์พุตถูกเทียบกับเป้าหมาย คือ t_1 เพื่อหาค่าความต่างและใช้ค่าความต่างปรับค่า w_{11} w_{12} ถึง w_{4j} เพื่อให้ค่าความผิดพลาดลดลงและปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสม โครงสร้างที่ได้รับการฝึกสอนแสดงดังในรูปที่ 5

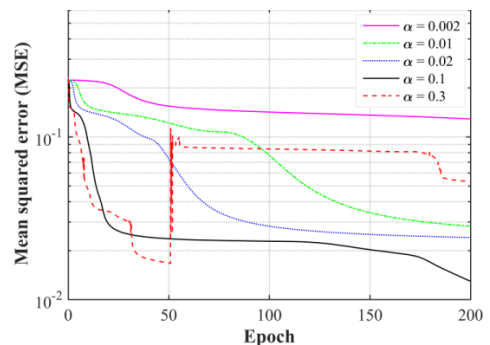
ผลการวิจัย

การวิเคราะห์โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มด้วยการปรับอัตราการเรียนรู้ ในการฝึกสอนเป้าหมายคืออายุการเก็บรักษาน้ำยาง อัตราการเรียนรู้ได้รับการปรับตั้งแต่ 0.002 0.01 0.02 0.1 ถึง 0.3 และอินพุตในการฝึกสอน คือ พารามิเตอร์ $|S_{12}|$ $|S_{21}|$ $|S_{34}|$ และ $|S_{43}|$



รูปที่ 5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ

จากการจำลอง จำนวนโนดซ่อนเร้นถูกใช้เป็น 2 เท่า ของจำนวนโนดอินพุต เงื่อนไขในการวนซ้ำไม่น้อยกว่า 200 รอบ (Epoch) หรือมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean square error: MSE) ต่ำกว่า 10^{-2} การวิเคราะห์อัตราการการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูลในการฝึกสอน 50% จากข้อมูลทั้งหมด ปรับอัตราการเรียนรู้ (α) ทั้งหมด 5 ระดับ เริ่มต้นที่ค่า α อยู่ที่ 0.002 การปรับค่าตัวแปรถูกทำอย่างละเอียด การเรียนรู้ทำได้ช้าแต่สามารถลดความผิดพลาดได้อย่างต่อเนื่อง ให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองที่ 200 รอบ อยู่ที่ 0.1289 จากนั้นขยายค่า α เป็น 0.01 การเรียนรู้ทำได้ดีและมีความรวดเร็วเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองอยู่ที่ 0.0282 และเมื่อเพิ่มค่า α เป็น 0.02 การเรียนรู้ยังคงทำได้อย่างต่อเนื่อง และให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองอยู่ที่ 0.0241 และที่การเรียนรู้สามารถทำได้ดีที่สุด คือ α อยู่ที่ 0.1 ให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองที่ 0.0129 และสุดท้ายที่ค่า α อยู่ที่ 0.3 โครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถเรียนรู้เพื่อแก้ไขปัญหาคือ เนื่องจากอัตราการเรียนรู้กว้างเกินไปขอบเขตในการหาคำตอบและให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองสูงขึ้นอยู่ที่ 0.0531 ที่ 200 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองและจำนวนรอบการฝึกสอน

ค่า α ที่เหมาะสมถูกนำมาใช้ในการพัฒนาโครงสร้างและประสิทธิภาพในการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียม ขั้นตอนการฝึกสอนใช้ข้อมูล 50% ในการฝึกสอน โนดซ่อนเร้นได้รับ การปรับอยู่ในช่วงตั้งแต่ 4 6 8 และ 10 โนด วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง การเรียนรู้ในแต่ละจำนวนโนดซ่อนเร้นทำได้ดียกเว้นในกรณีที่ใช้ 4 โนด เนื่องจากจำนวนโนดซ่อนเร้นไม่เพียงพอ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองสูงอยู่ที่ 0.0402 เมื่อเพิ่มจำนวนโนดซ่อนเร้นเป็น 6 โนด การเรียนรู้มีความผันผวนเล็กน้อยในช่วงเริ่มต้นแต่ยังคงสามารถเรียนรู้ได้และให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองอยู่ที่ 0.0122 เมื่อจำนวนโนดซ่อนเร้นเพิ่มขึ้นเป็น 8 และ 10 โนด ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง แปรปรวน

เล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาที่ 500 รอบ การเรียนรู้ของทั้ง 2 โครงสร้างทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองอยู่ที่ 2.71×10^{-3} และ 2.69×10^{-3} ตามลำดับ จากการฝึกสอนแสดงให้เห็นว่าจำนวนโนดซ่อนเร้นมีผลต่อการเรียนรู้ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูลส่วนที่เหลือ คือ 50% การใช้ค่า w ของ 4 โหนดซ่อนเร้น ให้ค่าความแม่นยำต่ำสุดอยู่ที่ 64.29% และการใช้ w ที่ 6 โหนดซ่อนเร้น ให้ค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 88.89% เมื่อใช้ค่า w ที่ 8 โหนดซ่อนเร้น การเรียนรู้ทำได้เป็น

อย่างดีและให้ความแม่นยำในการทดสอบอยู่ที่ 97.62% และสุดท้ายเป็นการทดสอบค่า w ที่ 10 โหนดซ่อนเร้น การตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียมมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ที่ 98.41% ซึ่งใกล้เคียงกับค่า w ที่ 8 โหนดซ่อนเร้นที่รอบการวนซ้ำเท่ากัน คือ 500 รอบ ผลการฝึกสอนและทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าข้อมูล $|S_{12}|$ $|S_{21}|$ $|S_{34}|$ และ $|S_{43}|$ เพียงพอต่อการฝึกสอนรวมถึงที่อัตราการเรียนรู้ที่ 0.1 การเรียนรู้ทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1 การฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

จำนวนโนดซ่อนเร้น (Hidden node)	การวนซ้ำ (Epoch)	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MSE)	ประสิทธิภาพการทดสอบ	
			อัตราความผิดพลาด	แม่นยำ
4	500	0.0550	0.0402	64.29%
6	500	0.0153	0.0122	88.89%
8	500	0.0034	2.71×10^{-3}	97.62%
10	500	0.0033	2.69×10^{-3}	98.41%

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองจากการใช้ค่า w ของโนดซ่อนเร้น 8 และ 10 โหนด โครงสร้างทั้ง 2 ตัดสินใจได้แม่นยำและจำแนกอายุการเก็บรักษาได้ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาถึงทรัพยากรและความซับซ้อนของโครงสร้างที่โนดซ่อนเร้น 8 โหนด ดังนั้นโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 4 โหนดอินพุต 8 โหนดซ่อนเร้น และใช้ 1 โหนดเอาต์พุตที่เป็นตัวแทนของอายุการเก็บรักษาน้ำยางพารา

สรุปและอภิปรายผล

การทำงานของระบบจำแนกอายุน้ำยางพาราเริ่มจากการทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราสดแบบไม่ใส่สารปรับแต่ง เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 12 ชั่วโมง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราลดลงจาก 15.5 ถึง 4.2 ส่วนตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกมี การเปลี่ยนแปลงลดลงในลักษณะเดียวกันอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 1.6 คุณสมบัติไดอิเล็กตริกถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลน้ำ

ยางของระบบจำลองการตรวจวัด วิเคราะห์ความสามารถในการจำแนกอายุการเก็บรักษาด้วยเทคนิคการส่งผ่านจากคลื่นความถี่ 10.2 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ $|S_{12}|$ $|S_{21}|$ $|S_{34}|$ และ $|S_{43}|$ มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของน้ำยางพารา ระบบตรวจวัดด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟได้รับการพัฒนาด้วยการวิเคราะห์ค่ากำลังงานการส่งผ่านของคลื่นความถี่ของ 2 คู่ความถี่ คือ 10.2 กับ 10.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 10.2 กับ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ให้เอาต์พุตที่ประกอบด้วยค่า $|S_{12}|$ $|S_{21}|$ $|S_{34}|$ และ $|S_{43}|$ ข้อมูลถูกใช้ฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมและได้โครงสร้างที่เหมาะสม 4 โหนดอินพุต 8 โหนดซ่อนเร้น และ 1 โหนดเอาต์พุต โดยโนดเอาต์พุต คือ อายุการเก็บรักษาน้ำยางพารา อัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสม 0.1 ให้ค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอยู่ที่ 2.71×10^{-3} ความแม่นยำอยู่ที่ 97.62% แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการตัดสินใจและเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งาน

References

- [1] Rubber Intelligence Unit, (5 November 2021). Export statistics - natural rubber [online], Available: <http://rubber.oie.go.th/ImExThaiByProduct.aspx?pt=ex>.
- [2] S. S. Ochigbo, R. A. Lafia-Araga and M. A. T. Suleiman, "Comparison of two creaming methods for preparation of natural rubber latex concentrates from field latex," *African Journal of Agricultural Research*, vol. 6, no.12, pp. 2916-2619, 18 June 2011.
- [3] N. wongwattana, S. Rittiron, R. and Lim, C. H. "The rapid determination of volatile fatty acid number in para rubber latex using Fourier transform-near infrared spectroscopy based on quantification and discrimination model," *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, vol. 8, no.5, pp. 1-9, 2015.
- [4] A. Parichkul, and P. Saikhwan, "The use of pasteurization to control microbial growth in rubber latex," *Journal of Food Science and Agricultural Technology*, vol.1, no.1, pp.131-135, 2015.
- [5] P. Tatsanakul, A. N. Wichien and P. Pimrat, "Innovation of the production of TMTD/ZnO-free latex," *Journal of Rubber*, vol.26 (electronic), pp.2-10, September 2016.
- [6] A. A. Hassan, M. Singh, W. Z. Saad, and R. Mohamad, "Efficiency of commercial biological compounds as anticoagulant agents in natural rubber latex," *Journal of Rubber Research*, vol.18, no. 2, pp. 72-86, 2015.
- [7] S. Y. Lee, Y. X. Heng, Y. T. Q. Ling, D. T. C. Ang, and K. L. Mok, "Non-cytotoxic palm-based polymeric surfactant as a green stabilizer in natural rubber latex," *Journal of Rubber Research*, vol.24, pp.423-433, July 2021.
- [8] D. M. Pozar, "Microwave engineering," 4th ed. John Wiley & Sons. USA, 2012.
- [9] N. Sresungsuan and N. Hansupalak, "Prediction of mechanical properties of compatibilized styrene/natural-rubber blend by using reaction conditions: central composite design vs. artificial neural networks," *Journal Applied Polymer Science*, pp.356-365, 2013.
- [10] P. Leekul, P. Wongsiritorn, and P. Chaisaeng, "Development of humidity monitoring system in greenhouse with electromagnetic X-band and artificial neural networks," *Progress In Electromagnetics Research M*, vol.100, pp.93-103, 2021.
- [11] Amordej Puttipipatkajorn, and Amorrit Puttipipatkajorn "Development of calibration models for rapid determination of moisture content in rubber sheets using portable near-infrared spectrometers," *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, vol. 13, no.2, pp.1-12, 2020.
- [12] C. Zhao, G. Wu, and Y. Li, "Measurement of water content of oil-water two-phase flows using dual frequency microwave method in combination with deep neural network," *Measurement*, vol.131, pp.92-99, 2019.

- [13] J. Zhang, D. Du, Y. Bao, J. Wang, and Z. Wei, "Development of multifrequency-Swept microwave sensing system for moisture measurement of sweet corn with deep neural network," *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, vol.69, no.9, pp.6446-6454, September 2020.
- [14] H. A. Hassan, M. H. Essa, and A. Yahya, "Performance comparison of linear multiuser detectors and neural network detector for DS/CDMA Systems in AWGN," in *2015 Tenth International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES)*, Cairo Egypt, pp.307-313, 23-24 Dec. 2015
- [15] S. Haykin, "Neural Networks and Learning Machines" 3rd, Prentice Hall: USA, 2008.

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ยุทธ ไถยวรรณ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Email: dr.yuth_go@hotmail.com

Received: Dec 12, 2021

Revised: Apr 25, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์การทดลองทั่วไปจะมีการควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจมีผลต่อค่าที่สังเกตได้จากหน่วยทดลอง แต่ในการทดลองบางประเภท ผู้ทดลองไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจแทรกซ้อนเข้ามาในหน่วยทดลองได้ หากผู้ทดลองนำค่าที่ได้จากการสังเกตในหน่วยทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาอิทธิพลของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นหากการทดลองต้องการศึกษาอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยที่สนใจในการวิเคราะห์จะต้องแยกปัจจัยที่ไม่สนใจเหล่านี้ออกก่อนเพื่อให้ทราบผลของปัจจัยที่สนใจอย่างแท้จริง วิธีการวิเคราะห์ตามวิธีนี้ เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมหรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบโคแวนเรียนซ์ ในการทดลอง เรียกปัจจัยที่ไม่สนใจเหล่านี้ว่า ตัวแปรร่วมหรือปัจจัยร่วม การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมนั้น ตัวแปรอิสระหรือระดับปัจจัยนั้นเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม ส่วนตัวแปรร่วมและตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ซึ่งการจัดผังการทดลองก็จัดตามแผนการทดลองที่สนใจ เช่น แบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อกหรือแบบอื่น ๆ แต่ในบทความนี้จะอธิบายเฉพาะจัดตามผังการทดลองแบบ เท่านั้น

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม, การทดลอง, แบบสุ่มสมบูรณ์, แบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก

Analysis of Covariance in Completely Randomized Design

Yuth Kaiyawan

Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University

Email: dr.yuth_go@hotmail.com

Received: Dec 12, 2021

Revised: Apr 25, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

Abstract

General experimental analysis external factors that may affect the values observed in the experimental unit are controlled. But in some experiments Subject is unable to control external factors that may interfere with the experimental unit. If the experimenter takes the values obtained from the observations in the experimental unit to analyze the variance. In orders to determine the influence of different treatments, the results obtained from the analysis are not reliable.

Therefore, if an experiment wants to study the influences caused by the factors of interest in the analysis, these disregard factors must be excluded. In orders to know the effect of the factors that are genuinely interested in this method of analysis is called covariance analysis, or analysis of covariance (Analysis of Covariance (ANCOVA). In the experiment, these disregard factors were referred to as Covariate or Covariate (Covariate Variable), that covariance analysis Independent variables or factor levels are group variables. The covariates and dependent variables were quantitative variables. The experimental layout was arranged according to the experiment plan of interest, such as the Completely Randomized Design: CRD, Randomized Complete Block Design: model or other types, but here, it describes only the CRD experimental layout.

Keywords: Analysis of Covariance, experiment, Completely Randomized Design, Randomized Complete Block Design

บทนำ

การทดลองบางประเภท ผู้ทดลองไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจแทรกซ้อนเข้ามา ในหน่วยทดลองได้ หากผู้ทดลองนำค่าที่ได้จากการสังเกตในหน่วยทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อพิจารณาอิทธิพลของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะไม่น่าเชื่อถือ หรือคำตอบที่ได้ อาจไม่ถูกต้อง ในการทดลองบางครั้งจะมีตัวแปรร่วม (x) ที่เราไม่สนใจ แต่จะมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามหรือผลของทรีตเมนต์ (y) หรือตัวแปรร่วม (x) ซ่อนอยู่ร่วมกับตัวแปรตาม (y) ดังนั้นการวิเคราะห์จะต้องแยกตัวแปรร่วม (x) ออกก่อน โดยการวัดค่าของ x ก่อน จากนั้นจึงวัดค่า ตัวแปรตาม (y) หรือทรีตเมนต์ ซึ่งในที่นี้จะมีค่าของ x ซ่อนอยู่ ซึ่งค่าของ y จะมีค่าของ x ร่วมอยู่ด้วย การวิเคราะห์หากเราแยกค่าของ x และ y ออกจากกัน เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance: ANCOVA) [1] การทดลองในโรงงานอุตสาหกรรมมีการนำการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมไปใช้เพื่อทดสอบหรือทดลองมากมาย และเป็นที่ยอมรับ ทั้งนี้เพราะระบบผลิตสินค้ามีสิ่ง

ต้องการคำตอบ หรือสิ่งอยากรู้ ในกระบวนการผลิตมีมากมาย และทุกครั้งทุกเวลา ที่มีการผลิตสินค้า เช่น การวัดขนาดความหนาของเคลือบโครเมียมเคลือบมีอจับเปิด-ปิดประตูรถ เคลือบกันชน อาหารกระป๋อง นมผง เคลือบสังกะสีบนแผ่นเหล็ก ยาสีฟันลงในหลอด และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ไม่สามารถวัดขนาดหรือแยกตัวแปรร่วม (x) ออกจากตัวแปรตาม (y) ได้ชัดเจน แต่หากแยกตัวแปรร่วม (x) ออกจากตัวแปรตาม (y) ได้ชัดเจนแล้วก็อาจไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ผู้วิเคราะห์เลือกการวิเคราะห์ความแปรปรวนปกติในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อกก็ได้แต่ในบทความนี้จะพูดถึงเฉพาะในแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เท่านั้น

ส่วนเนื้อหา

รูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม [2]

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

SOV	SS and Sum of Products				y Adjusted for x		
	df	y^2	xy	x^2	df	SS	MS
Treatment (Tr)	t - 1	T_{yy}	T_{xy}	T_{xx}	-	-	-
Error (E)	t(r - 1)	E_{yy}	E_{xy}	E_{xx}	t(r - 1)	E'_{yy}	$MS_{E(Adj)}$
Total	tr - 1	S_{yy}	S_{xy}	S_{xx}	-	-	-
(Tr + E)	tr - 1	S_{yy}	S_{xy}	S_{xx}	(tr - 1) - 1	S'_{yy}	-
(Treatment + Error)							
Treatment (Adjusted for Covariate)					t - 1	$S'_{yy} - E'_{yy}$	$MS_{T(Adj)}$

เมื่อ Tr หรือ t = ทรีตเมนต์หรือจำนวนสิ่งทดลอง r คือ จำนวนซ้ำ

ตัวอย่างที่ 1 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ที่มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม มีสิ่งทดลอง 3 ทรีตเมนต์และซ้ำ 7 ซ้ำ ได้ผลการทดลอง ดังนี้ [3]

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมของการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์

ซ้ำ	ทรีตเมนต์ 1		ทรีตเมนต์ 2		ทรีตเมนต์ 3	
	x	y	x	y	x	y
1	3	6	4	8	3	6
2	1	4	5	9	2	7
3	3	5	5	7	2	7
4	1	3	4	9	3	7
5	2	4	3	8	4	8
6	1	3	1	5	1	5
7	4	6	2	7	4	7
ผลรวม	15	31	24	53	19	47
ผลรวมกำลังสอง	41	147	96	413	59	321
ผลรวมของ xy	75		191		132	

เมื่อ x คือ ตัวแปรร่วม y คือ ตัวแปรที่ต้องการศึกษา
จะได้

- 1) ผลรวมของ x ทั้งหมด = $15+24+19 = 58$
- 2) ผลรวมของ y ทั้งหมด = $31+53+47 = 131$
- 3) ผลรวมของ x^2 ทั้งหมด = $41+96+59 = 196$
- 4) ผลรวมของ y^2 ทั้งหมด = $147+413+321=881$
- 5) ผลรวมของ xy ทั้งหมด = $75+191+132=398$

$$T_{xx} = \frac{15^2 + 24^2 + 19^2}{r} - CT_x$$

$$= \frac{15^2 + 24^2 + 19^2}{7} - 160.19$$

$$= 166 - 160.19 = 5.81$$

4) Error SS ของ

$$E_{xx} = S_{xx} - T_{xx} = 35.81 - 5.81 = 30.00$$

วิธีการคำนวณ

1. คำนวณหาค่า SS (Sum of Square) แต่ละทรีตเมนต์
ของ x และ y ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนปกติ

1.1 ของตัวแปร x

1) Correction Term:

$$CT_{.x} = \frac{58^2}{(t)(r)} = \frac{58^2}{(7)(3)} = 160.19$$

2) Total SS ของ

$$S_{xx} = \sum x^2 - CT_{.x} = 196 - 160.19 = 35.81$$

3) Treatment SS ของ

1.2 ของตัวแปร y

1) Correction Term;

$$CT_{.y} = \frac{131^2}{(t)(r)} = \frac{131^2}{(7)(3)} = 817.19$$

1.3 Total SS ของ

$$S_{yy} = \sum y^2 - CT_{.y} = 881 - 817.19 = 63.81$$

1.4 Treatment SS ของ

$$T_{yy} = \frac{31^2 + 53^2 + 47^2}{r} - CT_{.y}$$

$$= \frac{31^2 + 53^2 + 47^2}{7} - 817.19$$

$$= 854.14 - 817.19 = 36.95$$

1.5 Error SS ของ

$$E_{yy} = S_{yy} - T_{yy} = 63.81 - 36.95 \\ = 26.86$$

1.6 Treatment SS ของ

$$T_{xy} = \frac{\text{ผลบวกของผลคูณของ } x \text{ กับ } y \text{ ในแต่ละทรีตเมนต์}}{\text{จำนวนซ้ำ}} - CT_{xy} \\ = \frac{(15)(31) + (24)(53) + (19)(47)}{(r)} - CT_{xy} \\ = \frac{(15)(31) + (24)(53) + (19)(47)}{(7)} - 361.81 \\ = 375.71 - 361.81 = 13.90$$

1.7 Error SP ของ

$$E_{xy} = S_{xy} - T_{xy} = 36.19 - 13.90 = 22.29$$

3. คำนวณหาค่า SP (Sum of Products)
หรือผลบวกของผลคูณแต่ละทรีตเมนต์ของตัวแปร x กับ y ซึ่งก็คือ xy

1) Correction Term:

$$CT_{xy} = \frac{(\text{ผลบวกของ } x)(\text{ผลบวกของ } y)}{\text{จำนวนข้อมูลที่ประกอบเป็นผลรวม}} \\ = \frac{(58)(131)}{(t)(r)} = \frac{(58)(131)}{(7)(3)} = 361.81$$

2) คำนวณหาส่วนของ Adjusted

(2.1) คำนวณ Error (Adjusted) ของ SS หรือ E'_{yy}

$$E'_{yy} = E_{xy} = \frac{E_{xy}^2}{E_{xx}} = 26.86 - \frac{(22.29)^2}{30.00}$$

$$= 26.86 - 16.56 = 10.30$$

(2.2) คำนวณ Error (Adjusted) ของ MS

หรือหา $MS_{E(Adj)}$

$$MS_{E(Adj)} = \frac{E'_{yy}}{df \text{ Error}(Adj)} = \frac{10.30}{t(r-1)-1} \\ = \frac{10.30}{3(7-1)-1} = \frac{10.30}{17} = 0.61$$

(2.3) คำนวณหา S'_{yy}

$$S'_{yy} = S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} = 63.81 - \frac{(36.91)^2}{35.81} \\ = 63.81 - 36.57 = 27.24$$

(2.4) คำนวณหาค่า Treatment (Adjusted for Covariate) ของ SS หรือ $SS_{(Adj)}$

$$SS_{(Adj)} = S'_{yy} - E'_{yy} = 27.24 - 0.30 = 16.94$$

(2.5) คำนวณหา Treatment (Adjusted) ของ MS หรือ $MS_{T(Adj)}$

$$MS_{T(Adj)} = \frac{SS_{(Adj)}}{df \text{ Treatment}(Adj)} = \frac{SS_{(adj)}}{t-1} \\ = \frac{16.94}{3-1} = 8.47^{**}$$

(3) ทดสอบสถิติค่าเอฟ (F-Test)

$$F = \frac{MS_{T(Adj)}}{MS_{E(Adj)}} = \frac{8.47}{0.61} = 13.88$$

df ที่เปิดตารางคือ df (Adjusted) ที่ t-1, t(r-1) ซึ่งก็คือ 2 และ 17 จะได้

$$F_{.01(2, 17)} = 3.59$$

$$F_{.05(2, 17)} = 6.11$$

เมื่อ $F_{\text{คำนวณ}} > F_{\text{ตาราง}}$ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

การวิเคราะห์แสดงค่าความแปรปรวนร่วมของ CRD ตัวอย่างที่ 1 ดังนี้

SOV	SS and Sum of Products				y Adjusted for x		
	df	y ²	xy	x ²	df	SS	MS
Treatment (Tr)	2	36.95	13.90	5.81	-	-	-
Error (E)	18	26.86	22.29	30.00	17	10.30	0.61
Total	20	63.81	36.19	35.81	-	-	-
(Tr + E)	20	63.81	36.19	35.81	19	27.24	-
Treatment (Adjusted for Covariate)					2	16.94	8.47**

df ปรับแล้ว = 2

df_{Treatment ปรับแล้ว} = 2

$\frac{SS}{df} = \frac{10.30}{17} = 0.605$

4. การเปรียบเทียบรายคู่

กรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เมื่อพบว่า การทดสอบปฏิเสธ H_0 จะต้องวิเคราะห์เปรียบเทียบ รายคู่เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มี ขั้นตอน ดังนี้

จากตัวอย่างที่ 1 สร้างแฟ้มข้อมูลเพื่อวิเคราะห์คือ แฟ้มข้อมูลดังนี้

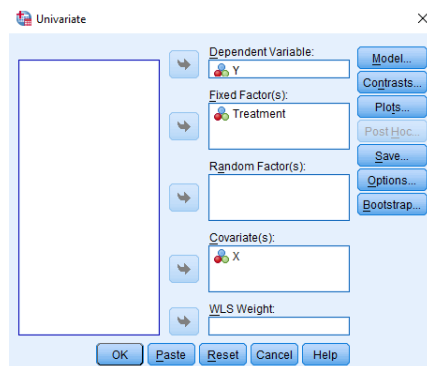
	Treatment	X	Y
1	1.00	3.00	6.00
2	1.00	1.00	4.00
3	1.00	3.00	5.00
4	1.00	1.00	3.00
5	1.00	2.00	4.00
6	1.00	1.00	3.00
7	1.00	4.00	6.00
8	2.00	4.00	8.00
9	2.00	5.00	9.00
10	2.00	5.00	7.00
11	2.00	4.00	9.00
12	2.00	3.00	8.00
13	2.00	1.00	5.00
14	2.00	2.00	7.00
15	3.00	3.00	6.00
16	3.00	2.00	7.00
17	3.00	2.00	7.00
18	3.00	3.00	7.00
19	3.00	4.00	8.00
20	3.00	1.00	5.00
21	3.00	4.00	7.00
22			

ใช้คำสั่ง Analyze → General Linear Model
→ Univariate

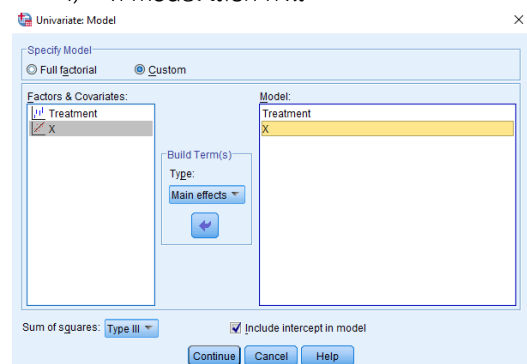
1) ที่ Dependent Variable ใส่ตัวแปรที่ทดสอบ ในที่นี้คือ y

2) ที่ Fixed Factor(s) ใส่ตัวแปรที่เป็นเชิงกลุ่ม ในที่นี้คือ Treatment

3) ที่ Covariate(s) ใส่ตัวแปรร่วม ในที่นี้คือ x ดังนี้



4) ที่ Model เลือก ดังนี้



5) ที่ Option เลือก ☒ Descriptive Statistics เพื่อดูสถิติบรรยายประกอบข้อมูลการทดลอง

6) คลิกที่ OK จะได้ผลลัพธ์ ดังนี้

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Y

Treatment	Mean	Std. Deviation	N
1.00	4.4286	1.27242	7
2.00	7.5714	1.39728	7
3.00	6.7143	.95119	7
Total	6.2381	1.78619	21

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	Sig.
Corrected Model	53.507 ^a	3	17.836	.000
Intercept	58.054	1	58.054	.000
Treatment	16.932	2	8.466	.000
X	16.555	1	16.555	.000
Error	10.302	17	.606	
Total	881.000	21		
Corrected Total	63.810	20		

a. R Squared = .839 (Adjusted R Squared = .810)

จะมีความหนาบางต่างกันหรือไม่ โดยความหนาของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กแผ่นนั้นจะวัดเป็นมิลลิเมตร อย่างไรก็ตามมีผู้ตั้งข้อสังเกตว่าความหนาของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กแผ่นนั้นไม่ได้มีความหนาแตกต่างกัน เพียงเพราะสาเหตุมาจากการเคลือบของบริษัทเท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความหนาของเหล็กแผ่นจากโรงงานผู้ผลิตเหล็กแผ่นด้วย ดังนั้น ก่อนการเคลือบสังกะสีผู้ทดสอบจึงวัดความหนาบางของเหล็กแผ่นทั้ง 3 บริษัทก่อน โดยข้อมูลของการวัดความหนาบางของเหล็กแผ่น (x) และความหนาบางของสังกะสีเคลือบบนเหล็กแผ่น (y) แสดงไว้ ดังนี้ [4]

ตัวอย่างที่ 2 ผู้ทดลอง สนใจความหนาของสังกะสีที่เคลือบเหล็กแผ่น (Metal Sheet) จาก 3 บริษัทว่า

จำนวนเหล็กแผ่น	บริษัทเคลือบสังกะสี					
	บริษัท A		บริษัท B		บริษัท C	
	x	y	x	y	x	y
1	.81	.11	1.10	.20	.98	.08
2	.75	.12	.98	.18	.99	.10
3	.84	.09	1.20	.09	1.24	.09
4	1.10	.18	1.01	.08	1.10	.08
5	.98	.21	.98	.06	1.22	.11
รวม	4.48	0.71	5.27	0.61	5.53	0.46

จึงทดสอบดูว่า

A) ควรจะใช้วิธีการทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมหรือไม่

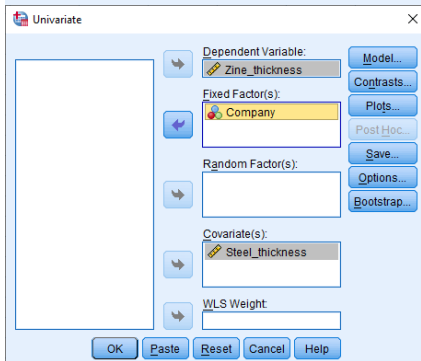
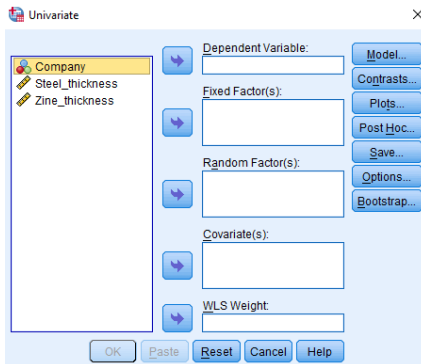
B) มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์หรือไม่

จากข้อมูลสร้างเป็นแฟ้มข้อมูล ดังนี้

16 : Zine_thickness			
	Company	Steel_thickness	Zine_thickness
1	1.00	.81	.11
2	1.00	.75	.12
3	1.00	.84	.09
4	1.00	1.10	.18
5	1.00	.98	.21
6	2.00	1.10	.20
7	2.00	.98	.18
8	2.00	1.20	.09
9	2.00	1.01	.08
10	2.00	.98	.06
11	3.00	.98	.08
12	3.00	.99	.10
13	3.00	1.24	.09
14	3.00	1.10	.08
15	3.00	1.22	.11

การวิเคราะห์ Analyze → General Linear Model → Univariate

1) ป้อนตัวแปร ดังนี้



Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Zinc_thickness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.010 ^a	3	.003	1.592	.247
Intercept	.000	1	.000	.071	.794
Company	.010	2	.005	2.387	.138
Steel_thickness	.004	1	.004	1.782	.209
Error	.023	11	.002		
Total	.245	15			
Corrected Total	.033	14			

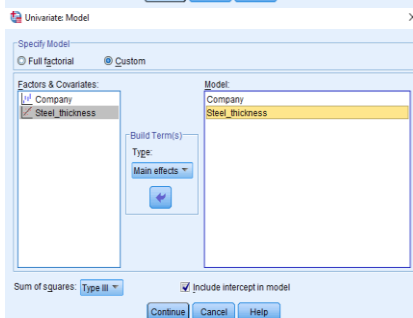
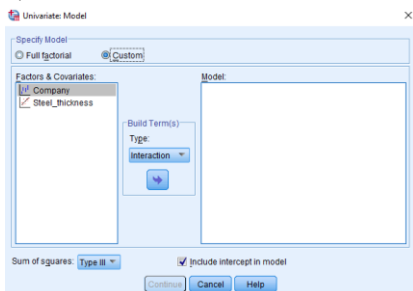
a. R Squared = .303 (Adjusted R Squared = .113)

A) ความหนาบางเหล็กแผ่นจาก 3 บริษัท (Company) (x) จะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของ y หรือความหนาบางของสังกะสีหรือไม่

df คือ 1, 11 สถิติค่า F คือ 1.782 และ Sig. = .209 จึงยอมรับ H_0 ความหนาบางจาก 3 บริษัท ไม่แตกต่างกัน จึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

B) เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ df = 2, 11 สถิติค่า F = 2.387 และ Sig. = .138 จึงยอมรับ H_0 หรือไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ หรือความหนาบางของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กแผ่นไม่แตกต่างกัน

2) ที่ Model เลือก Custom ดังนี้



3) คลิก OK จะได้ผลลัพธ์ ดังนี้

ส่วนสรุปและอภิปราย

ในการทดลองทั่วไป ผู้ทดลองต้องการควบคุมให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด การควบคุมความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ผู้ทดลองทำได้โดยการจัดแบ่งหน่วยทดลองออกเป็นกลุ่ม ๆ (grouping หรือ blocking) ตามความแตกต่างของหน่วยทดลอง แต่ในบางครั้งผู้ทดลองไม่สามารถแบ่งกลุ่มของหน่วยทดลองได้ เช่น ความหนาแน่นของผิวกระดาษ ความหนาแน่นของเนื้อดินเผา ก่อนเคลือบ ความหนาของโลหะแผ่นก่อนเคลือบด้วยสังกะสีเหล่านี้เป็นต้น เมื่อเริ่มทดลองผู้ทดลองต้องเก็บค่าของปัจจัยที่ไม่สนใจออก เพื่อให้ทราบค่าปัจจัยที่สนใจมาจากสิ่งที่ทดลองจริง ๆ วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดังกล่าวเรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เก็บรวบรวมข้อมูลจากผังการทดลองหลายแบบ เช่น หากการทดลองไม่มีสถานการณ์ควบคุมก็จะเลือกใช้แบบสุ่มสมบูรณ์ เรียกการทดลองนี้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ร่วมในการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ดังที่อธิบายในบทความนี้ แต่การทดลองหากมีสภาวะการควบคุม 1 สภาวะการ อาศัยวิธีด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก และหากมีสภาวะการควบคุม 2 สภาวะการ การวิเคราะห์จะใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในการทดลองแบบจัตุรัสละติน (Latin Square Design: LSD)

References

- [1] M. C. Douglas, Design and Analysis of Experiments, Singapore: John Wiley and Sons (Asia) Inc, 2002.
- [2] S. Sinsomboon, agricultural experiment planning, Bangkok: Department of Applied Statistics Faculty of Science King Mongkut's University of Technology Ladkrabang, 2002.
- [3] Y. Kaiyawan, Planning an Experiment for Research, Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2002.
- [4] P. Chutima, Engineering Experiment Design, Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2002.

การพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนจากวัสดุธรรมชาติ โดยใช้สารยึดติดจากเมล็ดมะขาม สารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยวและผงมะเกลือ วีระ โชติธรรมาภรณ์

สาขาวิชาอุตสาหกรรมการพิมพ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Email: weera.ch@ssru.ac.th

Received: Dec 20, 2021

Revised: May 16, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย 1) เพื่อพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนโดยใช้สารยึดติดจากเมล็ดมะขามโดยดัดเป็นผง สารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยวและผงมะเกลือ 2) เพื่อวิเคราะห์การยึดติดของเมล็ดมะขามและสารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยวและผงมะเกลือ โดยทดลองผสมสารยึดติดที่มีสัดส่วนของผงเมล็ดมะขาม 5 กรัม 10 กรัม และ 15 กรัมในน้ำ 100 มิลลิลิตร ในการทดลองทำหมึกพิมพ์สกรีนจากผงเมล็ดมะขาม โดยสีที่หนึ่งเป็นสีม่วง ใช้สารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยว และสีที่สองเป็นสีดำ ใช้สารให้สีจากผงมะเกลือที่ส่วนผสมน้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : ผลก้างปลาเคี้ยว : 10 กรัม 20 กรัม 30 กรัม 40 กรัม 50 กรัม และการใช้สารให้สีจากผงมะเกลือที่ส่วนผสมน้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : ผงมะเกลือ : 10 กรัม 20 กรัม 30 กรัม 40 กรัม 50 กรัม หมึกพิมพ์ที่ผสมในสัดส่วนต่าง ๆ นำมาทดลองพิมพ์ลงบนผ้าฝ้ายด้วยระบบการพิมพ์สกรีน และวัดค่า L^* a^* b^* วันละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 7 วันด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และทดสอบความทนทานของสีต่อการซัก (wash fastness) จำนวน 5 ครั้ง และทำการวัดค่า L^* a^* b^* และการวัดค่าความเข้ม

ผลการวิจัยจากการทดลองพิมพ์สารยึดติดที่สัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร ต่อผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม พบว่า ภาพพิมพ์มีความคมชัดครบถ้วนมากที่สุด ค่าการไหลของหมึกพิมพ์ 0.33 เซนติเมตร/นาที่ 2.17 เซนติเมตร/นาที่ และ 8.57 เซนติเมตร/นาที่ และค่าความหนืด 1037 มิลลิพาสคาล (mPas) และใช้หมึกพิมพ์จากผลก้างปลาเคี้ยวที่สัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : ผลก้างปลาเคี้ยว 30 กรัม พบว่า สีของภาพที่พิมพ์ออกมาสม่ำเสมอ คมชัด มีความเรียบเนียนมากที่สุด และมีค่า L^* 63.75 a^* 2.89 b^* -5.08 และ ค่าความดำเท่ากับ 1.78 สำหรับหมึกพิมพ์จากผงมะเกลือ พบว่า น้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : ผงมะเกลือ 30 กรัม ผลการพิมพ์ได้สีที่ออกมาสม่ำเสมอ คมชัด และมีค่า L^* 30.99 a^* 2.57 b^* -8.23 และค่าความดำเท่ากับ 1.83 ในส่วนผลการคงทนต่อการซักของหมึกพิมพ์จากสารให้สีผลก้างปลาเคี้ยวพบว่า L^* ตั้งแต่ซักครั้งที่ 1 มีความเปลี่ยนแปลงไปในค่าสว่างมากขึ้น และค่า a^* เปลี่ยนแปลงไปในสีแดงน้อยลงและค่า b^* มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีน้ำเงินมากขึ้น และค่าความดำลดลงเหลือค่าเท่ากับ 1.45 ในส่วนหมึกพิมพ์จากสารให้สีผงมะเกลือของค่า L^* มีความเปลี่ยนแปลงไปในสว่างมากขึ้นจากการซักครั้งแรก ค่า a^* มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีแดงมากขึ้นจากการซักครั้งแรก ค่า b^* มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีน้ำเงินน้อยลงจากการซักครั้งแรกและค่าความดำลดลงมีค่าเท่ากับ 1.50

คำสำคัญ: หมึกพิมพ์สกรีน, เมล็ดมะขาม, ผลก้างปลาเคี้ยว, ผงมะเกลือ, ค่าความดำ

Developing Screen Printing Ink from Natural Materials Using Tamarind Seeds as Mordant and Kangplakreua fruits and Ebony Powder as Colorants

Weera Chotithammaporn

Printing and Packaging Innovation Program, Department of Printing Industrial, Suan Sunandha Rajabhat University

Email: weera.ch@ssru.ac.th

Received: Dec 20, 2021

Revised: May 16, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

Abstract

This research employed an experimental approach with 2 objectives: 1) to develop screen printing ink from tamarind seeds as mordant and Kangplakreua fruit and ebony powder as colorants; and 2) to analyze the adhesive property of tamarind seed mordant and Kangplakreua and ebony colorants. The experiment to prepare tamarind seed screen printing ink from tamarind seed powder used ingredients of water and tamarind seed powder at proportion of 5g, 10g, and 15 g of tamarind seed powder in 100 ml water. Two color screen printing inks were prepared; first was purple color ink using Kangplakreua fruit as colorant with the proportion of 100 ml water: 10 g tamarind seed powder: 10 g, 20 g, 30 g, 40 g, 50 g Kangplakreua fruit. Second was black color ink using ebony powder as colorant with the proportion of 100 ml water: 10 g tamarind seed powder: 10 g, 20 g, 30 g, 40 g, 50 g ebony powder. The prepared ink with different proportions was printed on cotton fabric by screen printing, then measured CIE $L^*a^*b^*$ using spectrophotometer once a day for seven days and test wash fastness by washing 5 times and measured CIE $L^*a^*b^*$ and ink density.

The research results found that the proportion of tamarind seed powder used as adhesive at 10 g in 100 ml water gave the most sharp print image; Ink flow values 0.33 cm/min, 2.17 cm/min and 8.57 cm/min.; and ink viscosity was 1037 mPas. The purple ink used Kangplakreua fruit as colorant of the proportion of 100 ml water: 10 g. tamarind seed powder: 30 g Kangplakreua fruit gave the most sharp, smooth and even-colored print area; CIE $L^*a^*b^*$ value of $L^* 63.75$ $a^*2.89$ $b^*-5.08$ and ink density at 1.78. The black ink used ebony powder as colorant of the proportion of 100 ml water: 10 g. tamarind seed powder: 30 g ebony powder gave smooth and sharp print image; CIE $L^*a^*b^*$ value of $L^* 63.75$ $a^*2.89$ $b^*-5.08$ and ink density at 1.83. The result of the color fastness of Kangplakreua fruit colorant ink found that after the first wash L^* changed to higher lightness, b^* changed to more blueness and print density reduced to 1.45. For the ebony powder colorant ink, it was found that after the first wash, L^* changed to higher lightness, b^* changed to less blueness and print intensity reduced to 1.50.

Keywords: Screen Printing Ink, Tamarind Seeds, Kangplakreua fruits, Ebony powder, Density.

บทนำ

การพิมพ์ผ้าเป็นกระบวนการหนึ่งในการผลิตสิ่งทอที่มีหลากหลายกรรมวิธี และยังจัดว่าเป็นงานศิลปะอุตสาหกรรม (Industrial Art) ที่ต้องอาศัยทั้งความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และศิลปะมาประกอบเข้าด้วยกันอย่างลงตัว จากปัญหาของการใช้สีธรรมชาติในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีการใช้สีเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม หลายประเทศจึงออกกฎหมายห้ามนำเข้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสารก่อมะเร็ง ในส่วนของการให้สีผลิตภัณฑ์สิ่งทอโดยเทคนิคการพิมพ์นั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การพิมพ์สีย้อม และการพิมพ์ฟักเมนต์ การพิมพ์สีย้อมมีเทคนิคกระบวนการที่ขึ้นกับชนิดของสีย้อมนั้นๆ ซึ่งสารช่วยที่เติมลงไปหลายๆ ก็จะช่วยคล้ายคลึงกับสารช่วยในการย้อม แต่จะมีสารเพิ่มเติมที่สำคัญคือสารขึ้นหรือ Thickener ซึ่งเป็นสารขึ้นเหนียวที่ใช้ในการเตรียมแป้งพิมพ์ ส่วนการพิมพ์สีฟักเมนต์บนผ้า สีจะถูกย้อมติดกับผ้าด้วยสาร Binder การพิมพ์สีฟักเมนต์ด้วยเทคนิค Plastisol เป็นการพิมพ์ลายที่มักทำบนเสื้อยืด การพิมพ์ลายแบบนี้ใช้ผสมสีกับสาร PVC และ Plasticizer แล้วพิมพ์ติดไปบนผิวผ้าโดย PVC ทำหน้าที่ย้อมสีให้เกาะติดกับผ้า สาร Plasticizer ที่ใช้ทั่วไปเป็นสารกลุ่ม Phthalate ซึ่งพบว่ามีความอันตรายต่อระบบสืบพันธุ์ของมนุษย์ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย สารกลุ่มนี้จึงเป็นสารต้องห้ามตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป (Directive 2005/84/EC 1) สำหรับผลิตภัณฑ์สิ่งทอและของเล่นเด็ก [1] ทำให้เกิดการพัฒนานำสีธรรมชาติมาใช้ทดแทนสีเคมีมากขึ้น แต่การย้อมสีธรรมชาติมีข้อด้อยคือ ปัญหาสีซีด/สีตก ระหว่างการใช้งาน การพิมพ์สกรีนสามารถพิมพ์ลงบนวัสดุได้หลายประเภท ในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น ในงานสิ่งทอได้มีการพิมพ์ลวดลายบนผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์สำหรับตกแต่งบ้าน ของแต่งกาย เสื้อผ้า รองเท้า และของใช้ที่ทำจากสิ่งทอก็ได้มีการพิมพ์ลวดลายเพื่อความสวยงาม Viorica Cazac,, Jana Cirja , Emilia Balan and Cristina Mohora [2] สีธรรมชาติเกิดจากการนำวัตถุดิบทางธรรมชาติ เช่น ดอก ใบ ก้าน ต้น หรือ

ส่วนต่าง ๆ ของพืชและสัตว์ มาเข้ากระบวนการต้มสกัดเอาสีและสารต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการย้อมสีสิ่งทอ สารเหล่านั้นบางตัวเป็นสารจำพวกพอลิฟีนอล (polyphenol) เช่น แทนนิน และโลหะปริมาณเล็กน้อย สารทั้งสองนี้สามารถดูดซึมบนเส้นใยธรรมชาติได้บ้าง ในการใช้สีธรรมชาติซึ่งมีข้อดีคือไม่เป็นอันตรายหาได้ง่ายแต่สีธรรมชาติมีข้อจำกัด เช่น ความเข้มสีน้อย การย้อมติดได้ไม่ดี และสีธรรมชาติมีลักษณะคล้ายสีสังเคราะห์ชนิดหนึ่งคือ สีไดเรกต์ (direct dye) ซึ่งเป็นสีติดง่ายและหลุดง่าย เช่นเดียวกัน ความคงทนต่ำ เป็นสีที่ไม่สดใส [3] ดังนั้นในการนำสารให้สีจากธรรมชาติมาใช้ในการพิมพ์ที่จะทำให้ย้อมติดสีจากธรรมชาติได้ทนนานเพิ่มขึ้นต้องมีการนำสารย้อมติดต่าง ๆ จากธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการย้อมติดมากขึ้น

หมึกพิมพ์สกรีนมีองค์ประกอบหลักคือ สารให้สีที่จะเป็นผงสีหรือสีย้อม สารย้อมติด ได้แก่ เรซินจะเป็นสารที่ทำหน้าที่ในการย้อมติด สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของหมึกพิมพ์และตัวทำละลายเรซินให้รวมตัวกับสารให้สีและสารเติมแต่ง [4] ซึ่งส่วนหนึ่งของสารเรซินมาจากการสังเคราะห์ผ่านกระบวนการปิโตรเคมีจากน้ำมันปิโตรเลียมเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป และมีตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นอันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม มีกลิ่นเหม็นและติดไฟง่าย และจากการวิจัยการใช้สารย้อมติดของประทุมทอง ไตรรัตน์ [5] โดยใช้สารย้อมติดจากยางกล้วย ยางมะละกอ ในการทดสอบเพื่อหาสารที่สามารถย้อมติดกับผ้าฝ้ายด้วยการพิมพ์สกรีน และจากการวิจัยของ วิรุฬห์พร ศรีเมือง และ ชนัญญา จุลลัษเฐียร [6] การสกัดน้ำยางจากเมล็ดมะขามเพื่อการสร้างลวดลายบนผ้าฝ้าย ซึ่งพบว่ากระบวนการทำให้เส้นที่ทำการวาดคมชัดไม่ซึมลงในผ้าที่กระจายซึ่งสามารถใช้ได้ดีกับผืนผ้าที่เป็นเส้นใยจากธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในการนำผืนผ้าจากการสร้างลวดลายด้วยน้ำยางที่สกัดจากเมล็ดมะขาม จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสนใจในการศึกษาการผลิตหมึกพิมพ์สกรีนจากวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการแปรรูปมะขามที่เหลือเมล็ดมะขามจากการแปรรูปมะขาม ในการ

ผลิตเป็นอาหารในรูปแบบต่าง ๆ เช่น มะขามแขก มะขามเปียก มะขามกวน และอื่น ๆ ที่จะมีการแกะเมล็ดออกเป็นวัสดุเหลือทิ้งทดลองใช้เป็นสารยัดติดจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงเรซินสังเคราะห์ซึ่งมะขามมีคุณสมบัติในกลุ่มของพืชประเภทกัมซึ่งพบในเมล็ดพืชตระกูลฝัก (Leñrumume family) เช่น หางนกยูงไทย หางนกยูงฝรั่งและราชพฤกษ์ เป็นต้น จากงานวิจัยของวันแข็ง สิทธิกิจโยธิน [7] พบว่า กัมที่ได้จากเมล็ดพืชดังกล่าว มีคุณสมบัติในการเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ดี และในการวิจัยในการทดลองผลิตหมึกพิมพ์สกรีนฐานน้ำโดยใช้สารยัดติดจากเมล็ดมะขามเป็นสารยัดติดและสีธรรมชาติจากคราม ผงมะเกลือ และผลก้างปลาเคี้ยว เพื่อจะเป็นแนวทางในการพัฒนาหมึกพิมพ์ที่ใช้สารยัดติดและสารให้สีจากธรรมชาติที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้มาพัฒนาให้เกิดมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์และเป็นทางเลือกของการผลิตหมึกพิมพ์ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสัดส่วนของหมึกพิมพ์สกรีนที่ใช้สารยัดติดจากเมล็ดมะขามและสารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยวและผงมะเกลือ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติหมึกพิมพ์สกรีนจากเมล็ดมะขามและสารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยวและผงมะเกลือ

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย

ส่วนผสมของหมึกพิมพ์ จากสารให้สีธรรมชาติและสารยัดติด รายละเอียดดังนี้

1. สารจากธรรมชาติในการใช้เป็นสารยัดติด ได้แก่ เมล็ดมะขามที่แก่เป็นสีน้ำตาลเข้ม ที่กะเพาะเปลือกออก แล้วนำเมล็ดมาบดเป็นผง
2. สารให้สีธรรมชาติ 2 สี ได้แก่ สีม่วงจากผลก้างปลาเคี้ยว และสีดำจากผงมะเกลือ

3. ผ้ายสกรีนที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ ได้แก่ ผ้ายสกรีนเบอร์ 90

4. วัสดุที่ใช้ในการทดลองพิมพ์สกรีน คือ ผ้าย้ายสีขาว

การทดสอบคุณสมบัติ

- ศึกษาคุณสมบัติสัดส่วนของสารยัดติดในหมึกพิมพ์สกรีน
- วัดค่า L^*a^*b ของหมึกพิมพ์จากการทดลองพิมพ์
- ทดสอบความคงทนของสีต่อการซักและระยะเวลา
- วัดค่าการไหลและความหนืดของหมึกพิมพ์

วิธีดำเนินการทดลอง

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับหมึกพิมพ์สกรีนสารยัดติดจากธรรมชาติจากเมล็ดมะขาม และสารให้สีจากธรรมชาติจากผงมะเกลือและผลก้างปลาเคี้ยว

2. การผสมหมึกพิมพ์สกรีนโดยใช้สารยัดติดจากธรรมชาติ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การเตรียมสารยัดติดจากเมล็ดมะขาม ก่อนนำมาใช้งานจะนำไปบดให้ละเอียดเป็นผง เพื่อใช้เป็นสารยัดติดและศึกษาสัดส่วน เวลาและอุณหภูมิในการต้ม โดยต้มที่จุดเดือดของน้ำ เวลา 30 นาที ที่สัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร ต่อผงเมล็ดมะขามที่ 5 กรัม 10 กรัม และ 30 กรัม และทำการวัดความหนืด (viscosity)

2.2 การเตรียมสารให้สี

1) ผลก้างปลาเคี้ยว ทำความสะอาดและทำการปั่นให้ละเอียด

2) มะเกลือ ในการทดลองโดยใช้ผงมะเกลือที่มีจำหน่ายในตลาด

2.3 การผสมหมึกพิมพ์ โดยใช้สารยัดติดจากผงเมล็ดมะขาม และใช้สารให้สีสองชนิด และมีการทดลองในสัดส่วนที่น้ำ 100 มิลลิลิตร ผงเมล็ดมะขามที่ 10 กรัม และสารให้สีที่ 10 กรัม 20 กรัม

30 กรัม 40 กรัม 50 กรัม และวัดค่าความหนืดของ
หมึกพิมพ์

2.4 ทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์

- ทดสอบค่าการไหลสารยัดติดจาก
เมล็ดมะขาม (Flow Plate) ที่ความเอียง 60 องศา
โดยแบ่งเวลาในการวัดเป็น 3 ช่วง คือ 15, 30 และ
60 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

- การทดสอบค่าความหนืด โดยใช้
เครื่องวัดค่าความหนืด โดยมัลติเพาสคาล (mPaS)
เป็นหน่วยของความหนืด (Viscosity)

- ค่าสีของหมึกพิมพ์ โดยวัดค่าสี CIE

$L^*a^*b^*$ และค่าความดำ (density) ด้วยเครื่อง
สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

2.5 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีหมึก

พิมพ์ที่ผสมสารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยวและผล
มะเกลือ โดยทำการซัก 5 ครั้ง ทำการวัดค่าสี CIE
 $L^*a^*b^*$ และค่าความดำ (density) ด้วยเครื่อง
สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

ผลการวิจัย

1. ผลการทดลองศึกษาสัดส่วนของหมึกพิมพ์สกรีนสารยัดติดจากเมล็ดมะขามและสารให้สีจากผล ก้างปลาเคี้ยวและผงมะเกลือ

1) การเปรียบเทียบคุณสมบัติการยัดติดของสารยัดติดจากผงเมล็ดมะขามจากสัดส่วนของน้ำที่ใช้ที่
ในการต้มผงเมล็ดมะขาม มีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลของสัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 5 กรัม 10 กรัม และ 15 กรัม

สัดส่วน น้ำ : เมล็ดมะขาม	ผลการทดลอง
100 มิลลิลิตร : 5 กรัม	เนื้อสารยัดติดมีความเหลว ขอบลายภาพพิมพ์ไม่คมชัด
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม	เนื้อสารยัดติดมีความเหนียวขึ้น และภาพมีความคมชัด
100 มิลลิลิตร : 15 กรัม	เนื้อสารยัดติดมีความเหนียวขึ้นมาก จนไม่สามารถนำมาพิมพ์ทดลองได้

จากตารางที่ 1 พบว่า สัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม เนื้อสารยัดติดมี
ความเหนียวขึ้น และภาพมีความคมชัดมากที่สุด รองลงมา คือ น้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 5 กรัม
เนื้อสารยัดติดมีความเหลว ขอบลายภาพพิมพ์ไม่คมชัด และ น้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 15 กรัม
เนื้อสารยัดติดมีความเหนียวขึ้นมาก จนไม่สามารถนำมาพิมพ์ทดลองได้

ตารางที่ 2 สมบัติด้านการไหลของหมึกพิมพ์สกรีนจากสารยัดติดเมล็ดมะขามจากสัดส่วนส่วนผสมที่ผงเมล็ด
มะขาม 10 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร

การไหลหมึกพิมพ์สกรีนจากสารยัดติดเมล็ดมะขาม (เซนติเมตร/นาที)	การไหลหมึกพิมพ์สกรีนเชิงพาณิชย์ (เซนติเมตร/นาที)
0.33	2.31
2.17	4.29
8.57	7.06

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าการไหลของหมึกพิมพ์สกรีนจากสารยึดติดเมลต์มะขาม 0.33 เซนติเมตร/นาที่ 2.17 เซนติเมตร/นาที่ และ 8.57 เซนติเมตร/นาที่ และค่าความหนืด 1037 มิลลิพาสคาล ค่าการไหลหมึกพิมพ์สกรีนเชิงพาณิชย์ 2.31 เซนติเมตร/นาที่ 4.29 เซนติเมตร/นาที่ และ 7.06 เซนติเมตร/นาที่ และมีค่าความหนืด เท่ากับ 957 มิลลิพาสคาล

ตารางที่ 3 ผลของคุณสมบัติของหมึกพิมพ์ที่มีสัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร ผงเมลต์มะขาม 10 กรัม : สีผลก้างปลาเครือที่ 10 กรัม 20 กรัม 30 กรัม 40 กรัม และ 50 กรัม

สัดส่วน		ผลการทดลอง
น้ำ (มิลลิลิตร) : ผงเมลต์มะขาม (กรัม)	ผลก้างปลาเครือ (กรัม)	
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 10 กรัม		สีของภาพที่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ สีมืดความชัดบาง
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 20 กรัม		สีของภาพที่พิมพ์คมชัด สียังไม่สม่ำเสมอ
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 30 กรัม		สีของภาพที่พิมพ์ออกมาสม่ำเสมอกัน คมชัด มีความเรียบเนียน
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 40 กรัม		สีของภาพที่พิมพ์ไม่คมชัด ภาพขาด ๆ บางช่วง
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 50 กรัม		สีที่ออกมามีความเข้ม ภาพที่ออกมาไม่คมชัด

จากตารางที่ 3 พบว่า หมึกพิมพ์ที่มีสัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร ผงเมลต์มะขาม 10 กรัม : สีผลก้างปลาเครือที่ 30 กรัม ได้ภาพพิมพ์ที่มีความเรียบสม่ำเสมอ คมชัด และมีความเรียบเนียน

ตารางที่ 4 ผลของคุณสมบัติของหมึกพิมพ์ที่มีสัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร ผงเมลต์มะขาม 10 กรัม : สีผงมะเกลือที่ 10 กรัม 20 กรัม 30 กรัม 40 กรัม และ 50 กรัม

สัดส่วน		ผลการทดลอง
น้ำ (มิลลิลิตร) : ผงเมลต์มะขาม (กรัม)	สีผงมะเกลือ (กรัม)	
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 10 กรัม		สีของภาพที่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ สีมืดความชัดบาง
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 20 กรัม		สีของภาพที่พิมพ์คมชัด สียังไม่สม่ำเสมอ
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 30 กรัม		สีของภาพที่พิมพ์ออกมาสม่ำเสมอกัน คมชัด มีความเรียบเนียน
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 40 กรัม		สีของภาพที่พิมพ์ไม่คมชัด ภาพขาด ๆ บางช่วง
100 มิลลิลิตร : 10 กรัม : 50 กรัม		สีที่ออกมามีความเข้ม ภาพที่ออกมาไม่คมชัด ลายติดไม่ทั่ว

จากตารางที่ 4 พบว่า หมึกพิมพ์ที่มีสัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร ผงเมลต์มะขาม 10 กรัม : สีผงมะเกลือที่ 30 กรัม ได้ภาพพิมพ์ที่มีความเรียบสม่ำเสมอ คมชัด และมีความเรียบเนียน

2. ผลการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีหมึกพิมพ์

2.1) อัตราการเปลี่ยนแปลงของสีหมึกพิมพ์ที่ผสมสารสีจากลูกก้างปลาเครือ

ตารางที่ 5 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีผลก้างปลาเคี้ยวที่ผสมกับสารยืดยืดจากผงเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในการตรวจสอบค่าสีวันละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 7 วัน ของสัดส่วน น้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : ผลก้างปลาเคี้ยว 30 กรัม

วันที่วัดค่าสี	L*	a*	b*	ค่าความดำ (density)
1	63.75	2.89	-6.92	1.78
2	64.48	2.88	-4.67	1.76
3	63.80	2.05	-3.81	1.68
4	65.53	5.46	-5.60	1.65
5	64.86	4.33	-5.47	1.64
6	65.46	3.95	-5.41	1.62
7	65.34	4.94	-5.08	1.46

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่า L* วันที่ 1 = 63.75 มีความเปลี่ยนแปลงไปในค่าสว่างมากขึ้นจากวันแรก ในวันที่ 7 ค่า L* = 65.34 และค่า a* วันที่ 1 = 2.89 มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีแดงมากขึ้นจากวันแรก และในวันที่ 7 มีค่า a* = 4.94 และค่า b* วันแรก = -6.92 มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีน้ำเงินลดลงจากวันแรก และวันที่ 7 ค่า b* = -5.08 สำหรับค่า ความดำ พบว่า วันแรกมีค่าความดำสูงสุดที่ 1.78 และลดลงตามลำดับและวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 1.46

2.2) การเปลี่ยนแปลงของสีหมึกพิมพ์ที่ผสมสารให้สีจากผงมะเกลือ

ตารางที่ 6 ผลการเปลี่ยนแปลงของสีผงมะเกลือที่ผสมกับสารยืดยืดจากผงเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในการตรวจสอบค่าสีวันละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 7 วัน ของสัดส่วน น้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : ผงมะเกลือ 30 กรัม

วันที่วัดค่าสี	L*	a*	b*	ค่าความดำ (density)
1	30.99	2.57	-8.23	1.83
2	29.97	2.10	-7.64	1.81
3	29.99	2.54	-7.43	1.79
4	30.75	3.51	-9.29	1.77
5	31.77	2.69	-7.62	1.75
6	31.67	2.60	-7.70	1.60
7	31.88	2.43	-6.80	1.45

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่า L* วันที่ 1 = 3.99 มีความเปลี่ยนแปลงไปในค่าสว่างมากขึ้นจากวันแรก ในวันที่ 7 ค่า L* = 31.88 และค่า a* วันที่ 1 = 2.57 และในวันที่ 7 มีค่า a* = 2.43 มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีแดงลดลงจากวันแรก และค่า b* วันแรก = -8.23 มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีน้ำเงินน้อยลงจากวันแรก และวันที่ 7 ค่า b* = -6.80 สำหรับค่า ค่าความดำ พบว่า วันแรกมีค่าความดำสูงสุดที่ 1.83 และลดลงตามลำดับและวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 1.45

2.3) การเปลี่ยนแปลงของสีหมึกพิมพ์ที่ผสมสารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยว ในการชัก

ตารางที่ 7 ผลการเปลี่ยนแปลงของสีผลก้างปลาเคี้ยวที่ผสมกับสารยืดยืดจากผงเมล็ดมะขาม ในการซักแต่ละครั้งจำนวน 5 ครั้ง ของสัดส่วน น้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : ผลก้างปลาเคี้ยว 30 กรัม

จำนวนการซัก	L*	a*	b*	ค่าความดำ (density)
ก่อนซัก	63.75	2.89	-6.92	1.78
ครั้งที่ 1	61.28	1.85	-5.99	1.76
ครั้งที่ 2	64.73	1.08	-4.18	1.75
ครั้งที่ 3	69.95	2.33	-3.91	1.65
ครั้งที่ 4	71.41	0.04	-8.40	1.64
ครั้งที่ 5	69.44	1.27	-7.09	1.45

จากตารางที่ 7 พบว่า ก่อนซัก ค่า L* = 63.75 หลังจากซักครั้งที่ 1 = 61.28 มีความเปลี่ยนแปลงไปในค่าสว่างมากขึ้นจากการซักครั้งแรก และเมื่อซักครั้งที่ 5 ค่า L* = 69.44 ค่า a* หลังจากซักครั้งที่ 1 = 1.85 มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีแดงน้อยลงจากการซักครั้งที่ 1 และเมื่อซักครั้งที่ 5 ค่า a* = 1.27 ในส่วนของค่า b* หลังจากซักครั้งที่ 1 = -5.99 มีความเปลี่ยนแปลงไปจากการซักครั้งแรก และเมื่อซักครั้งที่ 5 ค่า b* = -7.09 ற்பค่า density พบว่า หลังจากซักครั้งที่มีความเข้มสูงสุดที่ 1.76 และลดลงตามลำดับและหลังซักครั้งที่ 5 มีค่า = 1.45

2.4) การเปลี่ยนแปลงของสีหมึกพิมพ์ที่ผสมสารให้สีจากผงมะเกลือ ในการซัก

ตารางที่ 8 ผลการเปลี่ยนแปลงของสีผงมะเกลือที่ผสมกับสารยืดยืดจากเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในการซักแต่ละครั้ง จำนวน 5 ครั้ง ของสัดส่วน น้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : ผงมะเกลือ 30 กรัม

จำนวนการซัก	L*	a*	b*	ค่าความดำ (density)
ก่อนซัก	30.99	2.57	-8.23	1.83
ครั้งที่ 1	35.81	2.58	-7.87	1.78
ครั้งที่ 2	36.00	3.80	-10.05	1.76
ครั้งที่ 3	40.93	2.54	-8.03	1.74
ครั้งที่ 4	46.37	3.07	-8.80	1.63
ครั้งที่ 5	45.31	2.59	-8.22	1.50

จากตารางที่ 8 พบว่าก่อนซัก ค่า L* = 30.99 หลังจากซักครั้งที่ 1 ค่า L* = 35.81 มีความเปลี่ยนแปลงไปในค่าสว่างมากขึ้นจากการซักครั้งแรก และเมื่อซักครั้งที่ 5 ค่า L* = 45.31 ค่า a* หลังจากซักครั้งที่ 1 = 2.58 มีความเปลี่ยนแปลงไปในสีแดงลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนซัก จากการซักครั้งที่ 1 และเมื่อซักครั้งที่ 5 ค่า a* = 2.59 ในส่วนของค่า b* หลังจากซักครั้งที่ 1 = -7.87 มีความเปลี่ยนแปลงไปจากการซักครั้งแรก และเมื่อซักครั้งที่ 5 ค่า b* = -8.22 มีการเปลี่ยนแปลงของความเป็นสีน้ำเงินลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อน

ชัก สำหรับค่า density พบว่า หลังจากชักครั้งที่มีความเข้มสูงสุดที่ 1.78 และลดลงตามลำดับและหลังชักครั้งที่ 5 มีค่า = 1.50

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองหมักพิมพ์ที่สัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร : สารย้อมติดจากผงเมล็ดมะขามที่เหมาะสม คือสัดส่วนน้ำ 100 มิลลิลิตร : ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม ค่าการไหลของหมักพิมพ์สกรีนจากสารย้อมติดเมล็ดมะขาม มีค่าการไหลน้อยกว่าหมักพิมพ์สกรีนเชิงพาณิชย์ และค่าความหนืดของหมักพิมพ์สกรีนจากสารย้อมติดเมล็ดมะขาม 1037 มิลลิปาสคาล ซึ่งมีค่าความหนืดสูงกว่าหมักสกรีนที่ใช้เชิงพาณิชย์มีค่าความหนืด เท่ากับ 957 มิลลิปาสคาล

หมักพิมพ์สกรีนสารย้อมติดจากเมล็ดมะขามและสารให้สีจากผลก้างปลาเคี้ยว สัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตหมักพิมพ์สกรีน คือ สัดส่วนของน้ำ 100 มิลลิลิตร ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : สีผงก้างปลาเคี้ยวที่ 30 กรัม ได้ภาพพิมพ์ที่มีความเรียบสม่ำเสมอ คมชัด และมีความเรียบเนียน การเปลี่ยนแปลงของสีผงก้างปลาที่ผสมกับสารย้อมติดจากผงเมล็ดมะขาม ในระยะเวลา 7 วันพบว่าค่าความต่ำลดลง โดยค่าสูงสุด 1.78 และลดลงตามลำดับและต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 1.46 โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความต่ำหลังการชัก 5 ครั้ง ซึ่งมีค่าความต่ำสูงสุดที่ 1.76 และลดลงตามลำดับและมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.45

การผลิตสีหมักพิมพ์สกรีนจากมะเกลือสัดส่วนที่เหมาะสม คือน้ำ 100 มิลลิลิตร ผงเมล็ดมะขาม 10 กรัม : สีมะเกลือที่ 30 กรัม ได้ภาพพิมพ์ที่มีความเรียบสม่ำเสมอ คมชัด และมีความเรียบเนียน การเปลี่ยนแปลงของสีผงมะเกลือที่ผสมกับสารย้อมติดจากผงเมล็ดมะขาม ในระยะเวลา 7 วัน มีค่าความต่ำลดลง โดยมีสูงสุด 1.83 และต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 1.45 โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความต่ำหลังการชัก 5 ครั้ง ซึ่งมีค่าความต่ำสูงสุดที่ 1.78 และลดลงตามลำดับและมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.50

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปใช้การนำผลการวิจัยไปใช้ต้องควบคุมปัจจัยในการพิมพ์เพื่อได้คุณภาพงานพิมพ์เช่นเดียวกับผลการวิจัย เช่น ความละเอียดของผ้าสกรีน ชนิดผ้าในการพิมพ์ การทดลองในการพิมพ์ครั้งนี้พิมพ์ลงผ้าฝ้าย ซึ่งการพิมพ์บนผ้าชนิดอื่น ๆ อาจจะมีคุณภาพของการย้อมติดแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย ครั้งต่อไป ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารย้อมติดจากเมล็ดมะขาม และใช้สารให้สี 2 ชนิด ได้แก่ สีผงมะเกลือและผลก้างปลาเคี้ยว ซึ่งให้สีและสามารถย้อมติดในการพิมพ์บนผ้าฝ้าย ควรมีการศึกษาในการนำพิมพ์บนผลิตภัณฑ์วัสดุประเภทอื่น ๆ เพื่อการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ

References

- [1] ChanThip Suesat. (16 June 2010). *Chemicals in the textile industry*. [Online]. Available: <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=24>
- [2] Viorica Cazac, Jana Cîrja, Emilia Balan and Cristina Mohora, "The study of the screen printing quality depending on the surface to be printed," *22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering & Energy (IManE&E 2018)*, Chisinau, Moldova. vol. 178, 31 May - 2 June 2018, pp. 1-6.
- [3] Wichan Wanphonthong. "Dyeing with Natural Colors" *Journal of the Department of Science Service*, vol. 53, no. 168, pp. 35-37, May 2005.

- [4] Helmut Kipphan, *Handbook of Print Media*, 1st ed. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
- [5] Pratoomtong Trirat, "Screen ink, Development of screen inks from natural mordant and colorant," *Art and Architecture Journal Naresuan University*, vol. 8, no. 1, January - June 2017. pp. 182-195,
- [6] Wirunporn Srimuang and Chanasda Chullasthira, "An Extracted Substance of Tamarind Seed for Design Creation on Cotton Fabric," *National Academic Conference "Homepoom No.3 : Wisdom to the Future : Wisdom to the Future"* Faculty of Architecture Khon Kaen University Thailand, 15-16 June 2017, pp. 457-466.
- [7] Wancheng Sittikijyothin. (2016). *Physicochemical properties of gum extracted from seeds found in Thailand*. [Online]. Available: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/BUU.res.2011.53

กำลังยึดหน่วงระหว่างเหล็กเสริมที่เคลือบอีพ็อกซีกับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย ปิยณัฐ ใจแก้ว¹, ภักดี คบกลาง^{2*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email: pakdee.k@ku.th

Received: Jan 20, 2022

Revised: Apr 25, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการใช้อีพ็อกซีเป็นวัสดุเชื่อมประสานระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย โดยทดลองหล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาด $150 \times 150 \times 150$ มม. มีเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. เสริมอยู่ที่จุดกึ่งกลางของหน้าตัดมีระยะฝังเท่ากับ 50 มม. คอนกรีตที่ใช้มีเถ้าขานอ้อยผสมทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก จำลองตัวอย่างให้มีลักษณะการยึดหน่วง 2 แบบ คือ ฝังเหล็กเสริมพร้อมหล่อคอนกรีตกับเจาะคอนกรีตในภายหลัง แล้วเสริมเหล็กโดยใช้อีพ็อกซีเป็นวัสดุเชื่อมประสาน ทำการทดสอบตัวอย่างเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้อีพ็อกซีมีผลให้กำลังยึดหน่วงในช่วง 7 วันแรก มีค่ามากกว่ากรณีฝังเหล็กเสริมพร้อมหล่อคอนกรีตถึงประมาณร้อยละ 12 โดยต้องผสมเถ้าขานอ้อยในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 สำหรับในระยะยาว ตัวอย่างที่ทดสอบทั้ง 2 กรณี ให้กำลังยึดหน่วงไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: กำลังยึดหน่วง, กำลังอัด, อีพ็อกซี, เถ้าขานอ้อย, เหล็กเสริม

Bonding Strength of Rebars Coating Epoxy Resin in Concrete mixed with Bagasse Ash

Piyanuch Jaikaew¹, Pakdee Khobklang^{2*}

¹ Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

² Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakonnakhon Province Campus

Email: pakdee.k@ku.th

Received: Jan 20, 2022

Revised: Apr 25, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

Abstract

This article aims to study the effect of epoxy resin on bonding strength between rebars and concrete mixed with bagasse ash. The cube specimen, 150 × 150 × 150 mm, and 12 mm in diameter of deformed bar were adopted in the pull-out tests to determine bonding between concrete and rebars. Two types of rebar installation, 50 mm deep at the center of cross-sectional area, were investigated i.e., installation during specimen were casting and installation after setting time of concrete by drilling a hole at center of cross-sectional area of specimen then pushed rebar with coated epoxy resin into the hole. In this study, ordinary Portland cement type I was replaced by bagasse ash at 0%, 10%, 20%, 30% and 40% by weight and samples were tested at the age of concrete was 3, 7, 28, 60 and 90 days. The experimental results reveal that at the early age of concrete that mixed with bagasse ash less than 20%, namely 3 and 7 days, the samples using epoxy-coated rebars exhibit higher bonding strength, up to 12%, than the samples without epoxy. However, in the long-term, it is found that bonding strength of the samples using epoxy-coated rebars were gradually increased and the differences in bonding strength are not significance when comparing to the samples without epoxy.

Keywords: Bonding strength, Compressive strength, Epoxy resin, Bagasse ash, Rebar

บทนำ

องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Member) เป็นโครงสร้างชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก แต่เนื่องจากปูนซีเมนต์และมวลรวมที่ใช้ผลิตคอนกรีตมีราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ วงการวิศวกรรมโยธาทั่วโลกจึงมีแนวคิดที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ มาผสมในคอนกรีต เพื่อช่วยให้คอนกรีตมีราคาถูกลงและเป็นการช่วยกำจัดวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอีกด้วย เถ้าขานอ้อย (Bagasse Ash) เป็นวัสดุเหลือทิ้งชนิดหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจจากวิศวกรที่จะนำมาผสมในคอนกรีต [1-8] เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาธรรมชาติ Class N ตามมาตรฐาน ASTM C 618 [9] โดยในประเทศไทย มีปริมาณเถ้าขานอ้อยเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลไม่น้อยกว่า 10 ล้านเมตริกตันต่อปี มีปริมาณเถ้าขานอ้อยเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลไม่น้อยกว่า 10 ล้านเมตริกตันต่อปี [10, 11] ดังนั้น เถ้าขานอ้อยจึงจะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตได้ เช่นเดียวกับกับเถ้าลอย (Fly Ash) การนำเถ้าขานอ้อยมาผสมในคอนกรีตนั้น มีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลง แต่ยังคงอัตราส่วน W/B ไว้เท่าเดิม โดยผสมเถ้าขานอ้อยเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตให้เท่ากับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาลักษณะของการผสมเถ้าขานอ้อยที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของคอนกรีตอย่างจริงจัง

ในการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น สมการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบถูกวิศวกรสร้างขึ้นมาจากสมมุติฐานที่ว่า เหล็กเสริมและคอนกรีตยึดแน่นติดกันตลอดเวลา [12-14] ซึ่งต้องอาศัยพื้นที่สัมผัสระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่เพียงพอต่อการสร้างแรงยึดเหนี่ยวเพื่อให้เหล็กเสริมกับคอนกรีตไม่เกิดการเลื่อนหลุดออกจากกัน (slip) หรือที่ในทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเรียกว่า ระยะฝัง (development length) อย่างไรก็ตาม การฝังเหล็กเสริมในคอนกรีตอาจไม่สามารถดำเนินการได้ในระหว่างการหล่อ

คอนกรีต เช่น การต่อเติมโครงสร้างในภายหลัง หรือการซ่อมแซมโครงสร้าง เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้วิศวกรต้องใช้วิธีเจาะคอนกรีตซึ่งแข็งตัวแล้วให้มีขนาดช่องเปิดที่สามารถติดตั้งเหล็กเสริมเข้าไปได้ โดยจำเป็นต้องใช้กาวหรืออีพ็อกซี่ (Epoxy Resin) เป็นวัสดุยึดประสานเหล็กเสริมเข้ากับคอนกรีตไม่ให้เกิดรอยหลุดออกจากกันเมื่ออยู่ในสภาวะใช้งาน ซึ่งกำลังยึดเหนี่ยวที่ได้ย่อมแตกต่างจากกรณีที่ฝังเหล็กเสริมในขณะที่หล่อคอนกรีต

นอกจากนี้ การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยยังมีน้อย [15-24] งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมที่เคลือบอีพ็อกซี่กับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย ซึ่งเป็นสมบัติพื้นฐานที่สำคัญในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกรเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยให้ปลอดภัย มีประสิทธิภาพสูงสุด และประหยัดราคาค่าก่อสร้าง

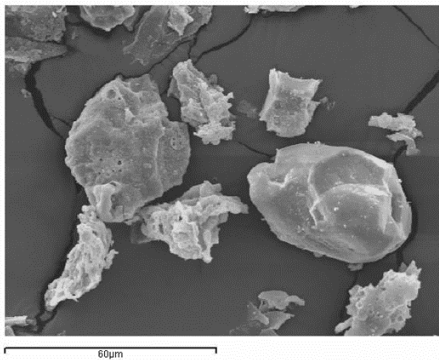
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย โดยเปรียบเทียบกำลังยึดเหนี่ยวที่ได้จากการฝังเหล็กเสริมในขณะที่หล่อคอนกรีต กับกำลังยึดเหนี่ยวที่ได้จากการใช้อีพ็อกซี่เป็นวัสดุเชื่อมประสานระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้มีตัวแปรต้นคือ วิธีการติดตั้งเหล็กเสริมและปริมาณเถ้าขานอ้อยที่ผสมในคอนกรีต ตัวแปรคงที่คือ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B ratio), ปริมาณมวลรวมหยาบ, ปริมาณมวลรวมละเอียด ชนิดของอีพ็อกซี่ ขนาดของแท่งตัวอย่างทดสอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม และระยะฝังเหล็กเสริม ตัวแปรตามคือ กำลังอัดของคอนกรีตและกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับ

คอนกรีต โดยส่วนผสมคอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายแม่น้ำ กรวด น้ำ และเถ้าขานอ้อยที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 (ช่องเปิดขนาด 40 ไมโครเมตร) ซึ่งลักษณะอนุภาคของเถ้าขานอ้อยที่ได้มีรูปทรงไม่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 1 แตกต่างจากเถ้าลอยที่อนุภาคมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม



รูปที่ 1 อนุภาคเถ้าขานอ้อยที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ซึ่งถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM)

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อยนั้น จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี X-ray fluorescence (XRF) technique พบว่า ในเถ้าขานอ้อยที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เกินกว่าร้อยละ 80 ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งซิลิกอนไดออกไซด์นี้เป็นองค์ประกอบสำคัญในปฏิกิริยาปอซโซลานที่ช่วยเพิ่มกำลังอัดให้กับคอนกรีต

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อย

ออกไซด์	ปริมาณโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)
MgO	2.23
Al_2O_3	2.70
SiO_2	84.70
P_2O_5	2.32
SO_3	0.17
Cl	<0.01

ออกไซด์	ปริมาณโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)
K_2O	2.66
CaO	3.02
TiO_2	0.36
MnO	0.37
Fe_2O_3	1.43
CuO	<0.01
Rb_2O	<0.01
ZrO_2	0.06

การทดสอบสมบัติเชิงกลในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตและการทดสอบกำลังยึดหน่วงระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต โดยทดลองผสมเถ้าขานอ้อยทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ การทดสอบกำลังอัด ใช้แท่งตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. สูง 300 มม. ใช้สัดส่วนผสมเดียวกันกับแท่งตัวอย่างที่ทดสอบกำลังยึดหน่วง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39 [25] เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ชุดละ 5 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แท่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

สำหรับการทดสอบกำลังยึดหน่วงนั้น แบ่งตัวอย่างเป็น 2 ชุด คือ ชุดตัวอย่างที่เสริมเหล็กในขณะที่หล่อคอนกรีต กับชุดตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมเหล็กในขณะที่หล่อคอนกรีต แต่ทำการเจาะช่องเปิด

เพื่อติดตั้งเหล็กเสริมในภายหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยทั้ง 2 ชุดจะใช้ตัวอย่างแท่งคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด $150 \times 150 \times 150$ มม. มีเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ฟังลึก 50 มม. ที่จุดกึ่งกลางของหน้าตัด คอนกรีตที่หล่อมีเถ้าขานอ้อยผสมทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์เช่นเดียวกัน ทำการทดสอบออกแรงดึงจนเหล็กเสริมหลุดออกจากแท่งตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C900 [26] เมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ชุดละ 5 ตัวอย่าง

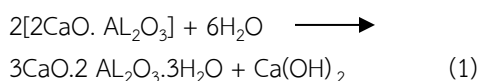


รูปที่ 3 แท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัด (ก) แท่งตัวอย่างฟังกเหล็กเสริมในขณะหล่อคอนกรีต และ (ข) แท่งตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับเจาะช่องเปิดเพื่อติดตั้งเหล็กเสริมในภายหลัง

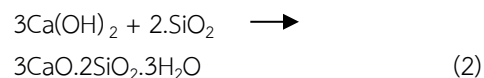
ผลการวิจัย

- กำลังอัด

การก่อตัวของคอนกรีตโดยทั่วไปนั้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) ซึ่งเกิดขึ้นทันทีเมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ โดยมีสารตั้งต้นคือ CaO , SiO_2 และ H_2O เมื่อทำปฏิกิริยากันแล้วจะได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) หรือเรียกว่า CSH ซึ่งมีคุณสมบัติเชื่อมประสาน สามารถเขียนในรูปสมการเคมีได้ดังแสดงในสมการ (1)



การผสมเถ้าขานอ้อยในคอนกรีตส่งผลให้เกิดการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน กระบวนการก่อตัวของคอนกรีตจึงช้าลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถ้าขานอ้อย แต่ก็มีข้อดีคือทำให้คอนกรีตสามารถระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ดีขึ้น สำหรับปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction) นั้นเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกับปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นสารตั้งต้น ทำปฏิกิริยากับซิลิกา (Silica) และอลูมินา (Alumina) ที่มีอยู่ในเถ้าขานอ้อย จึงทำให้เกิดเป็นสารประกอบ CSH เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างภายในเนื้อคอนกรีตบีบแน่นมากขึ้น ช่วยให้คอนกรีตมีคุณสมบัติที่บ่มแน่นมากขึ้น กำลังสูงขึ้น และเพิ่มความทนทานให้กับคอนกรีตด้วยปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้น สามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังแสดงในสมการ (2)



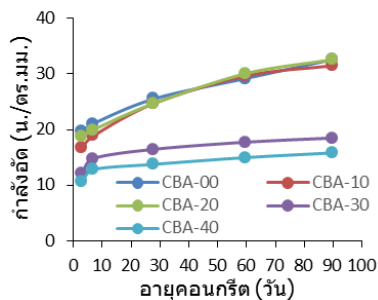
อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะถูกหน่วงให้ดำเนินไปอย่างช้า ๆ จากการผสมเถ้าขานอ้อย แต่ก็ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานดำเนินต่อเนื่องไปในระยะยาว ทำให้กำลังของคอนกรีตค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา ซึ่งการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีต

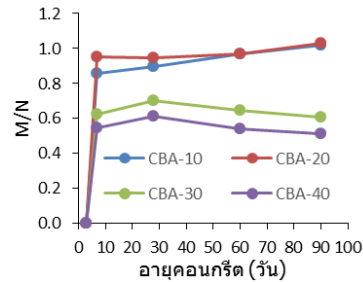
อายุ	กำลังอัด (น./ตร.มม.)				
	CBA-00	CBA-10	CBA-20	CBA-30	CBA-40
3	20.0	17.2	19.1	12.4	10.8
7	21.5	18.7	20.4	16.8	14.5
28	26.0	26.5	25.2	16.8	13.4
60	29.8	30.3	30.7	19.0	14.5
90	33.3	32.1	33.2	18.9	16.1

CBA-xx คือ คอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ xx โดยน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในตารางที่ 2 จะเห็นว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยพัฒนากำลังอัดได้ช้ากว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถ้าขานอ้อย โดยหากคอนกรีตมีอายุไม่เกิน 28 วัน คอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยทุกสัดส่วนผสมมีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อย แต่เมื่อพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตที่มีอายุมากกว่า 28 วัน พบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยไม่เกินร้อยละ 20 มีกำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อย โดยเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 90 วัน กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยไม่เกินร้อยละ 20 มีแนวโน้มไม่แตกต่างจากกำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อย สำหรับคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยในอัตราส่วนไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ค่ากำลังอัดที่ได้มีแนวโน้มต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อยค่อนข้างมาก ถึงประมาณร้อยละ 50 ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงลดลง ส่งผลให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีปริมาณลดลง การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจึงลดลงตามไปด้วย จึงทำให้คอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 มีกำลังอัดต่ำมาก ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต



รูปที่ 5 อัตราส่วนระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อย
M คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย
N คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อย

- กำลังยึดหน่วง

สำหรับการทดสอบกำลังยึดหน่วงระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตนั้น ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 สำหรับกรณีฝังเหล็กเสริมในขณะหล่อคอนกรีตกับกรณีเจาะฝังเหล็กเสริมโดยเคลือบอีพ็อกซีตามลำดับ

ตารางที่ 3 กำลังยึดหน่วงเฉลี่ยของตัวอย่างที่ฝังเหล็กในขณะหล่อคอนกรีต

อายุ	กำลังยึดหน่วง (น./ตร.มม.)				
	CBA-00	CBA-10	CBA-20	CBA-30	CBA-40
3	9.9	9.7	11.1	7.1	6.2
7	11.1	10.4	11.3	7.9	7.3
28	12.9	12.5	13.3	8.3	7.5
60	13.2	13.3	13.6	8.4	7.9
90	13.3	13.6	13.6	8.5	7.9

ตารางที่ 4 กำลังยึดหน่วงเฉลี่ยของตัวอย่างที่เจาะฝังเหล็กเสริมโดยเคลือบอีพ็อกซี

อายุ	กำลังยึดหน่วง (น./ตร.มม.)				
	CBA-00	CBA-10	CBA-20	CBA-30	CBA-40
3	11.1	10.0	10.9	6.7	5.9
7	11.8	10.6	11.5	7.5	6.9
28	12.2	12.0	12.1	8.6	8.0
60	12.3	12.7	12.5	8.8	8.3
90	12.5	13.1	13.1	8.8	8.5

เมื่อพิจารณาดารางที่ 3 และ 4 พบว่า กำลังยัด
หน่วงมีแนวโน้มแปรผันตามกำลังอัดของคอนกรีตทั้ง
กรณีที่เหมาะสมและกรณีที่ไม่เหมาะสม
กล่าวคือ เมื่อกำลังอัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น
กำลังยัดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมมี
แนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งกรณีที่ฝังเหล็กเสริม
พร้อมหล่อคอนกรีตและฝังเหล็กเสริมในภายหลัง
โดยใช้โฟกซีเป็นวัสดุเชื่อมประสาน นอกจากนี้ยัง
พบว่า ในแง่ตัวอย่างที่คอนกรีตผสมเถ้าขาน้อยไม่
เกินร้อยละ 20 และคอนกรีตมีอายุไม่เกิน 7 วัน
การใช้โฟกซีเป็นวัสดุเชื่อมประสานช่วยให้กำลังยัด
หน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมมีค่ามากกว่า
กรณีฝังเหล็กเสริมพร้อมกับหล่อคอนกรีตถึง
ประมาณร้อยละ 12 อายุบ่มของคอนกรีตมีผลต่อ
กำลังยัดหน่วงสูงสุดเฉลี่ยของตัวอย่างเหล็กที่ฝัง
เหล็กพร้อมหล่อคอนกรีต

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในระยะยาว
กล่าวคือ เมื่อคอนกรีตมีอายุมากกว่า 28 วันขึ้นไป
และผสมเถ้าขาน้อยไม่เกินร้อยละ 20 การฝังเหล็ก
เสริมพร้อมกับหล่อคอนกรีตมีแนวโน้มให้กำลังยัด
หน่วงที่สูงกว่าการใช้โฟกซีเล็กน้อย ประมาณไม่
เกินร้อยละ 5 ซึ่งถือว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

- ลักษณะการวิบัติ

กรณีฝังเหล็กเสริมพร้อมหล่อคอนกรีต พบว่า
ลักษณะการวิบัติของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้า
ขาน้อยเป็นไปตามรูปที่ 6(ก) และกรณีไม่ผสมเถ้า
ขาน้อยเป็นไปตามรูปที่ 6(ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างที่ฝังเหล็กเสริม
ในขณะหล่อคอนกรีต (ก) กรณีผสมเถ้าขาน้อย
และ (ข) กรณีไม่ผสมเถ้าขาน้อย

กรณีเจาะฝังเหล็กเสริมโดยใช้โฟกซีเป็นวัสดุ
เชื่อมประสาน พบว่า ลักษณะการวิบัติของแท่ง
ตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้าขาน้อยเป็นไปตามรูปที่
7(ก) และกรณีไม่ผสมเถ้าขาน้อยเป็นไปตามรูปที่ 7(ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างที่เจาะฝังเหล็ก
เสริมโดยใช้โฟกซี (ก) กรณีผสมเถ้าขาน้อย และ
(ข) กรณีไม่ผสมเถ้าขาน้อย

เมื่อพิจารณารูปที่ 6 และ 7 สังเกตได้ว่าลักษณะ
การวิบัติของแท่งตัวอย่างที่ฝังเหล็กเสริมพร้อม
การหล่อคอนกรีต และการวิบัติของแท่งตัวอย่างที่
เจาะฝังเหล็กเสริมโดยใช้โฟกซีเป็นวัสดุเชื่อม
ประสาน ทั้งกรณีคอนกรีตผสมเถ้าขาน้อยกับกรณี
คอนกรีตไม่ผสมเถ้าขาน้อย มีลักษณะที่ต่างกัน
กล่าวคือ แท่งตัวอย่างที่ฝังเหล็กพร้อมกับการหล่อ
คอนกรีตมีลักษณะการวิบัติที่แสดงให้เห็นการ
กระจายแรงไปสู่คอนกรีตโดยรอบ ทำให้คอนกรีตมี
การหลุดร่อนเป็นวงกว้างรอบเหล็กเสริม ในขณะที่
แท่งตัวอย่างที่ใช้โฟกซีเป็นวัสดุเชื่อมประสานมี
ลักษณะการวิบัติที่แสดงให้เห็นว่าโฟกซีช่วยยึด

เกาะเหล็กเสริมกับคอนกรีตโดยรอบได้เป็นอย่างดี แต่สามารถกระจายแรงไปสู่คอนกรีตที่อยู่โดยรอบเหล็กเสริมเท่านั้น การวิจัยจึงเป็นลักษณะกรวย ส่วนอิทธิพลของเถ้าขานอ้อยนั้น พบว่า คอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อยมีแนวโน้มหลุร่อนได้ยากกว่า กรณีผสมเถ้าขานอ้อย สังเกตได้ชัดเจนจากรูปที่ 7(ข) ซึ่งเห็นได้ว่า คอนกรีตช่วยกันทำงานอย่างเต็มที่ จนแท่งคอนกรีตแตกออกในขณะที่เหล็กเสริมหลุดออกจากแท่งตัวอย่าง ซึ่งผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Ahmed KS, et al. [27] และ Shang H, Shao S and Wang W [28] ทั้งลักษณะการวิบัติและกำลังยึดหน่วงที่ได้ โดยได้ดำเนินการทดลองในลักษณะที่คล้ายกัน

สรุปและอภิปรายผล

กำลังยึดหน่วงระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตแปรผันตามกำลังอัดของคอนกรีตเป็นหลัก ทั้งกรณีฝั้เหล็กเสริมในขณะหล่อคอนกรีต และกรณีเจาะฝั้เหล็กเสริมในภายหลังโดยใช้อีพ็อกซีเป็นวัสดุเชื่อมประสาน ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. คอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 กำลังยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมมีค่าไม่แตกต่างจากคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าขานอ้อย แต่หากผสมเถ้าขานอ้อยเกินร้อยละ 20 จะส่งผลให้กำลังยึดหน่วงมีค่าลดลงเป็นอย่างมากถึงร้อยละ 50 กำลังยึดหน่วงจะมีค่ามากที่สุดเมื่อผสมเถ้าขานอ้อยในอัตราร้อยละ 10-20 ทั้งกรณีฝั้เหล็กเสริมพร้อมกับหล่อคอนกรีต และกรณีเจาะฝั้เหล็กเสริมในภายหลังโดยใช้อีพ็อกซีเป็นวัสดุเชื่อมประสาน

2. การเจาะฝั้เหล็กเสริมในภายหลังโดยใช้อีพ็อกซีเป็นวัสดุเชื่อมประสาน มีผลให้กำลังยึดหน่วงในช่วง 7 วันแรก มีค่ามากกว่ากรณีฝั้เหล็กเสริมพร้อมหล่อคอนกรีตถึงร้อยละ 12 โดยคอนกรีตต้องผสมเถ้าขานอ้อยในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 10 แต่หากผสมเถ้าขานอ้อยในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป กำลังยึดหน่วงจะน้อยกว่าการฝั้เหล็กเสริมพร้อมหล่อคอนกรีต และการใช้อีพ็อกซีเป็น

วัสดุเชื่อมประสาน ให้กำลังยึดหน่วงในระยะยาวไม่แตกต่างจากการฝั้เหล็กเสริมพร้อมหล่อคอนกรีต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการสำหรับทดสอบตัวอย่าง และขอขอบพระคุณ บริษัท ฮิตติ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนโครงการ โดยมอบอีพ็อกซีรุ่น HIT-HY 150 #338973 ให้เป็นวัสดุในการทดลองในครั้งนี้

References

- [1] Batool F, Masood A and Ali M. Characterization of Sugarcane Bagasse Ash as Pozzolan and Influence on Concrete Properties. *Arabian Journal for Science & Engineering (Springer Science & Business Media B.V.)*. 2020; 45(5): 3891-3900.
- [2] Chindaprasit P, et al. Mechanical properties, chloride resistance and microstructure of Portland fly ash cement concrete containing high volume bagasse ash. *Journal of Building Engineering*. 2020; 31: 101415.
- [3] Ganesan K, Rajagopal K and Thangavel K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*. 2007; 29: 515-524.
- [4] Jha P, Sachan AK and Singh RP. Agro-waste sugarcane bagasse ash (ScBA) as partial replacement of binder material in concrete. *Materials Today: Proceedings*. 2021; 44(Part 1): 419-427.

- [5] Khobklang P, Nokkaew K and Greepala V. *Effect of Bagasse Ash on Water Absorbition and Compressive Strength of Lateritic Soil Interlocking Block*, in Excellence in Concrete Construction-through Innovation, Limbachiya MC, Editor. 2008, Kingston University: London, UK.
- [6] Loganayagan S, Chandra Mohan N and Dhivyabharathi S. *Sugarcane bagasse ash as alternate supplementary cementitious material in concrete*. Materials Today: Proceedings. 2021; 45(Part 2): 1004-1007.
- [7] Prithish Gupta Q, Eric W and Chandradeo B. *Sustainable concrete: Potency of sugarcane bagasse ash as a cementitious material in the construction industry. Case Studies in Construction Materials*. 2021; 14(e00545-).
- [8] Sujjavanich S, et al. *Effect of Bagasse Ash as Cementitious Material*. In. Proceeding in NOCMAT/3-Vietnam International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies; March 12-14; Hanoi, Vietnam 2002
- [9] American Society for Testing and Materials. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, in Concrete and Aggregates*. 2004, ASTM International: West Conshohocken, United States.
- [10] Dumrongsil S and Thep Wong R. *Strength and Microstructure of Cement Blended Bagasse Ash and Fly Ash*. 2007, Rajamangala University Of Technology Rattanakosin: Bangkok, Thailand. p. 19.
- [11] Tancharoen S and Suwansaard A. The Study of Proportion of Bagasse Ash Affecting to Compressive Strength of Concrete. *The Journal of Industrial Technology*. 2022; 18(1): 12.
- [12] Barbosa AF and Ribeiro GO. *Analysis of Reinforced Concrete Structures using ANSYS Nonlinear Concrete Model*. *Computational Mechanics*. 1998; 19(3): 50.
- [13] Ferguson PM, Breen JE and Jirsa JO. *Reinforced Concrete Fundamentals*. 5th ed. 1991, United States of America: John Wiley and Sons, Inc. 768; 1991
- [14] Nilson AH, Darwin D and Dolan CW. *Design of Concrete Structures*. 15th ed. ed, ed. Darwin D and Dolan CW. 2015, Boston: McGraw-Hill Higher Education; 2015
- [15] Abrishami HH and Mitchell D. Analysis of Bond Stress Distributions in Pullout Specimens. *Journal of Structural Engineering*. 1996; 122(3): 255.
- [16] Arezoumandi M, Looney TJ and Volz JS. Effect of fly ash replacement level on the bond strength of reinforcing steel in concrete beams. *Journal of Cleaner Production*. 2015; 87(1): 745-751.
- [17] Arezoumandi M, Wolfe MH and Volz JS. A comparative study of the bond strength of reinforcing steel in high-volume fly ash concrete and conventional concrete. *Construction and Building Materials*. 2013; 40: 919-924.

- [18] Chang EH. *Shear and Bond Behaviour of Reinforced Fly Ash-Based Geopolymer Concrete Beams, in Civil Engineering*. 2009, Curtin University of Technology: Perth. p. 410.
- [19] Gomaa E, et al. Bond strength of eco-friendly class C fly ash-based thermally cured alkali-activated concrete to portland cement concrete. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 235: 404-416.
- [20] Jiong-Feng L, et al. Bond behavior between high volume fly ash concrete and steel rebars. *Computers & Concrete*. 2017; 19(6): 625-630.
- [21] Li Q, et al. Bond characteristics between early aged fly ash concrete and reinforcing steel bar after fire. *Construction and Building Materials*. 2017; 147: 701-712.
- [22] Liang JF, et al. Bond behavior between high volume fly ash concrete and steel rebars. *Computers and Concrete*. 2017; 19(6): 625-630.
- [23] Manjunath R, Narasimhan MC and Suryanarayana LR. Bond strength characteristics of fly ash admixed self-compacting alkali activated concrete mixes. 2020, *INDIAN CONCRETE JOURNAL: India*. p. 50-58.
- [24] Zhou Q, et al. *Effect of fly ash and corrosion on bond behavior in reinforced concrete*. In: 2020/01/01/: Thomas Telford; 2020. p. 1839-1852.
- [25] American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. 2017, ASTM International: West Conshohocken, PA.
- [26] American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete*. 2001, ASTM International: West Conshohocken, PA, United State of America.
- [27] Ahmed KS, et al. *Bond strength of post-installed high strength deformed rebar in concrete. Case Studies in Construction Materials*. 2021; 15: e00581.
- [28] Shang H, Shao S and Wang W. Bond behavior between graphene modified epoxy coated steel bars and concrete. *Journal of Building Engineering*. 2021; 42: 102481.

ประสิทธิภาพของผักตบชวาต่อการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสีย

จากกระบวนการผลิตปลาร้า

ปิยนุช ใจแก้ว¹, ชาญชัย คหาปนะ², ณภัทร โพธิ์วัน^{3*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

³คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Email: naphat@g.swu.ac.th

Received: Feb 04, 2022

Revised: Apr 29, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุดูดซับจากผักตบชวาสำหรับดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตปลาร้า โดยนำผักตบชวาที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรนำไปปรับสภาพด้วยการแช่ในสารละลาย NaOH ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้มีผลต่อค่าความจุในการดูดซับไอโอดีนและหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุและลักษณะทางสัณฐานวิทยา สำหรับร้อยละการดูดซับฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิต ปลาร้าของวัสดุดูดซับพบว่า ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ มีค่าร้อยละการดูดซับฟอสเฟต เท่ากับ 83.11 ในขณะที่ผลการศึกษาไอโซเทอร์มมีการดูดซับของวัสดุดูดซับที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและวัสดุดูดซับที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH พบว่า ไอโซเทอร์มมีการดูดซับฟอสเฟตของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ โดยมีค่าความจุในการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดเท่ากับ 2.39 มิลลิกรัมต่อกรัม กล่าวได้ว่า ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายเบสมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตและมีความน่าสนใจสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่อไป

คำสำคัญ: การดูดซับ, ฟอสเฟต, ผักตบชวา, น้ำเสียจากกระบวนการผลิตปลาร้า

Efficacy of water hyacinth on phosphate absorption from Pla-ra production process

Piyanuch Jaikeaw¹, Chanchai Kahapana², Naphat Phowan^{3*}

¹ Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

² Material properties analysis and development centre, Ministry of Science and Technology

³ Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

*Email: naphat@g.swu.ac.th

Received: Feb 04, 2022

Revised: Apr 29, 2022

Accepted: Jun 14, 2022

Abstract

This article aims to study an adsorbent for phosphate adsorption in wastewater was prepared from water hyacinth from the Pla-Ra production process. The water hyacinth was blended and sieved to particle size of 2 mm was pretreated with NaOH. The results showed that concentration of NaOH affected the adsorption capacity of iodine in the pretreated water hyacinth as well as the functional groups and morphology present in the materials. The phosphate in wastewater adsorption efficiency of 0.7M NaOH pretreated adsorbent was 83.11%. The adsorption of phosphate by NaOH pretreated water hyacinth was best described by Langmuir isotherm with the maximum adsorption capacity of 2.39 mg/g of adsorbent. Taken all together, water hyacinth pretreated with based solution can be used to adsorb phosphate, they might be applied for wastewater treatment.

Keywords: Adsorption, Phosphate, Water hyacinth, Pla-Ra production process

บทนำ

เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโควิด-19 (Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)) ส่งผลให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนาแบบแผนการตลาดที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในช่วงสถานการณ์ดังกล่าว ส่งผลให้เกิดอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนในรูปแบบการจัดจำหน่ายสินค้าแบบออนไลน์ เพิ่มช่องทางในการประกอบธุรกิจ อันส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาทิ ปัญหามลพิษทางน้ำ ที่เกิดจากอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประกอบกิจการถนอมอาหารประเภท ผัก ผลไม้ สัตว์น้ำเค็มและสัตว์น้ำจืดด้วยวิธีหมักดอง เช่น โรงงานปลาร้า โรงงานผักและผลไม้ดอง ที่มีจำนวนมากพบว่ามี การรั่วไหลของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตปลาหมักที่เป็นอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนมีค่าบีโอดี ซีโอดี และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเกินเกณฑ์มาตรฐาน [1] ประกอบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีวิธีการที่หลากหลายแต่อาจไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนในส่วนของการใช้จ่ายในการลงทุน อาทิ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และความชำนาญเป็นพิเศษ ดังนั้น วิธีการดูดซับ (Adsorption) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย เงินลงทุน และใช้สถานที่ในการดำเนินการน้อย มีงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้แสดงให้เห็นว่าการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยผลพลอยได้ทางการเกษตร เช่น ขี้เลื่อยของต้นสนเยรูซาเลม (Aleppo pine)[2] ขุยมะพร้าว[3] สามารถทำให้ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด แต่ยังมีข้อจำกัด คือ ความจุในการดูดซับยังมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการปรับสภาพวัสดุ เช่น การลดขนาด การใช้สารเคมี การใช้ความร้อน ในการปรับปรุงโครงสร้างหรือสมบัติของวัสดุดูดซับ ดังนั้น งานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ชีวมวลที่สามารถ

ย่อยสลายได้ง่ายด้วยกระบวนการทางชีวภาพมาเป็นวัสดุดูดซับ โดยเลือกผักตบชวา (Water hyacinth) ซึ่งมีปริมาณมากในแต่ละปีมาใช้ประโยชน์ ด้วยการพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิตปลาร้า เนื่องจากมีองค์ประกอบที่เป็นเส้นใย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลลูโลสในปริมาณสูง[4] ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษารั้วนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาที่น้ำเสียและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุดังกล่าวให้สูงขึ้น ประกอบกับการตอบรับกับนโยบายรัฐบาลที่มีการผลักดันให้มีการกำจัด และนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับธาตุอาหารของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ เคมี ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตปลาร้า

ขั้นตอนการวิจัย

1) การเตรียมวัสดุดูดซับ นำต้นผักตบชวาที่เก็บจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปา แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ตากให้แห้ง จากนั้นบดให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดแบบใบมีด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บในภาชนะที่แห้งและปิดสนิท

จากนั้นนำผักตบชวาที่เตรียมได้มาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ [5] ที่อัตราส่วน 1:20 นำไปแช่ด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 และล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนสารละลายมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำปราศจากไอออน นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุดูดซับ ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านปรับสภาพทางเคมีโดย

ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Micro-scope; SEM) โดยส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FT-IR)

3) การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine number) ของวัสดุดูดซับการทดลองนี้เป็นการหาปริมาณการดูดซับของวัสดุดูดซับจากความสามารถในการดูดซับไอโอดีนบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับ โดยนำวัสดุดูดซับที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 [6]

4) การเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา การศึกษาการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตปลาร้าของโรงงานปลาร้า ตำบลโพางามคำตัก อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท โดยเก็บใส่ขวดแก้วสีชา ขนาด 5 ลิตร ปิดฝาให้สนิท และรักษาความคงสภาพที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปศึกษาวิเคราะห์

5) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟอสเฟต
- ระยะเวลาในการดูดซับ โดยชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.2 กรัม เติมน้ำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1, 2, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ทำการแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต

- ปริมาณวัสดุดูดซับ โดยชั่งวัสดุดูดซับปริมาณ 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม เติมน้ำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมจากการศึกษาระยะเวลาในการดูดซับ ทำการแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต

6) การวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต

ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยวิธีแอสคอร์บิก (Ascorbic acid method) [7] โดยนำไปตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV – Visible Spectrophotometer) คำนวณร้อยละการดูดซับฟอสเฟตที่ถูกดูดซับ จากสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการดูดซับ} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอสเฟต (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของฟอสเฟต (mg/L)

7) การศึกษาไอโซเทอร์มมีการดูดซับ

การวิเคราะห์ไอโซเทอร์มเพื่อใช้อธิบายรูปแบบของการดูดซับฟอสเฟต ประกอบด้วยสมการของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) และสมการของฟรุนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm) ดังสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

เมื่อ

q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ 1 กรัม (mg/g)

q_m คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับที่อิ่มตัวบนตัวดูดซับ 1 กรัม (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (mg/L)

K_L คือ ค่าคงที่ของแลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่ง (L/mg)

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

เมื่อ

q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ 1 กรัม (mg/g)

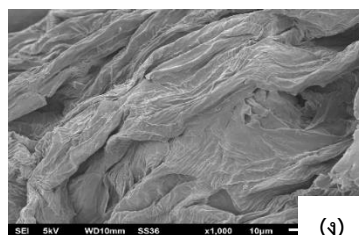
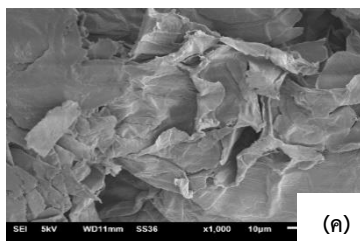
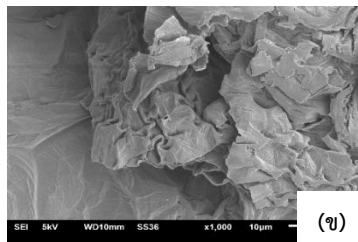
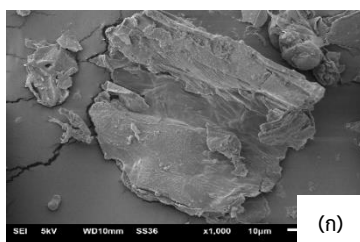
n คือ ค่าคงที่แสดงถึงความแข็งแรงในการดูดซับ
 C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (mg/g)
 K_F คือ ค่าคงที่ของฟรันทซ์ลิทซ์ที่แสดงถึงความ สามารถ ในการดูดซับ (L/g)

ผลการวิจัย

1. ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุดูดซับ

ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาก่อนและหลังปรับสภาพด้วยสารละลาย NaOH โดยเครื่อง SEM ที่

กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่า ลักษณะพื้นผิวของ ผักตบชวาก่อนปรับสภาพ (ไม่ผ่านการปรับสภาพ) แตกต่างจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ โดย ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีลักษณะพื้นผิว ค่อนข้างเป็นแผ่นเรียบและซ้อนกันเป็นชั้นๆ ส่วน ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ มีพื้นผิวขรุขระ มากขึ้น แสดงดังรูปที่ 1



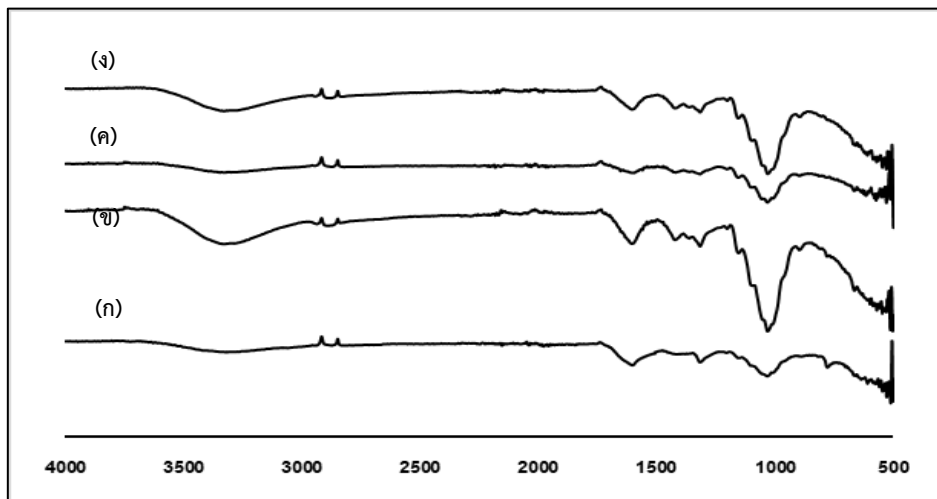
รูปที่ 1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ของ (ก) ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ข) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.3 M (ค) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.5 M และ (ง) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 M

สำหรับหมู่ฟังก์ชันของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพโดยใช้เครื่อง FT-IR ที่เลขคลื่นในช่วง $500-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่า สเปกตรัมผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพจะปรากฏแถบการดูดกลืนแสง (Adsorption band) ที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ใกล้เคียงกับที่ปรากฏในผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ แต่มีความเข้มของพีคเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH^-) ที่เลขคลื่นระหว่าง $3200-3500\text{ cm}^{-1}$ และหมู่ฟังก์ชัน Carbonyl (C=O) จากกลุ่ม Carboxylate ที่เลขคลื่น

ระหว่าง $1600-1650\text{ cm}^{-1}$ รวมถึงมีการลดลงของ C=O stretching ของหมู่ Ester carbonyl ซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของความเข้มพีคที่เลขคลื่น 1738 cm^{-1} นอกจากนี้ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพพบว่า พีคในช่วงเลขคลื่นประมาณ $1000-1150\text{ cm}^{-1}$ ปรากฏแถบการสั่นจาก C-O stretching ของกลุ่ม Alcohol ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคตินที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของผักตบชวา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การปรับสภาพ

ผักตบชวาด้วย NaOH ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชัน เกิดการทำลายโครงสร้างของเซลลูโลส เอมิ

เซลลูโลสลิกลินินและเพคติน ทำให้ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของวัสดุดูดซับ (ก) ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ข) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.3 M (ค) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.5 M และ (ง) ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 M

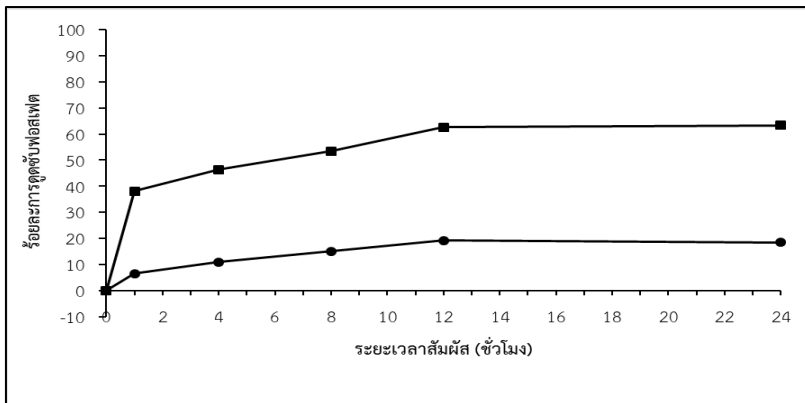
2. การดูดซับค่าไอโอดีนของวัสดุดูดซับ

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เปรียบเทียบผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยการหาค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number, I.N.) ได้ผลการทดลอง โดยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่า I.N. เท่ากับ 282.05 ± 4.15 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุดูดซับ ในขณะที่ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ มีค่า I.N. เท่ากับ 401.50 ± 2.08 , 522.79 ± 4.16 และ 546.80 ± 7.21 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุดูดซับ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้ค่า I.N. ของผักตบชวาที่ปรับสภาพมีค่าสูงสุดคือ 546.80 ± 7.21 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุดูดซับ เมื่อปรับสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 0.7 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ความ

เข้มข้น 0.7 โมลาร์ มาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียต่อไป

3. ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับฟอสเฟต

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ คือ ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และผักตบชวาที่ผ่านปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ ด้วยการเติมวัสดุดูดซับ 0.2 กรัมในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิตปลาที่มามีปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น 13.69 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลาต่าง ๆ และทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตหลังการดูดซับที่เพื่อนำมาคำนวณหาร้อยละการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด ซึ่งพบว่า ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ มีค่าร้อยละการดูดซับฟอสเฟตสูงกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และสภาวะสมดุลของการดูดซับคือ 12 ชั่วโมงแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียของวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาต่างกัน เมื่อ (●) คือ ผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และ (■) คือ ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 M

4. ผลของปริมาณวัสดุและไอโซเทอร์มการดูดซับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเสียของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด โดยเติมวัสดุดูดซับที่ต้องการทดสอบปริมาณ 0.2-2.0 กรัม ในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิตปลาที่มามีปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น 12.48 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตหลังการดูดซับเพื่อนำมาคำนวณหาร้อยละการดูดซับ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับจาก 2 กรัมต่อลิตร เป็น 20 กรัมต่อลิตร ร้อยละการดูดซับของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 15.52 เป็น 46.52 ในขณะที่ร้อยละการดูดซับของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 61.67 เป็น 83.11 โดยร้อยละการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดของผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีค่า 46.52 และ 83.11 ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตรของวัสดุดูดซับ

สำหรับการศึกษาแบบจำลองการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

ความจุในการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ (q_e) และความเข้มข้นของฟอสเฟตที่สภาวะสมดุล (C_e) อาศัยรูปแบบสมการของไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และรูปแบบสมการของไอโซเทอร์มแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm) ผลการศึกษา พบว่า แบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์มีความเหมาะสมในการใช้อธิบายรูปแบบการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด มากกว่าแบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิช โดยเปรียบเทียบจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; R^2) ของสมการเข้าใกล้ 1 มากกว่า ที่ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสมการทั้งสอง โดยรูปแบบสมการแบบแลงเมียร์จะเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/q_e$ กับ $1/C_e$ สามารถคำนวณหาค่าปริมาณการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดของวัสดุดูดซับ (q_m) และค่า K_L ซึ่งเป็นค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว และเป็นสัดส่วนระหว่างอัตราการดูดซับต่ออัตราการคายการดูดซับได้จากค่าจุดตัดแกน y และค่าความชันของกราฟ จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ ในขณะที่รูปแบบสมการแบบฟรอนด์ลิชจะเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log q_e$ กับ $\log C_e$ สามารถหาค่าคงที่ของสมการแบบฟรอนด์ลิชที่แสดงปริมาณการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ (K_F) และค่า

Adsorption Intensity ($1/n$) ได้จากค่าจุดตัดแกน y และค่าความชันของกราฟ [8] จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ตามรูปแบบสมการแบบฟรุนดลิชได้ โดยผักตบชวาผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH 0.7 โมลาร์ และผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่าความจุสูงสุดในการดูดซับ (q_m) เท่ากับ 2.39 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และมีค่าคงที่ของแลงเมียร์ (K_L) เท่ากับ 0.055 และ 0.037 ลิตรต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีความจุในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพอย่างเห็นได้ชัดแสดงดังตารางที่ 1

ไอโซเทอร์ม แบบแลงเมียร์	ผักตบชวาที่ไม่ ผ่านการปรับ สภาพ	ผักตบชวาที่ ผ่านการปรับ สภาพ
R^2	0.8540	0.9630
q_m (mg/g)	0.08	2.39
K_L (L/g)	0.037	0.055
ไอโซเทอร์ม แบบฟรุนดลิช	ผักตบชวาที่ไม่ ผ่านการปรับ สภาพ	ผักตบชวาที่ ผ่านการปรับ สภาพ
R^2	0.8149	0.9147
K_F	0.009	2.852
$1/n$	1.725	0.2943

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ลักษณะพื้นผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 โมลาร์ จะมีพื้นที่ผิวที่ขรุขระมากขึ้นซึ่งอาจเป็นผลจากความสามารถของ NaOH ในการย่อยสลายองค์ประกอบจำพวกลิกนิน อีกทั้งยังสามารถทำลายความเป็นโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลส (Cellulose crystalline) ส่งผลให้ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพมีความเป็นรูพรุนมากกว่าผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป เช่น หมู่ Ester จะถูกไฮโดรไลซ์ด้วย NaOH เกิดเป็นกลุ่ม Carboxylate และ Alcohol [9]

ในกรณีของค่า I.N. ที่พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามระดับความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่ใช้ปรับสภาพ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการที่ NaOH มีผลต่อพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับโดยเฉพาะส่วนที่เป็นเยื่อใย ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะทำให้องค์ประกอบจำพวกเซลลูโลสเกิดการบวมตัวมากขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มการย่อยสลายลิกนินบนพื้นผิวของวัสดุ [10] ที่แสดงให้เห็นว่าเปลือกของลูกสนมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ปรับสภาพ และจากกราฟที่ 2 ยังเห็นพีกในช่วงเลขคลื่นประมาณ $1000-1150\text{ cm}^{-1}$ ปรากฏแถบการสั่นจาก C-O stretching ของกลุ่ม Alcohol ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชัน เกิดการทำลายโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและเพคติน ทำให้ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุภาวดี [11] ที่พบว่าการปรับสภาพวัสดุดูดซับจะมีผลให้พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับเพิ่มขึ้นและสามารถดูดซับไอโอดีนได้มากกว่าวัสดุดูดซับที่ไม่ได้ปรับสภาพ และยังสอดคล้องกับลักษณะพื้นผิวจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งพบพื้นผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH มีความขรุขระมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น พื้นผิวของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับฟอสเฟตซึ่งเป็นไอออนลบโดยร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงชั่วโมงแรก หลังจากนั้นร้อยละการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง และมีค่าคงที่จนถึง 24 ชั่วโมง นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับสามารถส่งผลต่อการดูดซับฟอสเฟต เนื่องจากการเพิ่มปริมาณวัสดุที่ใช้ในการดูดซับจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยา [12]

เมื่อพิจารณาแบบแผนการดูดซับฟอสเฟตของการศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับรูปแบบสมการของไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ซึ่งการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็น

การดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) ที่มีความสม่ำเสมอ (Homogenous) ที่อยู่บนพื้นที่ของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด มีตำแหน่งในการดูดซับมีปริมาตรที่แน่นอน [13] จากผลการศึกษาดังกล่าว สรุปได้ว่าเมื่อมีการปรับสภาพวัสดุดูดซับด้วยด่างทำให้สมบัติที่เปลี่ยนไป ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันและลักษณะทางสัณฐานวิทยา อีกทั้งสมบัติของวัสดุดูดซับมีความเหมาะสมในการดูดซับและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตได้ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพ คือระยะเวลาสัมผัสที่ 12 ชั่วโมง และที่ปริมาณวัสดุดูดซับ 20 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับถึงร้อยละ 46.52 และ 83.11 ตามลำดับ โดยผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเสียจากการผลิตปลาอย่างเห็นได้ชัด สำหรับการศึกษาการดูดซับฟอสเฟตด้วยไอโซเทอร์ม พบว่า แบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์มีความเหมาะสมในการใช้อธิบายถึงรูปแบบการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด ซึ่งอธิบายได้ว่า การดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว และพื้นที่ผิวของการดูดซับเป็นปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ กล่าวได้ว่าผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตและมีความน่าสนใจสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการพัฒนาระบบประกันคุณภาพและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณโรงงานปลาในพื้นที่ตำบลโพนางดาดก อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำสำหรับการวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของวัสดุ ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้

ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

References

- [1] J. Ponlasan, T. Pattamapitoon, O. Phewnil, and K. Chunkao., “Wastewater Treatment from Pla Som Production Process through Constructed Wetland”. In: Proceedings of the 13th KU-KPS Conference; 8-9 December 2016. Nakhon Pathom. pp. 1547-1553. 2016. (in Thai).
- [2] S. Benyoucef., and M Amrani., “Adsorption of phosphate ions onto low-cost Aleppo pine adsorbent Desalination”, vol 275(1), pp.231-236. 2011.
- [3] K.Krishnan., and A .Haridas., “Removal of phosphate from aqueous solutions and sewage using natural and surface modified coir pith” *Journal of Hazardous Materials*, Vol .152, pp. 527-535. 2008.
- [4] P. Prasannam., “Removal of heavy metal ions from solution using ion exchangers based on hydroxyethyl cellulose”. M.S. thesis, Dept. Eng., Silpakorn University. 2004. (in Thai).
- [5] D. Kolodynska., R.Wnetrzak, J.J. Leahy., and et al.. “Kinetic and Adsorptive Characterization of Biochar in Metal Ions Removal”. *Chemical Engineering Journal*, Vol.197, pp. 295-305. 2012.
- [6] ASTM Committee on Standards. *Standard Test Method for Determination of Iodine number of Activated carbons*. In annual Book of ASTM Standards. pp. 112-125.

- [7] APHA-AWWA. *Standard methods for the examination of water and wastewater 4500 - P*. 22th Edition. Washington, DC: APHA-AWWA- WEF. 2012.
- [8] S. Waiyasusri., "Phosphate removal in wastewater by adsorption on calcium carbonate and calcium oxide from eggshell". *The Journal of KMUTNB*. Vol. 26(3), pp. 475-486. 2016. (in Thai).
- [9] S. Waiyasusri., "Phosphate removal in wastewater by adsorption on calcium carbonate and calcium oxide from eggshell". *The Journal of KMUTNB*. Vol. 26(3), pp. 475-486. 2016. (in Thai).
- [10] W Wan Ngh., and M. Hanafiah., "Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents". *Bioresource Technology*. Vol.99, pp.3935-3948. 2008.
- [11] A.E. Ofomaja., E.B. Naidoo., and S.J. Modise., "Removal of copper (II) from aqueous solution by pine and base modified pine cone powder as biosorbent". *Journal of Hazardous Materials*, Vol.168, pp. 909-917. 2009.
- [12] S. Pillai., D. Mullassery., B. Fernandez., and et al. "Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by chemically modified potato starch: Equilibrium and kinetic studies". *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.92, pp.199-205. 2013.
- [13] S. Polpasert., "Pretreatment of lignocellulose materials for ethanol production". *Journal of Science and Technology*. Vol. 5, pp. 641-649. 2014. (in Thai).
- [14] F. Nady.j E. Ola., and B. Laila., "Effectiveness of alkali-acid treatment in enhancement the adsorption capacity for rice straw: The removal of methylene blue dye". *Physical chemistry*. pp.1-15. 2013.

การประเมินความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากดาวเทียม Sentinel-5P ในกรุงเทพมหานครช่วงมาตรการปิดเมือง จำกัดการระบาดของโควิด-19

ปริชาติ เวชยนต์^{1*}, จิตยา โมกษ์บุรุษ¹, พัทธิธรา ตาซุชาติ¹, พิชามญช ษยาภิวัฒน์¹

¹ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Email: parichatw@g.swu.ac.th

Received: Feb 11, 2022

Revised: Mar 30, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นแก๊สที่เป็นพิษกับระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ โดยข้อมูลมลพิษทางอากาศ จะทำการตรวจวัดโดยสถานีพื้นผิวของกรมควบคุมมลพิษเป็นหลัก ซึ่งมีความแม่นยำสูง แต่เนื่องจากการตรวจวัดเฉพาะจุด ไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ ดังนั้น การตรวจวัดด้วยดาวเทียม จึงเป็นวิธีทางเลือกที่ได้รับความนิยม แต่เนื่องจากยังให้ค่าความถูกต้อง ไม่สูงมาก การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประเมินความถูกต้องและแก้ค่าอคติของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จาก ดาวเทียม Sentinel-5P แล้วนำมาทดสอบโดยใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาผลกระทบจากมาตรการปิดเมืองจำกัดการ ระบาดของโควิด-19 มาตรการปิดเมืองนี้ส่งผลให้มีการลดลงของมลพิษทั่วโลก ผลการประเมินพบว่า ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P มีความถูกต้องร้อยละ 36.14 ($R = 0.3614$) และ มีค่าคลาดเคลื่อน $8.98 \times 10^{-4} \text{ mol/cm}^2$ ($\text{RMSE} = 0.000898$) เมื่อใช้วิธีแก้ค่าอคติแล้ว ทำให้ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อย ละ 68.60 ($R = 0.6860$) และ มีค่าคลาดเคลื่อนลดลงเป็น $5.02 \times 10^{-4} \text{ mol/cm}^2$ ($\text{RMSE} = 0.000502$) แต่มีแนวโน้ม ประเมินค่าได้ต่ำกว่าสถานีช่วงที่มีความเข้มข้นก๊าซ NO_2 สูง เมื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ในช่วงมาตรการปิดเมืองจำกัดการระบาดของโควิด-19 พบว่าแสดงแนวโน้มไม่สอดคล้องกันระหว่างสถานีพื้นผิวและข้อมูลจาก ดาวเทียม Sentinel-5P ผลที่ได้จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-5P ในการตรวจ ติดตามสถานการณ์มลพิษได้ เนื่องจากครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง แต่ต้องมีการปรับปรุงความถูกต้องของข้อมูลให้สูงขึ้น

คำสำคัญ: ไนโตรเจนไดออกไซด์, Sentinel-5P, มาตรการปิดเมืองจำกัดการระบาดของโควิด-19, กรุงเทพมหานคร

Assessing Accuracy of Nitrogen Dioxide Concentration Data from Sentinel-5P Satellite over Bangkok during COVID-19 Lockdown

**Parichat Wetchayont^{1*}, Thittaya Mokburut¹, Patteera Tachoochart¹,
Pichamon Chayaphiwat¹**

¹Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University

Email: parichatw@g.swu.ac.th

Received: Feb 11, 2022

Revised: Mar 30, 2022

Accepted: Jun 14, 2022

Abstract

Nitrogen dioxide is a gaseous pollutant which damage the human respiratory system. Generally, pollution data was obtained from the ground-based measurements with high accuracy. However, it is a point measurement which couldn't represent the wide area, especially upcountry area. The satellite measurement become popular choice in recent, but it's accuracy still low. Therefore, this study aims to access and improve accuracy of NO₂ concentration data retrieving from Sentinel-5P satellite. Moreover, to compare the performance between the NO₂ concentration data which obtained from Sentinel-5P and the ground-based data by analyzing the NO₂ concentration changes relating to the COVID-19 lockdown. Results showed that the Sentinel-5P concentration data has $R = 0.3614$ and $RMSE = 0.000898$. Then after the accuracy improvement has done, the Sentinel-5P data has higher R (0.6860) and lower $RMSE$ (0.000502), however, there are performed underestimation at high values. Moreover, the analysis of NO₂ concentration changes exhibited deference trends of NO₂ concentration data which measured by the Sentinel-5P satellite and the ground-based observatory. The results indicated that the data from Sentinel-5P can be used for air pollution monitoring due to it covers for wide area, however, it requires accuracy improvement process.

Keywords: Nitrogen dioxide, Sentinel-5P TROPOMI, COVID-19 lockdown, Bangkok

บทนำ

กรุงเทพมหานครมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วจนกลายเป็นศูนย์กลางเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษต่าง ๆ ตามมา โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศเกินค่ามาตรฐาน ในปัจจุบันกรมควบคุมมลพิษใช้สารมลพิษหลักจำนวน 6 ชนิดในการบ่งชี้คุณภาพอากาศ คือ ฝุ่นละอองในอากาศ (PM10 และ PM2.5) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซโอโซน (O₃) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) [1] ซึ่งสารมลพิษหลักในเขตกรุงเทพฯ ถูกปล่อยมาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และกลุ่มก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x, NO และ NO₂) ส่วนใหญ่ถูกปล่อยมาจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากรถติดบนท้องถนน [2] และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) มาจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยเฉพาะก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) จัดอยู่ในกลุ่มก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่ส่งผลให้สมรรถภาพของปอดลดลง [3] และยังเป็นก๊าซตั้งต้นของก๊าซ O₃ ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจอีกชนิดหนึ่งด้วย [1] ในเขตกรุงเทพฯ พบว่าข้อมูลความเข้มข้นของ NO₂ ในอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2557 พบว่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.9 ppb [2] ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน (170 ppb)

ใน พ.ศ. 2563 เกิดการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ โควิด-19 ไปทั่วโลก ทำให้หลายประเทศต้องประกาศมาตรการปิดเมืองจำกัดการระบาดของโรคโควิด-19 (covid-19 lockdown) ซึ่งคือ มาตรการห้ามไม่ให้บุคคลในพื้นที่เดินทางออกนอกพื้นที่และห้ามไม่ให้บุคคลนอกพื้นที่เดินทางเข้ามาในพื้นที่ รวมถึงการสั่งหยุดกิจกรรมที่เสี่ยงต่อการระบาดของโรคโควิด 19 เพื่อลดการแพร่กระจายของโรค และขอความร่วมมือให้ประชาชนลดการออกมาทำกิจกรรมนอกบ้าน เปลี่ยนระบบการทำงานเป็นแบบทำงานจากบ้าน ลดเดินทางข้ามจังหวัด รวมถึงระงับ การเดินทางระหว่างประเทศ

โดยเด็ดขาด ซึ่งกรุงเทพมหานครมีปริมาณรถที่สัญจรบนท้องถนนก็ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยดัชนีรถติดจาก Longdo ใน พ.ศ. 2563 ลดลง 21.17% เมื่อเทียบกับ พ.ศ. 2562 [4] นอกจากนี้ Wetchayont [4] ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารมลพิษหลัก 6 ชนิดในบรรยากาศจากสถานีตรวจวัดพื้นผิวของกรมควบคุมมลพิษ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า ในช่วงมาตรการปิดเมืองจำกัดการระบาดของโควิด-19 มีการลดลงของความเข้มข้นสารมลพิษหลัก 6 ชนิดในบรรยากาศ 6% - 30% อย่างมีนัยสำคัญ และยังสัมพันธ์กับปริมาณรถบนถนนลดลงอีกด้วย

เนื่องจากสถานีตรวจวัดความเข้มข้นสารมลพิษในอากาศของกรมควบคุมมลพิษเป็นการตรวจวัดแบบจุด (point observation) จึงไม่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีจำนวนสถานีตั้งอยู่น้อยและห่างไกลกัน เช่น พื้นที่ต่างจังหวัดเป็นต้น เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (remote sensing) เช่น ดาวเทียม (satellite) จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากสำรวจและครอบคลุมพื้นที่กว้างได้ แต่ดาวเทียมตรวจวัดจากค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นต่าง ๆ จากพื้นผิว ซึ่งต้องผ่านชั้นบรรยากาศของโลกก่อนจะถึงอุปกรณ์รับแสงสะท้อน (sensor) ของดาวเทียม ซึ่งไม่ได้ตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซ NO₂ โดยตรง ความเข้มข้นก๊าซ NO₂ ที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียมนี้จึงยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก ดาวเทียม Sentinel-5P ซึ่งได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดประเภท สเปกโตรมิเตอร์ชื่อ TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) สามารถตรวจวัดรังสีในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต (UV) แสงที่ตามองเห็นได้ (VIS) อินฟราเรดใกล้ (NIR) และความยาวคลื่นสั้นอินฟราเรด (SWIR) ที่สามารถตรวจวัดสารมลพิษหลายชนิดในบรรยากาศได้ โดยมีความละเอียดสูงทั้งเชิงพื้นที่และเวลามากกว่าดาวเทียมรุ่นเก่ามาก

Griffin [5] ได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากดาวเทียม Sentinel-5P เป็นครั้งแรกที่เมืองอัลเบอร์ตา

ประเทศแคนาดา โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีพื้นผิว พบว่าดาวเทียม Sentinel-5P ประมาณค่าได้มากกว่าสถานีพื้นผิว 15-30% และ Lalongo [6] ได้ตรวจสอบเช่นเดียวกันที่เมืองเฮลซิงกิ ประเทศฟินแลนด์ พบว่า มากกว่าค่าความเป็นจริงที่ผิวพื้นอยู่ 10% โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.68

ดังนั้น ถ้าข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-5P มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น จะทำให้สามารถตรวจวัดมลพิษอากาศในพื้นที่ที่มีสถานีตรวจวัดน้อยหรือไม่มีได้ จะเป็นประโยชน์ในการแจ้งเตือนอันตรายแก่ประชาชนในพื้นที่อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เมื่อมีเหตุการณ์มลพิษทางอากาศเกิดขึ้นในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินความถูกต้องและปรับแก้ค่าอคติของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จาก ดาวเทียม Sentinel-5P ในพื้นที่กรุงเทพฯ ระหว่างพ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2563

2. เพื่อเปรียบเทียบการตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากผลกระทบของมาตรการปิดเมืองจำกัดโควิด-19 ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-5P และสถานีพื้นผิว

ระเบียบวิธีวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาและการรวบรวมข้อมูล

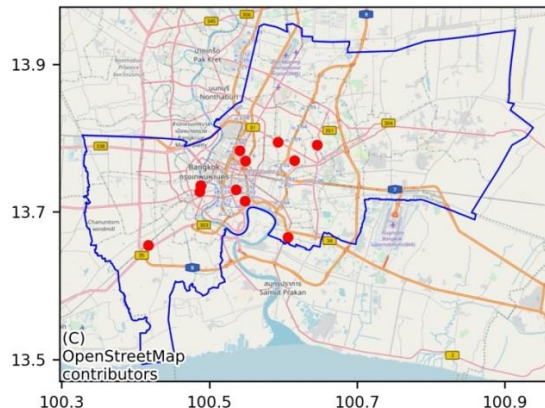
การศึกษานี้เลือกกรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมทั้งหมด 1,568.7 ตารางกิโลเมตร ตั้งแต่ละติจูด 13.45°N ถึง 14.00°N และ

ลองจิจูด 100.30°E ถึง 100.98°E โดยมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศพื้นผิว จำนวน 11 สถานี ตั้งอยู่ ได้แก่ สถานีที่ 02t 03t 05t 10t 12t 50t 52t 53t 54t 59t และ 61t ดังรูปที่ 1 ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ในอากาศบริเวณพื้นผิวจากสถานีตรวจวัดพื้นผิวรายชั่วโมง ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2563 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากกรมควบคุมมลพิษ

ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ระดับ 3 ของดาวเทียม Sentinel-5P TROPOMI ในช่วงเวลาที่เคลื่อนที่ผ่านประเทศไทยประมาณ 13:30 น. ของทุกวัน โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ ในช่วงเวลาเดียวกับข้อมูลสถานีพื้นผิว คือ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึง วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2563 ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลได้ทั้งสิ้น 427 ภาพ

2. การจับคู่ข้อมูลและสอบเทียบความถูกต้อง

เนื่องจากข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ที่ได้จาก การตรวจวัดพื้นผิวมีการตรวจวัดเป็นรายชั่วโมง แต่ดาวเทียม Sentinel-5P จะมีข้อมูลเฉพาะในช่วงเวลาที่เคลื่อนที่ผ่านประเทศไทย คือ ประมาณ 13:30 ของทุกวัน จุดภาพของดาวเทียมที่ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯ มีจำนวน 42,000 จุดภาพ โดยการจับคู่ข้อมูลจึงใช้ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-5P เป็นหลัก โดยจับคู่กับข้อมูลจากสถานีพื้นผิวในชั่วโมงและพิกัดของสถานีที่ดาวเทียมเคลื่อนที่ผ่าน นอกจากนี้ข้อมูลก๊าซ NO_2 ทั้งสองมีหน่วยการวัดที่แตกต่างกัน โดย



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาในเขตกรุงเทพมหานครและจุดสีแดงแสดงตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศพื้นผิว ของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 11 สถานี

ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดพื้นผิวซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และข้อมูลจากดาวเทียมที่มีหน่วยเป็นโมเลกุลต่อตารางเซนติเมตร (mol/cm^2) จึงต้องทำการแปลงหน่วยของข้อมูลก๊าซ NO_2 ที่ได้จากการตรวจวัดพื้นผิวให้เป็นหน่วยเดียวกับข้อมูลจากดาวเทียม ผู้วิจัยแบ่งข้อมูลที่ได้จากการจับคู่ออกเป็น 2 ชุดโดยใช้วิธีสุ่มในจำนวนที่เท่ากัน คือ ชุดที่ 1 ใช้ในการหาค่าอคติและชุดที่ 2 ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ระดับ 3 ของดาวเทียม Sentinel-5P ที่ได้รับการแก้ค่าอคติแล้วการทดสอบความถูกต้องข้อมูลทั้งสองชุด โดยใช้ค่าทางสถิติ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) ดังสมการที่ (1) และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (root-mean-square error, RMSE) ดังสมการที่ (2) เพื่อใช้ในการประเมินความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P [7, 8]

$$R = \frac{\sum(C_{\text{obs}} - \bar{C}_{\text{obs}})(C_{\text{sat}} - \bar{C}_{\text{sat}})}{\sqrt{\sum(C_{\text{obs}} - \bar{C}_{\text{obs}})^2 \sum(C_{\text{sat}} - \bar{C}_{\text{sat}})^2}} \quad (1)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum \frac{(C_{\text{obs}} - C_{\text{sat}})^2}{n}} \quad (2)$$

C_{sat} คือ ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จาก ดาวเทียม Sentinel-5P

C_{obs} คือ ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากสถานีพื้นผิว

n คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

3. การแก้ค่าอคติและเพิ่มความถูกต้อง

ข้อมูลชุดที่ 1 ใช้หาค่าอคติ (bias factor) เพื่อให้ได้ค่าอคติประจำสถานีพื้นผิว 11 สถานี ดังสมการที่ (3) แต่เนื่องจากจำนวนสถานีพื้นผิวมีจำนวนน้อย และตำแหน่งที่ติดตั้งเกาะกลุ่มอยู่ที่บริเวณตรงกลางของพื้นที่กรุงเทพฯ มีสถานีจำนวนน้อยในพื้นที่อื่น โดยเฉพาะในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของกรุงเทพฯ หรือไม่มีสถานีตรวจวัดเลย ค่าอคติที่ได้จำนวน 11 ค่า นี้เมื่อนำมาใช้แก้ค่าอคติจากข้อมูลดาวเทียมซึ่งมีจำนวน 42,000 จุดภาพ ทำให้ข้อมูลยังมีค่าไม่ถูกต้องเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากจุดภาพอื่นที่มีตำแหน่งไม่ตรงกับสถานีพื้นผิว ยังไม่ถูกปรับแก้ค่าอคติ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงทำให้ต้องทำการประมาณค่าอคติ ณ ตำแหน่งที่จุดภาพของข้อมูลดาวเทียมที่มีตำแหน่งไม่ตรงกับตำแหน่งสถานีตรวจวัดพื้นผิวตั้งอยู่ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักระยะผกผัน (inverse distance weight: IDW) เพื่อให้ทุกจุดภาพของข้อมูลดาวเทียมถูกแก้ค่าอคติ โดยค่าอคติที่ได้นี้จะถูกนำไปแก้ค่าอคติแบบคูณด้วยค่า

อคติ [9] ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 จากนั้นทำการสอบเทียบความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P ที่ได้รับการแก้ค่าอคติแล้วกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดพื้นผิว โดยขั้นตอนการศึกษาทั้งหมดแสดงในรูปที่ 2

$$\frac{\text{ค่าความเข้มข้นก๊าซ NO}_2 \text{ จากดาวเทียม Sentinel-5P}}{\text{ค่าความเข้มข้นก๊าซ NO}_2 \text{ จากสถานีตรวจวัดพื้นผิว}} = \frac{\text{ค่าความเข้มข้นก๊าซ NO}_2 \text{ จากดาวเทียม Sentinel-5P}}{\text{ค่าความเข้มข้นก๊าซ NO}_2 \text{ จากสถานีตรวจวัดพื้นผิว}} \quad (3)$$

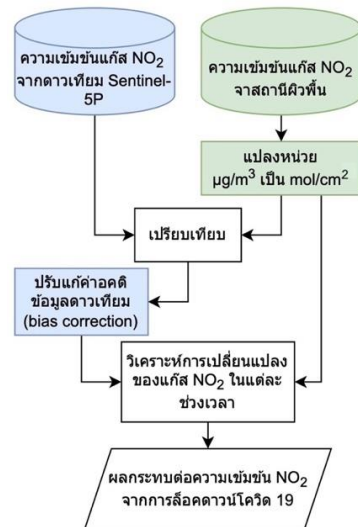
4. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากผลกระทบของมาตรการปิดเมืองจำกัดการระบาดของโควิด-19

ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ทั้งหมดจากสถานีตรวจวัดพื้นผิวและจากดาวเทียม Sentinel-5P ที่แก้ค่าอคติแล้วจะนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยตามช่วงเวลา โดยแบ่งช่วงเวลาในการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ช่วง [8, 10] ดังนี้ ก่อนมาตรการปิดเมือง: 1 มกราคม-25 มีนาคม มาตรการปิดเมือง: 26 มีนาคม-31 พฤษภาคม และหลังมาตรการปิดเมือง: 1 มิถุนายน-31 กรกฎาคม จำนวน 2 ปี คือ พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2563 แล้วนำมาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าก๊าซ NO_2 (changes) จากผลกระทบของมาตรการปิดเมืองจำกัดการระบาดของโควิด-19 ในแต่ละช่วงเวลาระหว่าง พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2563 ดังสมการที่ (4)

$$\text{changes} = \frac{C_{\text{sat}}(2563) - C_{\text{sat}}(2562)}{C_{\text{sat}}(2562)} \times 100 \quad (4)$$

$C_{\text{sat}}(2562)$ คือ ค่าความเข้มข้นก๊าซ NO_2 เฉลี่ย พ.ศ. 2562

$C_{\text{sat}}(2563)$ คือ ค่าความเข้มข้นก๊าซ NO_2 เฉลี่ย พ.ศ. 2563

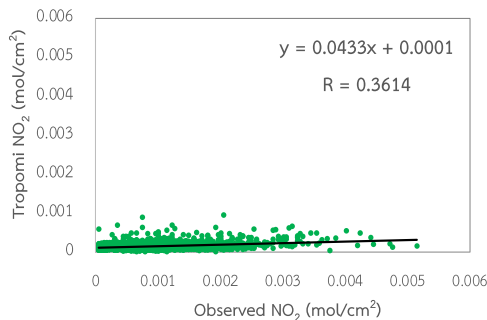


รูปที่ 2 ขั้นตอนการประเมินความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากดาวเทียม Sentinel-5P

ผลการวิจัย

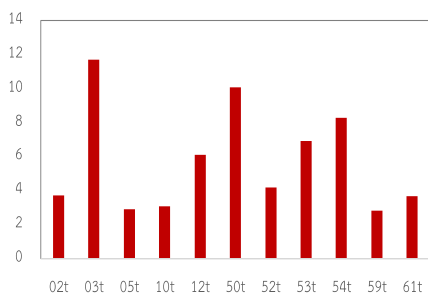
1. ความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P

จากการสอบเทียบความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P ด้วยข้อมูลจากสถานีพื้นผิวชุดที่ 1 พบว่า ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P สามารถวัดความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ได้น้อยกว่าการตรวจวัดจากสถานีพื้นผิวมาก โดยมีความสัมพันธ์กันร้อยละ 36.14 ($R = 0.3614$) และมีค่าคลาดเคลื่อน $8.98 \times 10^{-4} \text{ mol/cm}^2$ ($\text{RMSE} = 0.000898069$) ในรูปที่ 3 พบว่าสถานี 03t มีค่าอคติสูงสุด (รูปที่ 4ก) ซึ่งตั้งอยู่ริมถนนกาญจนาภิเษก เขตบางขุนเทียน (รูปที่ 4ข) โดยปกติจะตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ได้ค่าสูง แต่ดาวเทียม Sentinel-5P ประมาณค่าก๊าซ NO_2 ได้ค่าต่ำกว่าสถานีพื้นผิวมาก จึงมีค่าอคติสูง ซึ่งพบในสถานี 03t 50t และ 54t ที่มีค่าอคติสูงกว่าสถานีอื่น ๆ

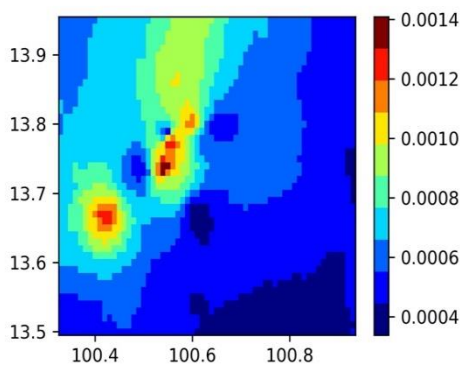


รูปที่ 3 แผนภาพการกระจายข้อมูลชุดที่ 1: ความเข้มข้นก๊าซ NO₂ ก่อนปรับแก้ค่าอคติ

(ก) ค่าอคติในแต่ละสถานี



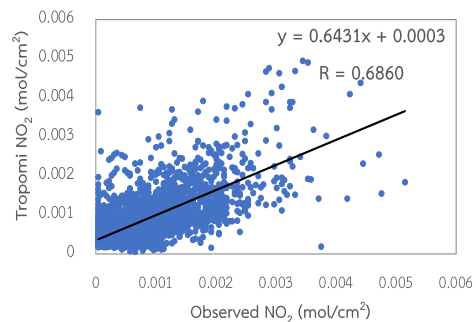
(ข) การกระจายตัวของค่าอคติเชิงพื้นที่



รูปที่ 4 ค่าอคติในแต่ละสถานี (ก) และการกระจายตัวค่าอคติเชิงพื้นที่ (ข)

เมื่อแก้ค่าอคติด้วยวิธีแบบคุณแล้ว พบว่า ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO₂ จากดาวเทียม Sentinel-5P สามารถประมาณความเข้มข้นก๊าซ NO₂ ได้ถูกต้องมากขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กันเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 68.60 (R = 0.6860) และ มีค่าคลาดเคลื่อนลดลงเป็น

$5.02 \times 10^{-4} \text{ mol/cm}^2$ (RMSE = 00050237) ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยความเข้มข้นก๊าซ NO₂ จากดาวเทียม Sentinel-5P ที่มีค่ามากกว่า 0.0015 mol/cm² มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าก่อนการแก้ค่าอคติ ซึ่งทำให้บางข้อมูลก็มีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จากสถานี



รูปที่ 5 แผนภาพการกระจายข้อมูลชุดที่ 2: ความเข้มข้นก๊าซ NO₂ หลังปรับแก้ค่าอคติ

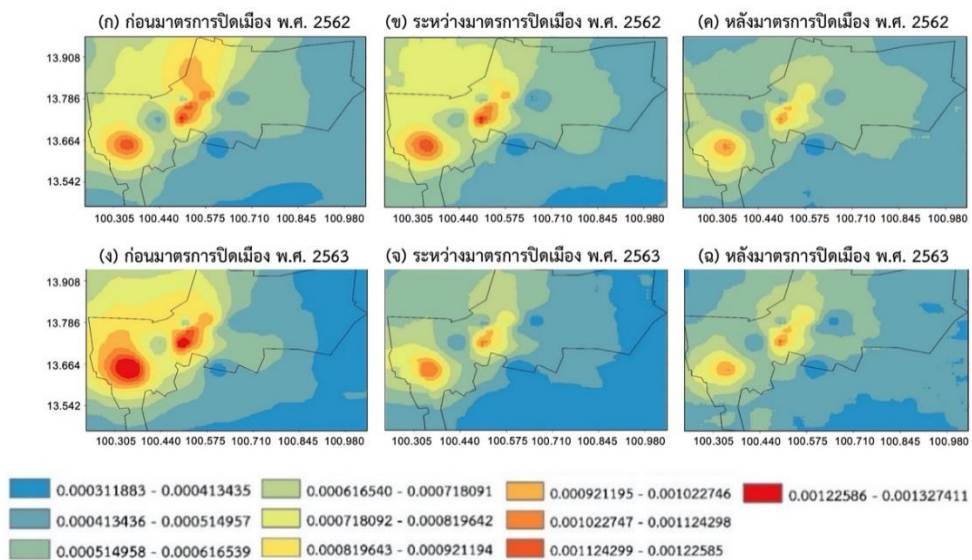
2. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเชิงพื้นที่จากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-5P

เมื่อแบ่งข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO₂ จากดาวเทียม Sentinel-5P TROPOMI ออกเป็นช่วงเวลาก่อนมาตรการปิดเมือง ระหว่างมาตรการปิดเมือง และหลังมาตรการปิดเมืองใน พ.ศ. 2562 และพ.ศ. 2563 พบว่าข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO₂ จากดาวเทียม Sentinel-5P แสดงการเปลี่ยนแปลงในช่วงระหว่างปี คือ ความเข้มข้นของก๊าซ NO₂ ในบรรยากาศมีค่าสูงในช่วงก่อนมาตรการปิดเมือง แล้วลดลงในช่วงมาตรการปิดเมืองและมีค่าต่ำสุดในช่วงหลังมาตรการปิดเมืองในทั้งสองปี (รูปที่ 6) นอกจากนี้ยังแสดงความเข้มข้นของก๊าซ NO₂ ในบรรยากาศมีค่าสูงที่สถานี 03t 50t และ 54t ในทุกช่วงเวลา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO₂ จากดาวเทียม Sentinel-5P สามารถตรวจจับความเข้มข้นของก๊าซ NO₂ ในบรรยากาศที่มีปริมาณต่างกันในแต่ละช่วงเวลา และยังแสดงความแตกต่างกันแต่ละพื้นที่ได้

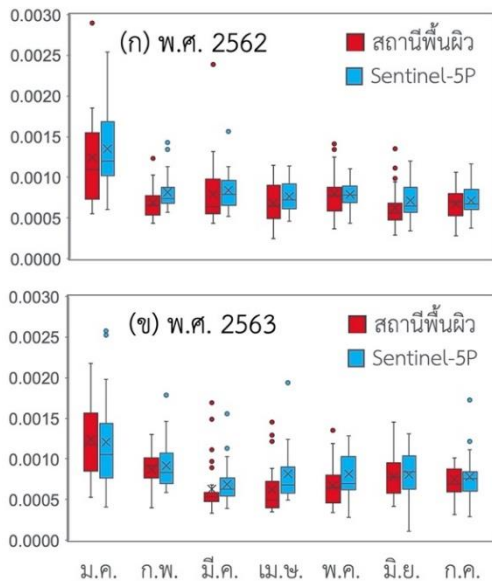
3. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศระหว่างพ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2563

รูปที่ 7(ก) แสดงความเข้มข้นก๊าซ NO_2 เฉลี่ยรายเดือนจากสถานีพื้นผิว (สีแดง) และ ดาวเทียม Sentinel-5P ใน พ.ศ. 2562 พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซ NO_2 รายเดือนจากดาวเทียม Sentinel-5P มีค่าสูงกว่าสถานีพื้นผิวในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม และมีค่าใกล้เคียงกันในเดือนอื่น ๆ ส่วนรูปที่ 7 (ข) แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซ NO_2 รายเดือนใน พ.ศ. 2563 พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซ NO_2 รายเดือนจากดาวเทียม Sentinel-5P มีค่าสูงกว่าสถานีพื้นผิวในเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมิถุนายน แต่มีค่าน้อยกว่าสถานีพื้นผิวในเดือนมกราคม เดือนมีนาคมและ

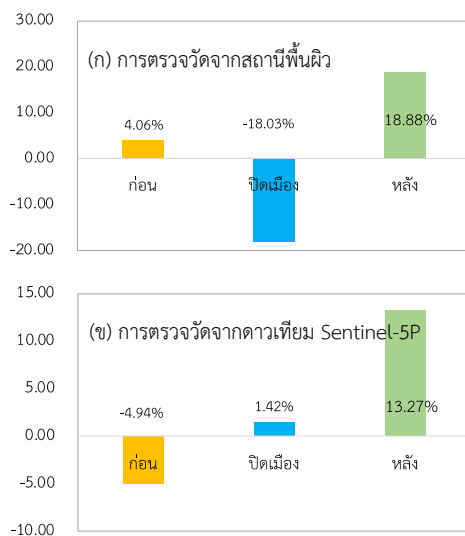
เดือนเมษายน นอกนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากสถานีพื้นผิวและดาวเทียม Sentinel-5P ใน พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2563 มาเปรียบเทียบกันในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าข้อมูลจากสถานีพื้นผิว แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นก๊าซ NO_2 เท่ากับ 4.06% -18.03% และ 18.88% ในช่วงมาตรการปิดเมือง ระหว่างมาตรการปิดเมือง และหลังมาตรการปิดเมือง ตามลำดับ ส่วนข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-5P แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ -4.94% 1.42% และ 13.27% ในช่วงก่อนมาตรการปิดเมือง ระหว่างมาตรการปิดเมือง และหลังมาตรการปิดเมือง ตามลำดับ (รูปที่ 8)



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ระหว่างปีที่ตรวจวัดจากดาวเทียม Sentinel-5P ใน พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2563



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรายเดือนจาก (ก) สถานีพื้นผิว และ (ข) ดาวเทียม Sentinel-5P



รูปที่ 8 ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ พ.ศ. 2563 เทียบกับ พ.ศ. 2562

สรุปและอภิปรายผล

ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P ในพื้นที่กรุงเทพฯ สามารถประเมินได้ต่ำกว่าสถานีตรวจวัด โดยมีค่าความถูกต้องร้อยละ 36.14 และมีค่าคลาดเคลื่อน $8.98 \times 10^{-4} \text{ mol/cm}^2$ การศึกษาครั้งนี้สามารถปรับแก้ความถูกต้องของข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 โดยการแก้ค่าอคติแบบคูณ ทำให้ข้อมูลข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P ประเมินค่าได้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 68.60 และมีค่าคลาดเคลื่อนลดลงเป็น $5.02 \times 10^{-4} \text{ mol/cm}^2$ แต่มีแนวโน้มประมาณค่าได้ต่ำกว่าสถานีพื้นผิวในช่วงค่าที่มีความเข้มข้นก๊าซ NO_2 สูง

ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P ที่แก้ค่าอคติแล้วสามารถแสดงความแตกต่างของความเข้มข้นก๊าซ NO_2 ในบรรยากาศได้ดีทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา เมื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นก๊าซ NO_2 เนื่องจากมาตรการปิดเมืองจำกัดการระบาดของโควิด-19 พบว่าแสดงแนวโน้มที่ตรงข้ามกัน คือ สถานีพื้นผิวตรวจพบความเข้มข้นก๊าซ NO_2 เพิ่มขึ้นในช่วงก่อนมาตรการปิดเมืองและลดลงในช่วงมาตรการปิดเมืองของ ใน พ.ศ. 2563 จาก พ.ศ. 2562 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [4, 10] แต่ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P แสดงการลดลงในช่วงก่อนมาตรการปิดเมืองและเพิ่มขึ้นในช่วงมาตรการปิดเมือง ใน พ.ศ. 2563 จาก พ.ศ. 2562 เนื่องจากจำนวนสถานีตรวจวัดพื้นผิวมีจำนวนไม่มากพอและตำแหน่งของสถานีไม่กระจายครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯ ทำให้มีแนวโน้มประมาณค่าได้ต่ำกว่าสถานีช่วงที่มีค่าสูง แต่ในช่วงข้อมูลค่ากลางจนถึงต่ำ ข้อมูลจากดาวเทียมมีค่าใกล้เคียงสถานีตรวจวัดพื้นผิว ซึ่งการตรวจวัดด้วยดาวเทียมนี้ให้ค่าแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ระดับเมือง [5, 6]

ดังนั้น ข้อมูลความเข้มข้นก๊าซ NO_2 จากดาวเทียม Sentinel-5P สามารถนำมาใช้ในการศึกษาในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ได้แต่ควรพัฒนาความถูกต้องให้มากกว่านี้ โดยใช้ข้อมูลสถานีพื้นผิวที่มีจำนวนมากขึ้น

และมีตำแหน่งกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ศึกษา
 จะทำให้ได้ผลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

References

- [1] Pollution Control Department, Ministry of Resources Nature and Environment, Situation Report Pollution of Thailand 2020, Bangkok: Style Creative House Co., Ltd., 2021
- [2] P. Uttamang, V.P. Aneja, and A.F. Hanna, "Assessment of gaseous criteria pollutants in the Bangkok Metropolitan Region, Thailand," *Atmos. Chem. Phys.*, vol.18, pp. 12581–12593. August, 2018.
- [3] U. Ackermann-Liebrich, "Respiratory and Cardiovascular Effects of NO₂ in Epidemiological Studies," *In: Encyclopedia of environmental health* (J. O. Nriagu, Ed.). Elsevier, Burlington, pp. 840-844. March, 2011.
- [4] P. Wetchayont, "Investigation on the Impacts of COVID-19 Lockdown and Influencing Factors on Air Quality in Greater Bangkok, Thailand," *Advances in Meteorology*, vol. 2021, Article ID 6697707, 11 pages. Februry, 2021.
- [5] D. Griffin, X.Y. Zhao, C.A. McLinden, et al., "High-resolution mapping of nitrogen dioxide with TROPOMI: first results and validation over the Canadian oil sands," *Geophys Res. Lett.*, vol. 46, pp. 1049–1060. January, 2019.
- [6] I. Ialongo, H. Virta, H. Eskes, J. Hovila, and J. Douros, "Comparison of TROPOMI/ Sentinel-5 Precursor NO₂ observations with ground-based measurements in Helsinki," *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 13, pp. 205–218, December, 2020.
- [7] J. Bai, X. Chen, A. Dobermann, H. Yang, K. G. Cassman, and F. Zhang, "Evaluation of NASA satellite- and model-derived weather data for simulation of maize yield potential in China," *Agronomy Journal*, vol. 102, no. 1, pp. 9–16, January, 2010.
- [8] P. Wetchayont, T. Hayasaka, T. Satomura, S. Katagiri and S. Baimoung, "Retrieval of rainfall by combining rain gauge, ground-based radar and satellite measurements over Phimai, Thailand," *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, vol. 9, pp. 166-169, November, 2013.
- [9] P. Wetchayont, K. Waiyasuri, K. Sumpradit, and P. Nongnang. "Development of GIS Application for Satellite Rainfall Bias Correction," *The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University*, vol.8, no.1, pp.13-21, June, 2020.
- [10] P. Wetchayont, T. Hayasaka, P. Khatri, "Air Quality Improvement during COVID-19 Lockdown in Bangkok Metropolitan, Thailand: Effect of the Long-range Transport of Air Pollutants," *Aerosol Air Qual. Res.* 21, 200662. June, 2021.

คุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงาน ของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย

ไมตรี บุญจันทร์¹, สานิต ศิริวิศิษฐ์กุล², เกียรติชัย วีระญาณนนท์³

¹คณะรัฐศาสตร์ สาขาการจัดการ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

Email: maitree.boo@nbtu.ac.th

Received: Feb 11, 2022

Revised: Mar 27, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยด้านคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กร กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้บริหารระดับสูงของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย จำนวน 443 บริษัท โดยใช้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบโควตา (Quota sampling) แบ่งตามภูมิภาค และการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 325 บริษัท การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างจะใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำเสนอในรูปตารางประกอบคำบรรยาย สถิติที่ใช้ คือค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการหาความสัมพันธ์โดยใช้การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ด้านนวัตกรรม ด้านเทคโนโลยีการผลิต และด้านทักษะพนักงาน ร่วมกันพยากรณ์ระดับประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กร ได้ร้อยละ 50.5 ($\text{Adjusted } R^2 = 0.505$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

คำสำคัญ: อุตสาหกรรม 4.0, ประสิทธิภาพการดำเนินงาน, อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์, เทคโนโลยีการผลิต, นวัตกรรม

Industrial 4.0 Characteristics affecting to the operational efficiency of small and medium size the electronics components manufacturing in Thailand

Maitree Boonkhun¹, Sanit Sirivisitkul², Kietchai Veerayannon³

¹ Faculty of Political Science, North Bangkok University

Email: maitree.boon@nbu.ac.th

Received: Feb 11, 2022

Revised: Mar 27, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

Abstract

This research aims to study Industrial 4.0 characteristics Affecting Operational Efficiency of Small and Medium-sized Electronic Components Manufacturing in Thailand. The sample consisted of high-level executives of 443 small and medium-sized electronic components manufacturing companies in Thailand. The researcher uses simple sampling with a total sampling of 325 companies. The research tools used are Mean, Standard deviation, Multiple Regression. The research outcome revealed that Innovation, Production technology, and Employee skills were predicted the level of effectiveness towards operational efficiency by 50.5% (Adjusted $R^2=0.505$), with a statistically significant level of .01.

Keywords: Industrial4.0, Operational efficiency, Electronics industry, Production technology, Innovation

บทนำ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์นับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยเคยมีมูลค่าการส่งออกเท่ากับ 7.6 ล้านล้านบาท หรือประมาณ 50% ของ GDP (รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2561 : 18 – 20) โดยสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปรับตัวเพิ่มขึ้น ได้แก่ Hard Disk Drive (HDD), Monolithic IC, PCBA, Semiconductor และ Other IC เนื่องจากการขยายตัวของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของโลกที่มีความต้องการใช้ และจากการที่รัฐบาลกำหนด “ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี” ขึ้น โดยเริ่มตั้งแต่ปี 2560-2579 เพื่อเป็นเป้าหมายการพัฒนาในระยะยาว ซึ่งภายใต้ยุทธศาสตร์ “ไทยแลนด์ 4.0” รัฐบาลจึงมอบหมายให้กระทรวงอุตสาหกรรมเป็นเจ้าภาพในการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมไทย 4.0 ดังกล่าว ผ่านกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม มุ่งพัฒนาใน 2 กลุ่ม อุตสาหกรรม ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง และกลุ่มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต (กระทรวงอุตสาหกรรม. 2559)

ปัจจุบันผู้ผลิตของไทยเฉพาะอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ มีจำนวนทั้งสิ้น 609 ราย ประกอบด้วย ผู้ประกอบการขนาดย่อม จำนวน 309 ราย ผู้ประกอบการขนาดกลาง จำนวน 134 ราย และผู้ประกอบการขนาดใหญ่ จำนวน 166 ราย (ศูนย์ข้อมูลเชิงลึกสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. เมษายน 2564) กิจกรรมขนาดใหญ่มีโรงงานน้อยกว่าขนาดกลางและย่อม แต่มูลค่าการลงทุนค่อนข้างสูง และส่วนใหญ่เป็นการผลิตเพื่อส่งออกและร่วมทุนกับชาวต่างชาติเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนโรงงานขนาดกลางและขนาดย่อมก็เป็นห่วงโซ่อุปทาน เพื่อสนับสนุนชิ้นส่วนต่าง ๆ ป้อนให้กับโรงงานขนาดใหญ่ จากผลการสำรวจของสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ พบปัญหา คือ ด้านเทคโนโลยี พบว่า ผู้ประกอบการ

อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ของไทยเริ่มปรับตัวเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ด้วยการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในกระบวนการผลิต เพื่อลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต โดยผู้ประกอบการอุตสาหกรรมไทย 75% ยังคงใช้เทคโนโลยีในระดับต่ำกว่า 2.5 ที่น่าเป็นห่วงคือผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อมของไทยที่ยังปรับตัวไม่ทัน และอีกปัญหาหนึ่งคือ แรงงานทักษะสูงยังเป็นที่ต้องการเพื่อรองรับเทคโนโลยีขั้นสูง ทำให้การปรับตัวของผู้ประกอบการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในไทยมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ที่ผ่านมา การผลิตในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของไทยเป็นการผลิตแบบรับจ้างผลิตตามแบบที่ลูกค้ากำหนด (Original Equipment Manufacturer : OEM) แต่ปัจจุบันสถานการณ์โลกเปลี่ยนแปลงไป การรับจ้างผลิตของผู้ประกอบการแบบเดิมอาจไม่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคอีกต่อไป ผู้ประกอบการจึงต้องปรับเปลี่ยนการผลิตเป็นการผลิตที่เน้นการพัฒนาและออกแบบสินค้า (Original Design Manufacturer : ODM) รวมถึงการสร้างแบรนด์สินค้าเป็นของตัวเอง (Original Brand Manufacturer : OBM) ทั้งนี้ การปรับเปลี่ยนการผลิตของผู้ประกอบการจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ ซึ่งภาครัฐก็ได้มีนโยบายเพื่อมุ่งยกระดับการผลิตของผู้ประกอบการ เช่น นโยบายประเทศไทย 4.0 กลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจเพื่ออนาคต (New Engine of Growth) เป็นต้น (แผนกนโยบายและแผน สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2560) เอสเอ็มอีไทยเป็นกำลังสำคัญของการขับเคลื่อนเศรษฐกิจไทยในปัจจุบัน แต่กลับกลายเป็นว่ามีเอสเอ็มอีไม่ถึง 20% ที่อยู่รอดและเติบโตต่อไปได้ ส่วนหนึ่งเพราะไม่สามารถเข้าถึงแหล่งเงินทุนในการพัฒนาและขยายกิจการให้เติบโตตามความต้องการของผู้บริโภค ยิ่งไปกว่านั้นอุปสรรคสำคัญที่ภาคธุรกิจโดยเฉพาะกิจการเก่าแก่กำลังเผชิญก็คือ การปรับตัวไม่ทันกับยุคสมัย เพราะขาดความรู้ ความเข้าใจด้านเทคโนโลยีและกลยุทธ์ด้านการจัดการสมัยใหม่ เจ้าของธุรกิจหรือผู้ประกอบการส่วนใหญ่ยังคิดแบบเก่าและใช้วิธีการ

แบบเดิมในการทำธุรกิจ ทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคและตลาดได้ตรงจุด สิ่งที่น่ากังวลตามมาคือธุรกิจไทยจะไม่เพียงตกอยู่ในภาวะปลาใหญ่กินปลาเล็ก แต่ยังไม่สามารถแข่งขันได้ในระดับนานาชาติ และอาจเสียเปรียบบริษัทต่างชาติซึ่งมีความพร้อมทั้งด้านเงินทุน เทคโนโลยี และกำลังคน นี่คือการสร้างสำคัญที่ผู้ประกอบการจะต้องเรียนรู้เทคโนโลยีใหม่ ๆ และรู้จักใช้นวัตกรรมให้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาธุรกิจให้อยู่รอดและยืนระยะได้ท่ามกลางความเปลี่ยนแปลงที่ไม่หยุดนิ่ง (สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี, 2560)

จากปัญหาและอุปสรรคของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยกำลังเผชิญอยู่ ในขณะนี้ ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ไทยต้องมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง โครงสร้างการผลิตสินค้าเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดโลกและเพื่อเพิ่มความสามารถทางการแข่งขันในตลาดโลกให้มากขึ้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเรื่อง คุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย เพื่อให้มีประสิทธิภาพการดำเนินงานที่พึงประสงค์ต่อไป โดยมุ่งหวังว่าผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นแนวทางให้ผู้บริหารระดับสูงได้ใช้ ข้อมูลในการปรับปรุงนโยบายด้านการผลิต ให้สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจและการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดทันต่อการผลิตสมัยใหม่และการจัดการองค์กร ทั้งปัจจุบันและในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย

2. เพื่อศึกษาระดับประสิทธิภาพการดำเนินการของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย

3. เพื่อศึกษาปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการวิจัยจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและขนาดย่อมในประเทศไทย และผู้ประกอบการประเภทอื่นในการนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงนโยบายด้านคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กร

2. เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและขนาดย่อมในประเทศไทย ในการปรับตัวและสามารถพัฒนาขีดความสามารถในการดำเนินงานให้ดียิ่งขึ้น

ระเบียบวิธีวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง เป็นตัวแทนของประชากร ซึ่งเป็นผู้บริหารระดับสูงของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง จึงใช้สูตรการคำนวณตามตารางของ เครจซี; และ มอร์แกน (Krejcie; & Morgan. 1970 : 608-610) โดยกำหนดให้สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร เท่ากับ 0.5 ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 5% เพื่อให้ได้ระดับความเชื่อมั่นของข้อมูลที่ร้อยละ 95 จะได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน อย่างน้อย 210 บริษัท ผู้วิจัยได้ส่งแบบสอบถามทางอิเล็กทรอนิกส์และทางไปรษณีย์ทั้งสิ้น 440 ฉบับ และใช้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบโควตา (Quota sampling) แบ่งตามภูมิภาค และการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) จาก 5 ภูมิภาค และ 33 จังหวัด แบ่งเป็น กรุงเทพฯและปริมณฑล, ภาคกลาง, ภาคตะวันออก,

ภาคตะวันตก, ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากงานวิจัยนี้สามารถเก็บแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างได้ทั้งหมด 325 บริษัท

ปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม4.0

- 1.ด้านนวัตกรรม
 - 2.ด้านเทคโนโลยีการผลิต
 - 3.ด้านทักษะพนักงาน
 - 4.ด้านการวิจัยและออกแบบ
- (ปรับปรุงจาก กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559)



ประสิทธิผลการดำเนินงาน

- 1) ด้านการเงิน (Financial Perspective)
 - 2) ด้านลูกค้า (Customer Perspective)
 - 3) ด้านกระบวนการภายใน (Internal Process Perspective)
 - 4) มุมมองด้านการเรียนรู้และการพัฒนา (Learning and Growth Perspective)
- (Kaplan & Norton, 1996)

รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิเคราะห์หาคุณภาพของเครื่องมือ

1. การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยใช้เทคนิค IOC (Index of Item-Objective Congruence) หรือดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและเนื้อหา มีค่า 0.95

2. การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (Reliability) เป็นการหาค่าความสอดคล้องภายในของแบบสอบถามที่มีลักษณะมาตรประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับด้วยวิธีครอนบาค (Cronbach) มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.95

สำหรับเกณฑ์การให้ความหมายของค่าที่วัดได้ดังนี้

- 1.00 - 1.80 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด
- 1.81 - 2.60 หมายถึง ระดับน้อย
- 2.61 - 3.40 หมายถึง ระดับปานกลาง
- 3.41 - 4.20 หมายถึง ระดับมาก
- 4.21 - 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง จะใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำเสนอในรูปตารางประกอบคำบรรยาย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร ผู้วิจัยใช้สถิติวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) แบบ All Enter เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการจัดการกับประสิทธิผลการดำเนินงาน

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์สามารถสรุปเป็น 3 วัตถุประสงค์ ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ 1 ระดับปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม4.0 ของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นผลของปัจจัยปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม4.0

(n=325)			
ปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม4.0	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านนวัตกรรม	3.840	0.789	มาก
2. ด้านเทคโนโลยีการผลิต	4.074	0.336	มาก
3. ด้านทักษะพนักงาน	4.613	0.328	มากที่สุด
4. ด้านการวิจัยและออกแบบ	3.771	0.229	มาก
รวม	4.074	0.420	มาก

จากตารางที่ 1 ระดับการจัดการของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทยโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.074, S.D. = 0.420) โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ด้านทักษะพนักงาน ($\bar{X}$ = 4.613, S.D. = 0.328) ด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยสุด คือ ด้านการวิจัยและออกแบบ ($\bar{X}$ = 3.771, S.D. = 0.229)

วัตถุประสงค์ที่ 2 ระดับประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นผลของประสิทธิผลการดำเนินงาน

ปัจจัยคุณลักษณะ อุตสาหกรรม 4.0	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านการเงิน	3.729	0.635	มาก
2. ด้านลูกค้า	3.569	0.605	มาก
3. ด้านกระบวนการภายใน	4.068	0.542	มาก
4. มุมมองด้านการเรียนรู้และการพัฒนา	4.529	0.328	มากที่สุด
รวม	3.974	0.340	มาก

จากตารางที่ 2 ระดับประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทยโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.974$, S.D. = 0.340) โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ มุมมองด้านการเรียนรู้และการพัฒนา ($\bar{X} = 4.529$, S.D. = 0.328) ด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยสุด คือ ด้านลูกค้า ($\bar{X} = 3.569$, S.D. = 0.605)

วัตถุประสงค์ที่ 3 ปัจจัยด้านคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ในการทำนายปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

ตัวแบบ (Model)	ประสิทธิผลการดำเนินงาน				
	B	SE(b)	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่ (Constant)	.486	.326		1.487	.138
1.ด้านนวัตกรรม	.245	.017	.568	14.155	.000
2.ด้านเทคโนโลยีการผลิต	.319	.041	.315	7.761	.000
3.ด้านทักษะพนักงาน	.201	.041	.194	4.902	.000
4.ด้านการวิจัยและออกแบบ	.085	.059	.058	1.459	.146
r	R ²	Adjust R ²	SE (est.)	F	Sig.
.715	.511	.505	.239	83.616**	.000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ในการทำนายปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย พบว่า ด้านนวัตกรรม ด้านเทคโนโลยีการผลิตและด้านทักษะพนักงาน สามารถร่วมกันพยากรณ์ระดับประสิทธิผล

การดำเนินงาน ได้ร้อยละ 50.5 (Adjusted R² = .505) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยปัจจัยด้านนวัตกรรมมีอำนาจพยากรณ์สูงสุด รองลงมาเป็น ด้านด้านเทคโนโลยีการผลิตและด้านทักษะพนักงาน ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

ระดับคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทยโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านทักษะพนักงานด้านเทคโนโลยีการผลิต ด้านนวัตกรรม และด้านการวิจัยและออกแบบ ตามลำดับ ในส่วนของระดับประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทยโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก

โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ มุมมองด้านการเรียนรู้และการพัฒนา ด้านกระบวนการภายใน ด้านการเงินและด้านลูกค้า ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ในการทำนายปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิผลการดำเนินงาน พบว่า ด้านนวัตกรรม ด้านเทคโนโลยีการผลิตและด้านทักษะพนักงาน สามารถร่วมกันพยากรณ์ระดับประสิทธิผลการดำเนินงาน ได้ร้อยละ 50.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยปัจจัยด้านนวัตกรรมมีอำนาจพยากรณ์สูงสุด รองลงมาเป็นด้านเทคโนโลยีการผลิตและด้านทักษะพนักงานตามลำดับ

การศึกษาปัจจัยคุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 ที่ส่งผลต่อประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย สามารถอธิบายและจำแนกได้ดังนี้

ด้านนวัตกรรมส่งผลต่อการประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก จากการศึกษาพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัจฉรา จันทร์ฉาย (2553 : 54) ได้อธิบายองค์ประกอบของนวัตกรรมมีอยู่ 3 ประการ คือ 1) ความใหม่ (Newness) สิ่งที่จะได้รับการยอมรับว่า มีคุณลักษณะเป็นนวัตกรรมได้นั้นจะต้องมีก็คือ ความใหม่ หมายถึง เป็นสิ่งใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งอาจจะมึลักษณะเป็นตัวผลิตภัณฑ์บริการ หรือกระบวนการ โดยจะเป็นการปรับปรุงจากของเดิมหรือพัฒนาขึ้นใหม่เลยก็ได้ 2) การใช้ความรู้และ

ความคิดสร้างสรรค์ (Knowledge and Creativity Idea) หมายความว่า สิ่งที่จะถือเป็นนวัตกรรมได้นั้น จะต้องเกิดจากการใช้ความรู้และความคิดสร้างสรรค์เป็นฐานของการพัฒนาให้เกิดขึ้นใหม่ ไม่ใช่เกิดจากการลอกเลียนแบบการทำซ้ำ เป็นต้น 3) ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจ (Economic Benefits) และสังคม (Social) ก็คือ การให้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจ หรือการสร้างความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ กล่าวคือนวัตกรรม จะต้องสามารถทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มขึ้นได้จากการพัฒนาสิ่งใหม่นั้น ๆ ซึ่งผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นสามารถวัดได้เป็นตัวเงินโดยตรง และในเชิงสังคมเป็นการสร้างคุณค่า ซึ่งไม่สามารถวัดเป็นตัวเงินได้ สรุปได้ว่า “นวัตกรรม” คือ “สิ่งใหม่ที่เกิดจากการใช้ความรู้ และความคิดสร้างสรรค์ ที่มีประโยชน์” เพราะหากองค์กรสามารถสร้างนวัตกรรมขึ้นมาได้เองย่อมทำให้ได้สินค้าที่เป็นของตนเอง ช่วยให้เกิดประสิทธิผลที่ดีทั้งด้านต้นทุนและมูลค่าสินค้าที่เพิ่มขึ้น

ด้านเทคโนโลยีการผลิตส่งผลต่อการประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก จากการศึกษาพบว่า มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของอรนุช ก่อเกื้อสืบสาย (2560) ได้ศึกษาปัจจัยและผลกระทบของนโยบายอุตสาหกรรม 4.0 ที่มีต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทย เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน กำลังก้าวเข้าสู่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 หรือ อุตสาหกรรม 4.0 เป็นการยกระดับอุตสาหกรรมจากเดิมที่ใช้แรงงานคน มาเป็นอุตสาหกรรมการผลิตกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติเต็มรูปแบบ เพื่อ เพิ่มมูลค่าของการผลิตสินค้า ขับเคลื่อนด้วยอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พบว่า ปัจจัยด้านเทคโนโลยี เป็นปัจจัยที่ให้ความสำคัญมาเป็นอันดับแรกในเรื่องของความต้องการเทคโนโลยีและเครือข่ายที่ปลอดภัยและการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีในกระบวนการผลิต ปัจจัยที่ให้ความสำคัญรองลงมา คือปัจจัยด้านกฎหมายในเรื่องการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญา การผลิต

และออกแบบ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ในเรื่อง
ต้องการเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เป็นมิตรกับ
สิ่งแวดล้อม และปัจจัยด้านเศรษฐกิจในเรื่อง ความ
ผันผวนของเศรษฐกิจโลกซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะเป็น
ส่วนหนึ่งในการผลักดันประเทศไทยเข้าสู่อุตสาหกรรม
4.0 อย่างสมบูรณ์แบบทั้งนี้ในส่วนของผู้ประกอบการ
ขนาดเล็ก จะต้องพัฒนาทักษะของบุคลากรในแต่ละ
ด้าน มุ่งเน้นในเรื่องเทคโนโลยีและเครือข่าย การ
ปรับปรุงระบบกระบวนการผลิต เพื่อเตรียมตัว
สำหรับการเปลี่ยนแปลงนโยบายอุตสาหกรรม 4.0

ด้านทักษะพนักงาน ส่งผลต่อการประสิทธิผล
การดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิตชิ้นส่วน
อิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมในประเทศไทย
ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก จากการศึกษาพบว่า มี
ความสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภาวิทย์ เชาว
พาณิชย์เจริญ (2560) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การ
พัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อเตรียมความพร้อม
เข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วน
ยานยนต์ไทยในระดับ First Tier” ได้กล่าวว่า ปัจจุบัน
อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทยต้องเผชิญกับ
ความท้าทายจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 ซึ่ง
ส่งผลต่อขีดความสามารถทางการแข่งขันของสถาน
ประกอบการ การวัดประสิทธิภาพการดำเนินงาน มี
ส่วนสำคัญในการประเมินศักยภาพและความพร้อม
ของสถานประกอบการที่มีต่อบริบทของการผลิตที่
เปลี่ยนแปลงไป เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา
และปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน งานวิจัยนี้
ได้พัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพ สำหรับเตรียม
ความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถาน
ประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First
Tier ซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายหลักที่มี
ความสำคัญของประเทศ ดำเนินการวิจัยโดยการ
ทบทวนวรรณกรรมและการประยุกต์ใช้วิธีเดลฟาย
ผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึก จากกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อ
รวบรวมและคัดกรองตัวชี้วัดประสิทธิภาพ และใช้วิธี
กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ในการวิเคราะห์
ระดับความสำคัญของตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ผล
การศึกษาพบว่า มิติการพัฒนาประสิทธิภาพ

พนักงานมีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งผลการศึกษา
สามารถนำไปใช้ในการวัดประสิทธิภาพการ
ดำเนินงานและหาแนวทางในการพัฒนาสถาน
ประกอบการต่อไป

คุณลักษณะอุตสาหกรรม 4.0 เพื่อเพิ่ม
ประสิทธิผลการดำเนินงานของกลุ่มบริษัทผลิต
ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดกลางและย่อมใน
ประเทศไทย ปัจจุบันต้องเผชิญกับความท้าทายจาก
การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 ซึ่งส่งผลต่อขีด
ความสามารถทางการแข่งขันของสถานประกอบการ
การวัดประสิทธิภาพการดำเนินงานมีส่วนสำคัญในการ
ประเมินศักยภาพและความพร้อมของสถานประกอบการ
ที่มีต่อบริบทของการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป แม้
ภาพรวมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทยยัง
สามารถแข่งขันการส่งออกได้ อย่างไรก็ดี การส่งออก
ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของไทยยังกระจายตัวไปยังตลาด
ต่าง ๆ ไม่มากพอ ซึ่งการแข่งขันของอุตสาหกรรม
อิเล็กทรอนิกส์ในตลาดโลกของไทยยังไม่สามารถ
แข่งขันกับผู้ส่งออกจากประเทศอื่นได้ ดังนั้นเพื่อเพิ่ม
ประสิทธิภาพการดำเนินงานต่อจากนี้ผู้บริหารจึงควร
มีความมุ่งมั่นทำงานให้ประสบผลสำเร็จ มีการจูงใจ
บุคลากรให้เกิดความกระตือรือร้นในการทำงานและ
ตื่นตัวอยู่ตลอดเวลา สนับสนุนให้มีการทำงานร่วมกัน
แบบเป็นทีมงาน มีรายงานสรุปผลงานเป็นภาพรวม
เพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหาร มีการจัดเก็บ
ข้อมูลการปฏิบัติงานเพื่อวิเคราะห์ปัญหา เพื่อหา
แนวทางแก้ไข และนำระบบสารสนเทศ เทคโนโลยี
การผลิตสมัยใหม่มาช่วยสนับสนุนเรียนรู้ โดยเฉพาะ
ด้านการบริหารจัดการองค์กรธุรกิจสมัยใหม่ ด้าน
นวัตกรรมเป็นเครื่องมือเฉพาะของผู้ประกอบการ
ทำให้มีความสามารถใหม่เพื่อเพิ่มคุณสมบัติ
ยิ่งขึ้น เพื่อสร้างมูลค่าสินค้าให้เป็นสิ่งที่น่าสนใจ
นวัตกรรม เป็นกระบวนการที่ต้องการความคิด
สร้างสรรค์ และความเต็มใจที่จะเสี่ยงกว่าการดำเนิน
โครงการแบบทั่วไป เพื่อให้โครงการนวัตกรรมนั้น
ประสบความสำเร็จ จึงจำเป็นต้องมีการรอบความคิดที่
แตกต่างออกไป เพราะหากทำด้วยวิธีการแบบเดิม ๆ
มักจะไม่สามารถเข้าถึงนวัตกรรมใด ๆ ได้เลย

ข้อเสนอแนะ

1. สถานประกอบการ ควรมุ่งเน้นการส่งเสริมประสิทธิภาพในการบริหารจัดการโดย สร้างการเรียนรู้ และการพัฒนา ความเข้าใจในการทำงานให้กับ พนักงานระดับปฏิบัติการให้มากขึ้น อาทิ การอบรม เกี่ยวกับระบบการผลิตแบบอัตโนมัติ การอบรม เกี่ยวกับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยตนเอง เป็นต้น

2. สถานประกอบการ ควรสร้างความหลากหลาย และโดดเด่นของนวัตกรรม ในด้านผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า และ เป็นการแสวงหาลูกค้าใหม่ ๆ

3. หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องควรมีปรับปรุงการ ส่งเสริมการลงทุนให้น่าสนใจกว่าประเทศอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ประกอบการที่เป็นอุตสาหกรรม ต้นน้ำของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ให้เข้ามาผลิต ในประเทศไทย เพื่อลดต้นทุนการนำเข้า และเพื่อ สร้างฐานการผลิตของประเทศไทยให้แข็งแกร่งยิ่งขึ้น

4. ศึกษาปัจจัยในการเสริมสร้างความสามารถในการ แข่งขันของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อแก้ไขปัญหาผลกระทบ ของการย้ายฐานการผลิต

References

- [1] Kritchai Anakkamanee, “5S and Visual Management, Basic Principles that should not be overlooked,” Bangkok: Thailand Productivity Institute, 2018.
- [2] Ohno, T., “Toyota Production System; Beyond large scale production,” Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.
- [3] National Statistical Office, “Summary of important results of the survey of informal workers 2020,” Ministry of Digital for the economy and society, 2020.
- [4] Kritichon Wongrat, “Development of operational competence of production managers in electrical and electronics industries,” D.B.A. (Business Administration), King Mongkut’s institute of Technology North Bangkok, Thailand, 2012.
- [5] Somchok Salaiphet, “Human resource development in the manufacturing sector of household appliances and electronic parts,” D.B.A. (Business Administration), King Mongkut’s institute of Technology North Bangkok, Thailand, 2021.
- [6] Prapobphol Teamtheerakit, “Factors Affecting Operation of Small and Medium Enterprises: A Case Study of Electrical and Electronic Appliances,” P.h.D. (Management), Sripatum University, Bangkok, Thailand, 2018.
- [7] Klaus Schwab, “The Fourth Industrial Revolution,” New York, USA: Productivity Press, 2016.
- [8] Kagermann, H., W. Wahlster and J. Helbig. “Recommendations for implementing the strategic initiative industries 4.0. Final report of the Industrie 4.0,” Working Group, 2013.
- [9] Oranut Korkuasuebsai, “Factors and Effects of Industry 4.0 Policy on Thai Electronics Industry,” M.Eng (Industrial), Silpakorn University, Nakornpathom, Thailand, 2019.
- [10] Sarawut Saetung, “Factors affecting the efficiency of hard disk drive industry management in Thailand,” Ph.D. (Management), Siam University, Bangkok, Thailand, 2020.

- [11] Suthida Thanomwong, *“Guidelines for human resource management and development to improve the quality of work life of employees of electronic companies in industrial estates in the central region,”* Ph.D. (Management), North Bangkok University, Pathumthani, Thailand, 2020.
- [12] Kitti Chunhasriwong, *“Factors influencing the quality of work life of employees in small and medium sized businesses,”* Ph.D. (Business Administration), Ramkamheang University, Bangkok, Thailand, 2017.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

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

การเตรียมต้นฉบับบทความ

ชื่อเรื่อง (Title)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรสั้น กระชับ ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ และสื่อความหมายของเรื่องที่ใช้อย่างชัดเจน
ชื่อ นามสกุลของผู้เขียน	ระบุชื่อนามสกุลเต็ม ของผู้เขียนให้ครบทุกคน <u>โดยไม่ต้องใส่คำนำหน้านามใด ๆ</u> ระบุสถานที่ทำงานหรือหน่วยงานที่สังกัดของผู้เขียน, ไปรษณีย์ อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
บทคัดย่อ (Abstract)	มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษเป็นเนื้อความสรุปสาระสำคัญของเรื่อง ครอบคลุมวัตถุประสงค์ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย และผลสรุป มีความยาวไม่เกิน 250 คำ ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว
คำสำคัญ (Keyword)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ จำนวน 3-5 คำ
บทนำ	อธิบายถึงความสำคัญหรือที่มาของปัญหาที่ทำการศึกษา วัตถุประสงค์ และอาจรวมไปถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
เนื้อเรื่อง	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย กระชับและชัดเจน
วิธีการวิจัย	อธิบายขั้นตอนการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย
ผลการวิจัย	อธิบายผลการทดลองที่พบอย่างชัดเจน ครบถ้วน
สรุปและอภิปรายผล	เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร โดยต้องมีการอ้างทฤษฎีหรือ ผลการศึกษาของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ
กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References)

การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลขตามมาตรฐานสากลดังที่แสดงไว้ในส่วนท้ายของประโยคนี้นี้ [1] เอกสารอ้างอิงท้ายบทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงในบทความ ตามรูปแบบของ IEEE (<http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf>)

โดยแปลเอกสารอ้างอิง (References) จากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ

รูปภาพและตาราง

ต้องมีความคมชัดเป็นภาพขาวดำที่ชัดเจน มีคำอธิบายสั้น ๆ ครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า “ตารางที่.....” และอธิบายใส่ไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า “รูปที่.....” และมีคำอธิบายใส่ไว้ใต้รูป

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง

ตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

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

ตัวอย่างการอ้างอิงจากการประชุมวิชาการ

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

ตัวอย่างการอ้างอิงจากวารสาร

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

การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์

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

การส่งต้นฉบับบทความ

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



แบบฟอร์มส่งบทความวิจัยเพื่อพิจารณาตีพิมพ์
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

.....

(ภาษาอังกฤษ)

ชื่อ-สกุล ผู้เขียนบทความ

ระดับการศึกษาสูงสุดตำแหน่งทางวิชาการ

หน่วยงาน

สถานที่ติดต่อผู้เขียนบทความ

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (1)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (2)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ข้าพเจ้า และผู้เขียนร่วม (ถ้ามี) ขอรับรองบทความที่เสนอตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ดังนี้

1. บทความฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใดๆ

2. เนื้อหาของบทความ ทั้งข้อความ รูปภาพ ทั้งหมดที่ปรากฏขอรับรองว่าเป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วม ในกรณีที่มีการอ้างอิงผลงานจากผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมได้ดำเนินการตามจรรยาบรรณทางการวิจัยทุกประการ กรณีมีการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอรับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

3. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมยอมรับเงื่อนไขการพิจารณาบทความ และยินยอมปรับแก้บทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิหรือตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร

4. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ให้แก่มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ลงชื่อผู้ส่งบทความ

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หมายเหตุ : กองบรรณาธิการไม่รับพิจารณาบทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนด