

The Journal of
Industrial Technology

Suan Sunandha Rajabhat University

Volume 8 / Number 2 / July - December 2020

ISSN 2351-0811

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2563)



**FACULTY OF
INDUSTRIAL TECHNOLOGY**

จัดพิมพ์โดย : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

1 ถนนอุทองนอก เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทร 0 2160 1438 ต่อ 22 เว็บไซต์ <http://www.fit.sru.ac.th>

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุตินาฏณ์ ศรีวิบูลย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลัง วงษ์ธนสุภรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
---	-----------------------------

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒิมวงศา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.สุชา ปะเนตรประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจนา จันทราสา	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นารีนารถ รักสุนทร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนมภัทร โตระสะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนดการเผยแพร่

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

ฝ่ายประสานงานและจัดการ

นางสาววรฤทัย หาญโชติพันธุ์

เจ้าของวารสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440 www.fit.ssru.ac.th

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้การวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นที่รวบรวมองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญในหลากหลายด้าน นักวิจัยและประชาชนทั่วไปสามารถนำความรู้จากวารสารนี้ไปต่อยอดในการสร้างนวัตกรรมใหม่และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริงในอนาคต

วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของปีที่ 8 (เดือนกรกฎาคม- ธันวาคม 2563) บทความวิจัยในเล่มนี้มี 7 เรื่อง ประกอบด้วย Development catalytic properties of sustainable copper from ferrite process by using phase transfer reaction, The priority ranking causes of travelling accidents in the one large private university area by applying Delphi method statistical limitations, ผลของน้ำมันรำข้าวและปริมาณโพรพิลีนไกลคอลที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและความพึงพอใจในการผลิตลิปสติก, การเพิ่มค่าความร้อนของไบโอชาร์โดยการไพโรไลซิสฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยต่าง, ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ, สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี, การลดความร้อนผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ซึ่งเนื้อหาของบทความทั้งหมดนี้ได้เรียบเรียงจากผลการวิจัยที่เป็นนวัตกรรมใหม่ มีความร่วมสมัยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เหมาะสมสำหรับใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าของคณาจารย์ นักวิชาการ และผู้ที่สนใจทั่วไป

สำหรับวารสารฉบับต่อไป คือ ฉบับที่ 1 ของปีที่ 9 (เดือนมกราคม – มิถุนายน 2564) โดยเปิดรับบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเทคโนโลยี และด้านวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งวารสารมีพื้นที่ให้ผู้สนใจนักวิจัย อาจารย์และนักศึกษาส่งผลงานมาพิจารณาเพื่อการตีพิมพ์ วารสารยินดีเป็นสื่อกลางสำหรับการเผยแพร่ผลงาน โดยบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการและพิจารณากลั่นกรอง (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิตามสาขาที่เกี่ยวข้อง

ในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง ขอขอบคุณสมาชิกวารสารและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้วารสารวิชาการฉบับที่ 2 ประจำปี 2563 สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง
บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

บทความวิจัย

Development catalytic properties of sustainable copper from ferrite process by using phase transfer reaction <i>Kanokporn Supong</i>	1-8
The Priority Ranking Causes of Travelling Accidents in the One Large Private University Area by Applying Delphi Method Statistical Limitations <i>Kwanchanok Oonta-on, Nutchapongpol Kongchasing, Chakkarphan Sangsuwan, Anuruk Tappakron, Gritsada Sua-lam</i>	9-17
ผลของน้ำมันรำข้าว และปริมาณโพรพิลีนไกลคอลที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและความพึงพอใจในการผลิตลิปสติก <i>ดวงกมล เรือนงาม, จิตติ ท่าไผ่, พนา โลหะทรัพย์ทวี</i>	18-26
การเพิ่มค่าความร้อนของไบโอชาร์โดยการไพโรไลซิสฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยต่าง <i>ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ, แก้วเพ็งกรร, ภาณุวัฒน์ อู่ส่าห์เพียร, ยุทธนา ศรีผา</i>	27-35
ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ <i>พรหมพักตร์ บุญรักษา, อีระพงษ์ บุญรักษา</i>	36-47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทความวิจัย

- สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการ
ตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสม
สำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี 48-57

Thermal performance of integrated collector storage solar water heater with
mixed asphalt absorber plate

วิทยา พวงสมบัติ, ดิษฐา นนธิวรวงศ์, จิระศักดิ์ พุกดำ

- การลดความร้อนผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ 58-69

Attic heat gain reduction using a concrete tile ventilator

คงฤทธิ จิงพิมลยานนท์, ดิษฐา นนธิวรวงศ์, ธนา อนันต์อาษา

Development catalytic properties of sustainable copper from ferrite process by using phase transfer reaction

Kanokporn Supong

Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

E-mail: kanokpon.su@kmitl.ac.th

Received: July 13, 2020

Revised: September 28, 2020

Accepted: October 8, 2020

Abstract

Hydroxide precipitation is ineffective to remove copper in copper complex wastewater that used as a material of a variety of anthropogenic industries. The ferrite process has been proposed as a promising strategy for copper complex wastewater treatment by using strong oxidizer. However, it was found that the product consisted of dominant amorphous structure of several metal forms. These problems can be reduced by converting sludge to an isomorphous structure using a phase transfer reaction. Thermogravimetric and differential thermal analysis was used to examine the temperature condition. The annealed precipitate was compared with an as-prepared precipitate by X-ray fluorescence and Fourier Transform Infrared spectroscopy. Sludge from the ferrite process was sintered at 950 °C for 2 hours. X-ray diffraction spectra showed that crystals of the annealed precipitate was a tetragonal distortion inverse spinel. Further, sludge from the ferrite process after sintering was more stable; in addition, it was a potential catalyst.

Keywords: catalytic properties, recyclable copper, phase transfer reaction

Introduction

Large amounts of copper complexes are released into the environment, from copper mining and other anthropogenic activities (tannery, explosives and timber industries), causes geochemical changes, groundwater and surface water contamination [1]. Thus removal of copper ions in wastewater before discharge becomes necessary [2]. Recent research has shown that the ferrite process stably confines copper to its precipitate and the mass of the precipitate is also much less than that produced by hydroxide precipitation [3]. In this technique, Fe^{2+} ions are added to copper wastewater in an alkaline solution. In the alkaline medium, with air bubbling, Fe^{2+} changes to $\text{Fe}(\text{OH})_2$ while the partial oxidation of Fe^{2+} to Fe^{3+} . However, the precipitates were amorphous forms [4].

I showed that the sediment from the ferrite process can be transformed into an isomorphous structure by using a phase transfer reaction. In addition, the sediment from the ferrite process can develop into CuFe_2O_4 . Thermo-gravimetric and differential thermal analysis (TG-DTA) was investigated the thermal stability of precipitates by elucidate the material purity and the humidity presents in the sample. No major weight loss that can be attributed to the generation of stable crystallization. With transformations during heat treatment of the un-annealed precipitates [5]. As a result, the experimental were analyzed catalytic properties using analyzed instrument.

X-ray fluorescence spectrometer (XRF) is used for elemental analysis of the annealed precipitates. The intensity of each characteristic radiation is related to element in the material [6]. Then, Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) is used to verify the vibrations in the tetrahedral sites of structure [7]. Finally, an X-ray diffraction spectrometer (XRD) is used to identifying the crystalline and structure of the annealed precipitates after phase transfer reaction [8].

The objectives were:

1. preparation of sustain-able copper sludge after removing copper removal in a ferrite process.
2. Characterization of catalytic properties of this copper sludge.

Methodology

1.1 Material and reagents

Synthetic wastewater containing 2 gL^{-1} of copper ions was prepared by dissolving $7.86 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Ajax Chemical, Australia) and adding NH_4OH (30% w/w), to achieve a Cu^{2+} : NH_4OH molar ratio of 1: 4 and adjusting the mixture to 1 liter with deionized water prepared by reverse osmosis in our laboratory.

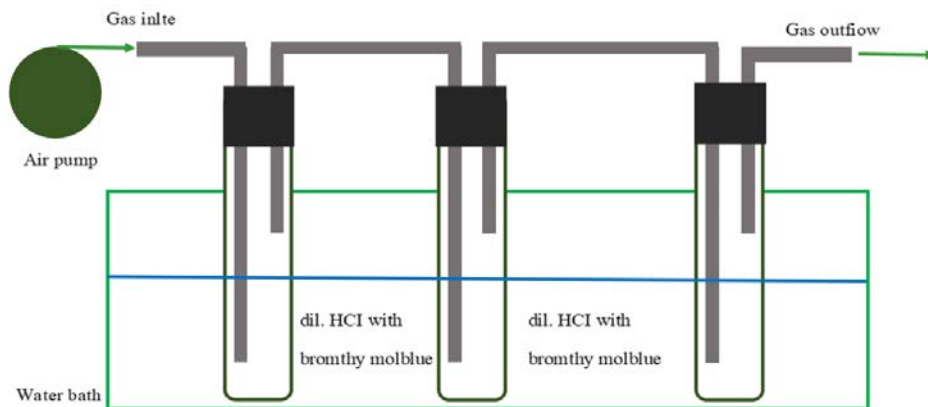


Figure 1 Experimental setup

1.2 Methods

1.2.1 Preparation of sustainable copper sludge Cu^{2+} solutions were treated by an adjusted ferrite process [9].

The system consisted of a 100 ml measuring cylinder, a temperature-controlled water bath, a pH-meter, an air pump and a gas-washing bottle (Figure 1). 50 ml. synthetic wastewater was put into a 100 ml measuring cylinder in a temperature-controlled water bath. The pH was measured by a pH meter (Metrohm model 827). Next, the wastewater pH was adjusted to 10, and the temperature of the water bath to 70 °C, before 0.88 g of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ was added to the measuring cylinder to produce a reaction. The reaction time for each experiment was limited to 90 minutes, while air was passed into the solution.

Gas was trapped by 1 mol/dm^3 Hydrochloric acid in a gas washing bottle. The thermal stability of the precipitates was determined in a Thermo Gravimetric Analyzer (model Pyris1 PerkinElmer) between 80-990 °C.

Then, the air-dried sludge was annealed with crystalline temperature from Thermo Gravimetric Analyzer for 2 h. Subsequently, the annealed precipitate was determined catalytic properties with instrument analysis.

1.2.2 Characterization of catalytic properties of sustainable copper sludge

Determination of the precipitate obtained from ferrite process were investigated with an analyzed instrument. Elemental composition of the as-prepared and annealed precipitates were determined by X-ray fluorescence spectrometry (Bruker model D8-Advance) and the metal-oxygen bond vibrations identified by Fourier transform infrared spectrometry, FT-IR (PerkinElmer model Spectrum GX). Crystalline structure of the precipitates after sintering was investigated by an X-ray Diffraction spectrometer (Bruker model D8-Advance) in the reflection mode, using $\text{CuK}\alpha$ radiation ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$). Diffraction patterns were collected in the 2θ range from 10 to 80°, with a step size of 0.02°.

Results and discussion

2.1 Preparation of sustainable copper sludge after copper removal by a ferrite process

Thermo-gravimetric and differential thermal analysis (TG-DTA) measured weight loss and subsequent transformations of the copper sludge at a 20 °C/min heating rate - see Figure 2. A first stage was observed at 50-105 °C, attributed to the loss of physisorbed water. A second stage in the 105-450 °C range combining with the first

stage. The first two stages combined led to the total loss of about 36.04 % of the mass between 50 and 450 °C. It can be the loss of water physisorbed and oxygen. The third stage, corresponding to loss of about 19.96 % of the mass between 450 and 750 °C was attributed to loss of hydroxide. After 750 °C no significant weight loss was observed and the endothermic peak at 950 °C was attributed to crystallization.

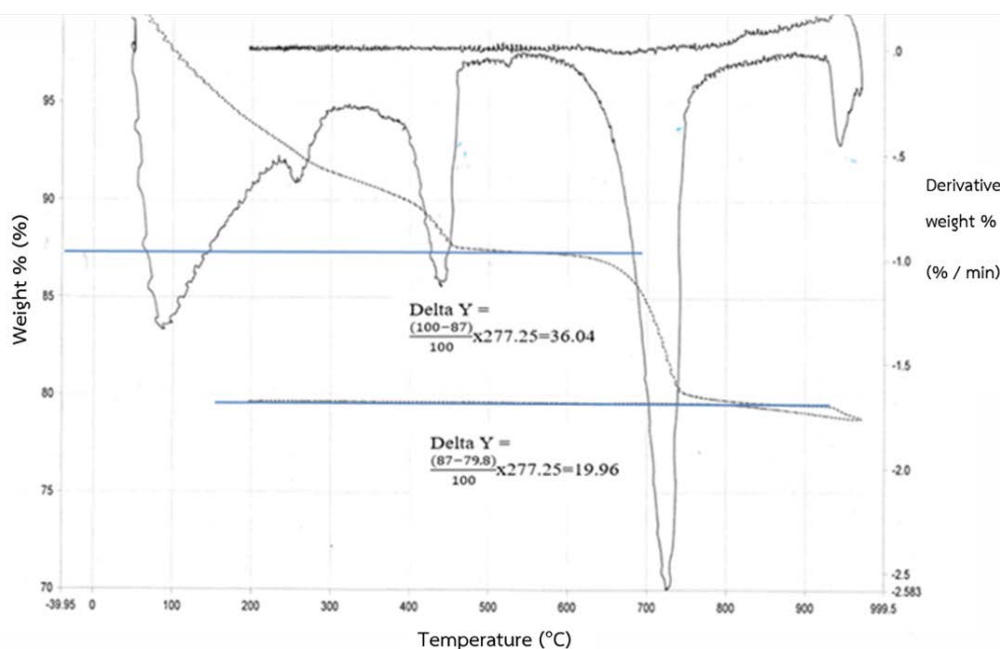


Figure 2 Thermo-gravimetric and differential thermal analysis of this study

2.2 Characterization of catalytic properties

2.2.1 Chemical composition

The chemical composite of the as-prepared and annealed precipitates in method section 1.2.2 is listed in Table 1.

The mole ratio of Fe: Cu: O should be expressed as 2: 1: 4 theoretically. However, a mole ratio of a composite in precipitates does not follow the theory, but they show 1.45, 1, and 3.20, respectively.

Table 1 The chemical composition of the as-prepared precipitate and the annealed precipitate

	% Fe	% Cu	% O	Compton	Rayleigh	Mole ratio: Fe: Cu:O
As-prepared precipitate	41.1	32.2	26.1	0.99	1.06	1.45:1:3.20
Annealed precipitate	41.2	32.1	26.1	0.97	1.04	1.45:1:3.20

Furthermore, the Compton and Rayleigh content of annealed precipitate was lower than that of the as prepared precipitate. It was hypothesized that the structure of homogeneous than the as-prepared precipitate [10]. The vibrations of metal-oxygen bonds were identified in the infrared spectra.

2.2.2 Confirming spinel phase

Figure 3 (a) shows copper-oxygen bond stretching vibrations at the tetrahedral sites in a normal spinel showed at $\approx 575\text{cm}^{-1}$. As shown in Figure 3(b), both stretching vibration of inverse spinel from iron-oxygen ions of the tetrahedral sites showed at $\approx 572\text{ cm}^{-1}$ and copper-oxygen ions of the tetrahedral sites showed at $\approx 578\text{ cm}^{-1}$ [7].

It was still possible that the character of the annealed precipitate is more likely a

tetragonal phase transformation. It is distorted by the inverse spinel ferrite. According to this finding, the annealed precipitate showed the feasibility of catalytic properties. For this reason, it is necessary to use XRD patterns to prove the structure of the precipitates in a further step.

2.2.3 Result of a confirming crystalline and structure

Temperature of 950°C was used for annealed of precipitate for 2h. The sustainable copper sludge was passed through by using phase transfer reaction. The crystalline and structure of the annealed precipitate was identified by using XRD. Their diffracted peaks of them are represented in Figure 4.

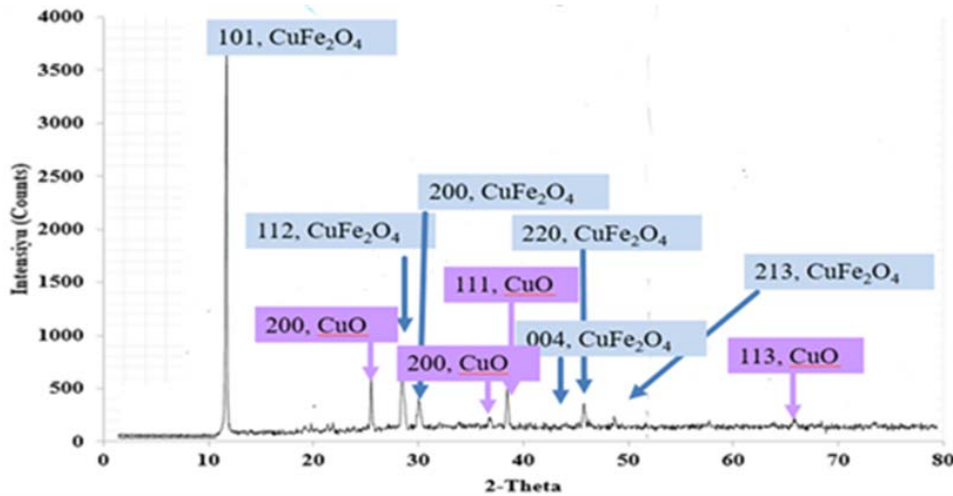


Figure 4 X-ray Diffraction patterns of the annealed

In these reasons, the XRD patterns of the annealed precipitate shown in Figure 4 according to JCPDS Card NO. 00-04-0425 [11] so that it confirms the tetragonal

system. Nevertheless, it may be that copper incorporation into the ferrite structure as the tentorite structure represented by the XRD pattern.

Table 2 The average value of lattice parameter, X-Ray density and volume of sample precipitate

Angle (2 θ)	Sin θ	h,k,l	d _{value} = $n\lambda/2\sin\theta$	Lattice parameter ($^{\circ}$ A)	Volume ($^{\circ}$ A)= a*a*c	X-ray density (gm/cm ³)
30.8	0.2656	200	2.9007	a=5.8014	287.3156	6.6614
41.36	0.3153	004	2.1342	c=8.5367	c/a=1.4715	
CuFe ₂ O ₄ where a = 5.8444 $^{\circ}$ A, c= 8.6304 $^{\circ}$ A, c/a = 1.4767, V=294.79 and density = 5.390 gm/cm ³						

The diffraction peak at $2\theta = 26.8^{\circ}$ corresponds to the (110) calculating d spacing lattice para-meter(d_{value}), the lattice parameter, volume and X-ray density. The result as shown in Table 2. plane, that at 38.28° to the (111) plane and at 62.56° to

the (113) plane, which matches well with values for the most prominent peaks in the standard JCPDS card no.45-0937. Therefore, it can be considered that co-precipitation with CuFe₂O₄.

Conclusions

Copper in $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ forms a rather stable complex, but, copper ions were treated by ferrite process couple with Thermogravimetric and differential thermal analysis (TG-DTA). Temperature of 950°C was used for annealed of precipitate for 2h. The copper sludge is passed through a phase transfer reaction to a sustainable copper sludge form. A mole ratio of Fe: Cu: O in sustainable copper sludge forms which analyzed with XRF shown as 1.45, 1, and 3.20, respectively.

The IR spectra shown tetrahedral absorption bands at $\approx 572\text{ cm}^{-1}$ and 578 cm^{-1} . The XRD pattern was in accordance with JCPDS Card NO. 00-04-0425 [10] so that it confirms the tetragonal system. It becomes the isomorphous structure and stably confines copper. As a result, it is well known sustainable copper sludge from adjusted ferrite process that contains transition metal components. It may be the potential for use as catalysts.

Acknowledgments

We thank the Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Rattana-kosin College for Sustainable Energy and Environment, and the National Research Council of Thailand for support of this research.

References

- [1] Al-Saydeh, S.A., M. El-Naas, and S.M. Javaid, "Copper removal from industrial wastewater: A comprehensive review," *J. Industrial and Engineering Chemistry*, vol.56, no. 1, pp. 35-44, Dec. 2017.
- [2] Thanh, N.K., et al., "Structural and Magnetic Characterization of Copper Ferrites Prepared by Using Spray Co-Precipitation Method," *J. Nanoscience and Nanotechnology*, vol.16, no. 8, pp. 7949-7954, Aug. 2016. <https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12750>
- [3] Jiang, S., J. Qu, and Y. Xiong, "Removal of Chelated Copper From Wastewaters by Fe^{2+} -Based Replacement-Precipitation," *ENVIRON CHEM LETT*, vol.8, no. 1, pp. 339-342, Jul. 2009.
- [4] Heuss-Aßbichler, S., et al., "Recovery of Copper as Zero-Valent Phase and/or Copper Oxide Nanoparticles from Wastewater by Ferritization," *J. Environ. Manage*, vol.181, no. 1, pp. 1-7, Oct. 2016.
- [5] Haija, M.A., et al., "Characterization of H_2S Gas Sensor Based on CuFe_2O_4 Nanoparticles," *J. ALLOY COMPD*, vol.690, no.1, pp. 464 - 468, Jan. 2017.
- [6] Uo, M., T. Wada, T. and Sugiyama, T., "Applications of X-ray fluorescence analysis (XRF) to dental and medical specimens," *Jpn Dent Sci Rev*, vol.51, no. 1, pp. 2-9, Feb. 2015.

- [7] Wulanawati, A. and S. Mulijani, "Catalytic Activity of Fe_3O_4 Transition Oxides from Wire Plating Sludge Waste for Application on Efficiency of Coal Combustion," in *The 4th International Seminar on Sciences, Bogor, Indonesia*, 2018, pp. 1-7.
- [8] Tajik, S. and S. Khodabakhsh, "Novel and Feasible Synthetic Routes to Copper Ferrite Nanoparticles: Taguchi Optimization and Photocatalytic Application," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 27, no. 5, pp. 5175-5182, 2016.
- [9] S.Kanokpon and U.Parnuwat, "Proficient removal/recovery of copper onto environmentally friendly fabricate copper ferrite nanoparticles by using the adjusted ferrite process," in *The Japan International Conference on Recycling and Waste Management*, 2020, Japan, Osaka.
- [10] Liu, H., et al., "Specimen Variation Effects on XRF Analysis by the Monte Carlo Method: Thicknesses, Densities and Particle Sizes," *J. Appl. Math. Phys.*, vol.6, no.4, pp. 628-639, Apr. 2018.
- [11] Morris, M.C., et al., *Standard X-ray Diffraction Powder Patterns Section 20*. Copper Iron Oxide, ed. 20, Washington, International Center for Diffraction Data, 1984.

The Priority Ranking Causes of Travelling Accidents in the One Large Private University Area by Applying Delphi Method Statistical Limitations

**Kwanchanok Oonta-on^{1*}, Nutchapongpol Kongchasing¹,
Chakkarphan Sangsuwan¹, Anuruk Tappakron¹, Gritsada Sua-lam¹**

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand
Email : kwanchanok.o@rmutp.ac.th^{1*}, nutchapongpol.k@rmutp.ac.th¹, chakkarphan.s@rmutp.ac.th¹,
anuruk.t@hotmail.com¹, gritsada.s@rmutp.ac.th¹

Received: July 10, 2020

Revised: September 11, 2020

Accepted: September 22, 2020

Abstract

This exploratory research aimed to study and prioritize the causes of automobile and motorcycle accidents in case one of the large private universities area. The primary accident causes reviewed by all data traffic accidents in Thailand and 5 large universities in Thailand. The suitable accident causes are suggested by 11 experts, working in a University case study. They will be added to the questionnaires and handed on to 331 students, 42 staff, and 9 sellers by face to face data collection. This research result shows to 13 suitable accidents causes by studying and divided into 8 priorities. Driving with alcohol intoxication feel is the most priority with a mean value at 4.59. The accident caused by reckless driving and insufficient illumination is obtained priority ranking in number 2 and 3 with 4.40 and 4.33 of average values respectively. The alcohol intoxication feeling is caused by careless driving, and less driving vision, in various accidents cause may be both directly and indirectly impacted by this problem. The results will help to guild the university manager to decide the key to improve the causes of traveling accidents in the university area. It should be more applied to other case studies and found out the differential way in the future.

Keywords: Accidents causes, Priority ranking, University area, Travelling

Introduction

The increased use of vehicles causes traffic congestion and frequent accidents, resulting in significant damage to both life and property. Some even to the point of disability is a burden to the family and society in vain. Traffic accidents have caused the deaths of Thai people skyrocketing in the top 10 in the world. The most common cause is due to careless driving without wearing a helmet and seatbelt, driving faster than the law, driving while intoxicated, and talking on the phone while driving.

In general, the causes of traffic accidents in many researches include the following major causes: 1) physical readiness of a person, 2) vehicle readiness, and 3) various environmental conditions [1]. The behavior of the person who drives the vehicle is one thing that should be solved [2]. However, several causes of traffic accidents were appropriately improved in various case studies [3].

The compiled all data on the causes of traffic accidents in Thailand about motorcycles and automobiles [4 - 7] are integrated on thirteen issues with common and different items. Nowadays, these problems occur in the university area. Many organizations tried to survey the vehicle accident cause in their areas. Thammasat University found out thirteen causes occurred in vehicle accidents [8]. Ubonrajathanee University collected the data with 390 bachelor degree students. They had 9 majors causes

that were impacting [9]. Driving behavior (lack of knowledge or failure to comply with traffic rules) was an important factor for Srinakharinwirot University [10]. The five items led students in the Suranaree University of Technology had an accident with a motorcycle [11]. Including, Silpakorn University at Nakhon Pathom campus obtained 4 issues impacting traffic accidents in their area [12].

The case study of this research is one university affected by its area traffic accident. Most of the personnel, students, and others at the university travel by using auto and motorcycles. They have obtained a vehicle accident every year. Particularly, the accident was highest happened to many students. Therefore, the researcher finds out the causes of vehicle accidents to help administrators guide future decisions about safe travel on campus.

Research objective

This exploratory research aimed to study and prioritize the causes of automobile and motorcycle accidents in case one of the large private universities area.

Research methodology

Research procedure overview

This exploratory research has many steps conducting will be more described and showed to Figure 1.

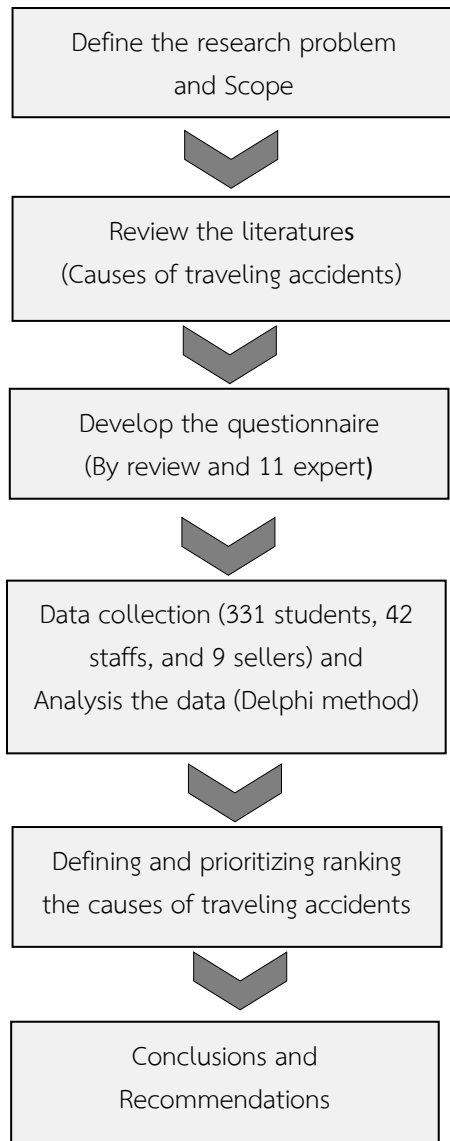


Figure 1 Flow chart of research methodology

Case study

One of the large private universities established for over 10 years with 16 faculties and 5 office buildings. They cover an area approximately 1200 Rai (474 Acre) and offered bachelor, master, and doctoral

degrees. Including, there are 15 dormitories building to support its full student and staff. Mostly, they use automobile and motorcycle travel in the university.

Data related to vehicle accidents

The traffic accident causes of vehicles internal and external university will be integrated. The primary outcomes show to 12 factors are common and difference of the causes reviewed from all data traffic accidents in Thailand and 5 large universities in Thailand.

These 12 problems are offered to the 11 experts, working in a University case study. They are 3 transportation academicians, 1 head and 1 deputy of vehicle Division, 1 head and 2 deputies of analysis and Plan Division, and 1 head and 2 deputies of a security guard. They suggested to the suitable causes with the case study. There are 13 causes suggested in the list with easy abbreviations as below;

C1: Driving with alcohol intoxication feel

C2: Reckless driving, such as using a telephone while driving

C3: Driving experience

C4: Physical condition is not ready, such as having chronic illnesses, using certain drugs that cause drowsiness

C5: Violating traffic rules, such as turning at the prohibited sign

C6: Parkin prohibited areas

C7: No public relations signs

Such as, no signs are indicating different faculties

C8: Traffic line deterioration

C9: Lack of traffic facilities such as roads without traffic lines

C10: The availability of vehicle such as car tires leak

C11: Broken branches blocking the road

C12: Insufficient illumination

C13: Rainy and slippery roads

The experts changed the wording, added, and grouped more in some causes to be suitable for the university case study.

Population and sample

This research has calculated the number of samples by using the Yamane method [13]. The case study has 7,079 students separated to bachelor, master, and doctoral degree, 877 staffs covered lecturers as well divided to staff who are university alumni and not, and 183 sellers sell things in the cafeteria and flea market of university separated to the current student part-time and not. The totaling is 8,139 people. In various samples will be calculated suitable population to be the respondents of this research by using the Yamane formula.

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

When;

n is the suitable population

N is the total populations each sample

e is the accuracy values where 95 percent as equals 0.05 of discrepancy

Resulting, total suitable respondents (n) are 382 people divided into 331 students, 42 staff, and 9 sellers respectively.

Data collection

This research used a questionnaire for data collection. They will be shown to the step as follows;

1. The suggested suitable 13 lists of traveling accidents cause by experts will be added to the questionnaires. And, experts have to check the quality by trying to evaluate these questionnaires.

2. The questionnaires are handed on to 331 students, 42 staff, and 9 sellers one person per set, and they must be those using automobiles and motorcycle on the campus only.

3. All questionnaires are collected data by face to face interview. In various questions have 5 scales for respondent choice assessment [14].

4. In various questions have 5 scales for the respondent choice. The scales 1, 2, 3, 4 and 5 are represented to the significance of automobile and motorcycle accidents in the university case study at the most important level, very important, middle level, less important, and least important respectively.

Data analysis

The answers of respondents are calculated and analyzed by applying the Delphi method statistical limitations [15]. The mean value should be not over experts determined at 3.00 (this value is from a coherent questionnaire assessment of all experts with a mean of no less than 3.00 each question which is within the fair

criteria from a full score is 5), the differential between mode and median (diff. Mo/Med) value is not exceeding 1, and Inter-Quartile Range (IQR) has to be not more 1.5. The limitations of these statistical values help to cut some accidents causes biased answer off. The item passed all consensus statistical limitations will be obtained priority ranking from average values. Higher mean values are ranked in order of importance. Data from the priority analysis will be presented as a guideline for the university case study in the next.

Results and discussions

This part represents the outcome comply with the research step, and the data will be received discussing in the sections of respondent answers and priority ranking of accident causes.

Respondent answers

The total suitable respondents are 382 people divided into 331 students, 42 staff, and 9 sellers. They have a similar perspective on the accident causes. Because, most of the sellers in the university case study are the part-time student, include the staffs who are university alumni. All of them drive the automobile and motorcycle in the university area, and there are extensive experiences with these issues.

Table 1 The percent of respondent general data

Sample	Group	Age	%
Student (331 people)	Bachelor (308 people)	18-29	80.63
	Master (17 people)	24-38	4.45
	Doctoral (6 people)	28-42	1.57
Total	86.65% out a total of 382 people		
Staff (42 people)	Alumni (34 people)	25-42	8.90
	Not Alumni (8 people)	57-65	2.09
Total	10.99% out a total of 382 people		
Seller (9 people)	Student part-time (8 people)	18-24	2.09
	Not Student part-time (1 people)	37	0.27
Total	2.36% out a total of 382 people		

Respondent age is around 18-65 years separated to students at 18- 42 years covered bachelor, master, and doctoral degree, staffs are 25 – 65 years covered who are university alumni and some not alumni and sellers are current student part-time and some outside seller at 18-37 years. These general data showed by percentage value in various respondent groups in Table 1.

Therefore, the discussion of this part results will explain covering all 3 samples which are most the student perspectives at 86.65%. Their responses are shown to an

overall statistical value with 13 accident causes in table 2.

Table 2 Accident Causes (AC) response

AC	Mean	Diff. Mo/Med	IQR	Consensus
C1	4.59	0	1.5	Yes
C2	4.40	1	1	Yes
C3	4.06	0	1	Yes
C4	3.95	0	2	No
C5	4.29	1	1	Yes
C6	3.89	0	1	Yes
C7	3.76	0	2	No
C8	4.06	0	1	Yes
C9	4.11	0	1.5	Yes
C10	4.08	1	1	Yes
C11	3.83	0	2	No
C12	4.33	1	1	Yes
C13	4.33	0	1.5	Yes

In table 2 showed average values by a respondent answer with 13 accidents causes. The ten items are passed all statistical limitations consensus consist of; C 1-3, 5-6, 8-10, 12, and 13 respectively. The outcomes showed to C4, 7, and 11 are not passing consensus values. Because the university case study has older students and staffs focused on physical condition is not ready (C4) [4], no public relations signs

(C7) [5], and broken branches blocking the road (C11) [4], are resulted to their accident situation [1].

Visibility and decision-making capabilities including their physical health are not very well with driving vision [6]. In contrast, some young people overlook accidents from these causes. Thus, the answer outcomes of C4, 7, and 11 earned partiality by respondents. They have to cut off from consideration.

Most people have an accident in university with alcohol intoxication feel in driving [11]. The camaraderie of seniors or alumni and juniors led them to have the party after finished work [7] and class [8]. Driving back into the university resulted in an accident. Therefore, the mean value of C1 is a very high response with 4.59. The alcohol intoxication feel is caused by careless driving, and less driving vision [3]. In various accidents, the cause may be impacted both directly and indirectly from this problem [9].

Priority ranking of accident causes

The ten items are passed all statistical limitations consensus consist of; C 1-3, 5-6, 8-10, 12, and 13 will be prioritized by mean values. They are showed priority ranking in table 3.

Table 3 The priority ranking of AC

Priority ranking	AC
1	C1
2	C2
3	C12
3	C13
4	C5
5	C9
6	C10
7	C3
	C8
8	C6

Driving with alcohol intoxication feel is the number 1 impacted by accident [2] in the university. Many causes of accidents occurred from drinking some alcohol [11]. The intoxication feel led driver has reckless driving [10] (C2) is ranked to 2. For example, using a telephone while driving may build a loss of concentration with normal people [7]. But, the people who have intoxication feel will be more loss of driving control. Their Lack of consciousness led to the causes of careless driving is most from the alcohol intoxication feeling [4].

Insufficient illumination [11] (C12) happens in the cause study at number 3. The entrance to the dormitory in the university will have the most accidents due to lack of lighting. Failure to install sufficient lighting at the right place may result in accidents at night [9]. The experts and respondents mentioned to the drinking people who are received so often accidents in this area when they back to the night with down

driving vision [2]. A rainy and slippery road (C13) [12] is number 3 as well. The road in front of the engineering faculty is so slippery, it will be more slippery when there is moisture from rain. A driver's lack of consciousness with alcohol intoxication feeling often occurs this accident cause [8].

Violating traffic rules in the university [9] (C5) ranked at 4. It prefers to accidents in the morning and afternoon hours before the class, rest for noon, and during the night. The rush of students sent them to violate traffic rules [11]. Particularly, the accident during the night is from alcohol intoxication people who careless and ignoring the traffic regulations of the university [9]. This accident caused is happened to staff as well [10].

Lack of traffic facilities [8] (C9) is number 5. Mostly, roads without traffic lines and the lack of a prohibition parking sign and lines often occur accident cause in the university [12]. People parked their automobile and motorcycle to over the road and conceal the vision of the people who travel [10]. Many drivers received the accident collided with a parked vehicle [5].

The availability of vehicles [1] (C10) is number 6. This accident caused happens with a provincial student. Most of them have to take the old motorcycle and automobile from their hometown to use in the university [9]. It lacks ongoing maintenance. Sudden accidents may cause them to lose driving control, such as tires leak [11]. And, the accident from lack of a

rearview mirror of a motorcycle often occurs with students [8] who are intoxicated alcohol.

Driving experience [4] (C3), and Traffic line deterioration [1] (C8) are together obtained to priority ranking in number 7. Uncertainty in making decisions because some traffic lines deterioration may cause an accident. Mostly, the unclear traffic dividing line is a major obstacle to the driver's misunderstanding in the decision [12]. It is similar to the cause of the lack of driving experience focused on decisions making of drivers [6]. This factor mostly still happens with alcohol intoxication driver.

Parkin prohibited areas (C6) [12] is the last ranking at number 8. The university has some area should not park the vehicle such as the curve area [11]. It has already red and white color lines. The cause of the accident is occurred from some driver park the vehicle temporarily [7]. This cause is not frequently happening due to a narrow turning path. The people in the university will be directing traffic jam when some drivers park in the prohibited areas [9].

Conclusions

To have eligible items with a University case study, the integrated accident cause is from all data traffic accidents in Thailand and 5 large universities are suggested by 11 experts, working in the case study. These research outcomes, thirteen items maybe only happened in a University case study by the perspective of its 331 students, 42 staff, and 9 sellers. It should be more

applied to other case studies and found out the differential way in the future. The results will help to guild the university manager to decide the key to improve the causes of traveling accidents in the university area. 8 priorities are ranking with 10 AC passed consensus value. Driving with alcohol intoxication feel (C1) is the most significant factor impacted by other accident causes respectively.

Acknowledgments

This research is financially supported by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP).

References

- [1] Z. Zhenjie., et al, "Determinants of the congestion caused by a traffic accident in urban road networks," *Accid. Anal. Prev.*, vol.136, pp.105327, 2020.
- [2] D. Lorenzo et al., "Travel time in case of accident prediction model," *Procedia Soc. Behav. Sci.*, vol.53, pp. 1080-1089, 2012.
- [3] Z. Li et al., "Traffic accident modelling via self-exciting point processes," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol.180, pp. 312-320, 2018.
- [4] T. Yordphol et al., "Traffic accidents in Thailand," *IATSS Res*, Vol.29, no.1, pp. 88-100, 2005.
- [5] T. Yordphol, "Road accidents in Thailand: changes over the past decade." *IATSS Res*, vol.28, no.1, pp. 119-122, 2004.

- [6] M. Sujin, "Current situations of road safety in Thailand," in *Intertraffic Asia* 2002, Bangkok, Thailand, 2002, pp. 1-4.
- [7] ThaiRoads Foundation, Thailand Accident Research Center (TARC) and Asian Institute of Technology, *Key facts on road safety situations in Thailand 2012-2013*, Department of Land Transport Publisher, Bangkok, Thailand 2015.
- [8] S. Darunee, "A study for developing policy recommendations for road accidents reduction in the area of Bangkok metropolitan: A case of Sai Mai District," M.Pol.Sc. thesis (Politics and Governments), Thammasat University, Pathum Thani, Thailand. 2015.
- [9] K. Paweena et al., "Traffic laws violation behaviors of motorcyclists in student of Ubonrajathanee University." *J. Manag. Sci. Ubon Ratchathani Univ*, vol.2, no. 1, pp. 59-75, 2012.
- [10] S. Nipa, "Factors effecting on motorcycle riders behavior at emergency department, Lerd Sin hospital," M.S. thesis (Health Education, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand, 2006.
- [11] B. Pongsit et al., *Factors related to motorcycle accidents among students of Suranaree University of Technology*, Suranaree University of Technology Publisher, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2012.
- [12] Department of Social Sciences, *Guidelines for reducing traffic accident problems of students in front of Silpakorn University: Nakhon Pathom Campus*, Silpakorn University Publisher, Nakhon Pathom, Thailand, 2010.
- [13] T. Yamane, *Statistics: An Introductory Analysis*, 2nd Edition, Harper and Row Publisher, New York, USA, 1967.
- [14] L. Rensis, "A technique for the measurement of attitudes." *Arch. Psychol*, vol.140, no. 22, pp. 5-55, 1932.
- [15] D. Norman et al., *An experimental application of the Delphi method to the use of experts*, The rand corporation Publisher, Santa Monica, California, USA, 1962.

ผลของน้ำมันรำข้าว และปริมาณโพรพิลีนไกลคอลที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ และความพึงพอใจในการผลิตลิปสติก

ดวงกมล เรือนงาม^{1*}, จิตติ ท่าไ้², พนา โลหะทรัพย์ทวี²

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

²ภาคชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: duangkamol.rue@rmutr.ac.th, duangkamolruen@gmail.com¹

Received: July 13, 2020

Revised: October 8, 2020

Accepted: October 22, 2020

บทคัดย่อ

น้ำมันรำข้าวมีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูงและมีสรรพคุณในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จึงเป็นที่นิยมนำมาเป็นองค์ประกอบสำคัญในเครื่องสำอาง การใช้ข้อประกอบจากสารสกัดจากธรรมชาติ เป็นส่วนผสมเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางกำลังเป็นที่นิยมเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวในการผลิตลิปสติก โดยใช้น้ำมันรำข้าวที่มีขายตามท้องตลาด 2 ยี่ห้อ และแปลค่าสัดส่วนองค์ประกอบเพื่อขึ้นเป็นสูตรลิปสติกทั้งหมด 18 สูตร วิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในวัตถุดิบด้วยวิธี DPPH เปรียบเทียบค่าที่ได้กับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกและ BHT ทดสอบลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลิปสติกทั้ง 18 สูตร ได้แก่ วัสดุ จุดหยด จุดโค้งงอ เนื้อสัมผัส ความชุ่มชื้น ความพึงพอใจผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัคร 20 คน พบว่าอาสาสมัครส่วนใหญ่ (ร้อยละ 40 ของผู้ทำแบบสอบถามทั้งหมด) มีความพึงพอใจโดยรวมกับลิปสติกสูตรที่ 8 มากที่สุด (ประกอบด้วยน้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคยี่ห้อที่ 1 ผสมกับน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 70 โพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 10 สีสังเคราะห์ร้อยละ 3 และแว็กซ์ต่าง ๆ ร้อยละ 17)

คำสำคัญ : น้ำมันรำข้าว, โพรพิลีนไกลคอล, สารต้านอนุมูลอิสระ DPPH, ลิปสติก, ความพึงพอใจ

Effect of rice bran oil and propylene glycol content for physical properties and satisfaction of panelists

Duangkamol Ruen-ngam^{1*}, Chitti Thawai², Pana Lohasupthawee²

^{1*}Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment (RCSEE)

Rajamangala university of technology rattanakosin

²Department of Biology, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

E-mail: duangkamol.rue@rmutr.ac.th, duangkamolruen@gmail.com¹

Received: July 13, 2020

Revised: October 8, 2020

Accepted: October 22, 2020

Abstract

Rice bran oil has high content of antioxidant which can be used as content in cosmetic production. The Objective of this research is to apply rice bran oil for lipstick productions. Two brands of rice bran oil from market were used as ingredient for producing 18 lipstick recipes. Antioxidant of ingredient mixed with rice bran oil was analyzed by DPPH assay and these results were then compared to standards; ascorbic acid and BHT. Physical tests, color test, dropping point, bending test, texture and moisture were tested for 18 lipstick recipes. Results of satisfaction test of 20 panelists were found that forty percent of panelists were satisfied in the recipe number 8 (which was contained the ratio of rice bran oil bran 1:coconut oil about 1:1, 70% propylene glycol, 3% synthetic color and 17% wax.)

Keywords : Rice Oil, Propylene glycol, Antioxidant DPPH, Lipstick, Satisfaction

บทนำ

รำข้าวเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ (natural antioxidant) ที่สำคัญ ได้แก่ โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และ ออไรซานอล (oryzanol) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระคล้ายกับวิตามินอีซึ่งพบว่า γ -oryzanol มีประสิทธิภาพดีกว่าวิตามินอี ถึง 6 เท่า มีงานวิจัยที่ยืนยันว่าในน้ำมันรำข้าวมีสารอาหารธรรมชาติที่สามารถลดการเกิดริ้วรอยในร่างกายมนุษย์ได้ สรรพคุณของโทโคฟีรอล (tocopherol) และโทโคไตรอีนอล (tocotrienol) ซึ่งเป็นสารอาหารในน้ำมันรำข้าวสามารถยับยั้งการสังเคราะห์โคเลสเตอรอลในตับ มีฤทธิ์เป็นสารต้านมะเร็ง มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และลดการเสื่อมสภาพของเซลล์ [1] ดังนั้น ปัจจุบันมีการนำน้ำมันรำข้าวมาใช้ประโยชน์ ตัวอย่างเช่น ด้านเครื่องสำอาง โดยสารดังกล่าวสามารถช่วยลดริ้วรอย ออไรซานอล (oryzanol) เป็นสารธรรมชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากพบสารออไรซานอลมากที่สุดในข้าว โดยเฉพาะในส่วนผิวที่มีสีน้ำตาลอ่อนของข้าวที่ยังไม่มีการสีออกที่เราเรียกว่า รำข้าว ดังนั้นออไรซานอลพบได้ในน้ำมันรำข้าวเท่านั้น ไม่พบในน้ำมันพืชชนิดอื่น อีกทั้งประเทศไทยเป็นประเทศที่ปลูกข้าวและขัดสีข้าวเพื่อบริโภคและส่งออกปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีรำข้าวเหลือเป็นปริมาณมาก [2]

เนื่องจากความสวยงาม ผิวสุขภาพดีแลดูอ่อนกว่าวัยเป็นที่นิยมในทุกเพศและวัย เครื่องสำอางได้แก่ แป้ง และลิปสติก เป็นสิ่งหนึ่งที่ช่วยให้ดูสุขภาพดีและดูอ่อนกว่าวัย ซึ่งผลิตภัณฑ์ประเภทลิปสติกนั้นสามารถใช้ได้ทั้งเพศหญิงและชาย การเพิ่มมูลค่าให้กับลิปสติกนั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มสารที่มีคุณค่าในผลิตภัณฑ์ งานวิจัยในอดีตมีการนำน้ำมันรำข้าวมาเป็นองค์ประกอบในการผลิตลิปสติกซึ่งให้ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดี [3]

งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางในการเพิ่มมูลค่าในผลิตภัณฑ์โดยนำน้ำมันรำข้าวมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตซึ่งในน้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ ได้แก่ ออไรซานอล (oryzanol) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระ ป้องกันเซลล์ถูกทำลายจากแสงแดด ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสซึ่งเป็นตัวเร่งสร้างเม็ดสีจึงทำให้ผิวดูกระจ่างสดใสขึ้น ลิปสติกเป็นเครื่องสำอางที่ใช้แต่งริมฝีปากมักมีสีแดงหรือชมพู ทำให้ริมฝีปากสวยงามและปกปิดความบกพร่องของริมฝีปาก ส่วนประกอบหนึ่งของลิปสติกคือสี ส่วนใหญ่เป็นสารที่ไม่สลายตัวทางธรรมชาติ ปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากตระหนักในเรื่องความปลอดภัย สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีพืชพรรณต่างๆ มากมาย โดยเป็นแหล่งของน้ำมันและสีจากธรรมชาติ สามารถนำมาเตรียมเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ลิปสติกได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันรำข้าวในการผลิตลิปสติกในเชิงคุณภาพ
2. ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อลิปสติกที่ทำขึ้นจากสูตรที่เหมาะสม

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคที่มีขายตามท้องตลาด (ยี่ห้อที่ 1) ผสมกับน้ำมันมะพร้าว 3 อัตราส่วน นอกจากนี้มีการใช้วัตถุดิบเป็นน้ำมันรำข้าวที่บริโภคอีกยี่ห้อหนึ่ง (ยี่ห้อที่ 2) และน้ำมันถั่วเหลือง ทดสอบหาค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน (IC_{50}) ของวัตถุดิบ ขั้นตอนการทำลิปสติกทำโดยนำส่วนผสมระหว่างน้ำมันรำข้าวและน้ำมันมะพร้าวที่ได้ผสมกับ propylene glycol สัดส่วนร้อยละต่าง ๆ (5, 10 และ 15%) Carnuba wax 5% candellila wax 6% และ beeswax 6%

ที่อุณหภูมิ 70-80°C ในอ่างน้ำร้อน ผสมสารสีแดง และนำส่วนผสมที่ได้เทลงในแม่พิมพ์ รोजनแข็ง แกะแม่พิมพ์ออก จากนั้นทดสอบลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี จุดหยด จุดโค้งงอ เนื้อสัมผัส และความชุ่มชื้น และทดสอบความพึงพอใจ

1. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH Assay [4]

การวิเคราะห์วิธีนี้เป็นวิธีการวัดความสามารถของน้ำมันต่างๆ ในการต้านอนุมูลอิสระ (ค่า IC₅₀) โดยการวัดการลดลงของสีเมื่อเติมสารต้านอนุมูล DPPH ลงไป โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (microplate reader) เตรียมความเข้มข้น DPPH 0.2 มิลลิโมลาร์ (200 ไมโครโมลาร์) ขั้นตอนการเตรียมสารในภาควงก ก. ทดสอบปฏิกิริยากับน้ำมันแต่ละประเภทที่เจือจางด้วยเอทานอลร้อยละ 95 เตรียมความเข้มข้นในช่วง 1 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำตัวอย่างน้ำมันแต่ละความเข้มข้น (A_{blank sample}) และตัวทำละลายเอทานอล (A_{blank DPPH}) หยดลงใน 96 well-plate หลุมละ 100 ไมโครลิตร จำนวน 3 ซ้ำ ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในแต่ละหลุมของตัวอย่างน้ำมัน (A_{sample}) ในอัตราส่วน 1:1 (v/v) และหลุมตัวทำละลายเอทานอล (A_{DPPH}) บ่มให้เกิดการทำปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้ง เปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างน้ำมันโดยใช้กรดแอสคอร์บิก (vitamin C) และ butylated hydroxytoluene (BHT) เป็นสารมาตรฐานความเข้มข้นของสารมาตรฐานในช่วง 2.5 ถึง 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร คำนวณเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ (ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ) ตามสมการ (1) ทั้งสารสกัดตัวอย่างและสารมาตรฐาน นิยมรายงานผลเป็นค่า IC₅₀ หมายถึง ความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นอนุมูลอิสระลดลง

50 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากค่าที่มีค่าน้อย จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูง

$$\% \text{ Antioxidant activity} = \frac{[(A_{\text{DPPH}} - A_{\text{Blank DPPH}}) - (A_{\text{sample}} - A_{\text{Blank sample}})]}{(A_{\text{DPPH}} - A_{\text{Blank DPPH}})} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

A_{DPPH} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

A_{Blank DPPH} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลายเอทานอล

A_{Sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันในแต่ละความเข้มข้นที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

A_{Blank Sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำมันในแต่ละความเข้มข้นก่อนทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

2. การทดสอบลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

การทดสอบลักษณะทางกายภาพของลิปสติก ได้แก่ สี จุดโค้งงอ จุดหยด เนื้อสัมผัส และความชุ่มชื้น รายละเอียดแสดงดังนี้

2.1 การวัดสี

การวัดสีทำด้วยเครื่อง Chromo meter (Minolta รุ่น CR-300) นำหัววัดวางบนลิปสติก วัดสีตัวอย่างโดยใช้ค่าสีเป็น lightness (L*) redness (a*) และ yellowness (b*) วัดอย่างน้อย 3 จุดต่อตัวอย่างลิปสติก นำไปหาค่าเฉลี่ย L* a* และ b* รวมทั้งคำนวณค่า Hue (angle of rotation) ดังสมการที่ (2)

$$\text{Hue} = \tan^{-1}(b/a) \quad (2)$$

การแปลความหมายค่าสีเป็นดังนี้

L = lightness (0 = black, 100 = white)

a = redness / greenness (+ = red, - = green)

b = yellowness / blueness (+ = yellow, - = blue) H = 0 degree red H = 90 degree yellow H = 180 degree green H = 270 degree blue

2.2 การทดสอบค่าความโค้งงอ

หมุนหรือดันลิปสติกตัวอย่างออกมาจากภาชนะบรรจุให้สุด แล้วนำใบวางในแนวนอนในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 45 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง วางแท่งลิปสติกขนานกับพื้นมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ วัดระยะลิปสติกตัวอย่างที่โค้งงอลงมาจากระดับเดิมเป็นมิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยทดสอบซ้ำกับลิปสติกแท่งใหม่ เกณฑ์ที่กำหนด คือ โค้งงอได้ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (มอก.234, 2541)

2.3 การทดสอบค่าจุดหยด

หลอมลิปสติกตัวอย่างในครุชีบีล จุ่มกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ลงในลิปสติกตัวอย่าง แล้วนำออกมาทำให้เย็น นำเทอร์โมมิเตอร์ใส่ลงในหลอดทดลองให้กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์อยู่เหนือก้นหลอดทดลอง ปิดจุกแล้วนำไปแช่อ่างน้ำร้อน บันทึกอุณหภูมิที่ตัวอย่างหลอมละลายหยดลงมา ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย เกณฑ์ที่กำหนด คือ จุดหยดต้องไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส (มอก.234, 2541)

2.4 ทดสอบเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) และ ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ด้วยเครื่อง texture Analysis โดยใช้โปรแกรม Nexygen และ TA plus ในการทดสอบเลือกใช้ cylinder probe ขนาด 36 มิลลิเมตร ในการทดสอบ

2.5 ทดสอบความชุ่มชื้นของผิว เมื่อทาผลิตภัณฑ์

ทดสอบประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบความระคายเคืองแล้ว วัดผลค่าความชุ่มชื้น (hydration moisture) โดยใช้เครื่องทดสอบผิวหนัง hydration moisture (รุ่น Dermalab COMBO)

3. การทดสอบความพึงพอใจและความระคายเคืองของผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัคร

ทดสอบความพึงพอใจของลิปสติกในด้านกลิ่น สี ความลื่น ความชุ่มชื้น เนื้อสัมผัส และความหนืดในอาสาสมัคร 20 คน ที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป โดยให้ทดสอบการใช้ผลิตภัณฑ์บริเวณริมฝีปากหรือท้องแขนและให้อาสาสมัครทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ทั้ง 18 สูตร โดยมีระดับการให้คะแนน ดังนี้ 1 = น้อยสุด 2 = ชอบน้อย 3 = ชอบปานกลาง 4 = ชอบมาก และ 5 = ชอบมากที่สุด

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรม IBM SPSS version 23 ในการคำนวณทางสถิติ โดยแสดงข้อมูลทางสถิติออกมาในค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสามซ้ำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยคำนวณด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) เป็นการเปรียบเทียบแบบ multiple ranges ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากัน เปรียบเทียบหลายคู่พร้อมกันภายใต้ความแปรปรวนที่เท่ากัน และวิธี Tukey's Multiple Comparison test ซึ่งเป็นเทคนิคในการเปรียบเทียบผลต่างแต่ละคู่เช่นเดียวกับ LSD และ Duncan's แต่สามารถเลือกใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกันเปรียบเทียบทีละคู่ภายใต้ความแปรปรวนที่เท่ากัน

ผลการวิจัย

1. ผลการต้านอนุมูลอิสระ

จากการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ แสดงค่าในรูป IC₅₀ ดังตารางที่ 1 พบว่าค่า IC₅₀ ของน้ำมันทั้ง 6 ประเภท มีลำดับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระดังนี้ น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภค ยี่ห้อที่ 1 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภค ยี่ห้อที่ 2 ซึ่งทั้ง 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รองลงมาเป็นน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภค ยี่ห้อที่ 1 ผสมกับน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วน 2:3 1:1 และ 2:3 ตามลำดับ นอกจากนี้มีการวิเคราะห์ค่า IC_{50} ของสารมาตรฐาน วิตามินซี (Ascorbic acid) และ BHT แสดงดังตารางที่ 1

2. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

ผลของการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ลิปสติก แสดงดังตารางที่ 2 ค่า L^* อยู่ในช่วง 33.34 ± 0.00 ถึง 38.31 ± 0.00 โดยสูตรที่ 14 มีค่าความสว่างมากที่สุด และสูตรที่ 7 มีค่าความสว่างน้อยที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ลิปสติกทั้ง 18 สูตร ค่า a^* อยู่ในช่วง 11.44 ± 0.00 ถึง 26.36 ± 0.00 โดยสูตรที่ 8 มีค่ามากที่สุด และสูตรที่ 10 มีค่าน้อยที่สุด ลิปสติกทั้ง 18 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า b^* อยู่ในช่วง 1.23 ± 0.01 ถึง 4.86 ± 0.03 โดยสูตรที่ 11 มีค่ามากที่สุด และสูตรที่ 10 มีค่าน้อยที่สุด ลิปสติกทั้ง 18 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่า Hue อยู่ในช่วง 6.10 ถึง 13.73 ลิปสติกทั้ง 18 สูตรมีเฉดสีเดียวกัน คือ สีแดง และมีความเข้มสีใกล้เคียงกันเนื่องจากลิปสติกทุกสูตรใช้สีปริมาณเท่ากัน

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลิปสติก ดังตารางที่ 3 พบว่า 1) ค่า hardness อยู่ในช่วง 12.78 ± 0.81 ถึง 27.14 ± 5.71 N โดยสูตรที่ 15 มีค่าสูงสุด และสูตรที่ 8 มีค่าต่ำสุด ลิปสติกทั้ง 18 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า 2) springiness อยู่ในช่วง 0.16 ± 0.08 ถึง 1.49 ± 0.40 mm โดยสูตรที่ 17 มีค่าสูงสุด และสูตรที่ 10 มีค่าต่ำสุด ลิปสติกทั้ง 18 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) 3) ค่า Area อยู่ในช่วง 43.70 ± 5.51 ถึง

91.84 ± 5.50 Nmm โดยสูตรที่ 13 มีค่าสูงสุด และสูตรที่ 5 มีค่าต่ำสุด ลิปสติกทั้ง 18 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์ลิปสติก เมื่อพิจารณาตารางที่ 3 พบว่า ค่า hydration moisture อยู่ในช่วง 191.38 ± 4.61 ถึง 324.75 ± 10.93 μS โดยสูตรที่ 6 มีค่าสูงสุด และสูตรที่ 16 มีค่าต่ำสุด

3. ความพึงพอใจของลิปสติก

ผลการประเมินความพึงพอใจหลังจากการใช้ลิปสติก 1) ด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ พบว่าอาสาสมัครมีความพึงพอใจในระดับน้อย โดยอาสาสมัครส่วนใหญ่เลือกลิปสติกสูตรที่ 13 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 75 2) ด้านสีของผลิตภัณฑ์ พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจในระดับมาก โดยอาสาสมัครส่วนใหญ่เลือกลิปสติกสูตรที่ 8 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 3) ด้านความลื่นของผลิตภัณฑ์ พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจในระดับมาก โดยอาสาสมัครส่วนใหญ่เลือกลิปสติกสูตรที่ 8 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 4) ด้านความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์ พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจในตั้งแต่ระดับมากที่สุด โดยอาสาสมัครส่วนใหญ่เลือกลิปสติกสูตรที่ 8 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50 5) ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง โดยอาสาสมัครส่วนใหญ่เลือกลิปสติกสูตรที่ 7 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 70 และ 6) ด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์ พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง โดยอาสาสมัครส่วนใหญ่เลือกลิปสติกสูตรที่ 7 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 70 [5]

ผลความพึงพอใจด้านต่างๆโดยรวม ความพึงพอใจในระดับมากถึงมากที่สุดของอาสาสมัคร คิดเป็นร้อยละ 49.98 คือ สูตรที่ 1 และสูตรที่ 8 คิดเป็นร้อยละ 33.32 คือ สูตรที่ 2 สูตรที่ 4 สูตรที่ 7 และสูตรที่ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่า IC₅₀ ของน้ำมันทั้ง 6 ประเภท และสารมาตรฐานทดสอบด้วยวิธี DPPH

ประเภท	น้ำมัน	อัตราส่วน	IC ₅₀ (mg/ml)
1	น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 1 ผสมกับน้ำมันมะพร้าว	2:3	15.13 ± 0.53 ^a
2	น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 1 ผสมกับน้ำมันมะพร้าว	3:2	11.33 ± 0.21 ^c
3	น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 1 ผสมกับน้ำมันมะพร้าว	1:1	12.92 ± 0.78 ^b
4	น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 1	1	7.32 ± 0.18 ^d
5	น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 2	1	8.37 ± 0.39 ^d
6	น้ำมันถั่วเหลือง	1	10.27 ± 0.61 ^c
สารมาตรฐาน	Ascorbic acid	-	0.02 ± 0.00
สารมาตรฐาน	BHT	-	0.09 ± 0.00

สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันรำข้าวเพียงชนิดเดียวไม่มีการปนด้วยสารอื่น ทำให้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่า น้ำมันที่ปนด้วยสารอื่น เมื่อเปรียบเทียบค่า IC₅₀ ของ น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 1 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดกับสารมาตรฐาน ascorbic acid และ BHT พบว่า ค่า IC₅₀ ของน้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 1 คือ 7.32 ± 0.18 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่า ascorbic acid และ BHT แสดงให้เห็นว่าน้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 1 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้น้อยกว่า ascorbic acid ประมาณ 366 เท่า และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้น้อยกว่า BHT ประมาณ 81 เท่า (ค่า IC₅₀ น้อยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าค่ามาก) เนื่องจาก ปริมาณของสารแกมมาโอโรซานอลหรือสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ น้อยและประสิทธิภาพไม่ดีเท่าสารมาตรฐาน

Kasparaviciene และคณะ (2016) [6] ทดสอบ การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันด้วยวิธี DPPH พบว่า น้ำมันซีบัตอร์นและน้ำมันเมล็ดองุ่นที่ความเข้มข้น

10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า % antioxidant activity เท่ากับ 34 และ 24.5 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวที่ความเข้มข้น เดียวกัน พบว่าน้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 1 และ น้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคน้ำยี่ห้อที่ 2 มี %antioxidant activity เท่ากับ 71.58 และ 60.36 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1 เป็นไปได้ว่าน้ำมันรำข้าวมีฤทธิ์ การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าน้ำมันซีบัตอร์นและ น้ำมันเมล็ดองุ่น

จากการศึกษาผลของการทดสอบจุดหยด และจุดโค้งงอ พบว่าผลิตภัณฑ์ลิปสติกทั้ง 18 สูตร ได้เป็นไปตามเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม คือ ผ่านการทดสอบจุดโค้งงอไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และจุดหยดไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส

จากงานวิจัยของ Kasparaviciene และคณะ (2016) [5] ใช้น้ำมันและแว็กซ์เป็นส่วนผสมในการ ทำลิปสติก โดยใช้น้ำมัน 33.79 ถึง 70 % และแว็กซ์ 11.89 ถึง 33.11 % ผลการทดสอบเนื้อสัมผัส พบว่า ปริมาณน้ำมันและแว็กซ์มีผลต่อค่า hardness ถ้า เพิ่มน้ำมันจะทำให้ค่า hardness ลดน้อยลง แต่ถ้า เพิ่มแว็กซ์จะทำให้ค่า hardness เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของลิปสติกด้านจุดหยด จุดโค้งงอ และสี

ประเภท	สูตร	สี (%)	น้ำมัน (%)	โพรพอลีนไกลคอล (%)	แว็กซ์ (%)	ค่าการวิเคราะห์ทางกายภาพ					
						จุดหยด (°C)	จุดโค้งงอ	L*	a*	b*	Hue
1	1	3	65	15	17	61	ผ่าน	36.21±0.00 ^k	20.59±0.04 ^g	4.21±0.00 ^h	11.69
	2	3	70	10	17	62	ผ่าน	37.11±0.00 ^f	20.72±0.05 ^g	4.30±0.00 ^g	11.86
	3	3	75	5	17	61	ผ่าน	36.27±0.00 ^{jk}	21.09±0.20 ^f	4.41±0.01 ^f	11.99
2	4	3	65	15	17	62	ผ่าน	36.09±0.00 ^l	15.83±0.05 ^j	3.28±0.01 ^l	11.84
	5	3	70	10	17	62	ผ่าน	37.60±0.03 ^e	21.54±0.01 ^e	4.66±0.00 ^d	12.4
	6	3	75	5	17	62	ผ่าน	37.68±0.00 ^d	22.57±0.04 ^c	4.41±0.01 ^f	11.17
3	7	3	65	15	17	61	ผ่าน	33.34±0.00 ^o	14.52±0.09 ^k	1.92±0.00 ⁿ	7.53
	8	3	70	10	17	62	ผ่าน	35.12±0.07 ⁿ	26.36±0.04 ^a	6.33±0.00 ^a	13.73
	9	3	75	5	17	61	ผ่าน	36.45±0.00 ^j	21.06±0.11 ^f	3.79±0.01 ^j	10.25
4	10	3	65	15	17	60	ผ่าน	36.99±0.01 ^g	11.44±0.10 ^l	1.23±0.01 ^o	10.68
	11	3	70	10	17	61	ผ่าน	37.89±0.06 ^c	23.03±0.09 ^b	4.86±0.03 ^b	11.66
	12	3	75	5	17	61	ผ่าน	36.78±0.00 ^h	25.54±0.07 ^g	3.90±0.00 ⁱ	10.97
5	13	3	65	15	17	62	ผ่าน	35.94±0.00 ^m	15.70±0.04 ^j	2.73±0.01 ^m	9.93
	14	3	70	10	17	61	ผ่าน	38.31±0.00 ^a	22.30±0.02 ^b	4.74±0.01 ^c	11.79
	15	3	75	5	17	62	ผ่าน	37.57±0.00 ^e	20.13±0.01 ^h	3.82±0.01 ^j	10.84
6	16	3	65	15	17	61	ผ่าน	36.32±0.00 ^j	18.40±0.05 ⁱ	3.44±0.04 ^k	6.1
	17	3	70	10	17	62	ผ่าน	37.90±0.00 ^c	22.35±0.01 ^d	4.56±0.01 ^e	12.06
	18	3	75	5	17	62	ผ่าน	37.99±0.00 ^b	21.71±0.01 ^e	4.17±0.01 ^h	10.85

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของลิปสติกด้านเนื้อสัมผัสและความชื้น

ประเภท	สูตร	ความแข็ง (Hardness1) (N)	ความยืดหยุ่น (Springiness) (mm)	พื้นที่ (Area1) (Nmm)	ความชื้น (hydration moisture) (μS)
1	1	14.51±2.42 ^a	0.59±0.29 ^{bcd}	56.05±8.24 ^{def}	221.75±2.66 ⁱ
	2	26.05±8.78 ^a	0.67±0.04 ^{bcd}	74.17±7.46 ^{abc}	270.88±3.74 ^{de}
	3	19.38±1.72 ^a	0.44±0.23 ^{cd}	52.29±8.72 ^{ef}	291.00±5.28 ^{bc}
2	4	24.10±11.25 ^a	0.25±0.07 ^{cd}	50.11±7.23 ^{ef}	224.50±3.96 ⁱ
	5	16.64±3.93 ^a	0.54±0.33 ^{bcd}	43.70±5.51 ^f	249.00±5.78 ^{fg}
	6	14.13±1.43 ^a	0.64±0.39 ^{bcd}	52.99±5.01 ^{ef}	324.75±10.93 ^a
3	7	16.10±1.70 ^a	0.60±0.32 ^{bcd}	53.54±8.13 ^{def}	246.38±3.35 ^{fgh}
	8	12.78±0.81 ^a	0.95±0.06 ^{abcd}	52.73±1.62 ^{ef}	280.75±7.59 ^{cd}
	9	14.35±0.94 ^a	0.79±0.10 ^{abcd}	51.86±3.61 ^{ef}	302.25±12.22 ^b
4	10	19.53±3.14 ^a	0.16±0.08 ^d	62.12±4.38 ^{cdef}	234.25±6.18 ^{ghi}
	11	19.47±1.48 ^a	0.58±0.18 ^{bcd}	64.81±3.26 ^{bcde}	244.25±2.43 ^{fgh}
	12	21.39±1.80 ^a	0.72±0.25 ^{abcd}	76.50±4.86 ^{abc}	256.75±1.83 ^{ef}
5	13	20.95±1.15 ^a	0.77±0.20 ^{abcd}	91.84±5.50 ^a	236.13±9.58 ^{ghi}
	14	23.93±8.69 ^a	0.53±0.33 ^{bcd}	53.54±2.97 ^{def}	260.63±4.17 ^{ef}
	15	27.14±5.71 ^a	1.04±0.06 ^{abc}	82.17±4.25 ^{ab}	281.25±3.67 ^{cd}

ประเภท	สูตร	ความแข็ง (Hardness1) (N)	ความยืดหยุ่น (Springiness) (mm)	พื้นที่ (Area1) (Nmm)	ความชื้น (hydration moisture) (μS)
6	16	19.28±3.04 ^a	1.27±0.15 ^{ab}	71.21±5.20 ^{bcd}	191.38±4.61 ^j
	17	21.02±1.04 ^a	1.49±0.40 ^a	79.22±2.12 ^{abc}	227.75±2.79 ^{hi}
	18	19.09±0.72 ^a	0.72±0.20 ^{ab}	82.40±3.14 ^{ab}	291.23±4.41 ^{bc}

เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมัน จะทำให้ค่า hydration moisture สูงขึ้น ลิปสติกสูตรที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวจะทำให้มีความชุ่มชื้นมากกว่าสูตรที่ไม่มีน้ำมันมะพร้าว ซึ่งลิปสติกทั้ง 18 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3

ความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ลิปสติก ในด้านกลิ่น สี ความลื่น ความชุ่มชื้น เนื้อสัมผัส และความหนืดพบว่าอาสาสมัครมีความพึงพอใจโดยรวมในผลิตภัณฑ์ลิปสติกสูตรที่ 8 มากที่สุด เป็นจำนวน 8 คน จากอาสาสมัครทั้งหมด 20 คน คิดเป็นร้อยละ 40 ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันรำข้าวที่ใช้บริโภคยี่ห้อที่ 1 ผสมกับน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 ร้อยละ 70 โพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 10 สีสังเคราะห์ร้อยละ 3 และแวกซ์ต่างๆร้อยละ 17

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนสารเคมี และเครื่องมือในการทำวิจัย และขอบคุณที่มิจัย ได้แก่ นางสาวศิริณาด ผลิศร นางสาวสิริคณางค์ ลือนาม นางสาวสุตารัตน์ แยมพรหม

References

- [1] S.B. Chu, et al., "Factors affecting pre-concentration of tocopherols and tocotrienols from plam fatty acid distillate by lipase-catalysed hydrolysis," *Food Chemistry*, vol.79, pp. 55-59, 2002.
- [2] D. Ruen-Ngam et al., "Pretreatment to increase yield and antioxidant activity of γ -oryzanol in rice bran oil," *ScienceAsia*, vol.42, pp. 75-82, 2016.
- [3] T Amnuaikit, et al., "Development of lipsticks containing rice bran oil liposome" *Planta Medica*, pp. 74 - PD14, 2008.
- [4] S.Butsat and S. Siriamornpun "Antioxidant capacities and phenolic compounds of the huck, barn and endosperm of thai rice," *Food Chemistry*. Vol.119, pp. 606-613, 2010.
- [5] Sirinnat et al., "Applocation of rice bran oil for lipstic making" Special project Bachelor of Science King Mongkut's Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 2559.
- [6] G. Kasparaviciene et al., "Evaluation of beeswax influence on physical properties of lipstick using instrumental and sensory method," *Evidence-based complementary and alternative medicine*, pp. 1-8, 2016.

การเพิ่มค่าความร้อนของไบโอชาร์โดยการไพโรไลซิสฟางข้าว ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยต่าง

ปรารค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ญกร^{1*}, ภาณุวัฒน์ อู่สาร์ทเพียร¹, ยุทธนา ศรีมา²

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

²คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Email: prangtip.kae@rmutr.ac.th^{1*}

Received: August 8, 2020

Revised: September 28, 2020

Accepted: October 22, 2020

บทคัดย่อ

ฟางข้าวเป็นของเสียจากการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมากและมีศักยภาพในการผลิตไบโอชาร์โดยกระบวนการไพโรไลซิส การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางเคมีกายภาพของไบโอชาร์จากการไพโรไลซิสฟางข้าว ฟางข้าวผ่านการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 300-500 °C ในการปรับสภาพฟางข้าว จะทำการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1M และกวนผสมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลผลิตไบโอชาร์จากฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 68.41% โดยน้ำหนัก ได้จากการทดลองไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 300 °C ทำการวิเคราะห์แบบประมาณ ซึ่งประกอบด้วยความชื้น สารระเหย ปริมาณคาร์บอนและเถ้า ซึ่งมีค่า 0.85 24.68 60.2 และ 14.27 ตามลำดับ การศึกษาคุณสมบัติและหมู่ฟังก์ชันของไบโอชาร์วิเคราะห์โดยเครื่อง FTIR spectrophotometer พบหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์บริเวณเลขคลื่น 1100 cm⁻¹ และสารประเภท Aromatic เลขคลื่นตั้งแต่ 1600-1450 cm⁻¹ และเมื่อศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของในรูปของค่าความร้อนสูง ค่าความร้อนสูง (HHV) ของไบโอชาร์เพิ่มขึ้นจาก 12.16 MJ / kg เป็น 27.23 MJ / kg พบว่าไบโอชาร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีที่อุณหภูมิ 500 °C ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาของคาร์บอนในชั้นสูงกว่า ส่งผลให้ค่าคาร์บอนคงที่สูงขึ้นและปริมาณเถ้าลดลง เนื่องจากพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงแข็งถูกเก็บไว้ในรูปคาร์บอนคงที่และสารระเหย ดังนั้นวิธีนี้จึงเหมาะสมในการแปรสภาพฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิงแข็งทดแทน ทำให้สามารถลดของเสียจากฟางข้าวปริมาณมากและยังลดแก๊สเรือนกระจกจากการเผาฟางข้าวในที่โล่งได้

คำสำคัญ : ฟางข้าว, การปรับสภาพด้วยสารเคมี, ไบโอชาร์, ไพโรไลซิส

Increasing Heating value of Biochar using Pyrolysis of Alkaline Pretreated Rice Straw

Prangtip Rittichote Kaewpengkrow^{1*}, Parnuwat Usapein¹, Yutthana Sripha²

¹ Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture

Rajamangala University of Technology Suvornabhumi

Email: prangtip.kae@rmutr.ac.th^{1*}

Received: August 8, 2020

Revised: September 28, 2020

Accepted: October 22, 2020

Abstract

Rice straw is a potential agriculture waste to produce biochar by pyrolysis process. The objective of this study is to investigate the physicochemical and energy properties of biochar from pyrolyzed rice straw. The rice straw was pyrolyzed at 300- 500 °C. In the pretreatment of rice straw, it was pre-treated with 1M sodium hydroxide and stirring for 1h. The highest bio char yield of 68.41 wt.% was obtained by pretreated rice straw at pyrolysis temperature of 300 °C. The proximate analysis was investigated including the moisture, volatile, fix carbon and ash content which were 0.85, 24.68, 60.2 and 14.27, respectively. The functional groups of biochar were characterized using FTIR spectrophotometer. The energy content in term of high heating value of biochar and pretreated biochar was also investigated the fuel properties. The high heating value of the biochar increased from 12.16 MJ/kg to 27.23 MJ/kg in the pretreated biochar at 500 °C. The results suggested that the pretreated rice straw has a higher reaction of carbonization and decrease the ash content. The chemical energies of solid fuels are stored in fixed carbon and volatile matter. Consequently, this method can convert a great amount of rice straw waste to biofuel, it can also reduce amount of GHG from rice straw open burning.

Keywords : Rice straw, pretreatment, bio-char, pyrolysis

บทนำ

ข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลักในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้เหลือฟางข้าวจากการเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมากถึง 740.95 - 1,111.42 ตันต่อปี โดยปกติแล้วฟางข้าวจะถูกกำจัดโดยการเผาในบรรยากาศทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม กระบวนการไพโรไลซิสคือการสลายตัวทางเคมีความร้อนของสารอินทรีย์ภายใต้บรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน อุณหภูมิไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 300 ถึง 900 °C [1, 2] การไพโรไลซิสเป็นวิธีการที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตไบโอชาร์และน้ำมันชีวภาพจากฟางข้าว ไบโอชาร์คือผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งได้มาจากการไพโรไลซิส [3] ไบโอชาร์สามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินเพื่อใช้ในการเกษตร ชีวมวลเช่นเศษจากพืชและสัตว์ ชีวมวลประเภทไม้และขยะมูลฝอยสามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไบโอชาร์ได้ [4] [5-7] ไบโอชาร์ยังนำมาใช้เป็นในตู้ดูดซับ เนื่องจากสามารถผลิตโดยใช้วัตถุดิบตั้งต้นหลายประเภท ราคาถูก และมีสมบัติทางกายภาพทางเคมีที่ดี ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ผิว โครงสร้างที่มีรูพรุนขนาดเล็ก หมู่เร่งปฏิกิริยา และมี pH ที่สูง [3, 5] นอกจากนี้ไบโอชาร์สามารถนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นสารตั้งต้นในผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาในงานประเภททำความสะอาดแก๊สสังเคราะห์ ผลิตน้ำมันชีวภาพและน้ำมันดีเซลจากแก๊สสังเคราะห์ อีกทั้งไบโอชาร์ยังสามารถเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และเป็นส่วนผสมในการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน เพราะมีคุณสมบัติที่เป็นเชื้อเพลิงที่ดี ยกตัวอย่างเช่น มีความหนาแน่นทางพลังงานสูง และสามารถคายย่อยได้ดี [8]

โดยทั่วไปแล้วฟางข้าวประกอบไปด้วยสารประกอบคาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ดังนั้นฟางข้าวจำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารเคมี ความร้อน และสารเคมีร่วมกับความร้อนเพื่อทำลายโครงสร้างหรือ

สลายพันธะของสารประกอบลิกนิน [7] มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาว่าฟางข้าวจำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากฟางข้าวเป็นชีวมวลที่มีปริมาณโลหะกลุ่ม alkali สูงกว่าชนิดอื่น เมื่อนำไปแปรสภาพทางความร้อนจึงเป็นสาเหตุของการเกิดเถ้าสูงและทำให้ประสิทธิภาพในการสลายตัวทางความร้อนและเผาไหม้ลดลง [4, 9-12] Jindo และคณะ (2014) ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของไบโอชาร์จากชีวมวลหลายชนิด พบว่าอุณหภูมิไพโรไลซิส 400-800 °C ไบโอชาร์จากฟางข้าวมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 400 °C และมีองค์ประกอบของ SiO₂ ในโครงสร้างของไบโอชาร์ Guzmán และคณะ (2015) ได้ศึกษาองค์ประกอบของฟางข้าวที่ผ่านการสลายตัวทางความร้อนแบบเปิดและกลายเป็นเถ้า พบว่ามีโครงสร้างของ SiO₂, alkaline และ alkaline earth ปริมาณสูง ซึ่งสามารถนำไปเป็นวัสดุทดแทนกลุ่มเซรามิกส์ได้ Huang และคณะ (2017) ได้ทำการไพโรไลซิสตะกอนน้ำเสียร่วมกับฟางข้าวและซีลี้อยู่เพื่อผลิตไบโอชาร์ พบว่าการเติมชีวมวลลดปริมาณไบโอชาร์ และเมื่อนำไบโอชาร์ไปชะด้วยสารละลายกรด ปริมาณโลหะหนัก (Cu, Zn และ Ni) มีปริมาณลดลง [13] Rizwan และคณะ (2020) ปรับปรุงคุณภาพไบโอชาร์จากฟางข้าวเพื่อเป็นสารปรับปรุงดินโดยการปรับสภาพด้วยด่างและไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500 °C พบว่าพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจาก 12.26 เป็น 581.13 m²/g ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นการปรับปรุงดินหรือวัสดุดูดซับได้ [14] โดยปกติแล้วปริมาณ alkali metals ในฟางข้าวมีผลต่ออัตราปฏิกิริยา devolatilization และมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ของไบโอชาร์ การชะล้างอย่างง่ายด้วยสารละลายกรดหรือเบส ส่งผลทำให้ปริมาณเถ้าลดลงและเพิ่มค่าความร้อน (HHV) [4, 15] นอกจากนี้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ถูกใช้เป็นสารเคมีในกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้น

ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ด้วยต่าง[14] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอชาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสและปรับปรุงสภาพเบื้องต้นของฟางข้าว ยกตัวอย่างเช่นมวล ค่าพลังงาน และค่าความร้อน ทั้งนี้การนำฟางข้าวที่ผ่านการไพโรไลซิสเป็นไบโอชาร์สามารถนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในภาคอุตสาหกรรมได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอชาร์จากฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยสารเคมีผ่านกระบวนการไพโรไลซิส
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและความร้อนของฟางข้าวที่ปรับปรุงในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัตถุดิบ

ฟางข้าว (RS) ที่ใช้ในการทดลองได้จากทุ่งนาในจังหวัดนครปฐม ประเทศไทย ตัวอย่างก่อนทำการทดลองจะผ่านการตากให้แห้งและบดให้มีขนาดอนุภาค 1 ถึง 3 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำฟางข้าวที่ผ่านการบดและตากแห้งมาอบในตูบที่มีอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาเก็บในภาชนะปิดที่อุณหภูมิห้อง ฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการข้างต้นแล้วมาทำการชะล้างด้วยการปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ในสัดส่วน 2 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก (โซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ ฟางข้าว) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากผ่านกระบวนการข้างต้นแล้วจะได้ฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงเบื้องต้น (PRS) หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปอบในตูบด้วยอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

2. การทดลองไพโรไลซิส

อุณหภูมิที่ใช้กระบวนการไพโรไลซิสฟางข้าว (RS) และฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงเบื้องต้น (PRS) ได้แก่ 300 400 และ 500 °C การทดลองเริ่มจากการนำวัตถุดิบใส่ลงไปในถ้วยคลุชเชิล (crucible) และปิดฝาเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนก่อนนำเข้าสู่เตาเผาโดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 10 °C ต่อนาที เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดตัวอย่างจะถูกรักษาไว้ที่อุณหภูมิคงที่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาแล้ว ไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการข้างต้นแล้วจะถูกนำออกจะเตาเผา ถูกลดอุณหภูมิลงในตู้ดูดความชื้น ซึ่งน้ำหนักและเก็บในขวดพลาสติกสุญญากาศ โดยที่ผลผลิต (yield) ของไบโอชาร์จะคำนวณมาจากอัตราส่วนน้ำหนักของไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสต่อน้ำหนักของฟางข้าวดังแสดงในสมการที่ (1)

$$Y1(\%) = M1/M2 * 100 \quad (1)$$

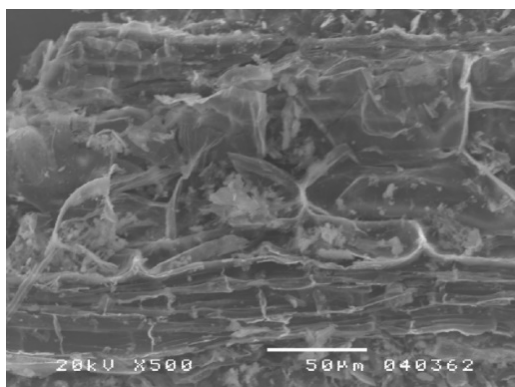
โดยที่ M1 คือ น้ำหนักของฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส; M2 คือ น้ำหนักของฟางข้าวก่อนผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

3. ลักษณะสมบัติของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์ปริมาณสารแบบประมาณ (proximate analysis) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM (ASTM) โดยที่การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ASTM E871) การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (ASTM E872) การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E872) และการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ASTM D1102/D3174 -04) ผลการวิเคราะห์ฟางข้าวพบว่ามีค่าความชื้น 8.7% สารระเหย 70.73% คาร์บอนคงตัว 7.49% และเถ้า 13.02% โดยน้ำหนัก และมีค่าความร้อน 12.16 MJ/kg วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในตัวอย่างฟางข้าวและไบโอชาร์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FTIR) โดยใช้เงื่อนไขในการวิเคราะห์

ดังนี้ การทดสอบใช้เครื่องมือยี่ห้อ Perkin Elmer Spectrum100 ในโหมด transmittance และสแกนในช่วงความถี่ 600-4000 cm^{-1} เพื่อตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

ขนาดรูปร่างอนุภาคของไบโอชาร์จะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในการศึกษาตั้งแต่แสดงในรูปที่ 1 จากการวิเคราะห์พื้นผิวของฟางข้าวพบว่ามีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุนที่สามารถประยุกต์ใช้กับงานดูดซับสารมลพิษ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Rizwan และคณะ (2020) [14] สำหรับขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวของฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงจะทำการศึกษาในงานวิจัยต่อไป



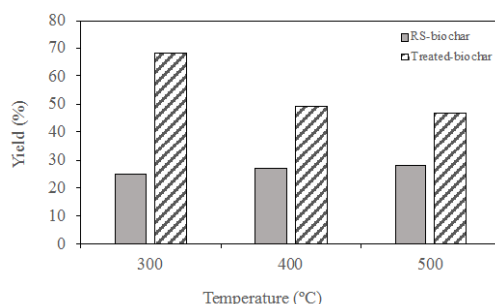
รูปที่ 1 SEM แสดงพื้นผิวของฟางข้าวที่มีขนาดอนุภาค 425 μm กำลังขยาย 500 เท่า

ผลการวิจัย

1. ผลผลิตไบโอชาร์

โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งของเหลวและแก๊สจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสและแก๊สซิฟิเคชันจะมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป [2, 16] ผลผลิตของไบโอชาร์ที่อุณหภูมิต่างๆแสดงรูปที่ 2 จากผลการทดลองพบว่าผลผลิตของไบโอชาร์จากการไพโรไลซิสฟางข้าวที่อุณหภูมิ 300 ถึง 500 $^{\circ}\text{C}$ มีค่าอยู่ในช่วง 22.79 -28.02% wt. โดยมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 500 $^{\circ}\text{C}$ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า

ช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 300 ถึง 500 $^{\circ}\text{C}$ ไม่มีผลต่อการลดลงของผลผลิตไบโอชาร์อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 2 ผลผลิตไบโอชาร์และไบโอชาร์ที่ปรับปรุงที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ในการปรับปรุงทางเคมีของฟางข้าวพบว่ามีปริมาณไบโอชาร์จากการไพโรไลซิส เพิ่มขึ้นถึง 46.88-68.42 %wt. และพบปริมาณไบโอชาร์ที่ปรับปรุงปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 300 $^{\circ}\text{C}$ ผลการปรับปรุงด้วยสารเคมีเพื่อชะลอการสลายตัวของฟางข้าวส่งผลให้คุณสมบัติของฟางข้าวดีขึ้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำทำให้ปริมาณไบโอชาร์ที่สูงกว่า ซึ่งสามารถนำไปใช้สำหรับการเผาไหม้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวดูดซับในภาคอุตสาหกรรมได้

2. คุณสมบัติของไบโอชาร์

ค่าการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารแบบประมาณ (proximate analysis) ของฟางข้าวและไบโอชาร์แสดงอยู่ในตารางที่ 1 และได้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM (ASTM) ตามที่ระบุไว้ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ASTM E871) วิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (ASTM E872) วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E872) และวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ASTM D1102) ปริมาณคาร์บอนคงตัวและปริมาณเถ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงของแข็ง ส่วนปริมาณสารระเหยเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกพลังงานในเชื้อเพลิงที่กลายเป็นแก๊ส นอกจากนี้ปริมาณ

คาร์บอนคงตัวและปริมาณเถ้าสามารถบ่งบอกถึงมูลค่าและสัดส่วนที่สามารถการเผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิง เมื่อทำการไพโรไลซิสฟางข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 300 ถึง 500 °C ปริมาณสารระเหยในไบโอชาร์มีค่าลดลงแต่ปริมาณเถ้ามีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงขึ้นปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในฟางข้าวเกิดการสลายตัวมากขึ้นโดยธรรมชาติแล้ว ไบโอชาร์ที่ได้มาจากการไพโรไลซิสฟางข้าวจะมีปริมาณคาร์บอนสูง [12] เนื่องจากไบโอชาร์มีคุณสมบัติสามารถเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพมีความหนาแน่นทางพลังงานสูง และสามารถบดอัดได้จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นการนำไบโอชาร์เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และเป็นส่วนผสมในการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหินหรือโรงไฟฟ้าชีวมวล [17]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของฟางข้าว ไบโอชาร์ และไบโอชาร์ที่ปรับปรุงสภาพ

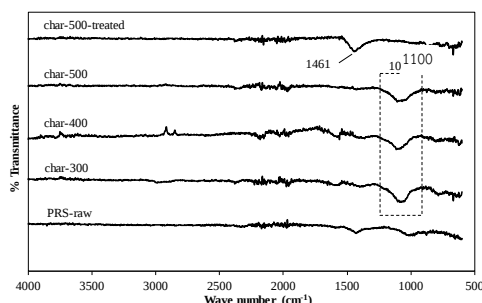
ไบโอชาร์จากฟางข้าว			
วิเคราะห์แบบ ประมาณ (%wt)	อุณหภูมิ (°C)		
	300	400	500
ความชื้น	3.43	0.72	0.19
สารระเหย	28.58	29.44	22.75
คาร์บอนคงตัว	43.57	52.31	55.85
เถ้า	24.41	17.52	21.19
ค่าความร้อน (KJ/kg)	19.67	22.95	23.13
ไบโอชาร์จากฟางข้าวที่ปรับปรุงสภาพ			
วิเคราะห์แบบ ประมาณ (%wt)	อุณหภูมิ (°C)		
	300	400	500
ความชื้น	0.85	0.68	0.24
สารระเหย	24.68	23.45	22.40
คาร์บอนคงตัว	60.2	62.39	67.25
เถ้า	14.27	13.48	10.11
ค่าความร้อน (KJ/kg)	25.02	25.23	27.19

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 ปริมาณสารระเหยที่อยู่ในไบโอชาร์ที่อยู่ในช่วง 19.67% ถึง 29.44% โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณสารระเหยสามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สในระหว่างกระบวนการไพโรไลซิสได้ และเมื่อเปรียบเทียบ

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไบโอชาร์ระหว่างไพโรไลซิสอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงพบว่า เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสต่ำพบว่ามีปริมาณไบโอชาร์ที่มากกว่าและพบปริมาณสารระเหยมากกว่าอุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงเล็กน้อยและมีปริมาณสารระเหยลดลงเมื่อนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงสภาพด้วยด่างมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางพลังงานระหว่างไบโอชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสฟางข้าว และไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากผลการทดลองค่าความร้อนของไบโอชาร์พบว่าไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงขึ้น ไบโอชาร์ที่ได้จะมีปริมาณค่าความร้อนที่สูงขึ้น จาก 12.16 MJ/kg เป็น 19.67-23.13 MJ/kg เมื่อเทียบกับวัตถุดิบฟางข้าวตั้งต้นที่ไม่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส นอกจากนี้ไบโอชาร์จากฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงสภาพเบื้องต้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้นเป็น 25.02-27.19 MJ/kg ซึ่งมีค่าสูงกว่าชีวมวลทั่วไปและชีวมวลอัดเม็ดที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งชีวมวลอัดเม็ดที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 4810-5500 Kcal/Kg หรือ 20.13-23.02 MJ/kg [18] ทั้งนี้จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ไบโอชาร์จากกระบวนการข้างต้นเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงได้จากผลการทดลองการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเครื่อง FTIR ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลการทดลองพบหมู่ฟังก์ชันหลักที่เลขคลื่นที่สูงกว่าและต่ำกว่า 1100 cm^{-1} ซึ่งหมู่ฟังก์ชันที่พบบริเวณเลขคลื่นสูงกว่า 1100 cm^{-1} จะแสดงเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ และหมู่ฟังก์ชันที่พบบริเวณเลขคลื่นต่ำกว่า 1100 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันของสารอนินทรีย์ ผลการทดลองของ Guzmán และคณะ (2015) พบว่าสารอนินทรีย์จะพบบริเวณเลขคลื่นที่ต่ำกว่า 1100 cm^{-1} [19] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่พบหมู่ฟังก์ชัน SiO_2 ที่บริเวณเลขคลื่นที่ต่ำกว่า 1100 cm^{-1} เมื่อไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะไม่ปรากฏหมู่ฟังก์ชันบริเวณเลข

คลื่นมากกว่า 1100 cm^{-1} หรือไม่พบสารประกอบประเภทสารอินทรีย์กลุ่มไฮโดรคาร์บอน แต่ยังพบสารอินทรีย์ประเภท Aromatic ได้บริเวณเลขคลื่นตั้งแต่ $1600\text{--}1450\text{ cm}^{-1}$ (bands at 1461 cm^{-1}) และพบการสั่นของหมู่ Carbonyl ที่เลขคลื่น 1644 cm^{-1} โดยที่สารประเภท Aromatic และ หมู่ carbonyl เป็นสารประเภทอินทรีย์สอดคล้องกับลักษณะองค์ประกอบของสารประกอบประเภท เซลลูโลส hemicellulose คาร์โบไฮเดรต และลิกนิน [19] โดยที่ฟางข้าวมีสารประเภทนี้เป็นองค์ประกอบหลักเช่นกัน

ไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นทางเคมีด้วยต่างเพื่อกำจัดโลหะอัลคาไลนออกพบหมู่ฟังก์ชันประเภท C-H มีปริมาณที่มากขึ้นเนื่องมาจากใช้สารละลายประเภทต่างในการปรับปรุงองค์ประกอบทางเคมี ในขณะที่เดียวกันพบหมู่ฟังก์ชันประเภท C=O มีปริมาณที่ลดน้อยลง หมู่ฟังก์ชันประเภท Aromatic มีปริมาณมากขึ้นเนื่องมาจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้สามารถสลายหมู่ฟังก์ชันประเภท C=O



รูปที่ 3 ผลวิเคราะห์ FTIR spectra ของไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสและการปรับสภาพ

จากงานวิจัยของ Guzmán รายงานว่าไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงกว่า $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะสามารถทำลายโครงสร้างของ hemicellulose cellulose และ lignin ได้ โดยสังเกตได้จากผลการทดสอบหมู่ฟังก์ชันอินทรีย์

ประเภท Aldehyde Carbonyl และ Aromatic ที่หายไปในช่วงอุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ผลิตไบโอชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสฟางข้าวที่อุณหภูมิ $300\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณไบโอชาร์ที่ได้อยู่ในช่วง 22.79 ถึง 28.02 % โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนของไบโอชาร์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟางข้าวมากกว่า 60% นอกจากนี้ปริมาณไบโอชาร์ที่ได้มาจากการผ่านกระบวนการปรับปรุงเบื้องต้นทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีปริมาณสูงขึ้นถึง 68.42 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ไบโอชาร์ที่ได้มีค่าคาร์บอนคงตัวที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณค่าความร้อนของไบโอชาร์มีค่าที่สูงขึ้นถึง 27.23 MJ/kg การปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเพิ่มปริมาณไบโอชาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณโลหะอัลคาไลนที่เป็นองค์ประกอบของเถ้าได้ พลังงานเคมีของเชื้อเพลิงแข็งถูกเก็บไว้ในรูปคาร์บอนคงที่และสารระเหย ดังนั้นไบโอชาร์ที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารเคมีต่างสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน และสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่อนุเคราะห์เครื่องบดชีวมวล

References

- [1] P. Basu, Biomass gasification and pyrolysis : practical design and theory. Burlington, MA: Academic Press, 2010, pp. ix, 365 p.

- [2] P. Kaewpengkrow, D. Atong, and V. Sricharoenchaikul, "Selective catalytic fast pyrolysis of *Jatropha curcas* residue with metal oxide impregnated activated carbon for upgrading bio-oil," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 29, pp. 18397-18409, Jul. 2017.
- [3] C. H. Chia, B. P. Singh, S. Joseph, E. R. Graber, and P. Munroe, "Characterization of an enriched biochar," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 108, pp. 26-34, Jul. 2014.
- [4] A. Abraham, A. K. Mathew, R. Sindhu, A. Pandey, and P. Binod, "Potential of rice straw for bio-refining: An overview," *Bioresource Technology*, vol. 215, pp. 29-36, Nov. 2016.
- [5] Z. Liu, B. Dugan, C. A. Masiello, and H. M. Gonnermann, "Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties," *PLOS ONE*, vol. 12, no. 6, p. e0179079, 2017.
- [6] J. Park, Y. Lee, C. Ryu, and Y.-K. Park, "Slow pyrolysis of rice straw: Analysis of products properties, carbon and energy yields," *Bioresource Technology*, vol. 155, pp. 63-70, Mar. 2014.
- [7] H. Liu, L. Zhang, Z. Han, B. Xie, and S. Wu, "The effects of leaching methods on the combustion characteristics of rice straw," *Biomass and Bioenergy*, vol. 49, pp. 22-27, Feb. 2013.
- [8] Y.-F. Huang, P.-T. Chiueh, W.-H. Kuan, and S.-L. Lo, "Microwave pyrolysis of rice straw: Products, mechanism, and kinetics," *Bioresource Technology*, vol. 142, pp. 620-624, Aug. 2013.
- [9] A. Aho, T. Salmi, and D. Y. Murzin, "Chapter 5 - Catalytic Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass A2 - Triantafyllidis, Kostas S," in *The Role of Catalysis for the Sustainable Production of Bio-fuels and Bio-chemicals*, A. A. Lappas and M. Stöcker, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 137-159.
- [10] G. Kabir and B. H. Hameed, "Recent progress on catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass to high-grade bio-oil and bio-chemicals," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 70, pp. 945-967, Apr. 2017.
- [11] A. Aho, T. Salmi, and D. Y. Murzin, "Chapter 5 - Catalytic Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass," in *The Role of Catalysis for the Sustainable Production of Bio-fuels and Bio-chemicals*, K. S. T. A. L. Stöcker, Ed. Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 137-159.
- [12] K. Jindo, H. Mizumoto, Y. Sawada, M. A. Sanchez-Monedero, and T. Sonoki, "Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues," *Biogeosciences*, vol. 11, no. 23, pp. 6613 - 6621, 2014.

- [13] H.-j. Huang, T. Yang, F.-y. Lai, and G.-q. Wu, "Co-pyrolysis of sewage sludge and sawdust/rice straw for the production of biochar," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 125, pp. 61-68, May. 2017.
- [14] M. Rizwan et al., "Synthesis, characterization and application of magnetic and acid modified biochars following alkaline pretreatment of rice and cotton straws," *Science of The Total Environment*, vol. 714, p. 136532, Apr. 2020.
- [15] R. Pode, "Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 1468-1485, Jan. 2016.
- [16] P. Kaewpengkrow, D. Atong, and V. Sricharoenchaikul, "Pyrolysis and gasification of landfilled plastic wastes with Ni–Mg– La/Al₂O₃ catalyst," *Environmental Technology*, vol. 33, no. 22, pp. 2489-2495, Nov. 2012.
- [17] Y.-F. Huang, C.-H. Shih, P.-T. Chiueh, and S.-L. Lo, "Microwave co-pyrolysis of sewage sludge and rice straw," *Energy*, vol. 87, pp. 638-644, Jan. 2015.
- [18] S. Park et al., "Characteristic Analysis of Torrefied Pellets: Determining Optimal Torrefaction Conditions for Agri-Byproduct," *Energies*, vol. 13, no. 2, 2020.
- [19] A. Guzmán aponte, S. Delvasto, and E. Sánchez V, "Valorization of rice straw waste: An alternative ceramic raw material," pp. 126-136, 2015

ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ พรหมพัคตร์ บุญรักษา^{1*}, ธีระพงษ์ บุญรักษา²

^{1*} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Email: promphak.dawan@gmail.com¹, terapong.boo@rmutr.ac.th²

Received: July 14, 2020

Revised: September 20, 2020

Accepted: October 8, 2020

บทคัดย่อ

พลังงานเป็นปัจจัยหลักในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจของหลายประเทศ อย่างไรก็ตาม พลังงานจากฟอสซิลเริ่มลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้น พลังงานทดแทนจึงเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลได้ โดยเฉพาะในระบบขนส่งที่ใช้พลังงานจำนวนมาก บทความนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ โดยทำการเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 80 วัตต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะมีประสิทธิภาพ 65.5% และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นมีประสิทธิภาพ 90.37% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนยานพาหนะนั้นทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและมีเงามาบังจึงทำให้ประสิทธิภาพลดลง อย่างไรก็ตาม การวางแผนการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนยานพาหนะไฟฟ้าจะต้องมีการวางแผนเป็นอย่างดีเพื่อให้มีพลังงานเพียงพอสำหรับการให้บริการ

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, ยานพาหนะ

The power production efficiency of solar panels installed on the vehicles

Promphak Boonraksa^{1*}, Terapong Boonraksa²

^{1*}Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University

²School of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Email: promphak.dawan@gmail.com^{1*}; terapong.boo@rmutr.ac.th²

Received: July 14, 2020

Revised: September 20, 2020

Accepted: October 8, 2020

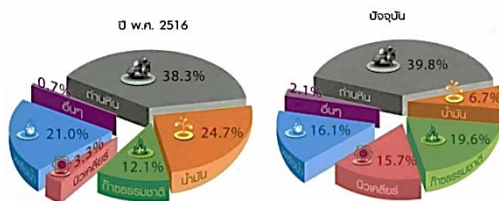
Abstract

The energy is a major factor in the economic development of many countries. However, the energy from fossils began to decline gradually. Therefore, renewable energy is an important part that can help reduce the use of fossil energy, especially in transportation systems that use a lot of energy. This article focuses on studying the power production efficiency of solar panels installed on the vehicles. The energy production of solar panels installed on vehicles was compared with the energy on solar panels installed on the ground with 80 W solar panels. The results show that the efficiency of solar panels installed on vehicles is 65.5% and the solar panels installed on the ground are more efficient at 90.37%. Indicating that the installation of solar panels on vehicles causes the efficiency of electricity production to decrease. The movement of vehicles and shadows is obscured; therefore, the efficiency of energy production was reduced. However, the planning for the installation of photovoltaic power generation systems on electric vehicles must be well planned in order to have sufficient energy for service.

Keywords : Power production efficiency, Solar panels, Vehicles

บทนำ

พลังงานทดแทนในปัจจุบันนั้นถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานจำพวกเชื้อเพลิงฟอสซิลและถ่านหินที่ใช้กันอยู่ เป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด และคาดว่าจะไม่ช้า เชื้อเพลิงเหล่านี้จะหมดไป ในเวลา 40 ปีที่ผ่านมา การผลิตไฟฟ้าด้วยน้ำมันและพลังน้ำ มีสัดส่วนลดลงตามลำดับเนื่องจากข้อจำกัดของแหล่งพลังงาน และราคาที่สูงขึ้น ดังนั้น พลังงานทดแทนที่มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ จึงเป็นแหล่งพลังงานที่มีสำคัญมากขึ้น เพื่อที่จะนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าแทนแหล่งพลังงานที่กำลังจะหมดไป [1] รูปที่ 1 แสดงสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าของโลก



รูปที่ 1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าของโลก [1]

พลังงานทดแทนที่น่าสนใจและเป็นที่ยอมรับผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย คือ พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเขตร้อนที่มีแสงแดดตลอดทั้งวันและมีค่าความเข้มแสงมากพอสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตลอดปี พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างไม่จำกัดเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่มีวันหมด และเทคโนโลยีที่ใช้แปลงแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าไม่ได้ก่อให้เกิดมลพิษ (คาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษทางอากาศอื่น ๆ) รวมทั้งการใช้งานพลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ดีขึ้น

การใช้อยานพาหนะไฟฟ้าแทนการใช้รถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงนั้นสามารถช่วยลดการใช้น้ำมันและลดมลภาวะทางอากาศได้ด้วย รวมถึงสามารถลดภาวะโลกร้อน ปัจจุบันรัฐบาลไทยเริ่มมีนโยบายสนับสนุนการใช้พลังงานสะอาดและการใช้อยานพาหนะไฟฟ้า โดยเฉพาะการขนส่งทุกวันนี้ใช้เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานหลัก โดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากทุกวันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการสร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การใช้อยานพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกที่ใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว [2] การใช้อยานพาหนะไฟฟ้า หรือรถที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 80% จึงทำให้เริ่มมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายต้นทุนของยานพาหนะไฟฟ้าเหล่านี้ก็ยังมีราคาที่สูงพอสมควร [3]

พลังงานแสงอาทิตย์ถูกใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าในหลายประเทศ นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานพาหนะไฟฟ้าและรถเมล์ไฟฟ้า ซึ่งสามารถใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อลดมลพิษทางอากาศได้เช่นกัน ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานหมุนเวียนจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์ ซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ และมีตัวติดตามกำลังไฟฟ้าที่นำมาใช้สำหรับการติดตามการใช้พลังงานสูงสุดและยังสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้า [4]

ปัจจุบันบริษัท โตโยต้า ได้มีการพัฒนายานพาหนะพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นใหม่และทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 34% สามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้งานได้ แม้ในขณะที่รถกำลังวิ่งและในแต่ละวันพลังงานแสงอาทิตย์สามารถ

ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สามารถทำให้รถวิ่งได้ที่ระยะทาง 44.5 กิโลเมตร

การพัฒนายานยนต์โดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีหลายบริษัทให้ความสนใจ เพื่อออกแบบให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด [5] การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ไฮบริดมีต้นทุนที่ลดลงและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ความเป็นไปได้ในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับรถยนต์ยังอยู่ในขั้นตอนการทดลองจึงมีการนำเสนอเกี่ยวกับมุมมองโอกาสและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับรถยนต์ [6] การศึกษาเกี่ยวกับการจัดการการไหลของพลังงานไฟฟ้าในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริดที่มีโครงสร้างแบบอนุกรม โดยมีแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งมีส่วนช่วยสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ในระหว่างการจอดรถและเมื่อรถวิ่ง และยังมีการพิจารณาถึงผลกระทบด้านความร้อนที่เกิดขึ้นต่อเครื่องยนต์ รวมถึงการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [7]

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูงสุด 60 km/hr. โดยใช้พื้นที่เส้นทางการศึกษาบริเวณถนนเลียบริมคลองหวิวัฒนา และถนนพุทธมณฑล สาย 4 ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น โดยใช้พื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี เป็นพื้นที่กรณีศึกษา และทำการเก็บข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะที่

ขับเคลื่อน โดยใช้พื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี เป็นพื้นที่กรณีศึกษาและทำการเก็บข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

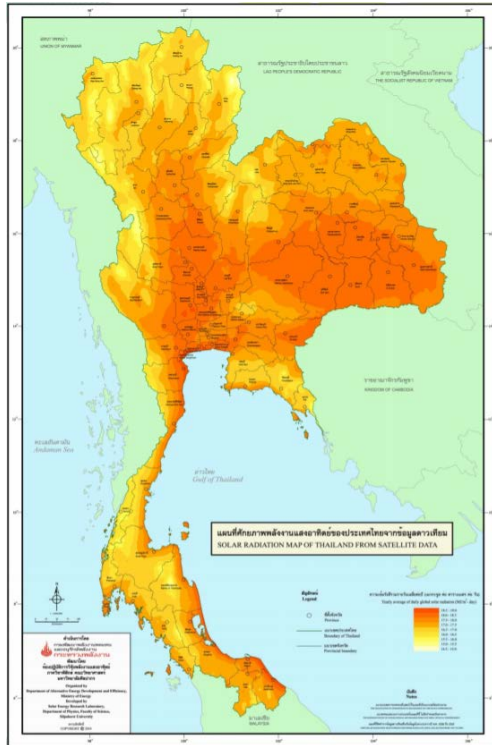
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นและเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ
3. เพื่อวิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ

แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรม

1. พลังงานแสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ โดยไม่มีค่าใช้จ่าย และมีการนำมาใช้ประโยชน์มาแต่สมัยโบราณ เช่น การตาก หรืออบ สีน้าเกษตร การทำให้น้ำอุ่น เป็นต้น หลังจากนั้น ได้มีการพยายามนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า แสงอาทิตย์ตกกระทบลงพื้นผิวโลก เฉลี่ยประมาณ 4-5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อตารางเมตร ต่อวัน ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานร้อยละ 15 ซึ่งแสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตารางเมตร สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 650 – 750 วัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ประเทศไทยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าประมาณ 250 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน พื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 0.3 ของพื้นที่ในประเทศไทย สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ รูปที่ 2 แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียมปี 2561 [8-9]



รูปที่ 2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียมปี 2561 [8]

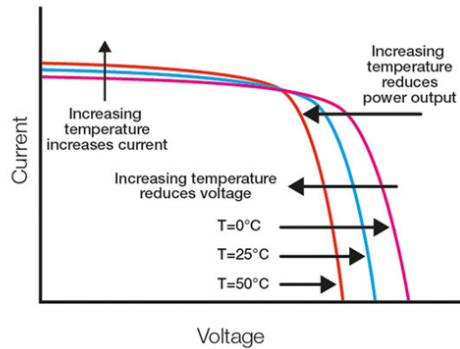
2. เซลล์แสงอาทิตย์

2.1 พฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ จะประกอบไปด้วย

2.1.1 ความเข้มของแสง (Solar irradiance)

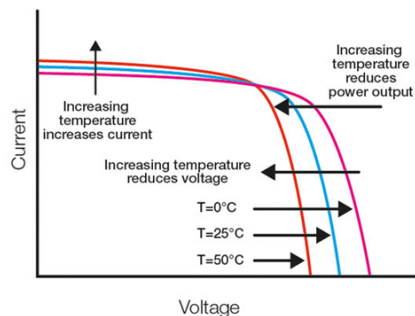
กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความสัมพันธ์กระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [10]

2.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (Volt) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงและประสิทธิภาพก็ลดลงด้วย [11] รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [10]

2.2 สมการหาประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นก็มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิจะแปรผกผันกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง [12]

สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็คือ การกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่จะต้องทำการตรวจวัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ตามมาตรฐาน IEC 61724 เป็นมาตรฐานที่อธิบายถึงวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักของการวิเคราะห์สมรรถนะก็คือ การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่สนใจกับระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์อื่น ๆ ที่มีรายงานการติดตั้งและทดสอบเพื่อพิจารณาว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ดังกล่าวมีสมรรถนะอยู่ในระดับใด และตัวแปรที่แสดงถึงลักษณะเฉพาะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ในด้านพลังงาน เช่น ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์แนวราบ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากระบบโซลาร์เซลล์ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุระบบแบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้าที่เข้าและออกจากระบบ ฯลฯ เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะโดยรวมของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่ได้รับการติดตั้งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบอิสระ (Stand-Alone) และระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (Utility Grid-Connected) โดยสามารถแบ่งหัวข้อที่สำคัญได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ ตัวแปรจากการตรวจวัด และ ตัวแปรจากการคำนวณ

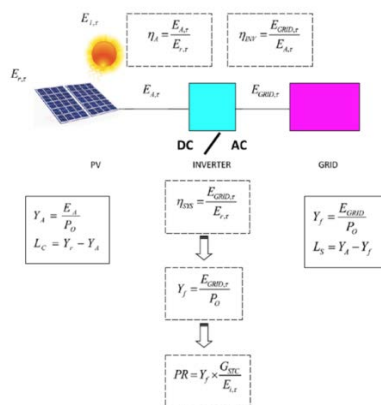
2.2.1 ตัวแปรจากการตรวจวัด

สิ่งสำคัญอันดับแรกสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ก็คือ

การกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่จะต้องทำการตรวจวัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ ซึ่งในมาตรฐาน IEC 61724 ได้กำหนดตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดจากระบบขึ้นมา 6 กลุ่มหลัก ประกอบด้วย ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) ตัวแปรที่เกี่ยวกับแผงโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic array) ตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบเก็บสะสมพลังงาน (Energy storage) ตัวแปรที่เกี่ยวกับภาระทางไฟฟ้า (Load) ตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Utility Grid) และ ตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบผลิตพลังงานสำรอง (Back-up sources)

2.2.2 ตัวแปรจากการคำนวณ

ตัวแปรจากการคำนวณ เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหลักสมดุลพลังงานและสมรรถนะของระบบซึ่งเกิดจากการนำตัวแปรที่ได้จากการตรวจวัดจริงในขั้นต้นมาทำการคำนวณตามวิธีการทางคณิตศาสตร์เช่น การหาผลรวม, การหาค่าเฉลี่ย, การหาค่ามากที่สุด, การหาค่าน้อยสุด และการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลา เป็นต้น โดยสามารถแบ่งตัวแปรที่ได้จากการคำนวณออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ตัวแปรที่เกี่ยวกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบ ตัวแปรที่เกี่ยวกับสมรรถนะของอุปกรณ์ในระบบ และตัวแปรที่บ่งชี้สมรรถนะของระบบ [10,12]



รูปที่ 5 แผนภาพวิธีการการประเมินประสิทธิภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์ [10]

โดยมีรายละเอียดการวิธีการคำนวณดังนี้
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ต่อกำลังติดตั้ง $Y_{A,\tau} = kWh / kWp$

$$Y_{A,\tau} = \frac{E_{A,\tau}}{P_o} \quad (1)$$

P_o = กำลังงานไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผง
เซลล์แสงอาทิตย์ (kWp)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์
ทางทฤษฎี $Y_{r,\tau} = kWh / kWp$

$$Y_{r,\tau} = \frac{E_{i,\tau}}{G_{STC}} \quad (2)$$

G_{STC} = ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่
สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ (STC
 $= 1 \text{ kW/m}^2$)

พลังงานไฟฟ้าใช้จริงที่ผลิตจากแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ ($Y_{f,\tau}, kWh / kWp$)

$$Y_{f,\tau} = \frac{E_{GRID,\tau}}{P_o} \quad (3)$$

พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
($L_C, kWh / kWp$)

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (4)$$

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์
($\eta_{A,\tau}, \%$)

$$\eta_{A,\tau} = \frac{E_{A,\tau}}{E_{r,\tau}} \times 100 \quad (5)$$

3. การกักเก็บพลังงานและแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เก็บสำรอง
พลังงานไฟฟ้า นิยมใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน
แสงอาทิตย์แบบอิสระ และเริ่มถูกนำมาใช้การผลิต
ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรณ
จำหน่ายสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน
ใน พ.ศ. 2560 โดยจะช่วยเก็บสำรองพลังงานไฟฟ้า
ที่ผลิตได้และจ่ายไฟฟ้าเมื่อต้องการเพื่อสร้างความ

เชื่อถือ และความมั่นคงในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน
ทดแทน โดยทั่วไปแบตเตอรี่ส่วนใหญ่เป็นแบตเตอรี่
ตะกั่ว-กรด การออกแบบของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีแผ่น
ตะกั่วที่มีลักษณะเฉพาะและมีน้ำหนักมาก ตารางที่
1 แสดงตัวอย่างรายการแบตเตอรี่สำหรับการผลิต
ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานทดแทนที่
ผลิตในประเทศไทย [13]

ตารางที่ 1 รายการแบตเตอรี่ตะกั่วกรดสำหรับผลิต
ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานทดแทน

ลำดับ	โรงงานผลิตในประเทศไทย	ประเทศ ผู้ผลิต	เครื่องหมาย ทางการค้า
1	บริษัท ดิรูธโซติ จำกัด	ไทย	APPLEGREEN
2	บริษัท สยามแบตเตอรี่อินดัสทรี จำกัด	ไทย	BOLIDEN, TRANE SMF, CROWN, VICTORITE
3	บริษัท สยามฟูรูกาวา แบตเตอรี่	ญี่ปุ่น	FB
4	บริษัท สยามจีเอสแบตเตอรี่ จำกัด	ญี่ปุ่น	GS
5	บริษัท ไทยสโตนเรจ จำกัด (มหาชน)	ไทย	3K
6	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็น วี แบตเตอรี่	ไทย	N.V. BATTERY
7	บริษัท ยัวซ่าแบตเตอรี่ ประเทศ ไทย จำกัด	ญี่ปุ่น	YUASA, THUNDERLITE, YUCON

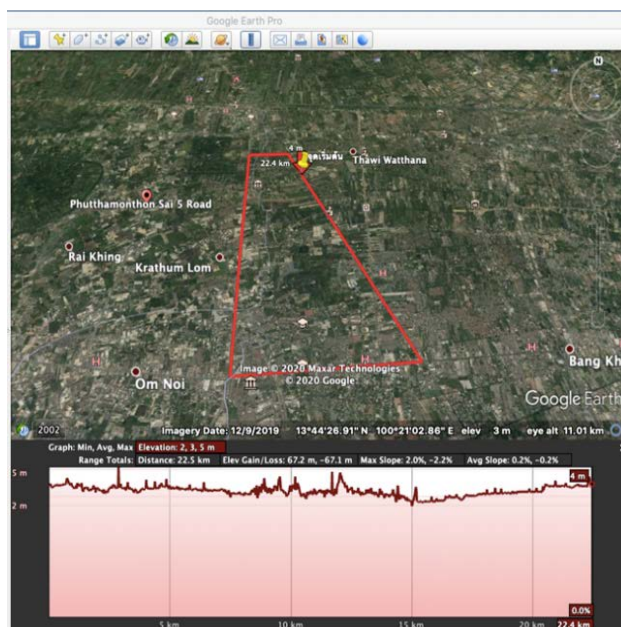
ระเบียบวิธีวิจัย

1. พื้นที่และเส้นทางกรณีศึกษา

พื้นที่กรณีศึกษาจะใช้พื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัย
กรุงเทพมหานคร สำหรับการตรวจวัดผลพลังงานไฟฟ้า
ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น รูปที่
6 แสดงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-Crystalline
ขนาด 80 วัตต์ที่ใช้ในการผลิตพลังงานให้ยานพาหนะ
สำหรับเส้นทางกรณีศึกษาจะใช้เส้นทางบริเวณถนน
พุทธมณฑลสาย 4 และถนนคลองทวีวัฒนา ซึ่งเป็น
ระยะทาง 22.5 กิโลเมตร รูปที่ 7 แสดงแผนที่เส้นทาง
กรณีศึกษา โดยใช้โปรแกรม Google Earth ซึ่งสามารถ
แสดงระยะทางและความชันของเส้นทาง



รูปที่ 6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-Crystalline ขนาด 80 วัตต์



รูปที่ 7 แผนที่เส้นทางการขับเคลื่อนกรณีศึกษา

2. การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น

การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด

กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ และใช้ชุดควบคุมพลังงานไฟฟ้าและบันทึกข้อมูลพลังงานไฟฟ้า โดยจะทำการบรรทุกข้อมูลตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น. ทำการบันทึกข้อมูล 5 วัน วันที่ 26 -30 พฤษภาคม

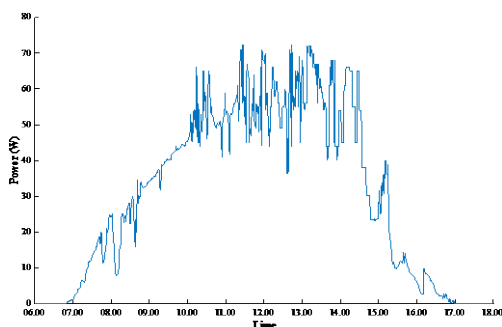
2563 และนำข้อมูลกำลังไฟฟ้าทั้ง 5 วัน มาหาค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

3. การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะจะทำการศึกษาโดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนรถกระบะและให้รถวิ่งไปตามเส้นทางกรณีศึกษา โดยแบ่งช่วงการบันทึกข้อมูลออกเป็น 5 ช่วง ได้แก่ เวลา 08.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ทำการทดสอบ 5 วัน และนำข้อมูลกำลังไฟฟ้าทั้ง 5 วัน มาหาค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา

ผลการวิจัย

หลังจากทำการทดลองและบันทึกข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นแสดงให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 72.3 วัตต์ ในช่วงเวลา 12.52 น. และพลังงานไฟฟ้ารวมต่อวัน 366.91 วัตต์-ชั่วโมง ตารางที่ 2 แสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น รูปที่ 8 แสดงรูปแบบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น

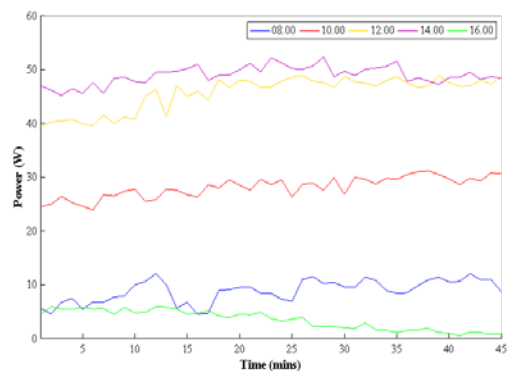


รูปที่ 8 รูปแบบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น

ตารางที่ 2 การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น

ช่วงเวลา	กำลังไฟฟ้าสูงสุด	พลังงานไฟฟ้า
12.52 น.	72.3 W	366.91 Wh

การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ ซึ่งมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา 14.00 น. ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด 52.4 วัตต์ และมีการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมต่อวัน 37.54 วัตต์-ชั่วโมง ตารางที่ 3 แสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ และรูปที่ 9 แสดงรูปแบบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ

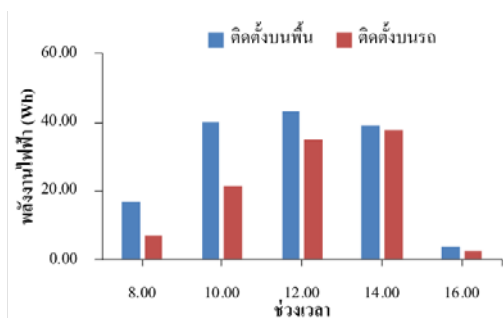


รูปที่ 9 รูปแบบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ

ตารางที่ 3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ

ช่วงเวลา	กำลังไฟฟ้าสูงสุด	กำลังไฟฟ้าต่ำสุด	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	พลังงานไฟฟ้า
08.00 น.	12.1 W	4.5 W	8.85 W	6.79 Wh
10.00 น.	31.8 W	23.9 W	28.20 W	21.62 Wh
12.00 น.	48.9 W	39.4 W	45.72 W	35.05 Wh
14.00 น.	52.4 W	45.2 W	48.96 W	37.54 Wh
16.00 น.	5.90 W	0.52 W	3.44 W	2.61 Wh

การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้จะทำการเปรียบเทียบเฉพาะช่วงที่ทำการบันทึกข้อมูลในส่วนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ ดังนั้น การเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ในรูปที่ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างของประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นการการติดตั้งบนยานพาหนะ คือ 40.06% 53.76% 81.35 % 96.23% และ 72.74% ตามช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนยานพาหนะมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการติดตั้งบนพื้น ซึ่งมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์พลังงานมากในช่วงเวลา 08.00 น. ที่ประสิทธิภาพเพียง 40.06% ซึ่งหากนำกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ในช่วงเวลาเดียวกันมาวิเคราะห์จะได้ประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งบนพื้น 90.37% และประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งบนยานพาหนะ 65.5% เมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สรุปและอภิปรายผล

บทความนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ โดยทำการเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนยานพาหนะนั้นทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้น การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์กับยานพาหนะไฟฟ้าจึงต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ อย่างรอบคอบ รวมถึงศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าบนยานพาหนะไฟฟ้าที่วิ่งไปตามเส้นทาง เช่น เงามจากต้นไม้หรือตึกสูงที่มาบดบังแสงอาทิตย์ ช่วงเวลาที่ใช้งาน และมุมที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนยานพาหนะไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม อาจจะมีการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับการใช้งานกับยานพาหนะไฟฟ้าในอนาคตและมีราคาที่ถูกลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษางานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรีที่ช่วยสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้

References

- [1] Ministry of Energy, *Renewable and Alternative Energy Development Plan 2015 – 2036*, Bangkok: Ministry of Energy, 2015.

- [2] Terapong Boonraksa, Promphak Dawan, and Boonruang Marungsri, “Electric Bus Energy Requirements for the Stand-alone Fast Charging Station Combined with a PV Power Generation and Battery Energy Storage System,” *15th Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT), Nakhon Ratchasima, Thailand, 21-24 May, 2019*. pp. 648-655.
- [3] Nuttapol Chartsuk, Terapong Boonraksa and Boonruang Marungsri, “Comparison of the Charging Behavior of Electric Vehicles with Normal and Fast Charging,” In, *Asian Conference on Engineering and Natural Sciences, Hokkaido, Japan, 22-24 January, 2019*.
- [4] Terapong Boonraksa, Promphak Boonraksa, Nitikon Junhuathon, and Boonruang Marungsri, “Feasibility of On-Board Photovoltaics on Plug-in Electric Public Transportation Buses,” *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 29, No. 6s, pp. 627-636, 2020
- [5] Samet Bakirci, Adem Caliskan and H. S. Soyhan, USING SOLAR ENERGY IN PASSENGER CARS, *Conference: 10. Int. Congress Machines Technologies Materials conference*. Vol.12/2013, pp. 67-68.
- [6] Gianfranco Rizzo, Ivan Arsie, Marco Sorrentino, Solar energy for cars: *perspectives, opportunities and problems*. GTAA Meeting, Mulhouse, 26-27 May, 2010.
- [7] Ivan Arsie, Raffaele Di Martino, Gianfranco Rizzo, Marco Sorrentino, “Energy Management for a Hybrid Solar Vehicle with Series Structure”. *IFAC Proceedings*, Vol. 41, No.2, 2008, pp. 3362-3367.
- [8] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, “*Thailand Alternative Energy Situation 2018*,” Vol. 16 (No.16), Page 27. Bangkok: Ministry of Energy.
- [9] Serm Janjai. *Solar Radiation*. (2). Nakhon Pathom: Petchkasem Printing Group Company Limited, 2017.
- [10] Promphak Boonraksa, “*The Power Output Forecasting on Photovoltaic Systems using the Particle Swarm Optimization - Artificial Neural Network Method*,” A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Engineering in Electrical Engineering Faculty of Engineering, King Mongkut’s institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 2019.
- [11] Poom Konghuayrob, “*A study on multiplestep size incremental conductance technique and fuzzy logic control for MPPT in flyback PV inverter*,” Thesis Master of Engineering in Engineering. King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 2013.

- [12] Promphak Dawan, Kamonwan Buawichian, Pomphimon Thiamphan, Kaweepoj Woranet Sutthikun and Terapong Boonraksa, "Comparison the Power output of 80 W Monocrystalline Silicon Solar Cell installed on land and installed on the Floating photovoltaic," *15th Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT 2019, Greenery Resort Khao Yai, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2019*, pp. 157-161.
- [13] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, *Status report of electricity production from solar energy of Thailand 2016-2017* (Vol. 1), Bangkok: Ministry of Energy, 2016.

สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการ ตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จ เป็นตัวดูดกลืนรังสี

วิทยา พวงสมบัติ^{1*}, ดิษฐา นนธิวรวงศ์¹, จิระศักดิ์ พุกคำ²

¹ถนนพหลโยธิน ตำบลโกสัมพีน อำเภอโกสัมพีนคร จังหวัดกำแพงเพชร

²สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนสินทร์

Email: w.puangsombut@hotmail.com^{1*}

Received: September 15, 2020

Revised: November 20, 2020

Accepted: November 30, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ ประกอบด้วยแผ่นปิดกระจก ตัวดูดกลืนรังสีที่ทำจากยางมะตอยผสมสำเร็จ ถังสะสมความร้อนและฉนวนกันความร้อน ถังสะสมบรรจุน้ำ 100 L และมีพื้นที่ดูดกลืนรังสี 1 m² ข้อมูลที่ได้จากการวัดแสดงอุณหภูมิสูงสุดของยางมะตอยผสมสำเร็จและอุณหภูมิสูงสุดของน้ำในถังสะสมความร้อนอยู่ที่ 67°C และ 63°C ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรายชั่วโมงมีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ 62% และ 20% ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 43.5% จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ายางมะตอยผสมสำเร็จมีประสิทธิภาพในการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ

คำสำคัญ : เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกัน, ยางมะตอยผสมสำเร็จ, ถังสะสม, ตัวดูดกลืนรังสี, สมรรถนะเชิงความร้อน, ประสิทธิภาพ

Thermal performance of integrated collector storage solar water heater with mixed asphalt absorber plate

Withaya Puangsombut^{1*}, Dittha Nonthiworawong¹, Jirasak Pukdum²

^{1*} Phaholyothin Rd, Kosamphi, Kosamphi Nakhon, Kamphaengphet

² Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design, Rajamanglar University of Technology

Email : w.puangsombut@hotmail.com^{1*}

Received: September 15, 2020

Revised: November 20, 2020

Accepted: November 30, 2020

Abstract

This paper presents an integrated collector storage solar water heater with a mixed asphalt absorber plate. It consists of a clear glass cover, an absorber plate made from mixed asphalt, storage tank and insulations. The storage tank contains 100 L of water and 1 m² of absorbed area. The measured data showed the maximum mixed asphalt temperature and maximum water temperature in the storage tank are 67°C and 63°C, respectively. The maximum and minimum hourly efficiencies are 62% and 20%, respectively. Additionally, the mean daily efficiency is 43.5%. The result showed that the mixed asphalt absorber plate is effective to provide thermal performance of integrated collector storage solar water heater with mixed asphalt absorber plate.

Keywords : Integrated collector storage solar water heater, Mixed asphalt, Storage tank, Absorber plate, Thermal performance, Efficiency

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกทวีปทั่วโลกเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดและสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า [1] และพลังงานความร้อน [2] ในบางกรณีสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน [3] และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่บนแนวเส้นศูนย์สูตรมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวันประมาณ 17 MJ/m²-day [4] มีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ได้

อุปกรณ์สำหรับผลิตน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือ “เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์” เป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ทั่วไปจะเป็นเครื่องทำน้ำร้อนฯ ที่มีตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ [5] เหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมาก คือ ประมาณ 50-60°C หรือประมาณ 80-90°C ในกรณีตัวดูดรังสีเป็นแบบผิวเลือกรังสีและมีแผ่นปิดด้านบนมากกว่าหนึ่งชั้นในปี พ.ศ. 2556 [6] ได้นำ “ยางมะตอยสำเร็จรูป” ผลิตเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งเป็นวัสดุที่ขึ้นรูปง่าย ราคาถูก หาซื้อง่ายและสะสมความร้อนได้ดี ต่อมาในปี พ.ศ. 2558 [7] ได้เสนอ “เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนใต้กระเบื้องมุงหลังคา” ใช้หลักการการแผ่รังสีความร้อนจากใต้ท้องกระเบื้องมุงหลังคาแผ่รังสีความร้อนให้กับแผงท่อน้ำที่ติดตั้งอยู่ใต้แป ของโครงสร้างหลังคาบ้าน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนใต้กระเบื้องมุงหลังคา สามารถลดความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากใต้ท้องกระเบื้องผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านได้ในช่วง 5-40 W/m² และลดอุณหภูมิในห้องพักอาศัยเฉลี่ย 5°C อีกทั้งยังสามารถผลิตน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ภายในครัวเรือนได้ หลังจากนั้นในปี 2019

[8] และ 2020 [9] ได้ศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แบบใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสีและการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ โดยติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ยางมะตอยสำเร็จรูปเป็นตัวรับรังสีที่มีขนาด 0.5×1.0 m² บนหลังคาบ้านทดสอบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ยางมะตอยสำเร็จรูปมีสมรรถนะเชิงความร้อนสูง อีกทั้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้โดยการติดตั้งบนหลังคาบ้านเพื่อผลิตน้ำร้อนและลดการถ่ายเทความร้อนผ่านเข้าสู่ตัวบ้านได้ประมาณ 5-12 W/m² และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.5 ปี

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมเอาตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนรวมเข้าด้วยกัน [10] เป็นเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอุปกรณ์น้อยและลดการสูญเสียความร้อนที่ท่อทางเดินของน้ำร้อนระหว่างตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อน และพื้นผิวดูดกลืนรังสีเป็นส่วนที่สำคัญในการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ ในปี ค.ศ. 2010 [11] ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้ผิวดูดกลืนรังสีแบบลอนที่ ทำจากแผ่นเหล็ก เปรียบเทียบกับแผ่นดูดกลืนรังสีแบบแผ่นเรียบที่ทำจากแผ่นเหล็ก โดยสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะไม่คงตัวเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากการศึกษาแบบจำลองทำให้ทราบว่าเครื่องทำน้ำร้อนแบบใช้แผ่นดูดกลืนแบบลอนสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังสะสมความร้อนได้ดีกว่าแผ่นดูดกลืนรังสีแบบแผ่นเรียบ หลังจากนั้น ในปี 2019 [12] ได้ทดลองศึกษาการใช้แผ่นดูดกลืนแบบลอนกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกัน จากการศึกษาแสดงให้เห็น

เห็นว่าแผ่นดูดกลืนรังสีแบบลอนทำให้น้ำในถังสะสมความร้อนมีอุณหภูมิในช่วง $58-78^{\circ}\text{C}$ และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในช่วง $59-67\%$

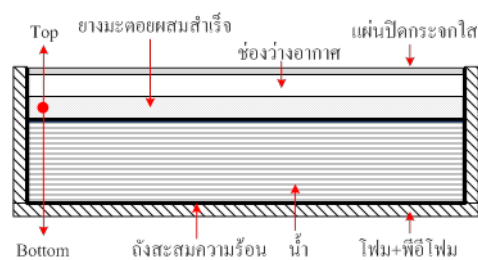
บทความนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองใช้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นตัวดูดกลืนรังสีของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี โดยการทดลองจะไม่มีมีการนำพลังงานความร้อนที่สะสมภายในถังสะสมความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ ไปใช้งานตลอดช่วงการทดลอง



(a) เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย
เพื่อศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทฤษฎี
เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี ที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 1 (a) และ (b)



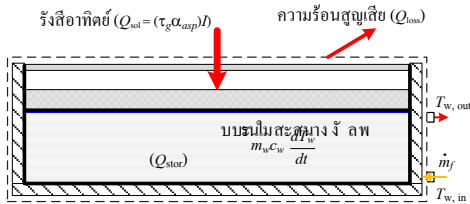
(b) ภาพตัดขวางแสดงส่วนประกอบ

รูปที่ 1 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี

ซึ่งออกแบบและสร้างโดย “สุดกำแพง” และดำเนินการทดสอบภายใต้การทำงานร่วมกันระหว่าง “สุดกำแพง” และ “สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร” คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ในรูปที่ 1 (b) แสดงส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ฯ ซึ่งประกอบด้วยแผ่นปิดกระจกใสหนา 0.004 m ช่องว่างอากาศขนาด 0.05 m ยางมะตอยผสมสำเร็จหนา 0.03 m ทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนรังสี ถังสะสมความร้อนทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 0.0012 m พับขึ้นรูปมีปริมาตรบรรจุ $1.0 \times 1.0 \times 0.1\text{ m}^3$ (น้ำ 100 L หรือ 100 kg เมื่อความหนาแน่นของน้ำ 1000 kg/m^3 , [5]) มีช่องสำหรับ

น้ำป้อนและช่องสำหรับนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ ฉนวนกันความร้อนประกอบด้วยโฟมหนา 0.0762 m และพีอีโฟมเคลือบแผ่นสะท้อนความร้อนด้านเดียวหนา 0.01 m

สมดุลพลังงานที่เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี ในรูปที่ 2 และจากสมการอนุรักษ์พลังงาน จะได้



รูปที่ 2 สมดุลพลังงานเครื่องทำน้ำร้อนฯ

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{cv}}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ

$$\dot{E}_{in} = (\tau_g \alpha_{asp}) I A_p \quad (1.1)$$

$$\dot{E}_{out} = \dot{Q}_{useful} + \dot{Q}_{loss} \quad (1.2)$$

เมื่อ $\dot{Q}_{useful} = \dot{m}_f c_w (T_{w,out} - T_{w,in})$

$$\dot{Q}_{loss} = U_L A_p (T_{asp} - T_a)$$

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = m_w c_w \frac{dT_w}{dt} \quad (1.3)$$

โดยการทดลองนี้จะไม่นำพลังงานความร้อนที่สะสมภายในถังสะสมความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ ไปใช้ประโยชน์ $\dot{Q}_{useful} = 0$ แทนค่าในสมการ (1) และจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$m_w c_w \frac{dT_w}{dt} = (\tau_g \alpha_{asp}) I A_p - U_L A_p (T_{asp} - T_a) \quad (2)$$

เมื่อ

$m_w c_w \frac{dT_w}{dt}$ คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระบบหรือพลังงานความร้อนที่สะสมภายในระบบ (W)

$(\tau_g \alpha_{asp}) I A_p$ คือพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยตัวดูดกลืนรังสี (W)

$U_L A_p (T_{asp} - T_a)$ คือพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากระบบ (W)

โดยที่

m_w คือ มวลของน้ำในถังสะสมความร้อน (kg)

c_w คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.19 kJ/kg. °C) [5]

T_{asp} คือ อุณหภูมิผิวแผงมอดอยผสมสำเร็จ (°C)

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)

τ_g คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านกระจก

α_{asp} คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแผงมอดอยผสมสำเร็จ

I คือ รังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ (W/m²)

A_p คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (m²)

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (W/m². °C)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับ รังสีอาทิตย์ และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกัน โดยใช้แผงมอดอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสีคำนวณได้จาก

$$\eta_{wol} = \frac{\dot{Q}_{stor}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{m_w c_w (T_{w-f} - T_{w-i})}{\int_0^t I A_p dt} \quad (3)$$

เมื่อ

η_{wol} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันในกรณีที่คิดพลังงานความร้อนที่เอาไปใช้ประโยชน์ (%)

T_{w-f} คือ อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อนที่เวลาสุดท้ายของการสะสมความร้อน (°C)

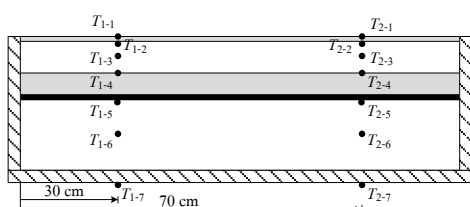
T_{w-i} คือ อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อนที่เวลาเริ่มต้นของการสะสมความร้อน (°C)

ระเบียบวิธีวิจัย

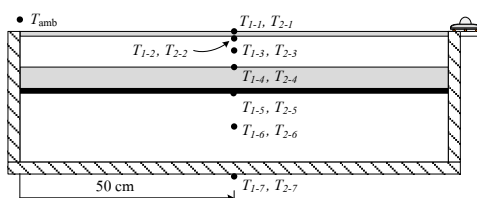
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกัน โดยใช้แผงมอดอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสี ในการทดลองครั้งนี้จะทำการทดสอบโดยวางเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ฯ ในแนวระนาบและ

ไม่นำพลังงานความร้อนสะสมไปใช้ประโยชน์ ตลอด
ช่วงเวลาการทดลอง (24 ชั่วโมง) และทดลองในช่วง
เดือนมีนาคม-เมษายน

อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการ
ทดลองประกอบด้วย สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K
(ช่วงการวัด: 0-1250°C) ต่อตรงเข้ากับเครื่องบันทึก
ข้อมูล (Hioki: Model 8422-52) อุปกรณ์วัดค่ารังสี
อาทิตย์ (Kipp & Zonen: Model CMP11) และบันทึก
ข้อมูลทุก ๆ 10 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง



(a) ภาพแสดงตำแหน่งวัดด้านข้าง



(b) ภาพแสดงตำแหน่งวัดด้านหน้า

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ได้จากการ
ทดลองประกอบด้วย อุณหภูมิผิวกระจกด้านบน
($T_{g, top}$) อุณหภูมิผิวกระจกด้านล่าง ($T_{g, bot}$) อุณหภูมิ
ช่องว่างอากาศ ($T_{air, gap}$) อุณหภูมิยางมะตอยผสม
สำเร็จ (T_{asp}) อุณหภูมิผิวถังสะสมความร้อน (T_{stor})
อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อน (T_w) และ อุณหภูมิ
ฉนวนกันความร้อนด้านล่าง ($T_{ins, b}$) ซึ่งสามารถ
คำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งได้จาก

$$T_{g, top} = \frac{T_{1-1} + T_{2-1}}{2}$$

$$T_{g, bot} = \frac{T_{1-2} + T_{2-2}}{2}$$

$$T_{air, gap} = \frac{T_{1-3} + T_{2-3}}{2}$$

$$T_{asp} = \frac{T_{1-4} + T_{2-4}}{2}$$

$$T_{stor} = \frac{T_{1-5} + T_{2-5}}{2}$$

$$T_w = \frac{T_{1-6} + T_{2-6}}{2}$$

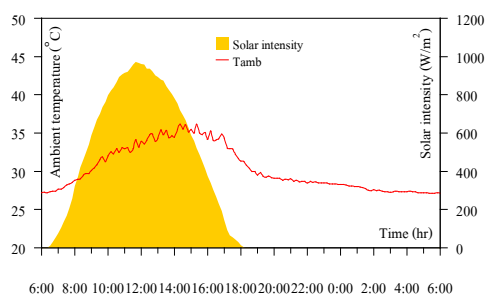
$$T_{ins, b} = \frac{T_{1-7} + T_{2-7}}{2}$$

ผลการวิจัย

การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อน
เข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืน
รังสี เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะเชิงความร้อน ในตัวแปร
ต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ อุณหภูมิตัวดูดกลืนรังสี อุณหภูมิ
น้ำร้อนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำ
น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการ

1. สภาพอากาศแวดล้อม

รูปที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและ
ค่ารังสีอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าไม่มีผลกระทบจากเงาที่
เกิดการเคลื่อนที่ของเมฆ เงาจากสิ่งปลูกสร้างและ
ต้นไม้



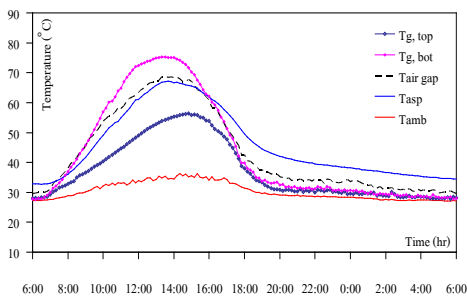
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์และ
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

ซึ่งค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม
สูงสุดอยู่ที่ 950 W/m² และ 36°C ตามลำดับ และ

ในช่วงเวลา 18:00-06:00 น. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าลดลงตามช่วงเวลา

2. การกระจายอุณหภูมิ

จากการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการทดลองตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่ผิวกระจกด้านบน ความร้อนส่วนหนึ่งถูกสะท้อน (ρ_f) ออกสู่สิ่งแวดล้อม กระจกดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α_f) และแสงอาทิตย์ส่งผ่าน (τ_f) กระจกและถูกดูดกลืนด้วยยางมะตอยผสมสำเร็จ ($\tau_f \alpha_{sp} f$) ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในยางมะตอยผสมสำเร็จ จากนั้นความร้อนบางส่วนสูญเสียจากผิวยางมะตอยผสมสำเร็จ ไปสู่ผิวกระจกด้านในและอากาศที่อยู่ในช่องว่างอากาศ ความร้อนที่เหลือนำไปถ่ายเทผ่านยางมะตอยผสมสำเร็จให้กับผิวด้านบนของถังสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ในถัง ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น

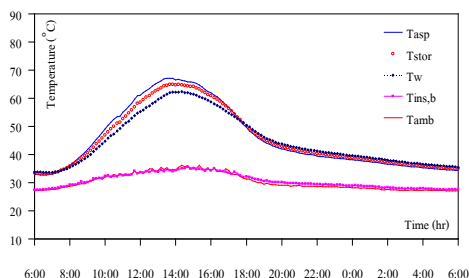


รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวกระจก อุณหภูมิช่องว่างอากาศ อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

ในรูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวกระจกด้านบนและด้านล่าง อุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศและอุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. อุณหภูมิผิวกระจกด้านบนมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิผิวกระจกด้านล่าง ทั้งนี้เนื่องจากผิวกระจกด้านบนเกิดการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนโดยลมและการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างสิ่งแวดล้อมกับ

ผิวกระจกด้านบนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ ในส่วนของอุณหภูมิผิวกระจกด้านล่างมีอุณหภูมิสูงเกิดจากการสะสมความร้อนภายในเนื้อกระจกส่วนหนึ่งและการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างผิวยางมะตอยผสมสำเร็จกับผิวกระจกด้านล่าง และอีกส่วนมาจากอากาศร้อนที่อยู่ในช่องว่างอากาศลอยตัวสัมผัสกับผิวกระจกด้านล่าง จึงทำให้ผิวกระจกด้านล่างมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 75°C ที่เวลา 13:50 น. และหลังจากนั้นจะเห็นว่าอุณหภูมิผิวกระจกทั้งด้านบนและด้านล่างจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องกระทั่งเข้าสู่ใกล้อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

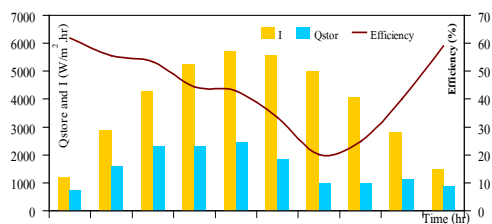
ในส่วนอุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จ มีรูปแบบอุณหภูมิ 3 ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือ ช่วงที่ 1 ที่ 6:00-8:00 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จมีอุณหภูมิอยู่ที่ 33°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมอยู่ 6.5°C ช่วงที่ 2 ที่ 8:00-18:00 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 67°C ที่เวลา 13:50 น. และอุณหภูมิลดลงจนถึง 50°C ที่เวลา 18:00 น. และช่วงที่ 3 ที่ 18:00-6:00 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งในช่วงที่ 3 นี้ อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จมีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อยู่ 7.5-13°C ทั้งนี้เกิดจากความสามารถในการกักเก็บความร้อนและชะลอการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศแวดล้อม ซึ่งพฤติกรรมนี้เรียกว่า ความเฉื่อยอุณหภาพ (Thermal inertia) ซึ่งอาจอ้างอิงในชื่อ มวลอุณหภาพ (Thermal mass) ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำในถังสะสมความร้อนในช่วงที่ 1 มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมด้วยเช่นกัน



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของมอดูลสำเร็จรูป อุณหภูมิถึงสะสมความร้อนอุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อน อุณหภูมิฉนวนด้านล่างและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิของมอดูลสำเร็จรูป อุณหภูมิผิวด้านบนถึงสะสมความร้อน อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อน จะเห็นได้ว่าที่เวลา 8:00-13:50 น. ความร้อนถ่ายเทจากแผงมอดูลสำเร็จรูปผ่านผิวด้านบนของถังสะสมความร้อนให้กับน้ำในถังสะสมความร้อนได้ดี ทำให้อุณหภูมิสูงสุดที่ยังมอดูลสำเร็จรูป ผิวด้านบนถึงสะสมความร้อนและน้ำในถังสะสมความร้อน อยู่ที่ 67°C , 64.5°C และ 63°C ตามลำดับ และหลังจากเวลา 13:50 น. อุณหภูมิของมอดูลสำเร็จรูป อุณหภูมิผิวด้านบนถึงสะสมความร้อนและอุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อนมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ กระทั่งเวลา 17:30 น. แผงมอดูลสำเร็จรูปมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าผิวด้านบนถึงสะสมความร้อนและน้ำในถังสะสมความร้อน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากแผงมอดูลสำเร็จรูปให้กับอากาศแวดล้อมและค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบบนเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ มีค่าลดลง ตามช่วงเวลา

ส่วนอุณหภูมิฉนวนที่ด้านล่างของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมตลอดทั้งวันทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่ฉนวนด้านล่างมีค่าน้อยมาก



รูปที่ 7 ความร้อนสะสมในถังสะสมความร้อนค่ารังสีอาทิตย์และประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถคำนวณค่าพลังงานความร้อนสะสมภายในถังสะสมความร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเครื่องทำน้ำร้อนรายชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าน้ำในถังสามารถสะสมความร้อนได้ในช่วง 700-2,500 $\text{W/m}^2\cdot\text{hr}$ (7:00 – 12:00 น.) และหลัง 12:00 น. การสะสมความร้อนมีค่าลดลงเนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเครื่องทำน้ำร้อนมีค่าลดลง

นอกจากนี้ในรูปที่ 7 ยังแสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรายชั่วโมงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้แผงมอดูลสำเร็จรูปเป็นตัวรับรังสี ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนรายชั่วโมงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ นั้นคำนวณจากพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่รับแสงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ ($\dot{Q}_{in}$) และพลังงานความร้อนสะสมในถังสะสมความร้อน ($\dot{Q}_{stor}$) ซึ่งมีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ 62% และ 20% ตามลำดับ (กรณีที่ไม่นำพลังงานความร้อนไปใช้งานตลอดการทดลอง) และเมื่อนำข้อมูลมาคิดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ กรณีไม่นำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ จะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการฯ เท่ากับ 43.5%

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี นั้นเพื่อทราบถึงความสามารถในการดูดกลืนรังสีของยางมะตอยผสมสำเร็จและการสะสมความร้อนของน้ำในถังสะสมความร้อน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยไม่นำพลังงานความร้อนสะสมในถังสะสมความร้อนไปใช้ประโยชน์จากการศึกษาทราบว่ายางมะตอยผสมสำเร็จมีความสามารถในการดูดกลืนความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังสะสมความร้อนได้ดี อีกทั้งตัวดูดกลืนรังสีที่ทำจากยางมะตอยผสมสำเร็จยังสามารถชะลอการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมได้ดีด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองในช่วงเวลา 18:00-6:00 น. อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดเวลา ทำให้อุณหภูมิยางมะตอยผสมสำเร็จและอุณหภูมิน้ำ ในถังสะสมความร้อนเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ทำให้ยางมะตอยผสมสำเร็จมีความน่าสนใจในการนำไปเป็นตัวดูดกลืนรังสีสำหรับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการ

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ในครั้งนี้เป็นการศึกษาโดยไม่นำพลังงานความร้อนสะสมในถังสะสมความร้อนไปใช้ประโยชน์ การศึกษาที่เสนอแนะในครั้งต่อไป คือ

1. ศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสม

ความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ในกรณีที่นำพลังงานความร้อนสะสมไปใช้ประโยชน์ ที่อัตราการไหลของน้ำป้อนที่แตกต่างกัน

2. การออกแบบและนำเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี ไปใช้งานร่วมกับอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

3. ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินจุดคุ้มทุนในการนำเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสีไปประยุกต์ใช้งานในกรณีต่าง ๆ เช่น บ้านพักอาศัย อาคารที่อยู่อาศัย และ/หรือสำนักงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียน ขอขอบคุณ “สฤต กำแพง” (switched2020@gmail.com) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี และให้ทุนสนับสนุนสำหรับงานวิจัยนี้ อีกทั้งให้คำแนะนำเชิงวิชาการสำหรับงานวิจัย

References

- [1] S. Phiraphat, R. Prommas and W. Puangsombut, “Experimental study of natural convection in PV roof solar collector,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 89, pp. 31-38, December 2017.
- [2] T. Cheewanantachai and W. Puangsombut, “Solar sauna room,” *E-Nett 2552, National Conference*, Nakhon Pathom, 2552, (SE04).

- [3] S. Phiraphat, “*Enhancement of photovoltaic performance by air circulation channel*”, Ph.D. Thesis (Sustainable Energy and Environment), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, TH, 2017.
- [4] N. Vatcharasatien, J. Hirunlabh, J. Khedari and M. Daguenet, “Design and analysis of solar thermoelectric power generation system,” *International Journal of Sustainable Energy*, Vol.24, No.3, 2005, pp. 115-127.
- [5] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Process*, A Wiley-Interscience Publication, New York, 1980.
- [6] https://www.researchgate.net/publication/326735132_kheruxngthanarxnphlangngansaengxathitybaebchiyangmatxypentawrabrangsixathity, 2556
- [7] https://www.researchgate.net/publication/344239288_SWH-RT, 2558
- [8] J. Pukdum, T. Phengpom and K. Sudasna, “Thermal performance of mixed asphalt solar water heater,” *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol. 9, no. 2, pp. 712-720, June 2019.
- [9] J. Pukdum, K. Sudasna and T. Phengpom, “Experimental study on heat gain reduction and economic evaluation of mixed asphalt solar water heater,” *Journal of Engineering and Applied Science*, Vol. 15, no. 1, pp. 327-334, 2020.
- [10] M. Smyth, P. C. Eames and B. Norton, “Integrated collector storage solar water heaters,” *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 10, no. 6, pp. 503-538, December 2006.
- [11] R. Kumar and M. A. Rosen, “Thermal performance of integrated collector storage solar water heater with corrugated absorber surface,” *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, no. 13, pp. 1764-1768, September 2010.
- [12] T. A. Yassen, N. D. Mokhlif and M. A. Elewi, “Performance investigation of an integrated solar water heater with corrugated absorber surface for domestic use,” *Renewable Energy*, Vol.138, pp. 852-860, August 2019.

การลดความร้อนผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ คงฤทธิ์ จิงพิมลยานนท์^{1*}, ดิษฐา นนธิวรวงศ์², ธนา อนันต์อาษา³

^{1*} บริษัท แชนด์บิวท์ จำกัด ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ

² บริษัท อาร์ช จี เทคโนโลยี จำกัด ซอยพัฒนาการ 38 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพฯ

³ คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Email: thermalcomfortable@gmail.com^{1*}, switched2020@gmail.com

Received: October 6, 2020

Revised: December 3, 2020

Accepted: December 7, 2020

บทคัดย่อ

กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการลดการสะสมความร้อนในพื้นที่ห้องใต้หลังคาและยังช่วยลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ภายในอาคารกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศถูกสร้างขึ้นจากคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้กันมากในการผลิตกระเบื้องหลังคา ช่องระบายอากาศของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีขนาด $0.009 \text{ m}^2/\text{tile ventilator}$ และการระบายอากาศเป็นการระบายอากาศแบบธรรมชาติ บ้านหลังเล็กสองหลังถูกสร้างขึ้นโดยใช้วัสดุทั่วไป หนึ่งในนั้นเป็นบ้านอ้างอิงและอีกหลังหนึ่งใช้ในการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ หลังคาบ้านทดสอบเป็นหลังคาทรงจั่วทำมุมเอียง 25 องศา ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคาของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีค่าน้อยกว่ากระเบื้องคอนกรีตทั่วไปประมาณ $1-4^\circ\text{C}$ ด้วยเหตุนี้จึงลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงเข้าสู่ภายในอาคารได้ประมาณ $4-40 \text{ W/m}^2$ ทำให้มั่นใจได้ว่ากระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีอัตราการระบายอากาศที่สูงซึ่งจะช่วยเพิ่มจำนวนการเปลี่ยนของอากาศผ่านพื้นที่ห้องใต้หลังคาได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงขอแนะนำกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสำหรับการออกแบบในงานวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ท้ายสุดการติดกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศได้

คำสำคัญ : กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ, ห้องใต้หลังคา, ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน, จำนวนการเปลี่ยนอากาศ, อัตราการระบายอากาศ

Attic heat gain reduction using a concrete tile ventilator

Kongrit Juengpimonyanon^{1*}, Dittha Nonthiworawong², Thana Ananacha³

^{1*}Sand Built Co.,Ltd. Ramkamhaeng Rd, Huamark, Bangkok, Bangkok

²Arch G Tech Co., Ltd., Soi Patthanakarn 38, Patthanakarn Rd., Suanluang, Bangkok

³Faculty of Architecture and Design, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Email : thermalcomfortable@gmail.com^{1*}, switched2020@gmail.com

Received: October 6, 2020

Revised: December 3, 2020

Accepted: December 7, 2020

Abstract

A concrete tile ventilator is an effective device to reduce the heat accumulation in attic space and also reduced heat gain through the ceiling into the indoor. A concrete tile ventilator has been built from concrete which is the most common material used in the manufacturing of roof tile. The vent area of each concrete tile ventilator is 0.009 m^2 / tile ventilator, and natural ventilation was applied. Two small houses were built using common materials. One of them served as a reference house, and another one was used to install the tile ventilator. The roof was a gable roof with 25 degree of inclination angle. The results from this study showed that the attic air temperature of a concrete tile ventilator was lower than the common concrete tile by about $1-4^\circ\text{C}$. With this reason, it is reduced the hourly ceiling heat gain into an indoor by about $4-40 \text{ W/m}^2$. It could ensure that, the concrete tile ventilator is a high ventilation rate that improve the number of air change through the attic space. Therefore, it is highly recommended for engineering and architectural designs of building components. Finally, installation of tile ventilator will use to save electricity cost for air conditioner.

Keywords : Concrete tile ventilator, Attic, Ceiling heat gain, number of air change, ventilation rate

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก 70% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ [1] ภาระความร้อนส่วนใหญ่เกิดจากรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่กรอบอาคารและถูกดูดกลืนด้วยวัสดุประกอบอาคาร เช่น หลังคา ผนัง ประตูและหน้าต่าง เป็นต้น อย่างไรก็ตามหลังคาเป็นส่วนที่รับรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ความร้อนส่วนใหญ่จึงถ่ายเทผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในตัวอาคารทำให้เกิดความร้อนสะสมและเป็นภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศ ในห้องพักอาศัย โดยทั่วไปการลดความร้อนผ่านหลังคาสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในพื้นที่ห้องใต้หลังคา ส่วนใหญ่เป็นการวางฉนวนบนฝ้าเพดานซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกต่อการติดตั้ง อีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากคือการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนบนแปของหลังคา (ด้านใต้แผ่นกระเบื้อง) และวิธีการแบบดั้งเดิม คือการระบายอากาศ ซึ่งเป็นวิธีการที่ยังมีการใช้แต่ไม่ได้รับความนิยมมากนักในปัจจุบัน ในปี พ.ศ. 2543 Withaya Puangsombut [2] และ ในปี พ.ศ. 2545 Hirunlabh et al. [3] ได้ศึกษาการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็นโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นต้นกำลังในการขับพัดลมระบายอากาศ กับการใช้ฉนวนกันความร้อนและแผ่นสะท้อนความร้อน ทั้งกรณีวางฉนวนกันความร้อนและแผ่นสะท้อนความร้อนไว้บนฝ้าเพดานและบนแปของหลังคา จากการศึกษาพบว่า การระบายอากาศในห้องใต้หลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ได้ $3-5 \text{ W/m}^2$ และลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาและอุณหภูมิห้อง ได้ $3-4^\circ\text{C}$ และในกรณีการระบายอากาศที่ใช้อากาศแบบไหลตามขวาง (Cross flow) สามารถลดความร้อน

สะสมภายในห้องพักอาศัยและทำให้เกิด ความสบายเชิงความร้อนภายในห้องพักอาศัยได้

ในปี พ.ศ. 2557 ได้มีการศึกษาออกแบบกระเบื้องหลังคาระบายอากาศ [4] ประกอบด้วยแผ่นคอนกรีต 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นคอนกรีตทั้ง 2 ชั้นสำหรับระบายอากาศ จากการศึกษาพบว่ากระเบื้องหลังคาระบายอากาศสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยผ่านฝ้าเพดานได้ $1-3 \text{ W/m}^2$ และสร้างอัตราการระบายอากาศได้ในช่วง $10.5-50 \text{ m}^3/\text{hr}$ ต่อพื้นที่ 2.25 m^2 หรือคิดเป็น $4.7-22.2 \text{ m}^3/\text{hr}$ ต่อพื้นที่ 1 m^2 ที่ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบบนหลังคาในช่วง $100-1000 \text{ W/m}^2$ และในปีเดียวกันได้ทำการศึกษาออกแบบและประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องระบายอากาศ [5] ซึ่งกระเบื้องระบายอากาศผลิตจากคอนกรีตและออกแบบให้มีช่องระบายอากาศขนาด $0.009 \text{ m}^2/\text{tile vent}$ ทดสอบกับบ้านทดสอบขนาดเล็กที่มีปริมาตรห้องใต้หลังคา 1.21 m^3 โดยทำการติดตั้งกระเบื้องระบายอากาศจำนวน 1 แผ่น จากการทดสอบพบว่าสามารถลดอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาได้ในช่วง $1-3^\circ\text{C}$ และสร้างอัตราการไหลของอากาศผ่านห้องใต้หลังคาได้ในช่วง $14-40 \text{ m}^3/\text{hr}$ หรือคิดเป็นจำนวน การเปลี่ยนอากาศภายในห้องใต้หลังคาเท่ากับ 4-8 ACH

ต่อมาได้มีการศึกษาออกแบบท่อนำแสงระบายอากาศเพื่อลดภาระการทำความเย็นภายในอาคาร [6] โดยท่อนำแสงระบายอากาศทำจากแผ่นอลูมิเนียมเคลือบพื้นผิวด้วยเงิน ท่อนำแสงระบายอากาศประกอบด้วยท่อแนวตั้งและแนวเอียงที่มีความยาว 40 และ 80 cm ตามลำดับและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 15 cm ถูกติดตั้งกับบ้านทดสอบขนาดเล็กมีหลังคาเพิงหมาแหงนทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ จากการทดสอบบ้านที่ติดตั้งท่อนำแสงระบายอากาศให้ค่าความส่องสว่างภายในต่ำสุดและสูงสุดในช่วง 60-190 Lux และ 230-320 Lux ตามลำดับ และอัตราการระบายอากาศผ่านท่อนำแสงระบายอากาศอยู่ในช่วง $1.8-5.4 \text{ m}^3/\text{hr}$ ใน

ส่วนการลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานนั้นบ้านทดสอบที่ติดตั้งท่อนำแสงระบายอากาศสามารถลดได้ $1-5 \text{ W/m}^2$ หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานอยู่ที่ 8-32% หลังจากนั้น [7] ได้ศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้วยระบบระบายอากาศเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดสอบสามารถลดอุณหภูมิห้องทดสอบได้สูงสุด 4.2°C และเปอร์เซ็นต์การลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้ในช่วง 30-35%

Medina et al. [8] ได้ทำการศึกษาลงของการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาที่มีผลต่อสมรรถนะของแผ่นสะท้อนความร้อนในการศึกษาได้ทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน (Radiant barrier) ในพื้นที่ห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบและใช้อัตราการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาที่ 0, 0.64, 1.3, 2.5 และ $5.1 \text{ L/s. m}^2_{\text{ceiling}}$ เปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน จากการศึกษาพบว่าใช้อัตราการระบายอากาศ 0 และ $0.64 \text{ L/s. m}^2_{\text{ceiling}}$ มีผลต่อค่าการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้ดี โดยให้ช่วงของค่าการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานอยู่ที่ 25-35% ในขณะที่อัตราการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคา 1.3, 2.5 และ $5.1 \text{ L/s. m}^2_{\text{ceiling}}$ ไม่มีผลต่อค่าการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ต่อมา Medina et al. [9, 10] ได้ศึกษาแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลในสภาวะไม่คงตัวของห้องใต้หลังคาบ้านพักอาศัยที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน โดยสมการการถ่ายเทความร้อนประกอบด้วย การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่พื้นผิวของส่วนประกอบต่าง ๆ ของห้องใต้หลังคาและสมการการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นจากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคา จากการศึกษาแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนและมวลภายในห้องใต้หลังคาพบว่าแบบจำลองมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

ในงานวิจัยนี้ได้นำกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติติดตั้งกับ

บ้านทดสอบขนาดเล็กและทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับบ้านทดสอบขนาดเล็กที่ไม่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศเพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิในห้องใต้หลังคาและการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านทดสอบ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาและลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่มีการระบายอากาศแบบวิธีธรรมชาติ

ทฤษฎีและอุปกรณ์

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนหลังคาการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นประกอบด้วย การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ในขณะเดียวกันอากาศในพื้นที่ห้องใต้หลังคาได้รับความร้อนจากกลไกการถ่ายเทความร้อนทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนาแน่นของอากาศมีค่าต่ำลงและลอยตัวสูงขึ้นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่ ซึ่งกลไกนี้เรียกว่าการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาแบบวิธีธรรมชาติในกรณีที่น่าผลกระทบบของลมภายนอกเข้ามาพร้อมด้วย การระบายอากาศในห้องใต้หลังคา สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [11]

$$Q_{vent} = \sqrt{Q_{buoy}^2 + Q_{wind}^2} \quad (1)$$

เมื่อ

Q_{vent} คือ อัตราการระบายอากาศ (m^3/s)

Q_{buoy} คือ อัตราการระบายอากาศเนื่องจากแรงลอยตัว (m^3/s)

Q_{wind} คือ อัตราการระบายอากาศเนื่องจากลม (m^3/s)

อัตราการระบายอากาศเนื่องจากแรงลอยตัว
คำนวณได้จาก

$$Q_{buoy} = A_i \sqrt{g H_s \frac{(T_d - T_a)}{T}} \quad (2)$$

เมื่อ

A_i คือ พื้นที่ช่องเปิดทางเข้าของอากาศที่ฝ้าชายคา (m^2)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

H_s คือ ความสูงของระนาบเป็นกลาง (m) (ระยะที่ความดันเป็นศูนย์)

T_d คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิวคาดฟ้า (K)

T_a คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศแวดล้อม (K)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิวคาดฟ้าหรืออากาศแวดล้อม (K)

คำนวณ H_s จาก

$$H_s = \frac{H}{1 + \left(\frac{A_i}{A_o}\right)^2 \left(\frac{T_o}{T_i}\right)} \quad (3)$$

เมื่อ

H คือ ระยะห่างระหว่างทางเข้าและทางออกของอากาศในห้องใต้หลังคา (m)

A_o คือ พื้นที่ช่องเปิดทางออกของอากาศที่กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ (m^2)

T_i คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่ทางเข้า (ฝ้าชายคา), (m^2)

T_o คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่ทางออก (กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ), (m^2)

อัตราการระบายอากาศเนื่องจากลม คำนวณได้
จาก

$$Q_{wind} = C A_i V_i \quad (4)$$

เมื่อ

C คือ สัมประสิทธิ์การไหลผ่าน

V_i คือ ความเร็วลมที่ทางเข้าฝ้าชายคา (m/s)

เปอร์เซ็นต์การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานสามารถคำนวณจาก [8]

$$\%HG\ reduction = \left(\frac{HG_{com} - HG_{CTV}}{HG_{com}} \right) \times 100 \quad (5)$$

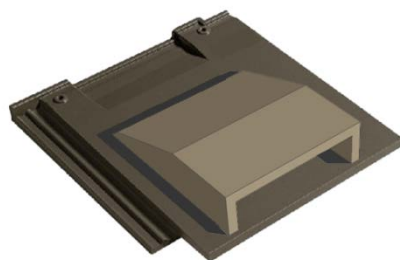
เมื่อ

$\%HG\ reduction$ คือ เปอร์เซ็นต์การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน (%)

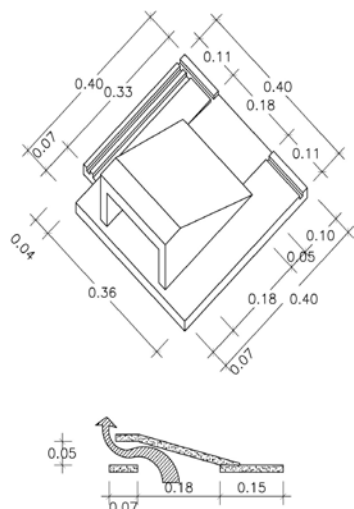
HG_{com} คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติ (W/m^2)

HG_{CTV} คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ (W/m^2)

กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ที่ใช้สำหรับการทดลองในรูปที่ 1 (a) แสดงลักษณะของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ และรูปที่ 1 (b) แสดงขนาดของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ซึ่งได้รับการออกแบบโดยใช้อากาศจากภายนอกไหลผ่านช่องระบายอากาศที่ฝ้าชายคาเข้าสู่พื้นที่ห้องใต้หลังคาและไหลออกที่กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งอยู่บนหลังคาบ้านทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาเป็นการระบายอากาศแบบวิธีธรรมชาติ



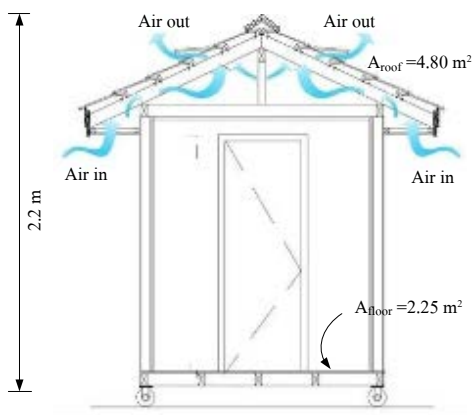
(a) แสดงลักษณะของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ



(b) ขนาดของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ

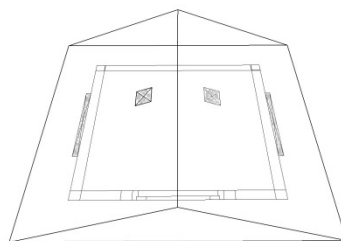
(หน่วย: m)

รูปที่ 1 กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ



(a) แสดงลักษณะการไหลของอากาศ

รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งช่องเปิดสำหรับระบายอากาศและรูปแบบการไหลของอากาศ



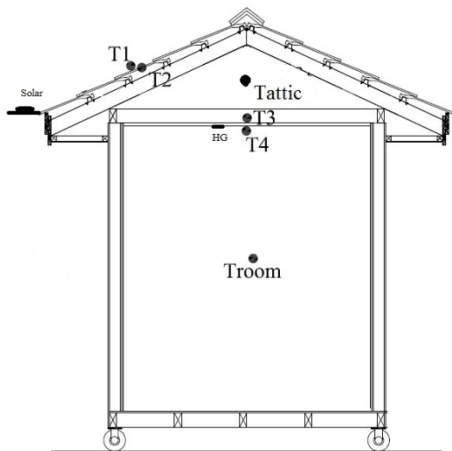
(b) แสดงลักษณะช่องเปิดระบายอากาศ

จาก [11] ได้ทำการตรวจสอบเชิงตัวเลขสำหรับตำแหน่งของช่องระบายอากาศโดยทำการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่หลังคาด้านละ 1 แผ่นทั้ง 2 ด้านของหลังคาทรงจั่ว ($0.009 \times 2 = 0.018 \text{ m}^2$) และทำการเปิดช่องระบายอากาศที่ฝ้าชายคาขนาด 0.009 m^2 ต่อฝ้าชายคา ($0.009 \times 2 = 0.018$

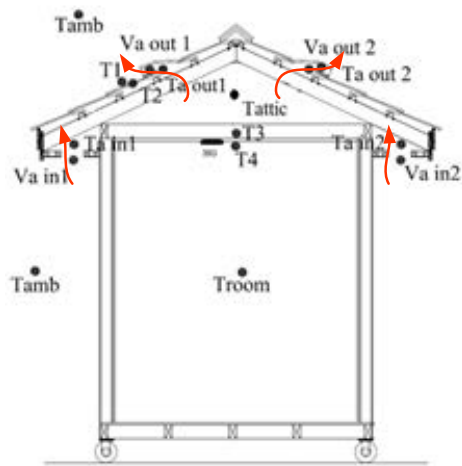
ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศติดตั้งกับบ้านทดสอบขนาดเล็กเพื่อศึกษาถึงสมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ในตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลเชิงปริมาตร หรืออัตราการระบายอากาศ และการลดความร้อนผ่านฝ้าเพดาน ในการทดลองครั้งนี้บ้านทดสอบขนาดเล็กมีหลังคาเป็นแบบทรงจั่ว มีมุมหลังคา 25 องศา บ้านทดสอบแต่ละหลังมีพื้นที่ฐาน 2.25 m^2 สูง 2.2 m พื้นที่ผิวหลังคาแต่ละหลังเท่ากับ 4.8 m^2 ส่วนกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีขนาดช่องเปิดสำหรับระบายอากาศเท่ากับ $0.009 \text{ m}^2/\text{tile vent}$.

m^2) ดังแสดงในรูปที่ 2 และในรูปที่ 3 แสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ความเร็วลมอากาศที่ทางเข้า (ฝ้าชายคาทั้ง 2 ด้าน) ที่ทางออก (กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ทั้ง 2 ด้าน) ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน และค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคาบ้านทดสอบ



(a) บ้านทดสอบอ้างอิง



(b) บ้านทดสอบที่มุ่งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ

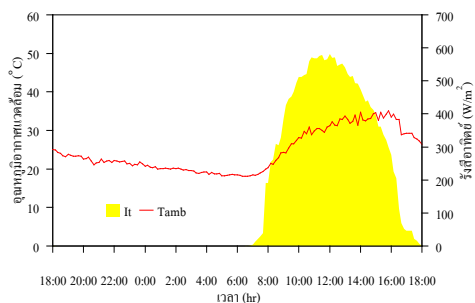
รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

อุปกรณ์การตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการทดลอง ประกอบด้วย สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K (ช่วงการวัด: 0-1250°C) ต่อตรงเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki: Model 8422-52) อุปกรณ์วัดความเร็วลมของอากาศ (KIMO: model. VT 100) อุปกรณ์วัดความร้อนผ่านผ้าเพดาน (EKO: FM-180) และอุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ (Kipp & Zonen: Model CMP11) โดยทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 10 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง

ผลการวิจัย

ในการทดสอบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศกับบ้านทดสอบขนาดเล็ก เพื่อศึกษาการลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและการลดความร้อนส่งผ่านผ้าเพดานโดยการระบายอากาศแบบวิธีธรรมชาติ ได้ดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในรูปที่ 4 แสดงค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคาและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จะเห็นว่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 600 W/m² และ 35°C ตามลำดับ

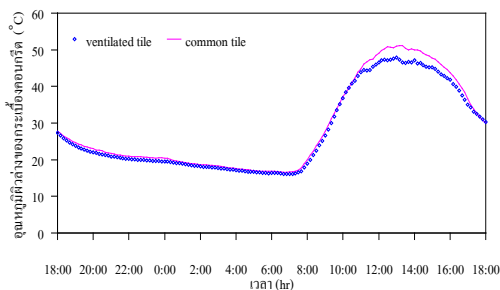
และในช่วงเวลา 18:00-06:00 น. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 20-25°C



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

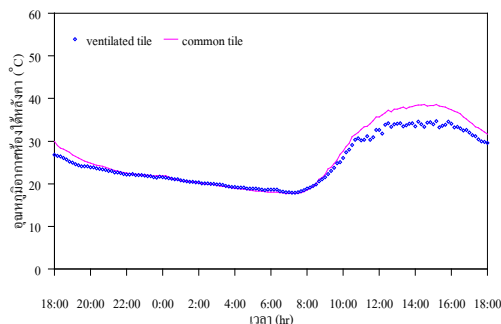
1. อุณหภูมิ

จากที่ได้กล่าวในตอนต้นถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนและการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคานั้น พิจารณาในรูปที่ 5



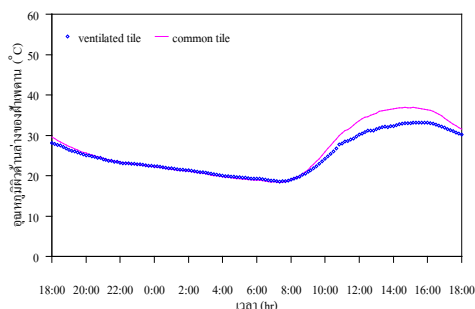
รูปที่ 5 อุณหภูมิผิวกระเบื้องคอนกรีต
(ผิวด้านล่างกระเบื้องคอนกรีต, T_2)

จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ มีอุณหภูมิต่ำกว่ากระเบื้องคอนกรีตปกติตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลและมีค่าอยู่ในช่วง $1-5^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้เกิดจากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาโดยความร้อนที่ผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศถ่ายเทความร้อนโดยการพาให้กับอากาศที่ไหลผ่านภายในห้องใต้หลังคาจึงทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่ากระเบื้องคอนกรีตปกติ และเมื่อพิจารณารูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศในห้องใต้หลังคา บ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศจะมีอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาลดต่ำกว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติที่ $1-4^{\circ}\text{C}$ และในช่วงเวลา 18:00-22:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่น่าสนใจเนื่องจากในกิจวัตรจริงผู้คนส่วนใหญ่มีกิจกรรมภายในบ้านพักอาศัยซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับสร้างความสบายเชิงความร้อน เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศ จะเป็นผลทำให้ความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านและเป็นภาระความร้อนให้กับเครื่องปรับอากาศได้

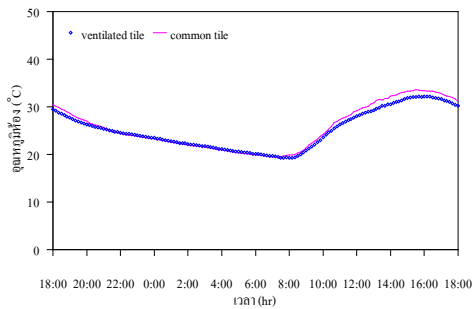


รูปที่ 6 อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคา
(T_{attic})

ในรูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดานของบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านทดสอบปกติเช่นเดียวกับอุณหภูมิภายในห้อง (ดูรูปที่ 8) อย่างไรก็ตามเนื่องจากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาเป็นการระบายอากาศเฉพาะในส่วนห้องใต้หลังคาทำให้อุณหภูมิภายในห้องพักอาศัยมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก คืออยู่ในช่วง $0.5-1.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งถ้าหากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาตามอ้างอิง [2, 3] จะสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องพักอาศัยและสร้างความสบายเชิงความร้อนภายในห้องพักอาศัยได้ ซึ่งจะนำเสนออยู่ในหัวข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยครั้งต่อไป



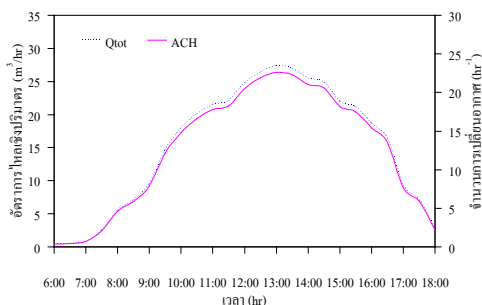
รูปที่ 7 อุณหภูมิผิวด้านล่างของ
ฝ้าเพดาน (T_4)



รูปที่ 8 อุณหภูมิห้อง (T_{room})

2. อัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ

ในหัวข้อก่อนหน้าอธิบายถึงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่สำคัญของการทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสามารถลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาได้ และในหัวข้อนี้แสดงค่าอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศผ่านห้องใต้หลังคาโดยวิธีระบายอากาศแบบธรรมชาติ และเพื่อให้เห็นข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้นในหัวข้อนี้จะแสดงข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน (12 ชั่วโมง) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดกลไกการระบายอากาศและการถ่ายเทความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากกลไกการระบายอากาศมีผลมาจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในห้องใต้หลังคา



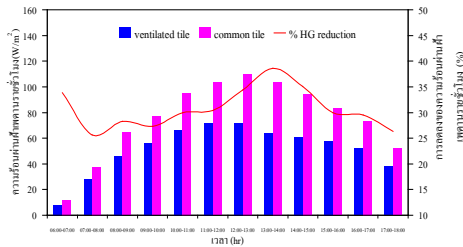
รูปที่ 9 อัตราการไหลเชิงปริมาตรและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ

ในรูปที่ 9 แสดงอัตราการไหลเชิงปริมาตรและจำนวนการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (number of air change per hour, ACH) จะเห็นว่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรหรือเราสามารถเรียกว่าอัตราการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคามีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา และมีค่าอยู่ในช่วง $0.5\text{--}27.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และสามารถคิดเป็นจำนวนการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงของห้องใต้หลังคาได้จาก $ACH=Q_{tot}/V$, [12] โดยที่ Q_{tot} คือ ผลรวมของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศผ่านกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ (m^3/hr) และ V คือ ปริมาตรของห้องใต้หลังคา (m^3) ดังแสดงในรูปที่ 9 และจะเห็นได้ว่าจากอัตราการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคานั้นสามารถทำให้เกิดจำนวนการเปลี่ยนอากาศของห้องใต้หลังคาอยู่ในช่วง $0.35\text{--}22.3$ เท่าของปริมาตรห้องใต้หลังคาภายใน เวลา 1 ชั่วโมง

3. ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

จากการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ จึงเกิดอัตราการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาทำให้ความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคามีค่าลดลง ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานจึงมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

ในรูปที่ 10 แสดงค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงของบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศและบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติ จะเห็นได้ว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงน้อยกว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติในช่วง $4\text{--}40 \text{ W/m}^2$ และมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงอยู่ในช่วง $25\text{--}39\%$ ซึ่งเมื่อดูรูปที่ 6 และ รูปที่ 9 ประกอบ จะเห็นว่าในช่วงเวลา 11:00–15:00 น. บ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสามารถสร้างอัตราการระบายอากาศได้ดีและส่งผลให้อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีค่าลดลง



รูปที่ 10 ความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมง

สรุปและอภิปรายผล

การใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศเพื่อลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานนั้นเป็นวิธีการหนึ่งในการลดการใช้พลังงานภายในบ้านพักอาศัยและเพิ่มความสะดวกสบายความร้อนต่อผู้อยู่อาศัยได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศกับบ้านทดสอบและเปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตแบบปกติ จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาโดยใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิผิวด้านล่างของกระเบื้องคอนกรีต (T_2) ได้อย่างเห็นได้ชัด ทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคา (T_{attic}) มีค่าลดลงและส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดาน (T_4) มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถลดค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงได้ในช่วง 4-40 W/m² ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานแล้วอยู่ในช่วง 25-39%

เมื่อนำผลการทดลองจากงานวิจัยเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองของงานวิจัย [5] จะเห็นได้ว่าผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศมีอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติ แต่เนื่องจากการระบายอากาศผ่านห้องใต้หลังคาแบบวิธีธรรมชาติ ดังนั้น

อุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคาและค่ารังสีอาทิตย์จึงมีผลต่อการสร้างอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศผ่านห้องใต้หลังคาด้วย แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศสามารถลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและลดความร้อนส่งผ่านฝ้าเพดานรายชั่วโมงเข้าสู่ภายในห้องพักอาศัยได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย ติดตั้งสะดวกและสามารถดัดแปลงใช้งานได้กับหลังคาทุกประเภท

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบกับบ้านทดสอบขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อเสนอในการศึกษาครั้งต่อไป คือ

1. ศึกษาการใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศกับบ้านพักอาศัยจริงร่วมกับการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ
2. ศึกษาการใช้กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศกับบ้านพักอาศัยจริงร่วมกับการระบายอากาศแบบไหลตามขวาง (cross flow) ทั้งในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศและกรณีที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ
3. ศึกษาขนาดช่องเปิดของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศและตำแหน่งการติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่เหมาะสมกับขนาดของหลังคา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ “สุดก้าแพง” ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการออกแบบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศและขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยา พวงสมบัติ ที่ให้คำแนะนำเชิงวิชาการสำหรับงานวิจัยนี้ และ อาจารย์ ดร.จิระศักดิ์ ทุกคำ

อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร
คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการให้
คำแนะนำการใช้อุปกรณ์การตรวจข้อมูลในงานวิจัย
นี้

References

- [1] T. Taengchum, S. Chirattana-non, R. H. B. Excell, K. Kubaha and P. Chaiwivatworakul, "A study on a ventilation stack integrate with a light pipe," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 50, no. 1, pp. 546-554, January 2013.
- [2] Withaya Puangsombut, "Cool-ing Load Reduction by PV Attic Ventilation", Master of Engineering Thesis (Thermal Technology), King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, TH, 2000.
- [3] J. Hirunlabh, W. Puangsombut, J. Waewsak and J. Khedari, "PV attic ventilation: a simple tool for reducing cooling load and providing comfort," *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 23, no 3, pp. 159-168, Jul. 2002.
- [4] O. Amornleetrakul, W. Puang-sombut and J. Hirunlabh, "Field investigation of the small house with the ventilate roof tiles," *Advance Materials Research*, Vols. 931-932, pp. 1233-1237, 2014.
- [5] K. Juengpimonyanon, W. Puang-sombut and T. Ananacha, "Field investigation on thermal performance of the tile ventilator," *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 619, pp. 73-77, 2014.
- [6] D. Nonthiworawong, "Design of a light-vent pipe (LVP) to reduce building cooling load", Ph.D. Thesis (Sustainable Energy and Environment Technology and Management), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, TH, 2017.
- [7] J. Pukdum, S. Thiyepe and T. Phengpom, "Heat gain reduction through ceiling by PV ventilation system," *The Journal of Industrial Technolo-gy*, Vol. 8, no. 1, pp. 39-47, January-June 2020.
- [8] M. A. Medina, D. L. O'Neal and W. D. Turner, "Effect of attic ventilation on the performance of radiant barrier," *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 114, pp. 234-239, November 1992.
- [9] M. A. Medina, D. L. O'Neal and W. D. Turner, "A Transient Heat and Mass Transfer Model of Residential Attics Used to Simulate Radiant Barrier Retrofits, Part I: Development," *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 120, pp. 32-38, February 1998.
- [10] M. A. Medina, D. L. O'Neal and W. D. Turner, "A Transient Heat and Mass Transfer Model of Residential Attics Used to Simulate Radiant Barrier Retrofits, Part II: Validation and Simulations," *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 120, pp. 39-44, February 1998.

- [11] Kongrit Juengpimonyanon, “*Design and Thermal Performance Evaluation of Tile Ventilators*”, Ph.D. Thesis (Sustainable Energy and Environment Technology and Management), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, TH, 2016.
- [12] F. C. McQuiston and J.. Parker, *Heating Ventilating and Air Conditioning: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1994.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาเป็นวารสารตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิจัยในด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 2 ท่านต่อหนึ่งบทความ หากผู้ทรงคุณวุฒิ 2 ท่าน มีความคิดเห็นไม่ตรงกัน ทางวารสารจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิท่านที่ 3 เป็นผู้พิจารณา และต้องได้รับความเห็นชอบจากบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยบทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารอื่น กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับและการพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง โดยมีข้อเสนอแนะในการส่งบทความดังนี้

การเตรียมต้นฉบับบทความ

ชื่อเรื่อง (Title)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรสั้น กระชับ ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ และสื่อความหมายของเรื่องที่ทำการวิจัย
ชื่อ นามสกุลของผู้เขียน	ระบุชื่อนามสกุลเต็ม ของผู้เขียนให้ครบทุกคน <u>โดยไม่ต้องใส่คำนำหน้านามใด ๆ</u> ระบุสถานที่ทำงานหรือหน่วยงานที่สังกัดของผู้เขียน, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (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 วิธีการวิจัย	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย กระชับและชัดเจน อธิบายขั้นตอนการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย
ผลการวิจัย สรุปและอภิปรายผล	อธิบายผลการทดลองที่พบอย่างชัดเจน ครบถ้วน เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร โดยต้องมีการอ้างทฤษฎีหรือผลการศึกษาของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ
กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References)

การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามมาตรฐานสากล ดังที่แสดงไว้ในส่วนท้ายของประโยคนี้ [1] เอกสารอ้างอิงท้ายบทความ ทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงในบทความ ตามรูปแบบของ IEEE (<http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf>)

โดยแปลเอกสารอ้างอิง (References) จากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ

รูปภาพและตาราง

ต้องมีความคมชัดเป็นภาพขาวดำที่ชัดเจน มีคำอธิบายสั้นๆ ครอบคลุม และเข้าใจ 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 <http://www.journal.fit.ssru.ac.th> เท่านั้น หากต้องการรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถติดต่อได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทัยนอก แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440 Email : fit@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