

The Journal of
Industrial Technology

Suan Sunandha Rajabhat University

Volume 9 / Number 1 / January - June 2021

ISSN (Print) : 2351 - 0811

ISSN (Online) : 2730 - 2938

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม - มิถุนายน 2564)



**FACULTY OF
INDUSTRIAL TECHNOLOGY**

จัดพิมพ์โดย : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

1 ถนนอุทองนอก เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

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

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุตินาฏ ชีวีบุลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธุ์ รัตนาวะดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤษ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒิงศา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุชา เนตรประดิษฐ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสีบสาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ อ่างแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.อุทัย ผ่องรัศมี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ขาวเน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ สอนสุวิทย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจนา จันทราสา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นารีนารถ รักสุนทร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนมภัทร โตระสะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เผชญิ จันทรสา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ สวัสดิ์นะที
ดร.อภิวัฒน์ สุธะโพธิ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
มหาวิทยาลัยรังสิต

กำหนดการเผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน)
ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม)

ฝ่ายประสานงานและจัดการ

นางสาวดวงเนตร สารสมบัติ

ว่าที่ร.ต.หญิงสุรีพร พวงทอง

เจ้าของวารสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุททองนอก เขตดุสิต
กรุงเทพมหานคร 10300

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

สำนักพิมพ์

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ดี-วิทย์ (สำนักงานใหญ่)

589/1091 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางอ้อ เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700

โทรศัพท์ 081 810 1419

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้การวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นที่รวบรวมองค์ความรู้จาก ผู้มีความเชี่ยวชาญในหลากหลายด้าน นักวิจัยและประชาชนทั่วไปสามารถนำความรู้จากวารสารนี้ไปต่อยอดในการสร้างนวัตกรรมใหม่และสามารถนำกระบวนการองค์ความรู้ใหม่จากบทความไปประยุกต์สร้างสรรค์และใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริงในอนาคต

วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 1 ของปีที่ 9 (เดือนมกราคม - มิถุนายน 2564) บทความวิจัยในเล่มนี้มี 5 เรื่องประกอบด้วย Engineering properties of AC 60/70 Asphalt Cement Mixed with Natural and Crumb Rubbers, การศึกษาแรงทางด้านอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมแนวแกนตั้งชนิดใบตรงด้วยการวัดความดัน, การเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของผ้าไวน์ลกับผ้าใยซั่ม, การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตากแห้งโดยตรงสำหรับอบแห้งกล้วยน้ำว้าใช้ในระดับชุมชน, เว็บไซต์แอปพลิเคชันแบบคำร้องสำหรับนักศึกษา ซึ่งเนื้อหาของบทความทั้งหมดนี้ได้เรียบเรียงจากผลการวิจัยที่เป็นนวัตกรรมใหม่มีความร่วมสมัยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เหมาะสำหรับใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าของคณาจารย์นักวิชาการและผู้ที่สนใจทั่วไป

สำหรับวารสารฉบับต่อไปคือฉบับที่ 2 ของปีที่ 9 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2564) โดยเปิดรับบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเทคโนโลยี และด้านวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งวารสารมีพื้นที่ให้ผู้สนใจ นักวิจัย อาจารย์และนักศึกษาสามารถส่งผลงานมาพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ วารสารยินดีเป็นสื่อกลางสำหรับการเผยแพร่ผลงาน โดยบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการและพิจารณาจากกลั่นกรอง (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญตามสาขาที่เกี่ยวข้อง

ในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทามีความหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ และขอขอบคุณสมาชิกวารสารและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้วารสารวิชาการฉบับที่ 1 ประจำปี พ.ศ. 2564 สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
Engineering Properties of AC 60/70 Asphalt Cement Mixed with Natural and Crumb Rubbers <i>Kwanchanok Oonta-on, Nutchapongpol Kongchasing, Chakkarphan Sangsuwan, Anuruk Tappakron, Gritsada Sua-lam</i>	1-10
การศึกษาแรงทางด้านอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมแนวแกนตั้งชนิดใบตรงด้วยการวัดความดัน <i>Study on Aerodynamic Forces of Straight-bladed Vertical Axis Wind Turbine by using Pressure Measurement</i> <i>ดิณณภพ แพงผม, จิระศักดิ์ พุกดำ</i>	11-20
การเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของฝ้าไวนิลกับฝ้ายิปซัม <i>Comparison of heat transfer of the vinyl ceiling to the gypsum ceiling</i> <i>จิระศักดิ์ พุกดำ, ดิณณภพ แพงผม</i>	21-32
การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตากแห้งโดยตรงสำหรับอบแห้งกล้วยน้ำว้าใช้ในระดับชุมชน <i>Development of a direct solar powered dryer for drying cultivated banana in community scale</i> <i>กฤษฎางค์ ศุกระมูล, สัญลักษณ์ กิ่งทอง, จริญญา แก่นจันทร์, สถาปัตย์ ชะนากลาง, มนูญญา คำวชิระพิทักษ์</i>	33-43
การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแบบคำร้องสำหรับนักศึกษา <i>Development Request Form Web Application for Students</i> <i>เฉียบบุตติ รัตนวิไลสกุล, ธีระยุทธ์ เต็มแต้ม, ตะวัน เข้มทอง, ศุภกิจ กิจนบำรุงศักดิ์</i>	44-52

Engineering Properties of AC 60/70 Asphalt Cement Mixed with Natural and Crumb Rubbers

**Kwanchanok Oonta-on^{1*}, Nuchapongpol 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*}, Nuchapongpol.k@rmutp.ac.th¹, Chakkarphan.s@rmutp.ac.th¹,

Anuruk.note@hotmail.com¹, Gritsada.s@rmutp.ac.th¹

Received: July 10, 2020

Revised: September 11, 2020

Accepted: September 22, 2020

Abstract

This research is to study the properties of AC 60/70 asphalt cement mixed with natural and/or crumb rubbers. The AC 60/70 asphalt cement was replaced by natural rubber at 5%, crumb rubbers at 11%, and mixed with natural rubber and crumb rubbers at 8%. The suitable scale of dry crumb rubber was sizing from 0.25 mm down and the testing of penetration, loss on heating, ductility, and stripping were measured. The result finds the higher viscosity homogenized of natural rubber led from ternary mixing material, better properties than binary mixing. The ternary mixing property values are more inclined toward single mixing natural rubber to 55.32 mm, 0.081 g, 29.62 cm, and 4.68 scores of penetration, loss on heating, ductility, and stripping tests, respectively. Ternary mixing natural and crumb rubbers should be subjected to more testing at other ratios to find out its suitable proportion for better properties of asphalt mixture.

Keywords : Asphalt cement, Natural rubber, Crumb rubbers, Properties, Ternary mixing

Introduction

Paved road must be well designed and have a perfect asphalt mixture that is suitable for the total mass. It will have better efficiency when receiving aggregates with similar properties. Thailand has quite hot weather. The road surface in the country is regularly damaged by the heating of weather. As a result, the road has less life span. In the past, Thailand widely used asphalt concrete AC 70/80 standards in the general road construction. Nowadays, it is changed to AC 60/70 because the weather was heated up. Mostly, the cold countries used softer AC compared to AC in Thailand standard. Because, the lower temperature will enhance stiffness preservation [1].

At present, the amount of rubber planted in Thailand is an abundant volume in the southern and other regions. These rubber problems are caused by the oversupply of agricultural products. The majority of people turn to other areas for agriculture due to lower incomes from the sale of rubber. The government is trying to encourage rubber farmers to get more profits, but they still face the problem of reduced profits and not being cost-effective from rubber trading. So far, many researchers tried to help them by using natural rubber mixed with asphalt. Suranaree University studied by using 5%, 8%, and 10% of rubber mixed with asphalts AC 60/70 [2]. The results

were represented to the ability of total mass in each percent. Moreover, the .5 % rubber was tested in bituminous materials CRS-2 for Saybolt viscosity, penetration, and ductility property [3].

Many research applied natural rubber mixed asphalt concrete 60 -70 for the finding its right qualifications before building the road in Thailand. 5% of rubber was suitably mixed with asphalt AC 60/70 [4]. And, softening point, penetration index, torsional recovery, toughness, and tenacity testing were used in this research [5].

Including, Thailand has a lot of unused tire wheels, which contain carbon dioxide and cause air pollution. In Portugal, crumb rubber was mixed with asphalt by a dry and wet process. The outcome showed that dry process have helped to prevent the occurrence of fatigue and more saving cost than a wet method [6]. The results were still the same in the United States [7]. The suitable scale of dry crumb rubber was sizing from 0.25 mm down, or through the sieve number 60, it was the highest efficiency for bituminous testing [8]. The property of them may enhance the performance of asphalt even further with suitable mixing [9]. Also, the life span of the road has increased to 3 years and heat resistant up to 60°C when used 5% and 11% of mixed natural and crumb rubbers, respectively [10].

Research objective

This research is to study the properties of asphalt cement AC 60/70 mixed with natural rubber and waste tire rubber by the testing of penetration, loss on heating ductility and stripping properties.



Figure 1 Asphalt cement AC 60/70

Research methodology

Materials

1. Asphalt Cement AC 60/70

It is a grade currently used in Thailand with penetration of 6-7 mm at a temperature of 25°C. Bituminous has a semi-solid and liquid characteristic. It is sticky and changed to be liquid when is heated to around 140 - 150 Celsius. Asphalt concrete must be heated before using. When it is dried, it will be solid. Asphalt is a binder to bind various materials and water can not passed through. Therefore, it is used as an integral part of road work. AC 60/70 is shown in Figure 1. The chemical composition of Asphalt material AC 60/70 consists of; Wax, Oil, Resin, and Asphaltene content at 6.88%, 28.90%, 55.10%, and 16.41% respectively.

Asphalt Cement AC 60/70 can withstand a loss heating up to 0.8 percent from its total weights at 163 degrees Celsius (°C) for 5 hours. There is flash point at a temperature not lower than 232 degrees Celsius. The ductility value is not lower 50 centimeters at 25 degrees Celsius of temperature, and its penetration is in around 6-7 millimeter. Including, peeling value not more than 50 percent in incubated at 63°C for 4 days.

2. Natural rubber

Rubber is a white liquid with viscosity about 12-15 centipoise. At 60% concentration, it is rapidly increased when the rubber concentration has increasing as well. Latex earns a double content of concentrated rubber will increases viscosity by 10 times. They are shown in Figure 2. The composition of natural rubber is total solid content, dry rubber content, protein, resin, fly ash, sugar and water at 30%, 60%, 1.5%, 1.25%, 1%, 1 %, and the rest is water content.



Figure 2 Natural rubber

Natural rubber alkalinity value is not less than 0.6% from its total weight, melting point at 30 - 35.5 °C, and density is 0.906 - 0.93 gram • centimeter-3 at 20°C. Including, it has a specific gravity of 0.934 at 20°C and increases when the rubber is stretched or cooled.

3. Dry crumb rubbers

It has a natural rubber concentration of around 54 -64 %. Crumb rubber manufactured from a mixture of rubber, black soot, sulfur, ozone, oil, substances to prevent deterioration of rubber, antioxidant substances from reacting with oxygen anti-aging agent from reaction with ozone process assistants, stimulants, retardants, color accelerators, white fillers, silica, calcium carbonate, kaolin, softening substances, and substances that help the tire change its shape better as well as reducing brittle hardness and improving properties at low temperatures. These ingredients led the tire resistant to heat and impact force from flexibility as

well, shown in Figure 3. The chemical composition of dry crumb rubbers consist of; Rubber, Carbon black, Textile, Oxidize zinc, Sulfur, and additives at 54%, 29%, 2%, 1%, 1% and 13% respectively.

Dry crumb rubbers has melting point around 600 °C, and resistant to heat up to 350 degrees Celsius. Tensile strength value is not lower 18 MPa, and elongation at tear is not lower 565 percent. Including, its viscosity is around 48 of Mooney viscosity at 100 °C.



Figure 3 Dry crumb rubbers

Mix proportion

This research improves asphalt by mixing different amounts of natural rubber and crumb rubber. It divided into 4 cases are 0.0%, 5.0%, 8.0%, and 11.0% by weight of the mixture. They are showing more details in Table 1.

Table 1 Mixture proportion.

Mixture no.	AC 60/70 (%)	Natural rubber (%)	Crumb rubber (%)
1	100	0.0	0.0
2	95.0	5.0	0.0
3	89.0	0.0	11.0
4	92.0	2.5	5.5

Experiments

This research has 4 tests of asphalt concrete are showed in Figure 4(a) - 4(d), respectively. Penetration, ductility, stripping,

and loss on heating of the recovered asphalt were compared with those of the original asphalt.

1. The penetration test according to DH-T 403 standard.

2. The ductility test according to DH-T 405 standard.

3. The stripping test according to DH-T 605 standard.

4. The loss on heating test according to DH-T 404 standard.

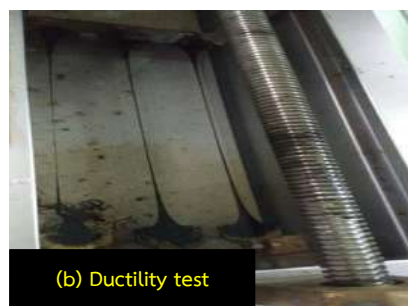
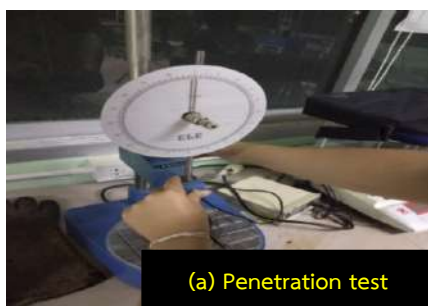


Figure 4 Testing apparatus

Results and discussions

After the 12 samples for each mixed already finished testing with 4 experiments. Their results for penetration test, ductility

test, stripping test, and loss on heating test report and discuss to this part.

Penetration value

Natural and crumb rubber mixed with AC 60/70 have the average of penetration value between 54.33 - 56.97 mm The ternary mixed between natural and crumb rubber with bituminous is 55.32 mm Including, pure asphalt concrete AC 60/70 obtains the value at 66.70 mm compared with the standard value as 60 - 70 mm of a penetration test. They are as shown in Figure 5.

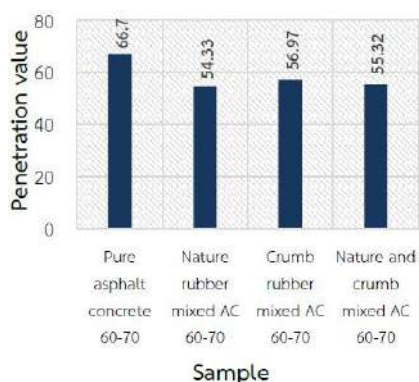


Figure 5 The penetration results

Natural rubber mixed with AC 60/70 has the best penetration property with 122.38% [5]. It helped asphalt material to be hard and greatly resistant to heat [4] because, natural rubber has the solid content up to 30 percent and 1.5 of resin also helps it to be homogeneous with asphalt material as well. Crumb rubber mixed with AC 60/70 has 118.62%, it is dry scrap that may not spread throughout

the asphalt [6]. Because the carbon black and additives help crumb rubber have high melting point. The ternary mixed between natural and crumb rubber with bituminous has penetration property better single crumb rubber and lower than single natural rubber. It halved the proportion of scrap rubber is more than the ratio of natural rubber. Therefore, the ternary material mixing property is more nearby single natural rubber mixing than crumb rubber. All samples are in the great properties when is setting 100% to penetration 70 mm, shown in Figure 6.

Ductility value

It has only pure asphalt cement AC 60/70 met the standard of ductility test to 142.33 cm Natural and crumb rubber mixed with AC 60/70 are received ductility values less than 50 cm 33.46 and 19.66 cm Including, ternary materials mixing between natural and crumb rubbers obtained to 29.62 cm They are shown in Figure 7.

The AC 60/70 has the best ductility value which it is in standards. Natural and crumb rubber mixed with AC 60/70 have 66.92% and 39.32% of ductility. They are not required to the standard that focused on 50 cm of ductility is 100%, shown in Figure 6.

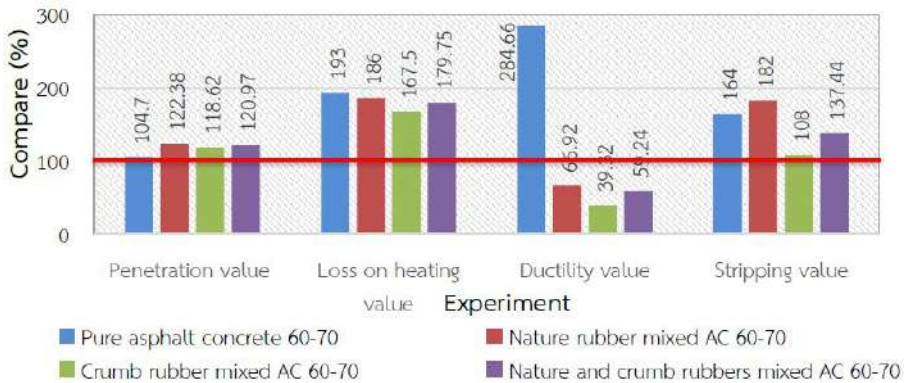


Figure 6 Summarized to each testing by quality % value of 3 samples

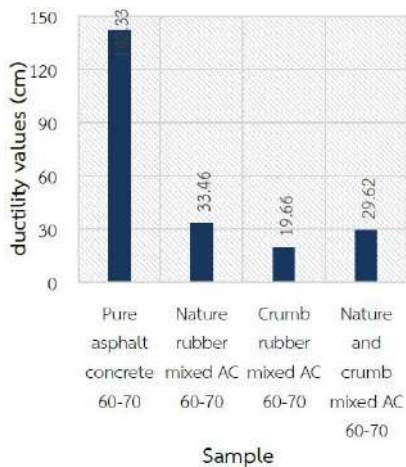


Figure 7 The ductility test results

The natural rubber property led asphalt has more stiffness from solid content that is supported reacting by the resin, and result in it is quickly recovery by viscosity [2].

Therefore, the distribution of them may not be throughout the coarse aggregate. This situation must be used more material to cover all these coarse

aggregate [3]. But, the natural latex has better ductility than crumb rubber because it is greater homogenization of material which, the carbon black and additives are still making crumb rubber have the high melting point. Resulting, the ternary materials mixing of natural and crumb rubbers there is 29.62% of ductility property inclined toward binary mixed with natural rubber and AC 60/70. The amount of rubber scraps has reduced, the material to have more elongation [9].

Stripping value

The stripping result for all mixing conforming to the standard, not over 12.5 of stripping score. Natural and crumb rubber mixed with AC 60/70, and pure asphalt cement AC 60/70 have the values at 2.25, 11.5, and 4.5, respectively.

Including, ternary mixed with natural and crumb rubbers is 4.68. The results are as shown in Figure 8.

When compared with the standard value as 100% (stripping value is 12.5 score) as shown in Figure 6. Natural rubber helps the asphalt to be more stiff and resistant to heat will not peel off when exposed to heat [3] because, solid content and resin help it has more viscosity. Crumb rubber is not spread throughout the asphalt, and it may be less effective when it is forced to become a liquid and returned to a solid again by the heating [8]. Because, they have almost 50% of other substances mixed include Carbon black, Textile, Oxidize zinc, Sulfur and additives, and causing them to be received fatigue from these changes [7].

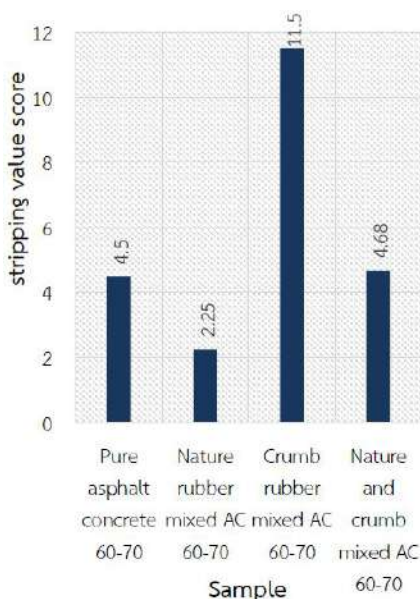


Figure 8 The stripping tests results

Therefore, natural rubber has better stripping value than crumb rubber. Resulting, the stripping property of ternary mixing is inclined toward single mixing natural rubber with AC 60/70. It is harder and striker by less crumb rubber material ratio.

Loss on heating value

Single natural and crumb rubbers mixed with AC 60/70, ternary mixing, and asphalt cement AC 60/70 have a loss on heat values at 0.056, 0.130, 0.081 and 0.028 g, respectively. Compared with the standard value are not over 0.4 g of heat loss, as shown in Figure 9.

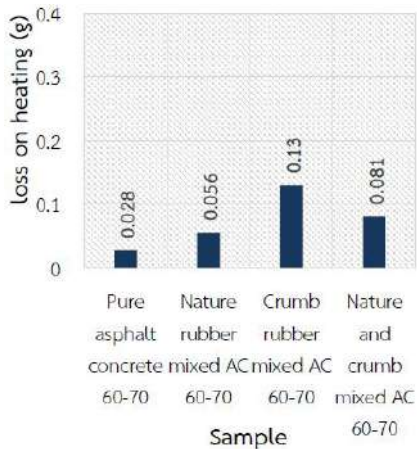


Figure 9 The loss on heating result

In the part of loss bituminous value on heating is determining the acceptable loss at 0.4 is 100%, shown in Figure 6. The binary mixing natural rubber is better homogenization of materials led it has lost less crumb rubber mixed with AC 60/70. This situation resulted in asphalt has a gap in adhesion from the high melting point of Carbon black and Additives in tire. The viscosity is from interaction between solids content and resins in natural rubber spread all the asphalt, helped to protect loss on heating [10]. The ternary materials mixing between natural and crumb rubbers with AC 60/70 are loss on heating greater single crumb rubber. Because the proportion of viscosity distribution is higher by natural rubber. Thus, ternary

materials mixing are inclined toward single natural rubber mixing due to the spread of viscosity ratio amount. However, pure asphalt cement AC 60/70 has more intensity than natural rubber resulted in loss on heating value is the best [4].

Conclusions

1. Pure asphalt concrete 60/70 provides the greatest property on loss on heating and ductility of bituminous at 0.028 g and 142.33 cm
2. Natural rubber mixed with AC 60/70 has the most quality in penetration and stripping values as 54.33 mm and 2.25 score of peeling off. Crumb rubber mixed with AC 60/70 is number 2 in quality of penetration at 56.97 mm, but another testing is the lowest efficiency.
3. The ternary material mixing AC 60/70 has the properties test values are in the middle range between single material mixing natural and crumb rubbers to 55.32 mm, 0.081 g, and 29.62 cm, and 4.68 scores respectively.
4. The rubber is caused asphalt concrete 60/70 there is more viscosity. This property led to bituminous material has harder and better heat resistance. In the term of engineering property between the use of single and ternary mixing natural crumb rubbers are not much different.

5. Ternary mixing natural and crumb rubbers should be more testing in various ratios. To find out its suitable proportion led asphalt mixture has better properties.

Acknowledgments

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

References

- [1] Department of civil engineering, *Highway materials laboratory manual*, Mahidol University Publisher, Nakhon Pathom, Thailand, 2012.
- [2] C. Terdkiat, “A study of asphalt concrete properties using asphalt cement with various proportion of natural rubber,” M.Eng. thesis (Construction and Infrastructure Management), Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2016.
- [3] P. Ankana et al., “A study for properties of mixture of rapid setting asphalt emulsion (CRS-2) and concentrated latex”. In *RSU National Research Conference (RSUSSH2019)*, Pathum Thani, Thailand, 2019, pp. 251-258.
- [4] W. Napharat et al., “The use of rubber mixed with asphalt,” *Para. Rubber. Electron. Bull.*, vol.15, pp. 18-24, 2013.
- [5] Plastics Institute of Thailand, *Driving of using rubber for building and repairing roads*, The Office of Industrial Economics Publisher, Bangkok, Thailand, 2016.
- [6] L.G. Picado-Santos et al., “Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review,” *Constr. Build. Mater.*, vol.247, pp. 118577, 2020.
- [7] S. Kocak et al., “Fatigue performance assessment of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using viscoelastic continuum damage analysis and AASHTO Ware pavement ME design,” *Constr. Build. Mater.*, vol.248, pp. 118658, 2020.
- [8] S.A. Tahami et al., “The use of high content of fine crumb rubber in asphalt mixes using dry process,” *Constr. Build. Mater.*, vol.222, pp. 643–653, 2019.
- [9] V.H. Nanjegowda et al., “Recyclability of rubber in asphalt roadway systems: A review of applied research and advancement in technology,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol.155, pp. 105655, 2020.
- [10] Y. Sompote, “Old crumb and rubber can actually make the road,” *Technol. Promot. Innomag Mag.*, vol.249, no. 13, pp. 19-20, 2016.

การศึกษาแรงทางด้านอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมแนวแกนตั้ง

ชนิดใบตรงด้วยการวัดความดัน

ดิณณภพ แพงผม^{1*}, จิระศักดิ์ พุกคำ²

¹สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล

²สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email : Tinnapob.phe@mahidol.ac.th

Received: March 30, 2021

Revised: May 18, 2021

Accepted: June 4, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแรงทางด้านอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมแนวแกนตั้ง (VAWT) การกระจายของความดันบนพื้นผิวใบพัดกังหันลมใช้เซ็นเซอร์ความดัน 32 ตัว วัดในสภาวะที่ใบพัดกังหันลมหมุนในอุโมงค์ลม การทดสอบทั้งหมดดำเนินการในสภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังมากที่สุด กังหันลมที่ใช้ในการทดสอบมีใบพัด 2 ใบ ทำจากแผ่นอากาศ NACA0021 ที่มีรัศมี 1,000 มม. ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดของกังหันลมเท่ากับ 0.22 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 2.37 มีการชี้แจงว่าการเคลื่อนที่หมุนเป็นวัฏจักรของใบกังหันลมทำให้เกิดการกระจายความดันที่แตกต่างกันไปรอบ ๆ พื้นผิวของส่วนใบพัดกังหันลม ค่าสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉากและแรงในแนวสัมผัสมีค่าสูงสุดในบริเวณความเร็วต้นกระแส (Upstream region) ซึ่งเกี่ยวข้องกับมุมปะทะที่สูงในบริเวณนี้ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านลดลงตามมุมปะทะที่ลดลงในบริเวณความเร็วต้นกระแสเนื่องจากเกิดปรากฏการณ์สูญเสียแรงยก (Stall)

คำสำคัญ : กังหันลมแนวแกนตั้ง, พลังงานลม, การวัดความดัน, อากาศพลศาสตร์, แผนอากาศ

Study on Aerodynamic Forces of Straight-bladed Vertical Axis Wind Turbine by using Pressure Measurement

Tinnapob Phengpom^{1*}, Jirasak Pukdum²

¹Institute for Innovative Learning, Mahidol University

² Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Email : Tinnapob.phe@mahidol.ac.th

Received: March 30, 2021

Revised: May 18, 2021

Accepted: June 4, 2021

Abstract

This research aimed to study aerodynamic forces for a vertical axis wind turbine (VAWT). Surface pressure distributions on the blade surface were detected using 32 pressure sensors for the rotating condition in the wind tunnel. All experiments were conducted for the optimum tip speed ratio. The test wind turbine has a two-bladed rotor made from NACA0021 airfoil with a radius of 1,000 mm. The maximum power coefficient of the test wind turbine is 0.22 at the tip speed ratio of 2.37. As a result, it is clarified that the cyclic motion of the wind blade induces variations of pressure distribution around the blade section surface. The normal and tangential coefficients take a maximum value in the upstream region where the high angle of attack. While lift and drag coefficients decrease with decreased angle of attack in the upstream region due to stall phenomenon.

Keywords : VAWT, Wind Energy, Pressure Measurement, Aerodynamic, Airfoil

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานทั่วโลกเพิ่มขึ้นและยังคงต้องเผชิญกับปัญหาต่าง ๆ เช่นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การขาดแคลนพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก นักวิจัยหลายคนพยายามใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานทางเลือกและพลังงานลมก็เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพพลังงานจลน์จากลมสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้กังหันลม [1] กังหันลมมี 2 ชนิดหลัก ๆ คือ กังหันลมแนวแกนนอน (HAWT) และกังหันลมแนวแกนตั้ง (VAWT) กังหันลมแนวแกนนอนเหมาะสำหรับการสร้างพลังงานขนาดใหญ่ (Large scale) บนภูมิประเทศเช่นพื้นที่ราบและภูเขา ส่วนกังหันลมแนวแกนตั้งเหมาะสำหรับการผลิตพลังงานขนาดเล็ก (Small scale) ในเขตเมือง

มีการคิดค้นกังหันลมแกนตั้งหลายชนิดในปัจจุบัน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่กังหันลมแกนตั้งชนิดใบตรง (Straight-bladed Vertical Axis Wind Turbine) และมีมุมเอน (Pitch angle) คงที่ โรเตอร์ของกังหันลมแนวแกนตั้งชนิดใบตรงมีรูปทรงที่เรียบง่ายและใบพัดง่ายต่อการขึ้นรูป ซึ่งแตกต่างจากใบพัดของกังหันลมแนวแกนนอนซึ่งควรบิดและเรียวเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด [2] กังหันลมแนวแกนตั้งชนิดใบตรงมีความโดดเด่นด้วยต้นทุนการผลิตที่ต่ำและรูปแบบที่เรียบง่าย ในเขตเมืองทิศทางการไหลของลมเปลี่ยนไปอย่างไม่แน่นอนและการไหลแบบปั่นป่วน [3] ดังนั้นกังหันลมแนวแกนตั้งอาจทำงานได้ดีกว่ากังหันลมแนวแกนนอนในเขตเมือง เนื่องจากกังหันลมแนวแกนตั้งสามารถใช้งานได้ในทุกพื้นที่ที่มีลมเพียงพอ และไม่จำเป็นต้องใช้กลไกการหันเหใบพัด (Yaw mechanism) [4] แม้ว่ากังหันลมแนวแกนตั้งชนิดใบตรงถือว่าเป็นกังหันลมที่ออกแบบและสร้างได้ง่ายที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ตามหลัก

อากาศพลศาสตร์ก็ถือว่าค่อนข้างมีความซับซ้อน นักวิจัยหลายคนพยายามศึกษาประเด็นเกี่ยวกับการประมาณค่าแรงทางด้านอากาศพลศาสตร์ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับกังหันลมแนวแกนตั้งที่โดดเด่นเช่น Eboibi et al. [5] และ Peng et al. [10] ได้นำเสนออิทธิพลของความตันใบ (Solidity) ต่อประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้ง ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับ ความตันใบ อัตราส่วนความเร็วปลายใบ และเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ Armstrong et al. [6] ประดิษฐ์ fence ขนาดเล็กเสริมบนใบพัดเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกังหันลม ผลลัพธ์ที่ติดตั้ง fence สามารถเพิ่มค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์กำลัง (Power coefficient) และลดอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip speed ratio) งานวิจัยในอดีตยังกล่าวถึงผลกระทบของมุมเอน Fiedler et al. [7] พยายามศึกษาผลของมุมเอนและผลลัพธ์สามารถสังเกตได้ว่าความผันผวนของค่าสัมประสิทธิ์กำลังแสดงให้เห็นว่าขึ้นอยู่กับมุมเอนเพียงเล็กน้อย ซึ่งในงานวิจัยของ Gao et al. [11] ก็มีการทดสอบการวิเคราะห์ทางอากาศพลศาสตร์ที่สัมพันธ์กับมุมเอนเช่นเดียวกับโดยการปรับมุมเอนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (C_{power}) ได้มากถึง 12% Staelens et al. [8] เสนอให้มีการปรับมุมเอนเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในแง่ของกำลังขับโดยการค่อย ๆ ทดสอบปรับมุมเอน โดยการปรับจะมีประสิทธิภาพเมื่อในขณะที่ใบพัดกังหันลมหมุน การปรับมุมเอนไม่ทำให้ขนาดของมุมปะทะ (Angle of attack) มากเกินไปจนก่อให้เกิดการสูญเสียแรงยก (Stall)

ผลกระทบจากความเร็วลมก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นกันต่อการเปลี่ยนแปลงของด้วยสัมประสิทธิ์กำลัง Song et al. [9] และ Islam et al. [2] ได้ทำการรายงานผลที่คล้ายกันว่าค่าสัมประสิทธิ์

กำลังสูงสุดของกังหันลมแนวแกนตั้งมีผลดีกว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น

งานวิจัยที่นำเสนอฉบับนี้ต้องศึกษาสัมประสิทธิ์กำลังและแรงทางอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมแนวตั้งชนิดใบตรง โดยกังหันลมชนิดใบตรงทำจากแพนอากาศ NACA0021 ที่ทำการทดสอบได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยและออกแบบจาก New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) in Japan การศึกษาได้ทำการทดสอบกังหันลมในอุโมงค์ลมร่วมกับเครื่องวัดความดัน

ระเบียบวิธีวิจัย

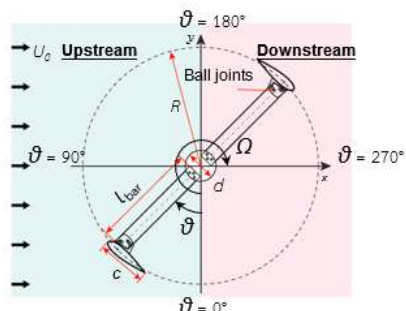
รูปที่ 1 แสดงคุณลักษณะของกังหันลมทดสอบที่สร้างขึ้น และโครงสร้างทางเรขาคณิตหลักของกังหันลมนี้แสดงในตารางที่ 1 กังหันลมแนวตั้งชนิดใบตรงมีโรเตอร์แบบ H-Darrieus และสร้างจากโพลีเอทิลีน กังหันลมทดสอบประกอบด้วยใบพัดสองใบและเพลาลูกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $d = 85$ มม. กังหันลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 2,000$ มม. รูปทรงของใบพัดกังหันลมสร้างขึ้นจากแพนอากาศ NACA 0021 ที่มีความยาวคอร์ด $c = 200$ มม. รูปร่างใบพัดตรงมีความยาว $H = 1,200$ มม. กังหันลมมีความตันใบ (Solidity) $\sigma = 0.064$ โดยมีอัตราส่วนภาพ (Aspect ratio) $AR = 6$

กังหันลมแนวตั้งชนิดใบตรงได้รับการติดตั้งและทดสอบในอุโมงค์ลมที่มีความปั่นป่วนต่ำของคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมิเอะประเทศญี่ปุ่น รูปที่ 2 แสดงมุมมองด้านบนของกังหันลมแกนตั้งที่ทำการทดสอบมีการเชื่อมต่อสับบาร์กับเพลารอเตอร์หลักที่มีความยาว $l_{bar} = 897.5$ มม. ตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่างบาร์และใบพัดของกังหันลมสามารถเปลี่ยนมุมเดินได้โดยใช้ข้อต่อบอลแบบปรับได้ จากที่สังเกตในรูปที่ 2 θ คือ

มุมทิศของกังหันลม (Azimuth angle) Ω คือความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ที่หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Rotational speed) U_0 คือความเร็วลม (Mainstream velocity) ที่สร้างจากอุโมงค์ลมมีทิศทางการไหลจากความเร็วต้นกระแส (Upstream) ไปยังความเร็วปลายกระแส (Downstream) θ คือมุมเดินของใบกังหันลมที่เป็นมุมระหว่างเส้นคอร์ดและตำแหน่งของการหมุนของโรเตอร์ ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ปรับค่ามุมเดินคงที่ $\theta = 5^\circ$



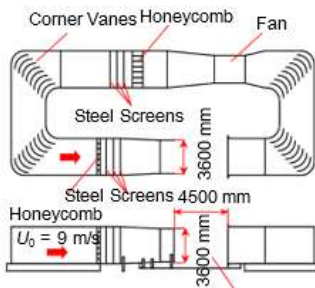
รูปที่ 1 กังหันลมแนวตั้งทดสอบ



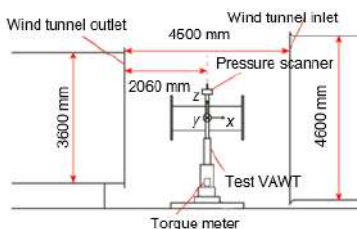
รูปที่ 2 มุมด้านบนของกังหันลมแนวแกนตั้ง

รูปที่ 3 และ 4 แสดงถึงลักษณะของอุโมงค์ลมที่ใช้เป็นแบบ Göttingen type มีทางออกของลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3,600 มม. พื้นที่ทดสอบเป็นแบบเปิดมีขนาด $4,500 \times 4,600$ มม. ความเร็ว

ลมสูงสุดสามารถทำได้ในความเร็วสูงสุดที่ 30 m/s สำหรับการทดสอบครั้งนี้ใช้ความเร็วคงที่ของกระแสลมหลัก $U_0 = 9$ m/s



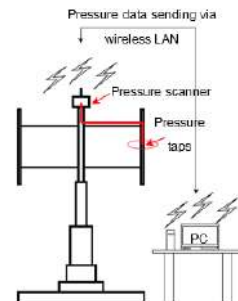
รูปที่ 3 อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4 แผนผังการติดตั้งการทดสอบ

เครื่องสแกนความดันแบบหลายจุด (Multipoint pressure scanner) ถูกนำไปใช้เพื่อตรวจจับการกระจายความดันพื้นผิวในส่วนของใบพัด ข้อมูลที่วัดได้มาจากเครื่องสแกนความดันขณะที่กังหันลมหมุนอยู่ในอุโมงค์ลม โดยเครื่องที่ใช้ ZOC22b miniature pressure scanner จากบริษัท Scanivalve Corporation เพื่อที่จะทำการวัดความดันสถิตยศาสตร์ หรือ Static Pressure ซึ่งเป็นความดันที่เกิดขึ้นกระทำตั้งฉากกับพื้นผิวใบพัด จะต้องเจาะรูเพื่อวัดความดัน (Pressure Taps) จำนวน 32 รู รอบบริเวณส่วนของใบที่ต้องการวัด ข้อมูลความดันสถิตยศาสตร์ถูกส่งผ่านท่อทองแดงเป็นสัญญาณอนาล็อกไปสู่เครื่องสแกนแรงดันที่ใช้พลังงานจาก

$\pm 15V$ DC สัญญาณแรงดันที่วัดได้ในการทดสอบจะถูกส่งไปยัง PC ผ่านระบบสัญญาณแบบไร้สาย ในขณะที่กังหันลมหมุนข้อมูลการวัดความดันจะถูกเก็บเป็นค่าเฉลี่ยโดยจะเฉลี่ยค่าความดันทุก 5 องศาที่กังหันลมหมุน



รูปที่ 5 แผนผังการวัดความดัน

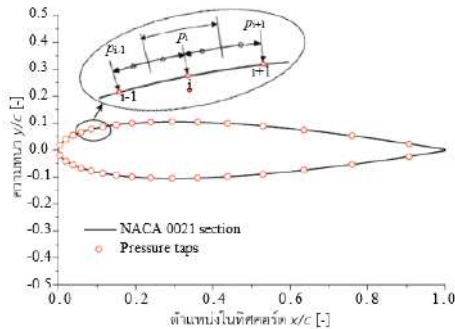
รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งส่วนใบพัดกังหันลม (Blade section) ที่ทำการวัด เส้นสีแดงแสดงถึงตำแหน่งที่ทำการวัดความดันซึ่งในการทดสอบนี้สนใจในการวัดความดัน 5 ส่วนใบพัดกังหันลมตามแนวความยาวใบพัด (Blade span) $z/(H/2) = -0.8, -0.4, 0, 0.7$ และ 0.9



รูปที่ 6 ส่วนใบพัดกังหันลมที่ทำการวัดความดัน

ซึ่งแต่ละส่วนของใบพัดที่วัดความดันจะมีการเจาะรูเพื่อวัดความดัน (Pressure Taps) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มม. ตั้งฉากกับพื้นผิวใบพัด การเจาะท่อความดันมีความถี่มากบริเวณ

ชายปีกหน้า (Leading edge) แล้วค่อยๆ ลดลง บริเวณชายปีกหลัง (Trailing edge) การวัดความดันที่ส่วนใบพัดกังหันลมแต่ละส่วนมีพอร์ตวัดความดัน 32 พอร์ตและพอร์ตอ้างอิง 1 พอร์ต



รูปที่ 7 แผนอากาศ NACA0021 และตำแหน่งวัดความดัน

แรงตั้งฉาก (Normal force, F_N) และแรงในแนวสัมผัส (Tangential force, F_T) สามารถคำนวณด้วยผลของการวัดความดันในอุโมงค์ลมได้ ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$F_N = \int_{i=1}^{32} (p_i - p_0) \sin \gamma_i ds_i \quad (1)$$

$$F_T = \int_{i=1}^{32} (p_i - p_0) \cos \gamma_i ds_i \quad (2)$$

เมื่อ F_N คือ แรงตั้งฉาก

F_T คือ แรงในแนวสัมผัส

p_i คือ ความดันที่วัดได้จากรูเจาะ

p_0 คือ ความดันที่พอร์ตอ้างอิง

γ_i คือ มุมระหว่างรูเจาะกับเส้นคอร์ด

s_i คือ ระยะห่างระหว่างรูเจาะ

จากสมการที่ (1) และ (2) สามารถคำนวณหาแรงยก (F_L) และแรงต้าน (F_D) ที่กระทำบนส่วนของใบพัดกังหันได้ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4)

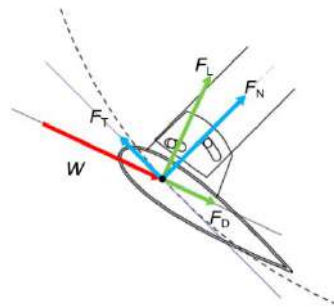
$$F_L = F_N \cos \theta + F_T \sin \theta \quad (3)$$

$$F_D = F_N \sin \theta - F_T \cos \theta \quad (4)$$

เมื่อ F_L คือ แรงยก

F_D คือ แรงต้าน

ความสัมพันธ์ของแรงทางอากาศพลศาสตร์ที่นำเสนอประกอบไปด้วย แรงตั้งฉาก (F_N) แรงในแนวสัมผัส (F_T) แรงยก (F_L) และแรงต้าน (F_D) สามารถเขียนความสัมพันธ์ร่วมกับความเร็วสัมพัทธ์ (W) บนส่วนของใบพัดกังหันลมดังรูปที่ 8



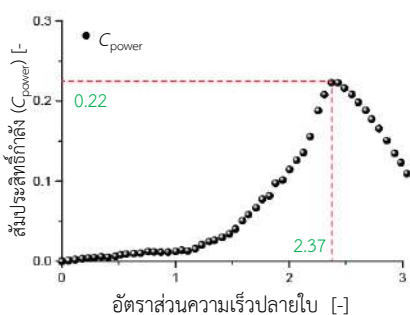
รูปที่ 8 แรงทางอากาศพลศาสตร์

ในงานวิจัยนี้การทดสอบแรงทางด้านอากาศพลศาสตร์จะแสดงในรูปค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรไร้มิติ (Non-dimensional)

ผลการวิจัย

การหาค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (C_{power}) ของกังหันลมแกนตั้งชนิดใบตรงเป็นการศึกษาหาประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจลน์จากกระแสลมมาเป็นพลังงานกล การหาค่าจากการทดสอบในอุโมงค์ลมสามารถวัดได้จากเครื่องวัดแรงบิด (Torque meter) จะเห็นว่าในสถานะอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำจะได้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังต่ำเนื่องจากความเร็วของใบพัดยังมีความเร็วต่ำในการสกัดพลังงานจลน์จากกระแสลม สำหรับ

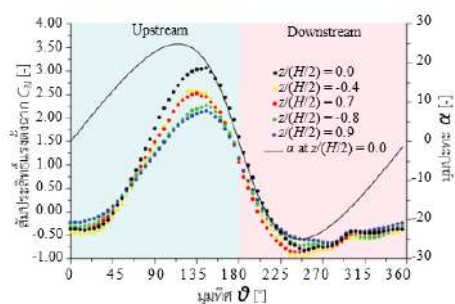
ในสภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบสูงมากเกินไปก็ได้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังต่ำเช่นกัน เนื่องจากถ้าใบพัดทำงานในอัตราความเร็วสูงจะทำให้ใบพัดเปรียบเสมือนกำแพงขนาดใหญ่มาบังกันกระแสลมไม่ให้ไหลผ่าน ดังนั้นในการสกัดพลังงานควรจะมีจุดที่ประสิทธิภาพดีที่สุด คือ “Optimum point” กังหันลมหมุนทำงานประสิทธิภาพดีที่สุด (Optimum point) ซึ่งที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 2.37 (Optimum tip speed ratio) จะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุด 0.22



รูปที่ 9 สัมประสิทธิ์กำลัง

รูปที่ 10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉาก (C_N) เทียบกับมุมทิศ θ ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 2.37 รูปคลื่นของแรงตั้งฉากมีค่าสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉากใกล้เคียง 0 ในช่วงมุมทิศ $0^\circ < \theta < 45^\circ$ จากนั้นค่าของแรง C_N สำหรับแต่ละส่วนของใบพัดกังหันลมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงค่าบวกสูงสุดและลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งค่าลบต่ำสุดในช่วงมุมทิศ $45^\circ < \theta < 225^\circ$ เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉากจะสอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมปะทะ มุมปะทะที่สูงขึ้นจะเหนี่ยวนำให้ค่าของสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉากเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉาก

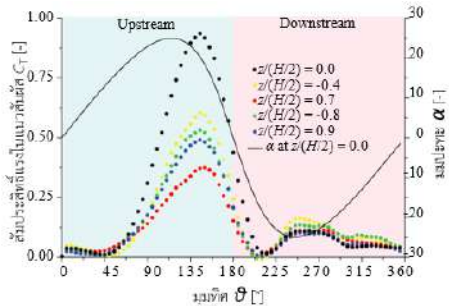
จะลดลงและสลับเป็นค่าลบที่ค่อนข้างคงที่ใกล้เคียง 0 ในช่วงมุมทิศ $225^\circ < \theta < 360^\circ$ ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉากคือประมาณ 3.07, 2.58, 2.52, 2.26 และ 2.15 สำหรับตำแหน่งส่วนใบพัดกังหันลม $z/(H/2) = 0, -0.4, 0.7, -0.8$ และ 0.9 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ความผันผวนของสัมประสิทธิ์แรงตั้งฉากกับมุมทิศ (ตำแหน่ง $z/(H/2) = -0.8, -0.4, 0.0, 0.7$ และ 0.9 , ที่ $\lambda=2.37$)

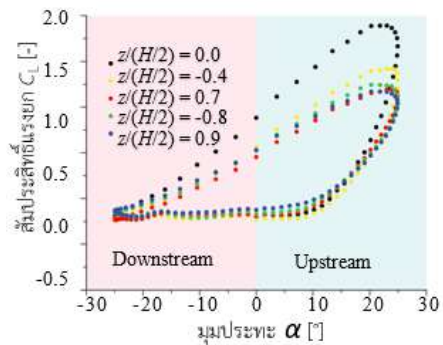
รูปที่ 11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงในแนวสัมผัส (C_T) เทียบกับมุมทิศ θ ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 2.37 รูปคลื่นของค่า C_T สำหรับแต่ละส่วนของใบกังหันลมมีค่าใกล้เคียงกับ 0 ในช่วงมุมทิศ $0^\circ < \theta < 45^\circ$ และมีค่า C_T เพิ่มขึ้นเร็วในช่วงมุมทิศ $45^\circ < \theta < 135^\circ$ เนื่องจากการเหนี่ยวนำจากการเพิ่มขึ้นของมุมปะทะ เมื่อพิจารณาแล้วค่า C_T ที่ตำแหน่งกึ่งกลางใบพัด $z/(H/2) = 0$ จะถูกเหนี่ยวนำได้ค่าสูงสุดแตกต่างจากตำแหน่งอื่นได้อย่างชัดเจนเนื่องจากค่าแรงไม่ได้ถูกลดลงจากหลายปัจจัยเช่นผลกระทบระหว่างส่วนของใบกังหันในแนวทางใบ (Spanwise direction) หรือการเกิดกระแสมวน (Vortex) บริเวณปลายใบ (Tip blade) อย่างไรก็ตามค่า C_T จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมุมปะทะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงมุมทิศ $135^\circ < \theta < 270^\circ$ โดยค่าจะลดลงกลับมาใกล้เคียง 0 อีกครั้ง

ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์แรงในแนวสัมผัสคือ 0.94, 0.60, 0.37, 0.53 และ 0.50 สำหรับตำแหน่งส่วนใบพัดกังหันลม $z/(H/2) = 0, -0.4, 0.7, -0.8$ และ 0.9 ตามลำดับ



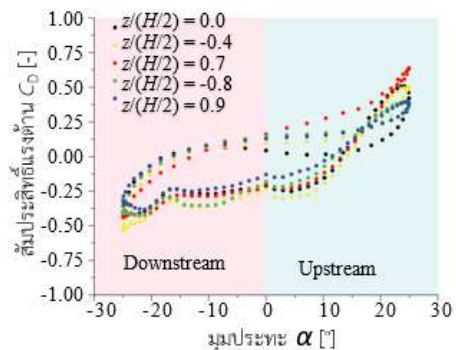
รูปที่ 11 ความผันผวนของสัมประสิทธิ์แรงในแนวสัมผัสกับมุมพิท (ตำแหน่ง $z/(H/2) = -0.8, -0.4, 0.0, 0.7$ และ 0.9, ที่ $\lambda=2.37$)

รูปที่ 12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงยก C_L เทียบกับมุมปะทะ α ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 2.37 จากรูปจะเห็นว่าความสัมพันธ์คล้ายกับ Asymmetric hysteresis loops พิจารณาที่ความเร็วต้นกระแส (Upstream) มุม $\alpha \approx 25^\circ$ จะทำให้เกิดสูญเสียแรงยก (Stall) ค่า C_L ลดลงอย่างรวดเร็วและมีการเกิดการไหลแยก (Separated flow) จากพื้นผิวใบพัดกังหันลม ค่าของ C_L ที่ตำแหน่งส่วนของใบพัดกังหันลมที่สนใจทั้งห้าตำแหน่งมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมุมโจมตี $\alpha \approx 10^\circ$ ($\theta \approx 35^\circ$) เมื่อใบพัดของกังหันลมกำลังเคลื่อนที่ไปในความเร็วปลายกระแสค่า C_L จะมีค่าใกล้เคียง 0 และคงที่ แต่ค่า C_L จะกลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อใบพัดกังหันลมกลับมาสู่ความเร็วต้นกระแสสัมประสิทธิ์แรงยกคือประมาณ 1.89, 1.42, 1.19, 1.24 และ 1.17 สำหรับตำแหน่งส่วนใบพัดกังหันลม $z/(H/2) = 0, -0.4, 0.7, -0.8$ และ 0.9 ตามลำดับ



รูปที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกเทียบกับมุมปะทะ (ตำแหน่ง $z/(H/2) = -0.8, -0.4, 0.0, 0.7$ และ 0.9, ที่ $\lambda=2.37$)

รูปที่ 13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงยก C_D เทียบกับมุมปะทะ α สังเกตได้ว่าเส้นโค้งลักษณะคล้ายกับสัมประสิทธิ์การยก C_L เมื่อสูญเสียแรงยก (Stall) เกิดขึ้นประมาณ มุม $\alpha \approx 25^\circ$ ค่า C_D จะลดลงจนกระทั่งมุม $\alpha \approx 10^\circ$ สัมประสิทธิ์แรงต้านคือประมาณ 0.51, 0.49, 0.64, 0.40 และ 0.39 สำหรับตำแหน่งส่วนใบพัดกังหันลม $z/(H/2) = 0, -0.4, 0.7, -0.8$ และ 0.9 ตามลำดับ



รูปที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเทียบกับมุมปะทะ (ตำแหน่ง $z/(H/2) = -0.8, -0.4, 0.0, 0.7$ และ 0.9, ที่ $\lambda=2.37$)

สรุปและอภิปรายผล

1. กังหันลมต้นแบบชนิดใบตรงมีค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบที่เหมาะสม (Optimum tip speed ratio) เท่ากับ 2.37 ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดประมาณ 0.22

2. ค่า C_N และ C_T ที่ตำแหน่งกึ่งางใบพัด ($z(H/2) = 0$) แสดงความผันผวนของแรงเหล่านี้ค่อนข้างสูงมากกว่าตำแหน่งอื่น

3. ค่า C_N และค่า C_T เพิ่มขึ้นตามมุมปะทะที่เพิ่มขึ้น

4. ค่า C_L และค่า C_D ลดลงเมื่อเกิดสูญเสียแรงยก (Stall) ค่า C_L จะมีค่าสูงในความเร็วต้นกระแส ส่วนค่า C_D มีค่าสูงทั้งความเร็วต้นกระแสและความเร็วปลายกระแสแต่ทิศทางตรงกันข้าม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ขอแสดงความขอบคุณ Prof. Dr. Takao Maeda จากห้องวิจัย Fluid Engineering for Energy and Environment Laboratory, Mie University, ที่เป็นอย่างอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิจัยนี้ และขอแสดงความขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ของทางห้องวิจัยที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

References

- [1] M.H. Mohamed, "Impacts of solidity and hybrid system in small wind turbines performance," *Energy*, Vol.57, No.1, pp. 495-504, Aug. 2013.
- [2] M. Islam, D.S.K. Ting and A. Fartaj, "Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.12, No.4, pp.1087-1109, May 2008.
- [3] L.P. Chamorro, R.E.A. Arndt and F. Sotiropoulos, "Reynolds number dependence of turbulence statistics in the wake of wind turbines," *Wind Energy*, Vol.15, No.5, pp. 733-742, Sep. 2012.
- [4] I. Mazharul, S.K.T. David and F. Amir, "Aerodynamic models for Darrieus type straight bladed vertical axis wind turbines," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.12, No.4, pp.1087-1109, May 2008.
- [5] O. Eboibia, L.A.M. Danaob and R.J. Howell, "Experimental investigation of the influence of solidity on the performance and flow field aerodynamics of vertical axis wind turbines at low Reynolds numbers," *Renewable Energy*, Vol.92, Vol.1, pp.474-483, Jul. 2016.
- [6] S. Armstrong, A. Fiedler and S. Tullis, "Flow separation on a high Reynolds number, high solidity vertical axis wind turbine with straight and canted blades and canted blades with fences," *Renewable Energy*, Vol.41, No.1, pp.13-22, May 2012.
- [7] A. Fiedler and S. Tullis, "Blade offset and pitch effects on a high solidity vertical axis wind turbine," *Wind Eng.*, Vol.33, No.3, pp.237-246, May 2009.

- [8] Staelens, Y, Saeed, F, & Paraschivoiu, I. "A Straight-Bladed Variable-Pitch VAWT Concept for Improved Power Generation." *Proceedings of the ASME 2003 Wind Energy Symposium. ASME 2003 Wind Energy Symposium. Reno, Nevada, USA. January 6–9, 2003.* pp. 146-154. ASME. <https://doi.org/10.1115/WIND2003-524>
- [9] S.H. Song, S. Kang and N. Hahm, "Implementation and control of grid connected AC-DC-AC power converter for variable speed wind energy conversion system," in *Proceedings of Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Florida, USA, pp. 154-158. 2003.
- [10] Y. X. Peng, Y.L. Xu, S. Shu and C. Li, "High solidity straight bladed vertical axis wind turbine: Numerical simulation and validation," *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*," vol.193, no.103960, pp. 1-13. Oct, 2019.
- [11] Y. Guo, X. Li, L. Sun, Y. Gao, Z. Gao and L. Chen "Aerodynamic analysis of a step adjustment method for blade pitch of a VAWT," *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, vol.188, pp.90-101. May 2019.

การเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของผ้าไวไนลกับฝ้ายิปซัม

จิระศักดิ์ พุกคำ^{1*}, ดิณณภพ แพงผม²

^{1*} สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล

Email : Jirasak.puk@rmutr.ac.th

Received: March 18, 2021

Revised: May 18, 2021

Accepted: June 4, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านโดยใช้ผ้าเพดานที่ทำมาจากวัสดุไวไนลเปรียบเทียบกับผ้าเพดานยิปซัม โดยวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนผ่านผ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านด้วยวิธีการพาความร้อน และพฤติกรรมการคายความร้อนของวัสดุในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน บ้านสองหลังถูกสร้างขึ้นมาใช้ในทดลอง โดยแต่ละหลังมีขนาด 1 m x 1 m x 1m มุงหลังคาด้วยกระเบื้องคอนกรีตแบบลอน โดยด้านใต้หลังคาไม่มีการติดตั้งฉนวนและมีมุมหลังคา 30° ผลการศึกษาพบห้องใต้หลังคามีค่าอุณหภูมิ 43.7-44 °C อุณหภูมิที่ผ้าเพดานไวไนลด้านบนและด้านล่างสูงกว่าผ้าเพดานยิปซัมในช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ย 0.42 °C และ 0.65 °C ขณะที่ในช่วงกลางคืนมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าผ้าเพดานยิปซัมเฉลี่ย 1.15 °C และ 1.1 °C อุณหภูมิห้องของบ้านทดสอบมีค่าต่ำกว่าบ้านอ้างอิงในช่วงเวลากลางคืนเฉลี่ย 0.8 °C ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของผ้าไวไนลสูงกว่าผ้าเพดานยิปซัมเฉลี่ยตลอดทั้งวัน 2.37 W/m².K และมีค่าต่ำกว่าในเวลากลางคืน 1.81 W/m².K ในขณะที่ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้หัววัดมีค่าการคายความร้อนออกได้ดีกว่าฝ้ายิปซัมเฉลี่ย 1.64 W/m² ในเวลากลางคืน

คำสำคัญ : ผ้าเพดาน, ไวไนล, การถ่ายเทความร้อน, การพาความร้อน, การคายความร้อน

Comparison of heat transfer of the vinyl ceiling to the gypsum ceiling

Jirasak Pukdum^{1*}, Tinnapob Phengpom²

^{1*}Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Salaya, Puthamonthon, Nakhonpathom, Thailand

²Institute for Innovative Learning, Mahidol University

Email : Jirasak.pukdum@rmutr.ac.th

Received: March 18, 2021

Revised: May 18, 2021

Accepted: June 4, 2021

Abstract

The objective of this research is to study the effect of heat transfer through the house by using the ceiling made of vinyl material compared with the gypsum ceiling. The results of heat transfer through the ceiling into the house were analyzed by convection method and material exothermic behavior during the day and night. Two houses were built for experiments. Each house has a room size of 1 m x 1 m x 1m. Both houses thatched with corrugated concrete roof tiles. The attic did not attach the insulation and the angle of the roof was declined 30°. The experimental results showed that the attic temperature indicated in the range of 43.7-44 °C. Obviously, the upper side and lower side of the vinyl ceilings were higher than gypsum ceilings during the day at 0.42 °C and 0.65 °C. However, the upper side and lower side of the vinyl ceilings at night showed averaged temperatures lower than gypsum ceilings at 1.15 °C and 1.1 °C. The room temperature of the test house was lower than the reference house during the night at 0.8 °C. The convective heat transfer value of vinyl ceilings was 2.37 W/m²K which higher than the average gypsum ceiling throughout the day and lower than the gypsum ceiling at night 1.81 W/m²K. The value of heat transfer using the heat flux sensor for measuring. It was found that the exothermic of the vinyl ceiling during the night was higher than the gypsum ceiling about 1.64 W/m².

Keywords : ceiling, vinyl, Heat transfer, convective heat transfer, exothermic

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพอากาศร้อนชื้นจึงมีสภาพอากาศร้อนเกือบทั้งปี และการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้การออกแบบอาคาร ที่พักอาศัยจึงต้องคำนึงถึงการป้องกันหรือลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารให้ได้มากที่สุดในการสร้างสภาวะความสบายให้กับผู้อยู่อาศัย อีกทั้งยังต้องพิจารณาการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ และลดปัญหาค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นจากการใช้พลังงานภายในอาคาร ที่พักอาศัย โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศ จากปัญหาดังกล่าวทำให้นักวิจัยในประเทศมีการศึกษาและพัฒนาวัสดุเพื่อลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านที่เข้าสู่ที่พักอาศัยอย่างต่อเนื่องโดย Khedari และคณะ[1] ใช้วัสดุ Roof Solar Collector (RSC) สำหรับระบายความร้อนในที่อยู่อาศัยโดยธรรมชาติโดยใช้ชั้นแผ่นสองแผ่น การใช้ประโยชน์จากการที่อากาศผลการศึกษาพบว่าวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศตามธรรมชาติที่ดีขึ้นควรเป็นกระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนียด้านนอกและแผ่นยิปซัมด้านใน โดยอัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นคือประมาณ $0.08-0.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ต่อมา Phiraphat และคณะ [2] พัฒนาหลังคาระบายอากาศแบบใช้ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งแทนแผ่นหลังคาคอนกรีตโดยตัวหลังคานี้ประกอบด้วยแผง PV ติดตั้งไว้ที่ด้านบน และด้านล่างเป็นแผ่นอลูมิเนียมมีช่องว่างอากาศ 5 cm ซึ่งเรียกว่า photovoltaic roof solar collector (PV-RSC) การทดลองนี้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายความร้อนของวัสดุ PV-RSC พบว่าวัสดุดังกล่าวสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนบนฝ้าเพดานได้นอกจากนี้วิธีการใช้กระเบื้องหลังคาระบาย

อากาศด้านบนสันหลังคา เพื่อดึงความร้อนอากาศภายในห้องใต้หลังคา และบริเวณฝ้าเพดานก่อนถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวห้อง [3] โดยวัสดุประกอบด้วยช่องว่างอากาศขนาด 3 cm สำหรับการไหลของอากาศ ขนาดคือ $40 \times 40 \text{ cm}^2$ ติดตั้งที่ด้านบนสุดของหลังคา ผลการวิจัยระบุว่าหลังคากระเบื้องระบายอากาศ ให้การระบายอากาศที่สูงและลดการการถ่ายเทความร้อนจากเพดานด้านบนเข้าไปสู่ตัวห้อง

ในส่วนของฝ้าเพดาน Diaz และคณะ [4] นำเสนอการศึกษาทดลองเพื่อพัฒนาแบบจำลองการคำนวณของระบบฝ้าเพดานทำความเย็นแบบระบายความร้อนเป็นครีป การทดลองระบบฝ้าเพดานทำความเย็นที่แตกต่างกัน 4 แบบ ถูกนำเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระบบในการทำทำความเย็น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนบนพื้นผิวเพดานสามารถเพิ่มขึ้นอย่างมาก ต่อมาการศึกษาประสิทธิภาพความร้อนบนฝ้าเพดานโดยกา แผ่รังสีผ่านแผงระบายความร้อนถูกศึกษาโดย Yuan และคณะ [5] โดยสร้างห้องทดสอบสภาพภูมิอากาศที่มีแผงระบายความร้อนบนเพดานระบายความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดมีความผันผวนเล็กน้อยเมื่อแหล่งความร้อนภายในมีการกระจายสม่ำเสมอ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดมีความผันผวนตั้งแต่ 6.5 ถึง $9.7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยคือ $8.5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ผลการทดลองสามารถให้คำแนะนำสำหรับการประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมอีกด้วย ต่อมามีการพัฒนาเพดานทำด้วยแผ่นไม้ซีเมนต์โดย Zhang และคณะ[6] ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการระบายอากาศ เพื่อตรวจสอบผลกระทบของพื้นที่เปิดฝ้าเพดานแบบกระจายต่อความสามารถในการทำทำความเย็นของระบบและความสะดวกสบายในการระบายความร้อน ในการศึกษาทดลองใช้เพดานแบบกระจาย 3 แบบ

โดยมีพื้นที่เปิด 100%, 50% และ 18% แผ่นฝ้าเพดานแต่ละแผ่นมีขนาดความหนา 35 mm กว้าง 600 mm และยาว 1200 mm ความหนาแน่นของแผงเพดานวัดได้ที่ 359 kg/m^3 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการระบายอากาศบนเพดานแบบกระจายช่วยให้ระดับความสะดวกสบายในการระบายความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ Kristensen และคณะ [7] ประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศฝ้าเพดานโดยทำการการวัดอุณหภูมิอากาศ ความเข้มข้นของ CO_2 และความเร็วของอากาศสำหรับการวิเคราะห์การกระจายของอากาศ ตลอดจนประสิทธิภาพการระบายอากาศและการประเมินความสบายทางความร้อนภายในห้องเรียน ประสิทธิภาพของการระบายอากาศค่อนข้างเหมาะสม ความรู้สึกไม่สบายตัวและความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งมีน้อยมาก

สำหรับในประเทศไทยการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวฝ้าเพดานนั้นได้มีการพัฒนาการระบายอากาศบริเวณเพดาน โดยเจาะรูและฝ้าเพดานช่องระบายอากาศ [8] ถูกนำมาติดตั้งทดสอบ โดยบ้านที่ใช้สำหรับการทดสอบตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร บ้านหลังนี้มีสองชั้น หลังคาใช้กระเบื้องคอนกรีตซีแพคโมเนีย (กระเบื้องลอน) สีแดงเข้ม ช่องระบายอากาศแบบเจาะรูเต็มรูปแบบทำด้วยไม้ถูกติดตั้งในตำแหน่งของฝ้าเพดานยิปซัม การทดลองเน้นการวิเคราะห์อุณหภูมิที่วัดได้และความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวบ่งชี้ผลรวมของการระบายอากาศแบบเต็มเพดาน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าฝ้าเพดานมีประสิทธิภาพมากในการลดอุณหภูมิของอากาศในห้องใต้หลังคาและการสะสมความชื้นในห้องน้ำ ต่อมา Jantana และ Pukdum [9] นำเสนอการลดความร้อนบริเวณเพดานโดยใช้ฝ้าเพดานแบบไวนิลที่มีการเจาะรูเพื่อช่วยระบายอากาศ ติดตั้งในบ้านจำลองสองหลังที่ถูกสร้างเพื่อทดสอบโดยมีพื้นที่เพดาน

ประมาณ 1.44 ตร.ม. ฝ้าเพดานทำจากแผ่นไวนิลโดยการทดลองและเปรียบเทียบกับฝ้าเพดานทั่วไป (แผ่นยิปซัม) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าฝ้าเพดานไวนิลสามารถลดการความร้อนของเพดานและอุณหภูมิห้องใต้หลังคาอยู่ที่ $1\text{--}7 \text{ W/m}^2$ และ $1\text{--}4 \text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของการลดความร้อนบนเพดานนั้นอยู่ในช่วง 10-80 % นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการลดความร้อนและการพาความร้อนผ่านฝ้าเพดานที่มีการระบายอากาศซึ่งใช้ระบบระบายอากาศเซลล์แสงอาทิตย์ [10] โดยติดตั้งอุปกรณ์ระบายอากาศด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 32 W ฝังไว้บริเวณฝ้าเพดาน เพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากฝ้าเพดานและตัวบ้าน พบว่าการเปลี่ยนอากาศภายในบ้านทดสอบ $127\text{--}132 \text{ m}^3/\text{hr}$ และทำให้อุณหภูมิที่ผิวเพดานด้านบนและด้านล่างภายในบ้านทดสอบมีค่าลดลงประมาณ $1.9\text{--}2 \text{ }^\circ\text{C}$ และการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเฉลี่ย ทั้งวันมีค่า 30-34 % จึงส่งผลให้อุณหภูมิห้องของบ้านทดสอบมีค่าต่ำกว่าบ้านอ้างอิง เฉลี่ย $2.9 \text{ }^\circ\text{C}$

จากที่กล่าวมานั้นจะเห็นได้ชัดว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานลงไปสู่ตัวบ้านนั้น มีผลต่อภายในบริเวณที่พักอาศัยหรือภายในห้อง ดังนั้นการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวฝ้าเพดานจึงเป็นอีกสิ่งหนึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัย ทั้งนี้สถาปนิกและวิศวกรจึงพยายามศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านทั้งในรูปแบบตามธรรมชาติและแบบบังคับ รวมไปถึงการใช้วัสดุที่มีความเป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อต่าง ๆ ทดแทนฝ้าเพดานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ในการระบายอากาศแบบบังคับนั้นจะให้พัดลมเป็นตัวดึงอากาศร้อนที่สะสมภายในห้องออกไปยังภายนอกได้รวดเร็วกว่า แต่จะใช้พลังงานเยอะกว่าการเจาะช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติที่บริเวณฝ้าเพดานแต่ข้อเสียของการ

ระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในบ้านจะเป็นการสะสมของมลพิษและฝุ่นละอองซึ่งต้องเป็นภาระในการทำความสะอาดให้กับผู้อยู่อาศัย ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุฝ้าเพดาน โดยใช้วัสดุฝ้าเพดานโวนิลนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุฝ้าเพดานที่ใช้ในปัจจุบัน คือแผ่นฝ้าเพดานยิปซัม เพื่อให้เห็นถึงพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนของวัสดุทั้งสองชนิด โดย พิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อไปนี้ อุณหภูมิห้องใต้หลังคา อุณหภูมิฝ้าเพดาน อุณหภูมิภายในตัวบ้าน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนจากห้องใต้หลังคาผ่านฝ้าเข้าสู่ตัวบ้าน โดยใช้ฝ้าเพดานที่ทำมาจากวัสดุโวนิลเปรียบเทียบกับฝ้าเพดานยิปซัม เพื่อวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านด้วยวิธีการการพาความร้อน และพฤติกรรมการคายความร้อนออกที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน และ กลางคืน

ลักษณะของบ้านทดสอบและการติดตั้งเครื่องมือสำหรับทดลอง

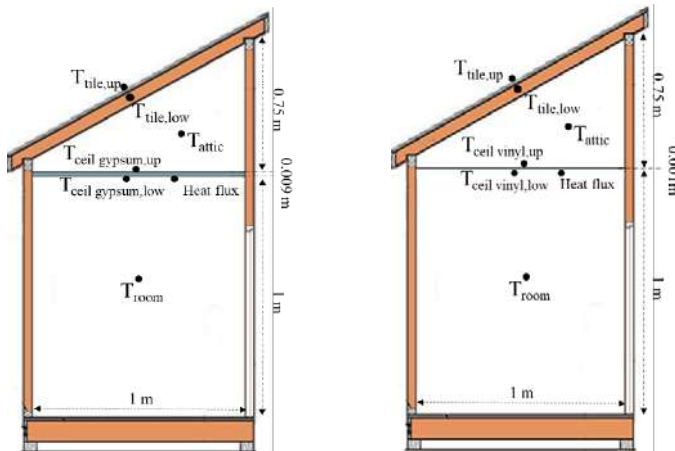
บ้านขนาดเล็กจำนวนสองหลังถูกสร้างขึ้นมาใช้ในการดำเนินการทดลองซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 โดยแต่ละหลังมีขนาด 1 m^2 ($1\text{ m} \times 1\text{ m}$) หลังคาบ้านทดสอบทำจากกระเบื้องคอนกรีตแบบลอน และมีมุมหลังคา 30° โดยด้านใต้หลังคาไม่มีการติดตั้งฉนวน สำหรับฝ้าเพดานที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ชนิดคือ 1) ยิปซัมมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity; k) $0.17\text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (emissivity, ϵ) 0.93 [11] โดยมีขนาด $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ความหนา 0.009 m ถูกติดตั้งภายในบ้าน

ตัวอย่างสำหรับการทดสอบ 2) แผ่นโวนิลมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity; k) $0.19\text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (emissivity, ϵ) 0.93 [11] โดยมีขนาด $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ความหนา 0.001 m ถูกติดตั้งภายในบ้านอีกหลัง โดยฝ้าเพดานทั้ง 2 ชนิดถูกใช้ติดตั้งสูงจากพื้น 1 m ผนังทั้งสี่ด้านของบ้านทั้ง 2 หลังทำจากแผ่นสมาร์ทบอร์ด โดยที่บ้านตัวอย่างจะติดตั้งแผ่นฝ้ายิปซัม และบ้านทดสอบจะติดตั้งแผ่นฝ้าแบบ โวนิลไว้เป็นเพดานสำหรับการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบ โดยวัสดุฝ้าเพดานโวนิลซึ่งเป็นฝ้าที่ทำจากวัสดุโวนิล และมีจุดเด่นคือสามารถติดตั้งได้ง่าย และเป็นฝ้าที่ซ่อนรอยต่อมีน้ำหนักรเบา จึงสามารถติดตั้งได้หลากหลายพื้นที่ เช่น ใช้ในส่วนของงานเพดานและติดตั้งไฟดาวน์ไลท์ ทั้งสามารถนำไปติดตั้งเป็นฝ้าผนัง หรือโซนกันห้องก็ได้ ใช้ได้ทุกพื้นที่ ไม่เว้นแม้แต่ติดตั้งเป็นฝ้าภายในห้องน้ำ เนื่องจากตัวโวนิลมีคุณสมบัติที่ทนต่อความชื้น ทำความสะอาดได้ง่ายและกันปลวก ด้วยความที่ฝ้ามีน้ำหนักที่เบา จึงไม่ค่อยมีผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร

การเก็บข้อมูลนั้นสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ช่วง: $0 - 800^\circ\text{C}$, $\pm 0.4^\circ\text{C}$) ถูกติดตั้งเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ตำแหน่งผิวด้านบน-ล่างของวัสดุผนังหลังคา อุณหภูมิอากาศของพื้นที่ห้องใต้หลังคา อุณหภูมิพื้นผิววัสดุฝ้าเพดานด้านบนและด้านล่าง อุณหภูมิภายในตัวบ้านตัวอย่างและบ้านทดสอบ อุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ (Kipp & Zonen : รุ่น CMP11, $< 2\%$) ถูกติดตั้งอยู่บนหลังคาของบ้านตัวอย่างและเอียงทำมุมเดียวกันกับหลังคาบ้าน อุปกรณ์วัดค่าการถ่ายเทความร้อน (EKO: MF-180 $\pm 2\%$) ซึ่งจะทำหน้าที่วัดการถ่ายเทความร้อนจากฝ้าเพดาน ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki : รุ่น LR8422-20, $\pm 0.7\%$) และทำการบันทึก

ข้อมูลทุก 5 นาที โดยตำแหน่งการวัดอุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำการทดลองที่ละจุด 13 ° 47'41.3 "N และลองจิจูด 100 ° 17'56.7" E ในช่วงเดือนเมษายน 2563 ณ ชั้น 10 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ อำเภอสาลายา

จังหวัดนครปฐม เป็นพื้นที่แดดฟ้าเปิดโล่ง โดยข้อมูลที่เก็บได้นั้นจะเลือกข้อมูลเพียง 1 วัน ที่นำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ โดยเป็นวันที่มีข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ (ท้องฟ้าโปร่งใส และมีเมฆมาบดบังพื้นที่ทำการทดสอบน้อยที่สุด) และอุณหภูมิสถานะแวดล้อมที่เหมาะสม



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดของบ้าน

ความร้อนจะสามารถไหลผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในบ้านพักอาศัยในช่วงเวลากลางวันได้ เมื่อความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์มาตกกระทบบนผิวภายนอกหลังคา ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผิวภายนอกบางส่วนถูกดูดกลืน และแผ่รังสีผ่านผิวด้านล่างของวัสดุหลังคาจึงทำให้เกิดการพาความร้อน ระหว่างอากาศใต้หลังคากับผิวหลังคาด้านล่าง เข้าสู่พื้นที่ห้องใต้หลังคา บริเวณห้องใต้หลังคาก็จะสะสมความร้อนจนส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นสูงขึ้น จากนั้นความร้อนดังกล่าวถูกถ่ายเทไปยังผิวด้านบนของฝ้าเพดาน และถ่ายเทความร้อนผ่านความหนาของฝ้าเพดานโดยการนำความร้อนสู่ผิวด้านล่างของฝ้าเพดานซึ่งอยู่ภายในตัวบ้าน ทำให้เกิดการพาความร้อน การแผ่รังสี ความร้อนจากฝ้าเพดานด้านล่างและเกิดการสะสมความร้อนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้น

ความร้อนจะถูกถ่ายเท โดยการพาให้กับอากาศภายในตัวบ้าน ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนโดยวิธีธรรมชาติหรือค่า (q) ระหว่างพื้นผิวเพดานและอากาศภายในห้องสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (1)

$$q = h_c A (t_s - t_a) \quad (1)$$

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวเพดานและอากาศภายในห้อง (W/m.K)

A คือ พื้นที่ของเพดาน (m^2)

t_s คือ อุณหภูมิผิวเพดาน ($^{\circ}C$)

t_a คือ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ($^{\circ}C$)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวเพดานและอากาศภายในห้องระหว่างพื้นผิวเพดานและชั้นอากาศที่อยู่ใกล้เคียง (h_c) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ [10]

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \quad (2)$$

เมื่อ Nu คือ ค่านัสเซลล์เบอร์

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างพื้นผิวเพดานและชั้นอากาศใกล้เคียง ($W/m \cdot K$)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m \cdot K$)

ค่าเรย์เลห์ (Rayleigh Number) หรือค่า Ra_L สามารถหาได้จาก

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_s - T_\alpha) L^3}{\alpha \nu} \quad (3)$$

เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง (m/s^2)

B คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ ($1/K$)

L คือ ค่าความยาวของฝ้าเพดาน (m)

T_s คือ อุณหภูมิผิวเพดาน ($^{\circ}C$)

T_α คือ อุณหภูมิอากาศใกล้เคียงผิวเพดาน ($^{\circ}C$)

α คือ ค่าการแพร่ความร้อน (m^2/s)

ν คือ ความหนืดคินแมติก (m^2/s)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ (β) หาได้จากสมการ

$$\frac{1}{T_f} \quad (4)$$

เมื่อ T_f คือ อุณหภูมิที่ใช้พิจารณาค่าสมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\frac{T_s + T_\alpha}{2} \quad (5)$$

สำหรับค่า $10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$ เนื่องจากลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านมีลักษณะการจัดวางเป็นแบบผิวร้อนคว่ำลง ดังนั้น

$$Nu = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (6)$$

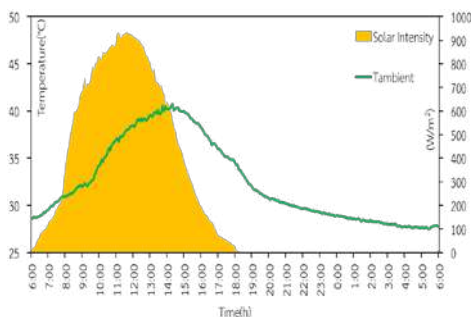
ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ระหว่างพื้นผิวเพดานและชั้นอากาศใกล้เคียง (h) จากสมการที่ (2) คือ

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (7)$$

ผลการวิจัย

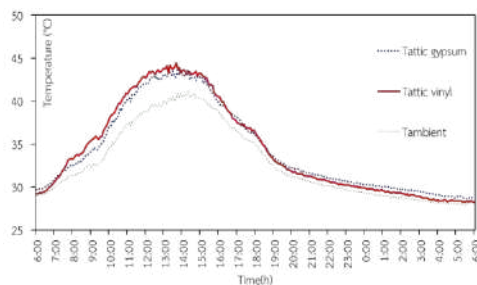
ค่าความการเปลี่ยนแปลงของเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดทั้งวันแสดงดัง รูปที่ 2 พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องใช้เวลาเข้าตั้งแต่ 6.00 น. จนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่ $930 W/m^2$ ที่เวลา 11:40 น. จากนั้นช่วงบ่ายค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อย ๆ มีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ที่เวลา 18:20 น. โดยค่าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งวันประมาณ $675 W/m^2$ สำหรับค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีจะค่อย ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นแต่มีค่าสูงสุดคนละช่วงเวลากับค่ารังสีอาทิตย์เนื่องจากพื้นรอบ ๆ ได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ในตอนที่ดวงอาทิตย์ตั้งแต่วางเช้าและดูดซับความร้อนนั้นไว้จนกระทั่งมีการสะสมพลังงานความร้อนไว้สูงที่สุดคือช่วงบ่ายนั่นเอง

จึงทำให้อุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 14:20 น. มีอุณหภูมิสูงที่สุดในรอบวันที่ 40.7 °C และมีค่าเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันประมาณ 35.6 °C ช่วงเวลาที่อุณหภูมิต่ำที่สุดคือ ช่วง 5:00 น.



รูปที่ 2 ค่ารังสีอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ในบริเวณห้องใต้หลังคาค่าความร้อนหรือค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากอุณหภูมิพื้นผิวด้านล่างของแผ่นวัสดุผนังหลังคา ซึ่งทำมาจากแผ่นกระเบื้องคอนกรีตซึ่งแสดงดังรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในบริเวณห้องใต้หลังคาของบ้านอ้างอิงและบ้านทดสอบจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงเช้า จนกระทั่งในช่วง 7.40 น. ห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบ ($T_{attic \text{ Vinyl}}$) เริ่มมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบ้านอ้างอิงเล็กน้อย ($T_{attic \text{ gypsum}}$) เล็กน้อย โดยบ้านทั้ง 2 หลัง มีการสะสมความร้อนเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลากลางวัน โดยมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดอยู่ประมาณ 44 องศาเซลเซียส สำหรับห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบและ 43.7 องศาเซลเซียส สำหรับห้องใต้หลังคาของบ้านอ้างอิง ในขณะที่บ้านทดสอบจะมีค่าอุณหภูมิสะสมที่ห้องใต้หลังคาสูงกว่าบ้านอ้างอิงตลอดทั้งวันเฉลี่ย 0.5 องศาเซลเซียส

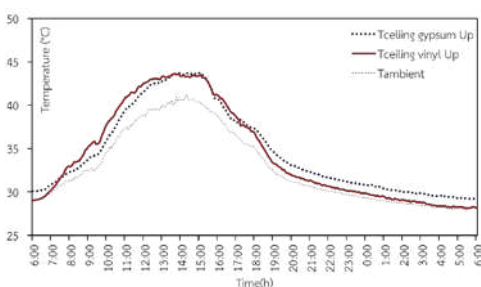


รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิห้องใต้หลังคา

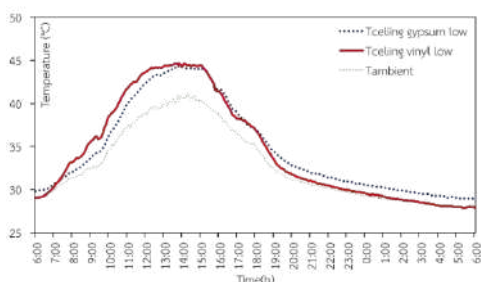
การถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิอากาศบริเวณแผ่นฝ้าเพดาน เมื่อพิจารณาแล้ว อุณหภูมิผิวเพดานด้านบนและผิวเพดานด้านล่างซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 และ 5 โดยที่ฝ้าเพดานด้านบนในช่วงเวลาเริ่มต้นตั้งแต่ 06:00 - 7:30 น. มีอุณหภูมิสะสมที่บริเวณพื้นผิวด้านบนของฝ้าเพดานชนิดไวนิล ($T_{ceiling \text{ vinyl Up}}$) มีอุณหภูมิก่อน ๆ เพิ่มสูงขึ้นกว่าฝ้าเพดานยิปซัม ($T_{ceiling \text{ gypsum Up}}$) ตั้งแต่ในช่วงเวลา 7:30-13:45น. โดยเฉลี่ย 1.1°C เนื่องจากผิวของวัสดุไวนิลนั้นมีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าวัสดุยิปซัม สำหรับอุณหภูมิแตกต่างของวัสดุทั้งสองตลอดทั้งวัน (6.00-18.00 น.) มีค่าเฉลี่ย 0.42 °C แต่หลังจากนั้นอุณหภูมิพื้นผิวด้านบนของฝ้าเพดานชนิดไวนิลค่อย ๆ ลดลงตามค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จนมีค่าเท่ากับพื้นผิวด้านบนของฝ้าเพดานยิปซัม โดยเฉพาะในช่วงตอนเย็นตั้งแต่หลังเวลา 18:00 น. เป็นต้นไป อุณหภูมิผิวด้านบนที่ฝ้าเพดานชนิดไวนิลมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวด้านบนของฝ้าเพดานยิปซัม ซึ่งจะเห็นได้ตั้งแต่เวลา 19:00-5:30 น. เฉลี่ย 1.15 °C ซึ่งเป็นผลมาจากความบางของตัววัสดุไวนิลที่สามารถคายความร้อนออกไปได้ดีกว่าตัววัสดุยิปซัม

ในขณะที่อุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดานจะได้รับการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวด้านบนโดยการนำความร้อนผ่านเนื้อวัสดุลงทำให้อุณหภูมิสะสมจนสูงกว่าผิวด้านบน และมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นและลดลงไปในทิศทาง

เดียวกันกับผิวด้านบน โดยผิวด้านล่างของฝ้าเพดานไวนิล ($T_{\text{ceiling vinyl low}}$) มีค่าอุณหภูมิในเวลากลางวันสูงสุดที่ 45°C ที่เวลา 14:00 น. ขณะที่ผิวฝ้าเพดานยิปซัม ($T_{\text{ceiling gypsum low}}$) มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 44.3°C และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านล่างของวัสดุฝ้าเพดานในช่วงเวลากลางวัน (6:00-18:00 น.) มีค่าเฉลี่ย 0.65°C ในช่วงเวลากลางคืนจะเห็นได้อย่างชัดเจนถึงการคายความร้อนออกจากผิวด้านล่างตั้งแต่ช่วงเวลา 19:00-5:30 น. ซึ่งอุณหภูมิผิวด้านล่างของฝ้าเพดานไวนิลมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าผิวด้านล่างของฝ้าเพดานยิปซัม 1.1°C



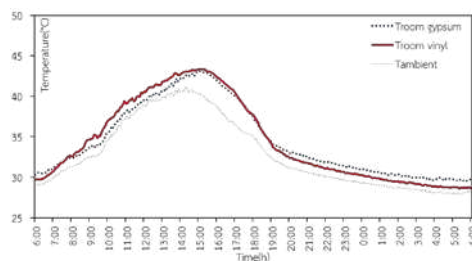
รูปที่ 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวเพดานด้านบน



รูปที่ 5 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวเพดานด้านล่าง

อุณหภูมิที่กลางห้องทดสอบของบ้านแสดงดังรูปที่ 6 เมื่อความร้อนจากผิวด้านล่างของฝ้าเพดานไวนิลถ่ายเทเข้ามายังภายในตัวห้อง ทำให้ห้องที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิล ($T_{\text{room vinyl}}$) และห้องที่ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัม ($T_{\text{room gypsum}}$) มีค่าอุณหภูมิสูงสุด

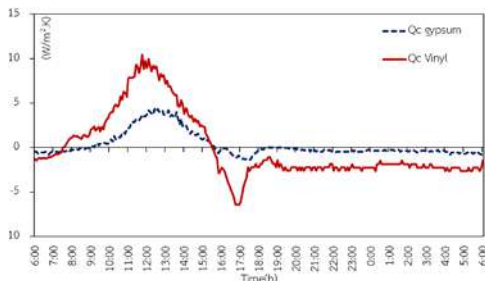
43.3°C และ 43.1°C ที่เวลา 15:00 น. โดยบ้านที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิล มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6:00-18:00 น.) 38.2°C ขณะที่ห้องที่ติดตั้งฝ้ายิปซัมมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน 37.6°C โดยอุณหภูมิภายในห้องที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิลจะสูงกว่า 0.55°C มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.4 และเกิดขึ้นในช่วงเวลา 7:30-15:00 น. จากนั้นอุณหภูมิภายในห้องที่ติดตั้งไวนิลจะลดลงและมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านที่ติดตั้งฝ้ายิปซัมในช่วงเวลากลางคืน (19:00-5:30 น.) เฉลี่ย 0.8°C มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.135 เนื่องจากการดึงความร้อนผ่านฝ้าเพดานของวัสดุไวนิลจากภายในห้องออกไปยังภายนอกของบ้านทดสอบ ทั้งนี้จากอุณหภูมิห้องที่ต่ำกว่าในช่วงเวลากลางคืนของบ้านที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวนิลจะส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิห้อง

จากการติดตั้งฝ้าเพดานแบบไวนิลส่งผลให้การพาความร้อนผ่านผิวด้านล่างของบ้านทั้ง 2 หลังมีค่าที่แตกต่างกันทั้งในเวลากลางวันและการคืน โดยค่าการพาความร้อนของบ้านที่ติดตั้งด้วยแผ่นฝ้าไวนิลจะมีค่าสูงสุด $10.44 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (10:44 น.) สูงกว่าบ้านที่ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมเฉลี่ยตลอดทั้งวัน (7:00-16:00 น.) $2.37 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ และบ้านที่ติดตั้งแผ่นเพดานยิปซัมมีค่าการพาความร้อนในช่วงเวลากลางวันสูงสุด $4.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (12:36 น.) ในเวลากลางคืนการถ่ายเท

ความร้อนโดยการพาความร้อนของแผ่นผ้าไวโนลจะมีค่าที่ต่ำกว่าแผ่นผ้ายิปซัมเฉลี่ย $1.81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ เนื่องจากความร้อนที่ถูกคายกลับไปยังผิวด้านบนของแผ่นไวโนล ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7

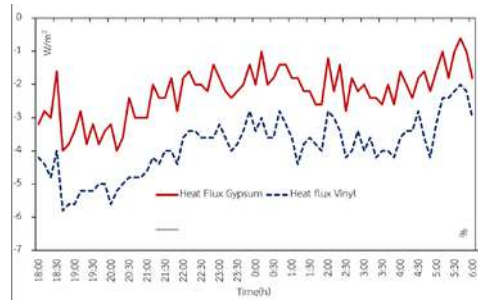


รูปที่ 7 เปรียบเทียบการพาความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

การถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้านล่างในเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 9:00-16:00 น. โดยใช้หัววัดการถ่ายเทความร้อนติดตั้งที่บริเวณด้านล่างของผิวฝ้าเพดานทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8 ค่าการถ่ายเทความร้อนของบ้านที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวโนลมีค่าสูงกว่าฝ้าเพดานยิปซัม เฉลี่ย 1.6 W/m^2 สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้านล่างในเวลากลางคืนจะแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนถึงพฤติกรรมการคายความร้อนออกจากตัววัสดุไวโนลสามารถทำได้ดีกว่าผ้ายิปซัมเฉลี่ย $1-1.64 \text{ W/m}^2$ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.41 แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวด้านล่างฝ้าเพดานเวลากลางวัน



รูปที่ 9 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวด้านล่างฝ้าเพดานเวลากลางคืน

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองเพื่อศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านวัสดุฝ้าเพดานเข้าสู่ตัวบ้านโดยใช้วัสดุที่ทำจากแผ่นไวโนลเปรียบเทียบกับยิปซัมเพื่อวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนผ่านเข้าสู่ตัวบ้านด้วยวิธีการพาความร้อน พบว่าอุณหภูมิฝ้าเพดานด้านบนของฝ้าเพดานชนิดไวโนลสูงชันกว่าฝ้าเพดานยิปซัมตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ย $0.42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ขณะที่ในช่วงกลางคืนค่าอุณหภูมิต่ำกว่าฝ้าเพดานยิปซัม เฉลี่ย $1.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากการถ่ายเทความร้อนลงสู่ผิวด้านล่างทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านล่างของวัสดุฝ้าเพดานไวโนลมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเพียงเล็กน้อยคือ $0.65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ในเวลากลางวัน และมีค่าต่ำกว่าผิวด้านล่างของฝ้าเพดานยิปซัม $1.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ในเวลากลางคืน สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้านล่างโดยใช้หัววัดการถ่ายเทความร้อนบ้านที่ติดตั้งฝ้าเพดานไวโนลมีค่าสูงกว่าฝ้าเพดานยิปซัมเฉลี่ย 1.6 W/m^2 มีค่าการคายความร้อนออกได้ดีกว่าผ้ายิปซัมเฉลี่ย 1.64 W/m^2 ในเวลากลางคืน ทั้งนี้ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของฝ้าไวโนลสูงกว่าฝ้าเพดานยิปซัมเฉลี่ยตลอดทั้งวัน $2.37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และลดต่ำกว่าในเวลากลางคืน $1.81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ จึงส่งผลให้อุณหภูมิห้องของบ้านทดสอบมีค่าต่ำกว่าบ้านอ้างอิงในช่วงเวลากลางคืนเฉลี่ย $0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งผล

จากการติดตั้งใช้งานตัววัสดุโวนิลสามารถลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่ตัวบ้านพักอาศัยได้ในช่วงเวลากลางวันแต่มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้จุดเด่นของฝ้าเพดานที่ทำมาจากวัสดุโวนิลคือ ความแข็งแรง ทนต่อความชื้น ไม่หักงอ และความบางของตัววัสดุโวนิลที่สามารถคายความร้อนออกไปได้ดีกว่าตัววัสดุยิปซัม ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานในการปรับอากาศในอาคารหรือบ้านพักอาศัยในเวลากลางคืนได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ “สวนสุดกำแพง” (SoodKamphaeng) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำในการดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูลและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Joshep Khedari, Jongjit Hirunlabh, Tika Bunnag. “Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses”, *Energy and Building*, Vol.26, pp.159-164, May 1997.
- [2] Phiraphat S, Prommas R, Tondee T, Puangsombut W., “Thermal performance of the PV roof solar collector”, in *Proceeding of 5th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture, Smart Technologies and Built Environment, Bangkok, September 27-29, 2016*, pp. 315-322.
- [3] Amornleetrakul O, Puangsombut W, Hirunlabh J., “Field investigation of the small house with the ventilated roof tile”, *Advanced Materials Research*, vol. 931-932, pp. 1233-1237, May 2014.
- [4] Ne’stor Fonseca Diaz , Jean Lebrun, and Philippe Andre´, "Experimental study and modeling of cooling ceiling systems using steady-state analysis", *international journal of refrigeration*, vol.33, pp. 793–805, June 2010.
- [5] Yong-Li Yuan, Xiang Zhou, and Xu Zhang, "Experimental Study of Heat Performance on CeilingRadiant Cooling Panel", *9th International Symposium on Heating, Ventilation, and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd. International Conference on Building Energy and Environment (COBEE), Tianjin, China, 12 - 15 July 2015*, *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 2176 – 2183.
- [6] Chen Zhang, Martin Heine Kristensen, Jakob Søland Jensen, Per Kvols Heiselberg, Rasmus Lund Jensen, and Michal Pomianowski, "Parametrical analysis on the diffuse ceiling ventilation by experimental and numerical studies", *Energy and Buildings*, Vol 111, pp. 87–97, Jan 2016.
- [7] Martin Heine Kristensen, Jakob Søland Jensen, and Per Kvols Heiselberg, "Field study evaluation of diffuse ceiling ventilation in classroom during real operating conditions", *Energy and Buildings*, vol.138, pp. 26–34, Mar 2017.

- [8] Nankongnab N, Puangsombut W, Insiripong S, Hirunlabh J, Khedari J, Shin UC., “Field investigation on hygrothermal performance of fullvent perforated soffit and ceiling”, *Solar Energy*, Vol. 80, pp. 936-948, Aug. 2006.
- [9] Kwanchai Jantana and Jirasak Pukdum, “Experimental investigation on heat gain reduction using a vinyl perforated ceiling”, *International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies*, May 25-26, 2017, Bangkok Thailand, pp. 586-591.
- [10] Jirasak Pukdum, Somchai Thipeye, and Tinnapob Phengpom, “Heat gain reduction through ceiling by PV ventilation system.” *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, vol. 8, no. 1, pp. 39-47, Jun. 2020.
- [11] J. Yu, L. Sun, C. Ma, Y. Qiao, H. Yao, “Thermal degradation of PVC: a review”, *Waste Manage*, vol. 48, pp. 300–314, Feb. 2016.

**การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตากแห้งโดยตรง
สำหรับอบแห้งกล้วยน้ำว้าใช้ในระดับชุมชน
กฤษฎางค์ ศุกระมูล^{1*}, สัญลักษณ์ กิ่งทอง¹, จริญญา แก่นจันทร์², สถาปิตย์ ชะนากลาง²,
มนัญญา คำชิระพิทักษ์²**

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Email : krissadangs@gmail.com^{1*}

Received: March 30, 2021

Revised: May 19, 2021

Accepted: June 4, 2021

บทคัดย่อ

การลดปริมาณความชื้นในกล้วยน้ำว้าเป็นขั้นตอนสำคัญในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำได้โดยการตากแดดโดยตรงหรือด้วยเครื่องอบแห้ง ในบทความนี้จะนำเสนอการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตากแห้งโดยตรง ตามด้วยการตรวจสอบทดลองเกี่ยวกับการอบแห้งกล้วยน้ำว้าเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งกับการตากแดดแบบเปิด เปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนโดยตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์จากนั้นใช้พัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งบริเวณห้องอบแห้งมีการถ่ายเทความร้อนแบบพาบังคับภายในห้องอบแห้ง ความกว้าง 1.20 เมตร ยาว 0.80 เมตร สูง 1.00 เมตร ตะแกรงหรือถาดในตู้อบ ใช้ตะแกรงแสตนเลส ขนาด 55x75 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น มีประตูเปิดตู้แบบบานพับ ผันงโดยรอบรวมทั้งพื้นเป็นฉนวนกันความร้อน มีความหนา 2.5 เซนติเมตร โครงสร้างตู้อบทำด้วยอลูมิเนียมหนา 1.5 มิลลิเมตร ทาสีดำเพื่อดูดซับความร้อนได้ดีจากการศึกษาการกระจายความร้อนของตู้ทั้งสองแบบพบว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการกระจายความร้อนที่ต่ำกว่าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน มีช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 31-78 องศาเซลเซียสในช่วงที่ทดลอง 09.00-16.00 น. มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 62.68 องศาเซลเซียส ข้อดีของการใช้การอบแห้งชนิดนี้คือสามารถป้องกันลมฝน เชื้อรา ฝุ่นละออง มุลนก จุลินทรีย์และอื่น ๆ การปนเปื้อนระหว่างการอบแห้งกล้วยน้ำว้า และใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตากแห้งโดยตรง, กล้วยน้ำว้า, ชุมชน

Development of a direct solar powered dryer for drying cultivated banana in community scale

Krissadang Sookramoon^{1*} Sanyaluck Kingtong¹, Jaroorn Kaenchan²,
Satapat Chanaklang² and Mananya Khamvajirapitak²

¹ Faculty of Industrial Technology, Vallaya Alongkorn Rajabhat University

² Faculty of Science and Technology, Vallaya Alongkorn Rajabhat University

Email : krissadangs@gmail.com^{1*}

Received: March 30, 2021

Revised: May 19, 2021

Accepted: June 4, 2021

Abstract

Reducing the moisture content of cultivated bananas is an important step in maintaining product quality. This can be done in direct sunlight or with a dehydrator. This paper presents the development of a direct solar dryer for product drying. This is followed by an investigation of the experiment on drying of cultivated bananas. Comparison of the efficiency of the dryer with open sun drying. Conversion of solar energy into heat energy by solar collector, then used a fan installed in the drying chamber, convective heat transfer was carried out in the drying chamber 1.20 m Width, 0.80 m Length, 1.00 m Height. Grate or tray in the drying chamber use a custom-made stainless steel grid, size 55x75 cm, 2 sheets of hinged cabinet doors the surrounding walls, including the floor, are insulated in the size of 2.5 cm thick, incubator structure is made of aluminum, 1.5 mm thick, painted black to absorb heat well. An investigation of heat dissipation of both cabinets showed that solar drying cabinets had lower heat dissipation than wind dryer. The high temperature range was between 31-78 degrees Celsius, during the experiment from 9:00 am to 4:00 pm, the average temperature was 62.68 degrees Celsius. The advantage of this dryer is that there is no pollution while drying the banana, and renewable energy from solar energy is used.

Keywords : Direct-drying solar energy dryer, Cultivated Banana, Community

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการปลูกพืชเป็นจำนวนมากซึ่งปริมาณผลผลิตมีจำนวนมากทุกปี ผลผลิตที่มากทำให้ประสบปัญหาหลายประการ เช่น ปริมาณผลผลิตล้นตลาด เกษตรกรนำผลผลิตเหล่านั้นมาแปรรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์อบแห้งเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่นิยมทำประจำชุมชน หรือตำบล และจังหวัด นอกจากจะลดปัญหาผลผลิตล้นตลาดแล้วยังช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิตด้วยการการสำรวจพบว่ามีกรรมรวมตัวของกลุ่มแม่บ้านในทุก ๆ จังหวัดทั่วทั้งประเทศไทย อาทิเช่น กลุ่มแปรรูปอาชีพสตรีตำบลพิชอุดม จังหวัดปทุมธานี ได้มีการแปรรูปกล้วยน้ำว้าเป็นกล้วยทับอบแห้งจากเครื่องอบแห้งลมร้อนที่สามารถทำเป็นสินค้าโอท็อป ประจำตำบลผลิตภัณฑ์แต่ยังมีค่าการแปรรูปที่มีต้นทุนสูงและกำลังการผลิตไม่พอต่อความต้องการได้เนื่องจากเครื่องอบแห้งที่ชุมชนมีเป็นเครื่องอบแห้งลมร้อนชนิดใช้แก๊สหุงต้มร่วมกับไฟฟ้าราคาค่อนข้างสูงและทางกลุ่มแปรรูปอาชีพสตรีตำบลพิชอุดม นั้นมีเพียงเครื่องเดียวจึงทำให้มีกำลังผลิตไม่เพียงพอคณะผู้วิจัยสนใจศึกษาผลิตอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพการกระจายความร้อนได้ดีกันฝุ่นกันฝนได้เคลื่อนย้ายสะดวกทำให้การอบเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยลดต้นทุนผลิตภัณฑ์เมื่อมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลงสินค้าก็สามารถต่อสู้กับคู่แข่งได้ โดยมีต้นแบบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องอบแห้งของกลุ่มแปรรูปอาชีพสตรีตำบลพิชอุดม อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี เพื่อเป็นต้นแบบให้กับกลุ่มชุมชนได้ศึกษาและนำไปใช้งานต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือชุมชนมีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับชุมชนราคาประหยัด ใช้พลังงานทดแทน เป็นมิตรต่อ

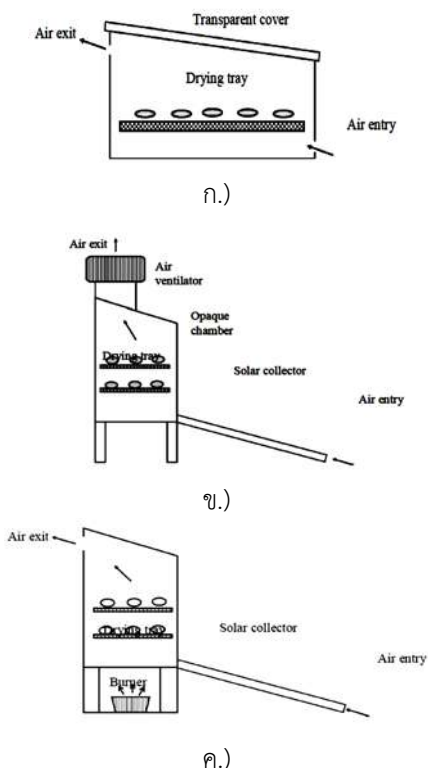
สิ่งแวดล้อม ชุมชนอื่นสามารถนำแนวทางจากงานวิจัยนี้ไปสร้างใช้งานได้ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

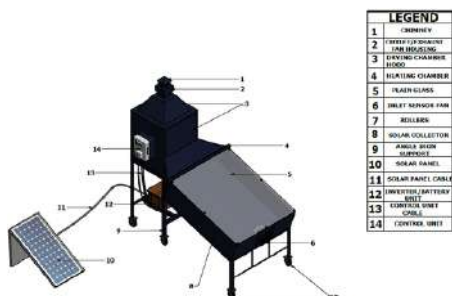
1. ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. ทดลองและศึกษาเปรียบเทียบกระจายความร้อนภายในตู้อบจากตู้ทั้งสองแบบ คือ ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ และ ตู้อบลมร้อน

การจำแนกประเภทของเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์

จากการตรวจสอบวรรณกรรมที่ตีพิมพ์ต่าง ๆ ในการจำแนกเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็นหลายประเภทโดยขึ้นอยู่กับโหมดและฟังก์ชันการทำงาน โดยทั่วไปเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทางการเกษตร สามารถแบ่งออกเป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบทางตรง ทางอ้อม และแบบลูกผสม (รูปที่ 1ก) นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็นโหมดแอคทีฟหรือพาสซีฟได้อีกด้วย คำจำกัดความของเครื่องเป่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงนั้นตรงไปตรงมาตรงที่ผลิตภัณฑ์ภายในตู้โปร่งใสถูกทำให้แห้งภายใต้การสัมผัสโดยตรงกับรังสีดวงอาทิตย์ รูปที่ 1 [1] ในกรณีของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อมการอบแห้งทำได้โดยการพาความร้อนตามธรรมชาติหรือแบบบังคับและผลิตภัณฑ์จะถูกวางไว้ในห้องอบแห้งที่บดแสงและพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกดูดซับโดยตัวสะสมที่แยกออกจากห้องอบแห้ง (รูปที่ 1ข) เครื่องเป่าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริดจะรวมลักษณะของประเภททางตรงและทางอ้อมและยังหมายถึงเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แหล่งความร้อนอื่นร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ (รูปที่ 1ค) [2]



รูปที่ 1 การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ก) แบบตากแดดธรรมชาติ ข) แบบพาสซีฟ ค) แบบผสมผสาน



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [3]

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศและอุตสาหกรรมราคาประหยัด [4]

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดประกอบด้วย โครงสร้างซึ่งวางบนพื้นแผ่นพอลิโพรไพลีน และพลาสติกสีดําเป็นตัวดูดซับสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในประเทศเขตร้อนคือพัฒนาและทดสอบโดย Esper et al. การทดสอบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่บันทึกไว้เพิ่มขึ้นถึง 50 K ที่เพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแห้งได้หลายอย่างในสภาวะที่เหมาะสม เมื่อเทียบกับแสงอาทิตย์เครื่องทำความร้อนอากาศที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ในประเทศอุตสาหกรรมค่าใช้จ่ายในการลงทุนเช่นเดียวกับความต้านทานต่ออากาศของผู้สะสมฟิล์มพลาสติกต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถผลิตได้โดยอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือโดยเกษตรกรเองโดยใช้เครื่องมือง่าย ๆ และวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นโดยนิยมใช้ในเขตร้อนและประเทศกึ่งเขตร้อน [5] อาหมัดสร้างเครื่องทำอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดาจากฟิล์มห่อพลาสติกกราตาถูกพร้อมฟองอากาศสำหรับใช้ในการอบแห้งการดำเนินงานในฟาร์ม (ธัญพืช ผลไม้ปลา ฯลฯ) แบบจำลองที่ใช้คือแผ่นสะสมทรงกระบอกแผ่นเดียวและหลังจากได้รับความร้อนแล้วอีกชั้นหนึ่งของฟิล์มห่อพลาสติกที่มีฟองอากาศคือเพิ่มในขั้นตอนต่อมาเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนไปยังบริเวณโดยรอบแม้ว่าวิธีการที่ใช้้นั้นเรียบง่าย แต่ก็มีมีความสำคัญมากได้รับอุณหภูมิของการไหลเวียนของอากาศ: อุณหภูมิวัดความแตกต่างได้ประมาณ 10 °C [6] พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศเครื่องเป่าที่มีพื้นผิวภายนอกโพรไพลีนได้รับการออกแบบสร้างและทดสอบโดย Saleh และ Badran เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอโปรไฟล์ที่ตรงตามข้อกำหนดของแบบจำลองเลขชี้กำลังใน

หลายกรณีจึงให้ง่ายและถูกต้องมีการเสนอเครื่องมือออกแบบ สิ่งนี้โดดเด่นด้วยการรวบรวมไฟล์พลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดที่เป็นไปได้โดยมีระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้นและอนุญาตให้เครื่องเป่าคองที่เข้าใกล้ประสิทธิภาพของติดตามเครื่องเป่าด้วยข้อดีทางเทคนิคและเศรษฐกิจทั้งหมดของระบบติดตาม ประสิทธิภาพได้รับการทดสอบภายใต้ที่แตกต่างกันสภาพการปฏิบัติงานและลักษณะการอบแห้งถูกทดลองตรวจสอบโดยทำการทดลองกับสองห้องถื่นสมุนไพร ใบชาและใบสาระแนของชาวยิว [7] เครื่องเป่าพลังงานแสงอาทิตย์ใหม่ซึ่งประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนอากาศพลังงานแสงอาทิตย์และห้องอบแห้งได้รับการพัฒนาโดย Tiris et al. สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารและประสบความสำเร็จทดสอบโดยใช้ถั่วลิสงสดถั่วลิสงเขียวพริกหวานและพริกไทย ใช้การทดลองการตากแดดแบบดั้งเดิมและเปรียบเทียบกับทดลองการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และได้แสดงให้เห็นการใช้เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทนี้ช่วยลดเวลาในการอบแห้งให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและเป็นหลัก [8] การอบแห้งในโรงงานอุตสาหกรรมอาจพิสูจน์ได้ว่าเป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างประหยัดพลังงานเมื่อกระบวนการใช้พลังงานที่เก็บไว้เมื่อมีแสงแดดไม่สามารถใช้ได้ ระบบที่เรียบง่ายได้รับการพัฒนาโดย Khanna และ Singh ซึ่งมีการรวมอ่างเก็บน้ำและตัวแลกเปลี่ยนความร้อนไว้ในระบบอบแห้งการรวบรวมและจัดเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้รับผลกระทบจากการกระทำของเทอร์โม - กลลัคน้ำกับน้ำและขึ้นอยู่กับโหมดของการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ การพาความร้อนตามธรรมชาติหรือบังคับระบบสามารถใช้สำหรับการทำความร้อนในพื้นที่หรือการอบแห้งในร่มด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พลังงาน [9] เครื่องอบแห้งพลังงาน

แสงอาทิตย์อเนกประสงค์ขนาดเล็กประกอบด้วยพัดลมเครื่องทำอากาศพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ได้รับการพัฒนาโดย Lutz และคณะสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่าง ๆ เช่นผลไม้ผักพืชสมุนไพร ฯลฯ การออกแบบที่เรียบง่ายของเครื่องเป่านี้ช่วยให้การผลิตโดยเกษตรกรเองโดยใช้ราคาถูกและในประเทศวัสดุที่มีอยู่หรือตามอุตสาหกรรมขนาดเล็กและเนื่องจากมีน้อยต้องลงทุนเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าสำหรับการใช้งานในฟาร์มขนาดเล็กในประเทศกำลังพัฒนา เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ได้สำเร็จทดสอบใน กรีซ ยูโกสลาเวีย อียิปต์ เอธิโอเปีย และซาอุดีอาระเบียอบแห้งองุ่นอินทผลัม หัวหอมพริก และสมุนไพรหลายชนิด การทดสอบในฟาร์มยังแสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งสามารถใช้งานได้ง่ายโดยเกษตรกร [10]

การพัฒนาระบบอบแห้งด้วยอุโมงค์พลังงานแสงอาทิตย์

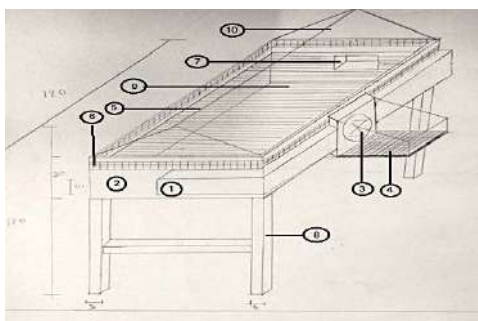
ในการทดลองนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว่าด้วยรูปทรงอุโมงค์มีโครงสร้างที่เรียบง่ายแบ่งออกเป็นหลายส่วนดังแสดงในรูปที่ 1 แผ่นสะสมดูดซับการปล่อยพลังงานแสงอาทิตย์และอีกส่วนหนึ่งของเครื่องอบแห้งที่เก็บไว้หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศห้องอบแห้งไม่ใช้การปล่อยแสงทั้งหมดที่ถูกดูดซับ แต่บางส่วนสะท้อนเข้าไปในห้องอบแห้ง วัสดุตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมและเพื่อปรับปรุงความสามารถในการดูดซับพลังงานความร้อนจากการปล่อยแสงอาทิตย์ จากนั้นนักสะสมพื้นผิวทาสีด้วยสีดำ ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์จะเพิ่มอุณหภูมิอากาศจาก 41 °C ถึง 74 °C ในอุโมงค์

อบแห้ง เสาอบแห้งเป็นห้องที่มีรูปร่างเหมือนอุโมงค์สำหรับวางวัสดุจะทำให้แห้ง ทำจากไม้โครงเหล็กและแผ่นอลูมิเนียมโดยไม่ต้องทาสีเป็นห้องอบแห้งผนังอุณหภูมิอากาศร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์นี้สูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ดีจำเป็นต้องมีการไหลเวียนของอากาศเพื่อรักษาความชื้นในห้อง เครื่องช่วยหายใจแบบกังหันประกอบเมื่อสิ้นสุดการอบแห้งอุโมงค์ทำงานเพื่อบังคับให้อากาศร้อนที่มีไอน้ำจากโกโก้ในห้องอบแห้งออกมาผ่านไอเสียโดยการหมุนบนแกนหมุนโดยการผลัดจากลมบนใบกังหันและทำจากอลูมิเนียม หากกังหันระบายอากาศไม่หมุนเข้าอย่างถูกต้องอากาศร้อนก็ยังสามารหลวออกได้โดยมีส่วนล่างการเร่งความเร็ว ห้องหินปูนตั้งอยู่

ที่ช่องอากาศเข้าทำหน้าที่ลดปริมาณน้ำจากอากาศกว่าก่อนเข้าอุโมงค์อบแห้ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลคือประเภท K เทอร์โมมิเตอร์ใช้ตรวจสอบอุณหภูมิระหว่างการทดลองนาฬิกาจับเวลาเครื่องซิงดิจิตอล

การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

มีการพัฒนาให้มีแผงรับรังสีแบบแยกซึ่งจะใช้พื้นที่ในการอบแห้งน้อยกว่าเครื่องอบแห้งที่มีแผงรับรังสีอยู่ในตัว เพราะอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งของเครื่องอบแห้งที่มีแผงรับรังสีแบบแยกมีอุณหภูมิสูงกว่า เป็นการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง



เลขที่ 1 ท่อส่งลมร้อน

เลขที่ 2 ตู้อบวัสดุอลูมิเนียม

เลขที่ 3 พัดลมดูดอากาศ

เลขที่ 4 แผงรับรังสี ทาสีดำ

เลขที่ 5 ฉนวนรับความร้อนทาสีดำ

เลขที่ 6 ช่องระบายอากาศ

เลขที่ 7 ช่องส่งลมร้อน

เลขที่ 8 ขาตั้งตู้อบ วัสดุ เหล็ก

เลขที่ 9 ชั้นวางผลิตภัณฑ์

เลขที่ 10 แผ่นปิดใส

รูปที่ 3 ภาพสเกตช์เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับลมร้อน

พลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำได้โดยการติดพัดลมระบายอากาศ เพื่อให้เกิดการระบายอากาศที่ดีขึ้นเครื่องอบแห้งที่มีการพาความร้อนแบบบังคับเป็นเครื่องอบแห้งที่มีหลักการคล้ายกับเครื่องอบแห้งที่มีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ แต่มีพัดลมช่วยในการพาความร้อน ซึ่งสามารถ

การออกแบบให้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งได้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้ง เครื่องอบแห้งแบบนี้มีแผงรับรังสีแยกออกจากตัวเครื่องและมีการหมุนวนที่ตัวเครื่องเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยลักษณะของแผงรับรังสีที่แตกต่างกันมี

วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้มากที่สุดหรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงรับรังสีโดยการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนให้มากที่สุดและมักใช้กับเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ที่ต้องการลดเวลาในการอบแห้งให้ต่ำลง

ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับชุมชนคือ ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก ประหยัดมีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย ดูแลรักษาง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก

ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบผ่านพลาสติกใส และมีช่องอากาศด้านข้างทั้ง ดัดแผ่นงอตัวกันแมลง มีการตัดชุดดูดความร้อน และโซล่าเซลล์ออกไปเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ด้านการวิจัย ขนาดตู้อบมีความกว้าง 1.20 m ยาว 0.80 m สูง 1.00 m รวมขาตั้งและตู้อบ ตามแบบที่กำหนด ตะแกรงหรือถาดในตู้อบ ใช้ตะแกรงสแตนเลสสั่งทำพิเศษ ขนาด 55x75 cm 2 แผ่นมีประตูเปิดตู้อบบานพับ ผ่นังโดยรอบรวมทั้งพื้นเป็นฉนวนกันความร้อน หนาไม่น้อยกว่า 2.5 cm โครงสร้างตู้อบ ทำด้วยอลูมิเนียมหนา 1.5 mm พื้นล่างใช้วัสดุเหล็กแผ่นชุบสังกะสี ภายในบุฉนวน ทาสีดำเพื่อดูดความร้อน



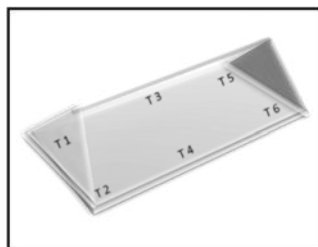
รูปที่ 4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับลมร้อน

ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการศึกษาใช้อุปกรณ์และเครื่องมือประกอบด้วย

- 1) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตากแห้งโดยตรง
- 2) กล้องน้ำว่า
- 3) เครื่องวัดอุณหภูมิในห้องอบแห้ง
- 4) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

วิธีทดสอบวัดประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบทดลองนำเครื่องเปล่าตากแดดเพื่อวัดอุณหภูมิและการกระจายความร้อน บันทึกทุก 15 นาที ตั้งแต่ 09.00 – 16.00 น.



รูปที่ 5 ตำแหน่งการวางเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิ ด้านบน 6 จุด ด้านล่าง 5 จุด

ทดลองนำเครื่องเปล่าตากแดดเพื่อวัดอุณหภูมิตดลองเก็บผล 10 วัน จดผลทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 09.00 – 16.00 น. โดยผลที่ได้คือค่าเฉลี่ยจากการวัด 6 จุด

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 อุณหภูมิระหว่างทำการอบเครื่องเปล่า

เวลา	วันที่											ภายนอก เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย	
9.00น.	29	30	32	31	29	28	29	30	31	32	30.1	31
10.00น.	45	47	46	45	47	44	47	46	45	49	46.1	32
11.00น.	66	64	60	65	60	59	65	63	62	66	63	35
12.00น.	75	77	75	76	78	76	75	74	75	77	75.8	34
13.00น.	79	78	77	78	78	79	78	77	76	75	77.5	34
14.00น.	75	77	76	78	76	78	76	75	77	74	76.2	32
15.00น.	73	74	76	74	75	74	72	74	73	75	74	36
16.00น.	64	66	64	62	63	62	64	65	62	60	63.2	31
% RH	52	55	54	61	54	52	53	51	62	57	55	54

หมายเหตุ % RH อ้างอิงจากกรมอุตุนิยมวิทยาสถานีอุตุนิยมวิทยาปทุมธานี, 28 พฤษภาคม 2563

ทำการทดลอง 10 วัน วันที่ 1 ในการทดลองคือวันที่ 9 พฤศจิกายน 2559 จนถึงวันที่ 10 คือวันที่ 19 พฤศจิกายน 2562

จากตารางผลการกระจายความร้อนซึ่ง แสงอาทิตย์ จะอยู่ที่ 75-79 องศาเซลเซียส ในเวลา
อุณหภูมิจะขึ้นอย่างต่อเนื่องจากอุณหภูมิภายนอก ระหว่าง 12.00-15.00 น. และเริ่มลดลงในเวลา
เริ่มต้นที่ 30-35 องศาเซลเซียสในตอน 9.00 น. 16.00 น.
จนถึงช่วงอุณหภูมิสูงสุดของเครื่องอบแห้งพลังงาน

ตารางที่ 2 ผลการกระจายความร้อน

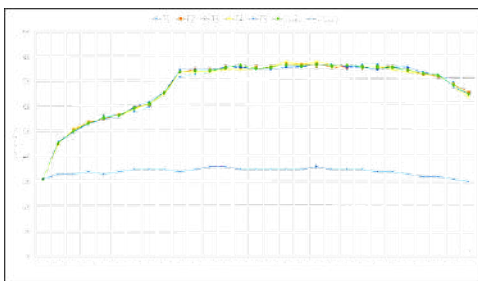
เวลา	T1	T2	T3	T4	T5	ค่าเฉลี่ย	ภายนอก
9:00 น.	31	31	31	31	31	31	31
9:15 น.	45	45	46	45	46	45.4	33
9:30 น.	50	51	50	51	50	50.4	33
9:45 น.	53	54	54	53	53	53.4	34
10:00 น.	56	55	57	55	55	55.6	33
10:15 น.	57	57	57	56	56	56.6	34
10:30 น.	58	60	60	59	60	59.4	35
10:45 น.	60	61	62	61	62	61.2	35
11:00 น.	65	66	66	65	66	65.8	35
11:15 น.	72	74	75	74	75	74	34
11:30 น.	73	75	75	74	75	74.4	35
11:45 น.	74	75	75	74	75	74.6	36
12:00 น.	76	76	75	75	76	75.6	36
12:15 น.	76	76	76	75	76	76.8	35
12:30 น.	75	76	76	75	75	75.4	35
12:45 น.	75	76	76	76	75	75.8	35

เวลา	T1	T2	T3	T4	T5	ค่าเฉลี่ย	ภายนอก
13:00 น.	76	77	77	78	76	76.8	35
13:15 น.	76	77	76	77	76	76.4	35
13:30 น.	77	77	76	78	77	77	36
13:45 น.	76	76	76	77	77	76.4	35
14:00 น.	76	76	75	76	76	76.8	35
14:15 น.	77	76	75	76	76	76	35
14:30 น.	77	76	75	76	75	76	34
14:45 น.	76	76	76	75	76	75.8	34
15:00 น.	74	75	75	74	76	74.8	33
15:15 น.	73	73	74	73	74	73.4	32
15:30 น.	73	72	72	73	73	72.6	32
15:45 น.	70	69	69	68	68	68.8	31
16:00 น.	66	66	65	64	65	65.2	30
ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตลอดการอบ						62.68	32.86

หมายเหตุ T1 – T5 คือตำแหน่งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ในตัวเครื่องอบแห้ง

ทำการทดลองวันที่ 3 พฤษภาคม 2563 ซึ่งมีสภาพอากาศดีท้องฟ้าโปร่ง เมฆน้อย บันทึกผลทุก 15 นาที ตั้งแต่ 9.00 – 16.00 น.

จากตารางพบว่าภายในตัวเครื่องมีการกระจายความร้อนได้ดีเพราะช่วงอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ในตัวเครื่องค่อนข้างใกล้เคียงกันต่างกันไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส ในวันที่ทำการทดลองตัวเครื่องทำอุณหภูมิสูงสุด 75 – 79 องศาเซลเซียสในช่วงเวลา 11.30 – 15.00 น. และมีอุณหภูมิทั้งวัน 62.86 องศาเซลเซียส

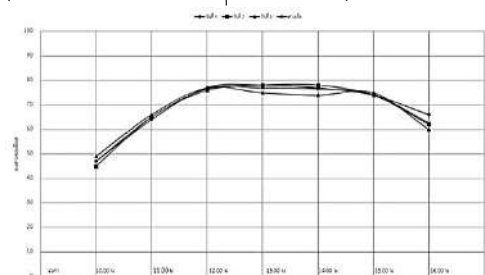


รูปที่ 6 การกระจายความร้อนในตัวเครื่อง

ตารางที่ 3 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ขณะทำการอบกล้วย 1-3 วัน

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
	วันที่1	วันที่2	วันที่3	เฉลี่ย
10.00 น.	47	45	49	47
11.00 น.	64	65	66	65
12.00 น.	77	76	77	76.6
13.00 น.	78	78	75	77
14.00 น.	77	78	74	76.6
15.00 น.	74	74	75	74.3
16.00 น.	66	62	60	62.6

(ในระหว่างวันที่ 24-26 พฤษภาคม 2563)



รูปที่ 7 อุณหภูมิในการอบแห้งในแต่ละวัน

สรุปและอภิปรายผล

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดตู้อบออกแบบให้มีความกว้าง 1.20 m ยาว 0.80 m สูง 1.00 m รวมขาตั้งและตู้อบ ตามแบบที่กำหนด ตะแกรงหรือถาดในตู้อบ ใช้ตะแกรงสแตนเลส ขนาด 55x75 cm จำนวน 2 แผ่นมีประตูเปิดตู้อบบานพับ ผนังโดยรอบรวมทั้งพื้นเป็นฉนวนกันความร้อน หนาไม่น้อยกว่า 2.5 cm โครงสร้างตู้อบ ทำด้วยอลูมิเนียม หนา 1.5 mm ทาสีดำเพื่อดูดซับความร้อนได้ดี

2. การกระจายความร้อนภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จากการศึกษาการกระจายความร้อนของตู้อบทั้งสองแบบพบว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการกระจายความร้อนที่ต่ำกว่าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน โดยมีช่วงอุณหภูมิเฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 น. 31-78 องศาเซลเซียส และมีช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 62.68 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของเครื่องที่กลุ่มแม่บ้านใช้ คือ เครื่องอบแห้งลมร้อน ใช้พลังงานจากแก๊สหุงต้ม ที่ควบคุมการกระจายความร้อนด้วยพัดลม ควบคุมอุณหภูมิโดยระบบไฟฟ้าอัตโนมัติ

3. เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งที่ได้จากการตากแดด ตู้อบลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์

กลุ่มแม่บ้านใช้อุณหภูมิในการอบกล้วยจากตู้อบลมร้อน 150 องศาเซลเซียสแต่เครื่องอบแห้งที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 79 องศาเซลเซียส คิดเป็น 52.66 % ระดับความชื้นที่ใกล้เคียงกันที่ 6.75 – 7.86 % ซึ่งตัวควบคุมของกลุ่มแม่บ้านมีความชื้นอยู่ที่ 6.87 – 7.21 % ผลการกระจายความร้อนพบว่าจากการอบเป็นเวลา 7 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิจะขึ้นอย่างต่อเนื่องจากอุณหภูมิภายนอกเริ่มต้นที่ 30-35 องศาเซลเซียส ในตอน 9.00 น. จนถึงช่วงอุณหภูมิสูงสุดของ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จะอยู่ที่ 75-79 องศาเซลเซียส ในเวลาระหว่าง 12.00-15.00 น. และเริ่มลดลงในเวลา 16.00 น.

ข้อเสนอแนะ

อาจมีการพัฒนางานวิจัยต่อไปโดยการผสมผสานกับพลังงานรูปแบบอื่นเช่นเตาเผาชีวมวล หรือความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศในอาคารเรียนมาใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ได้ให้ยืมอุปกรณ์สำหรับใช้ทดลองในงานวิจัยครั้งนี้

References

- [1] Khama R, Aissani F and Alkama R. Design and performance of an industrial-scale indirect solar dryer. *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 11, no. 9, 1263-1281. 2016.
- [2] Fuller R J. Solar Drying of Horticultural Produce: Present Practice and Future Prospects. *Postharvest News and Information*, vol. 4, no. 5, 31 N-136 N. 1993.
- [3] Nnaemeka R. Nwakuba Osita C. Chukwuezie Gladys U. Asonye Sabbas N. Asoegwu. *Influence of process parameters on the energy requirements and dried sliced tomato quality*. First published: 17 February 2020, *Engineering Reports*. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/eng2.12123>

- [4] S. VijayaVenkataRamana, S. Iniyamb, Ranko Goiccc. A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, 2652– 2670. 2012.
- [5] Esper A, Lutz K, Muhlbauer W. Development and testing of plastic film solar air heaters. *Solar Wind Technol*, vol, 6, no. 3, 189–95. 1989.
- [6] Ahmad NT. Agricultural solar air collector made from low cost plastic packing film. *Renew Energy*, vol. 23, no. 3–4, 663–71, 2001.
- [7] Saleh A, Badran I. Modeling and experimental studies on a domestic solar dryer. *Renew Energy*, vol. 34, no. 10, 2239–45, 2009.
- [8] Tiris C, Tiris M, Dincer I. Experiments on a new small-scale solar dryer. *Appl Therm Eng*, 16(2): pp. 183–7. 1996.
- [9] Khanna ML, Singh NM. Industrial solar drying. *Solar Energy*, vol. 11, no. 2, 87–9, 1967.
- [10] Lutz K, Muhlbauer W, Muller J, Reisinger G. Development of a multi-purpose solar crop dryer for arid zones. *Solar Wind Technol*, vol. 4, no. 4, 417–24, 1987.

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแบบคำร้องสำหรับนักศึกษา เจียบวุฒิ รัตนวิไลสกุล¹, อีระยุทธ์ เต็มแต้ม², ตะวัน เข้มทอง², ศุภกิจ กิจนบำรุงศักดิ์²

¹ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

²สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email : chaibwoot@hotmail.com¹, s59122519010@ssru.ac.th², s59122519012@ssru.ac.th²,
s59122519023@ssru.ac.th², apisit.ra@ssru.ac.th²

Received: March 17, 2021

Revised: June 14, 2021

Accepted: June 15, 2021

บทคัดย่อ

เว็บแอปพลิเคชันแบบคำร้องสำหรับนักศึกษา มีวัตถุประสงค์คือการศึกษาว่าคนที่คนผู้จัดทำได้สังเกตเห็นถึงปัญหาความยุ่งยากทางด้านการการทำการธุรกรรมทางด้านเอกสารต่าง ๆ ในปัจจุบัน เช่น ความล่าช้าของระบบการตรวจสอบของเอกสาร หรือปัญหาที่เกิดจากผู้ใช้งานเอง เช่น ความผิดพลาดทางด้านการให้ข้อมูลของผู้ใช้ ให้ข้อมูลไม่ครบ หรือเมื่อส่งข้อมูลไปแล้วอ่านไม่เข้าใจ และทำให้ความหมายของข้อมูลผิดเพี้ยนไป จึงทำให้เมื่อเกิดข้อผิดพลาดแล้วต้องมาแก้ไขด้วยการส่งเอกสารใหม่ ซึ่งอาจจะทำให้เสียเวลา และค่าใช้จ่ายอีกด้วย คณะผู้จัดทำจึงจะนำปัญหานี้มาแก้ไขโดยจะทำการให้อยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชันขึ้น เพื่อนำมาเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเอกสาร และนำมาแก้ไขปัญหาค่าความซ้ำซ้อนด้วย ซึ่งในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันนั้นจะพัฒนาด้วย ลาราวเอล เฟรมเวิร์ค ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสมัยใหม่ที่ใช้แนวคิดการออกแบบข้อมูลแบบ เอ็มวีซี หรือ โมเดล วิว คอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำให้การพัฒนาตัวระบบนั้นทำได้สะดวกมากยิ่งขึ้น แบบสำรวจความพึงพอใจในการใช้งานของผู้ทดลองใช้งานจำนวน 34 คน ได้ผลสรุปแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ด้านความสวยงามและความเหมาะสมของระบบ มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีถึงดีมาก 85.29% ระดับปานกลาง 17.65% ส่วนที่ 2 ด้านการใช้งาน มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีถึงดีมาก 80.15% ระดับปานกลาง 19.86% ส่วนที่ 3 ด้านความสามารถของระบบ มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีถึงดีมาก 83.33% ระดับ ปานกลาง 14.71% และระดับพอใช้ 2.94%

คำสำคัญ : เว็บแอปพลิเคชันแบบคำร้อง, ระบบเอกสาร, เอ็มวีซี, ลาราวเอล เฟรมเวิร์ค

Development Request Form Web Application for Students

Chiabwoot Ratanavilisagul¹, Theerayut Toemtam², Tawan Khemthong²,
Supakit Kitjanabumrungsak², Apisit Rattanatanurak²

¹Department of Computer Science and Informatics Faculty of Applied Sciences King Mongkut's
University of Technology North Bangkok and

²Department of Computer Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Suan Sunandha Rajabhat University

Email: chaibwoot@hotmail.com¹, s59122519010@ssru.ac.th², s59122519012@ssru.ac.th²,
s59122519023@ssru.ac.th², apisit.ra@ssru.ac.th²

Received: March 17, 2021

Revised: June 14, 2021

Accepted: June 15, 2021

Abstract

This paper presents a request form web application for students. The objectives aim to solve document management systems such as system delay, the accuracy of document verification, or human problem, for example, incorrect information or don't understand words and distorting the meaning of the information. Therefore, they have to submit new documents, which are time-consuming and costly. In this paper, we will solve the problem by developing the request form web application to improve the efficiency of the document system and solve the redundancy while using web applications. Laravel Framework is a tool for developing modern web applications, uses the MVC concept of data design, also known as Model, View, and Controller. It makes the system development process more efficient. There are 34 trial users, and the results are divided into three parts: Part 1: System User Interface satisfactions are 85.29% good to very good, 17.65% moderate. Part 2: Usage side satisfactions are 80.15% good to very good, 19.86% moderate. Part 3: satisfaction system capability is 83.33% good to very good, 14.71% moderate, and 2.94% Fair.

Keywords : Request form web application, document system, MVC, Laravel Framework

บทนำ

ในอดีตการทำธุรกรรมต่าง ๆ นั้นต้องทำผ่านระบบเอกสารแบบกระดาษ ซึ่งมีข้อเสียในการส่งแบบกระดาษ คือ ความล่าช้า เนื่องจากต้องใช้พนักงานเอกสารในการส่งถึงผู้รับ และอาจมีความเสียหายต่อเอกสารได้ เช่น เอกสารชำรุดและสูญหายจากกระบวนการเองหรือเอกสารมีข้อความที่ไม่ชัดเจน

ระบบสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ (E-Office) เป็นระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่ใช้เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการบริหารขององค์กรโดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมการใช้คอมพิวเตอร์ และระบบการสื่อสารแบบบูรณาการเพื่อสนับสนุนขั้นตอนการบริหารในสภาพแวดล้อมสำนักงาน ความสนใจที่จะลดปัญหา เช่น ข้อผิดพลาดในการจัดทำเอกสาร และการสูญหายของข้อมูล เป็นต้น [1]

ตัวอย่าง การออกแบบระบบสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ ในโรงเรียนอาชีวศึกษาที่มหาวิทยาลัยดิโปเนโกร (Diponegoro University) [2] โดยใช้เฟรมเวิร์คโค้ดอิกไนเตอร์ (Code Igniter framework) ได้มีการแบ่งการเข้าถึงการใช้งานข้อมูลของผู้ใช้โดย มีผู้ใช้งานหลายกลุ่ม ได้แก่ คณบดี หัวหน้าฝ่ายต่าง ๆ และผู้ปฏิบัติงาน ผู้ใช้แต่ละกลุ่มมีสิทธิ์การเข้าถึงเนื้อหาตามแต่ละชนิดของผู้ใช้งาน การทดสอบแสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้ตามที่คาดหวัง ระบบสามารถจัดการเอกสารเข้าได้ โดยผ่านอินเทอร์เน็ต ดังนั้นจึงสามารถลดภาระการใช้กระดาษได้

งานวิจัยโดยการสอบถามพนักงานในสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์สำหรับ UiTM (University Technology MARA) : เรื่องความต้องการใช้งานระบบเอกสารระหว่างแบบอิเล็กทรอนิกส์ กับแบบ

กระดาษ ได้ข้อสรุปว่า พนักงานมีความสนใจในแบบอิเล็กทรอนิกส์ มากกว่าแบบกระดาษ [3]

จากงานวิจัยเรื่อง การใช้งานระบบ สำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ ในสำนักงานที่ปุสจาทาน (Pusjatan) ประเทศอินโดนีเซีย ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2551 ถึง 2555 ได้ผลลัพธ์ดังนี้ 1) ระบบสามารถลดเวลาในการรับส่งเอกสารระหว่างหน่วยงาน 2) ลดความต้องการกำลังคนที่เกี่ยวข้องกับการจ่ายเอกสารในสำนักงาน 3) เพิ่มความเร็วให้กับผู้ที่อนุมัติเอกสาร [4]

ในปัจจุบันสำนักวิชาการศึกษาทั่วไป และนวัตกรรมการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ใช้ระบบเอกสารในการส่งแบบคำร้อง แบบเป็นแบบเอกสารกระดาษ จึงอาจจะมีปัญหาความผิดพลาดดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งอาจจะทำให้เสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการเดินทางอีกด้วย

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบการส่งแบบคำร้อง ให้มีความสะดวกต่อผู้ใช้งานมากขึ้น เป็นการปรับระบบให้เข้ากับยุคสมัยมากขึ้น ลดการใช้กระดาษ ลดเวลาในการดำเนินงาน และสะดวกต่อผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น นักศึกษาสามารถส่งคำร้องต่าง ๆ ได้ผ่านอินเทอร์เน็ต เจ้าหน้าที่ลดเวลาในการบริหารจัดการทำให้ส่งคำร้องได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสร้างและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแบบคำร้องสำหรับนักศึกษา
2. วิเคราะห์ปัญหาการส่งแบบคำร้องของสำนักวิชาการศึกษาทั่วไป และนวัตกรรมการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
3. ออกแบบและพัฒนาระบบจัดการแบบคำร้อง การส่งสถานะแบบคำร้องนักศึกษา และการจัดการข้อมูลแบบคำร้องนักศึกษา

4. ประเมินผลและสรุปข้อมูลจากการทดสอบระบบ

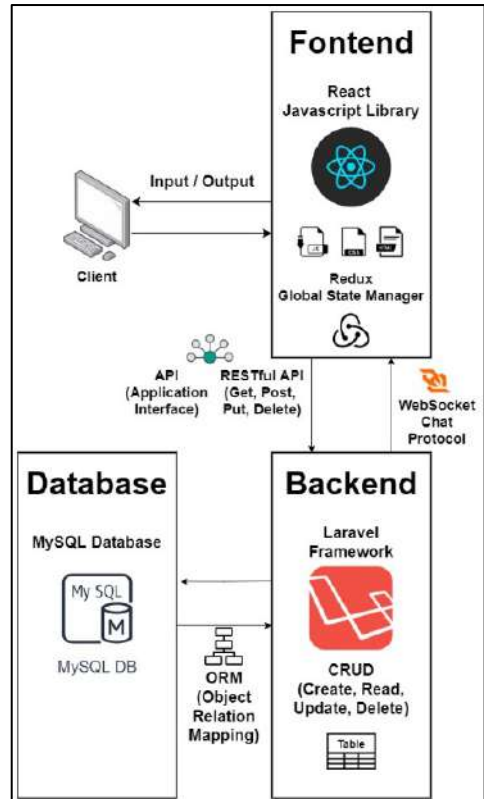
ระเบียบวิธีการวิจัย

รวบรวมข้อมูลแบบคำร้องมาจากสำนักวิชาการศึกษาทั่วไป และนวัตกรรมการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทารวบรวมเอกสารแบบคำร้องมาได้ทั้งหมด 6 แบบ และวิเคราะห์ข้อมูลที่มีในเอกสารได้ตั้งตารางที่ 1

การวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันแบบคำร้องสำหรับนักศึกษา มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษารูปแบบการทำงานของระบบการส่งเอกสารแบบคำร้องแบบเก่า และวิเคราะห์การทำงานภายในระบบ เพื่อที่จะนำไปสู่การออกแบบเว็บไซต์ ซึ่งจากการวิเคราะห์จากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงาน จะได้ข้อมูลความสามารถผู้ใช้งานประเภทต่าง ๆ คือ นักศึกษา อาจารย์ เจ้าหน้าที่ และผู้ดูแลระบบ โดยแสดงไว้ในตารางที่ 2

2. ออกแบบเว็บไซต์ระบบจัดการแบบคำร้องนักศึกษา โดยเริ่มจากการออกแบบการทำงานของเว็บไซต์ จากนั้นออกแบบวิธีการทำงานของส่วนการทำงาน และออกแบบรูปลักษณ์ของเว็บไซต์ให้เหมาะสมกับการทำงานกับระบบ



รูปที่ 1 รูปแบบการทำงานโดยรวมและเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบ

ตารางที่ 1 ข้อมูลแต่ละเอกสารแบบคำร้อง

ชื่อแบบคำร้อง	ข้อมูลแบบคำร้อง
1. แบบคำร้องขอสอบภายหลัง	ประเภทการสอบ, วิชา, กลุ่มเรียน, ภาคเรียน, ปีการศึกษา, ไฟล์แนบ และระบุเหตุผล
2. แบบคำร้องขอแก้ไขผลการเรียน	วิชา, กลุ่มเรียน, ภาคเรียน, ปีการศึกษา, ความประสงค์ และไฟล์แนบ
3. เอกสารขอตรวจสอบผลการเรียน	วิชา, กลุ่มเรียนและภาคเรียน
4. เอกสารลาป่วยลากิจ	ลาตั้งแต่, ลาจนถึง, วิชา, กลุ่มเรียน, ภาคเรียน, ปีการศึกษา, ประเภทลา, ไฟล์แนบ และระบุเหตุผล
5. แบบคำร้องทั่วไป	วิชา, กลุ่มเรียน, ภาคเรียน, ปีการศึกษา, กรอกข้อมูลชื่อเรื่อง, ระบุเหตุผล และไฟล์แนบ

ตารางที่ 2 ข้อมูลความสามารถของผู้ใช้งาน

ผู้ใช้งาน	สิ่งที่ผู้ใช้งานทำได้
นักศึกษา	สมัครสมาชิก, เลือกส่งเอกสาร, ส่งข้อมูลเอกสาร, ดูประวัติการส่งเอกสาร, ตรวจสอบสถานะเอกสารที่ส่งแก้ไขข้อมูลนักศึกษา และรายงานข้อผิดพลาด
อาจารย์และเจ้าหน้าที่	ดูคำร้องทั้งหมด, ส่งสถานะเอกสาร, ดูประวัติการส่งสถานะเอกสาร, แก้ไขข้อมูลอาจารย์และเจ้าหน้าที่ และรายงานข้อผิดพลาด
ผู้ดูแลระบบ	ดูเอกสารทั้งหมด, จัดการข้อมูลสถานะเอกสาร, ตรวจสอบรายชื่อนักศึกษา, ตรวจสอบชื่อคณะ/สาขา, จัดการข้อมูลข่าวสาร, ตอบรับรายงาน และจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน

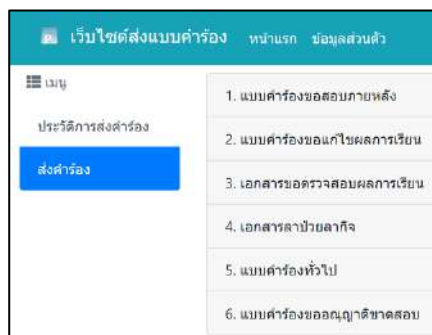
จากรูปที่ 1 คอมพิวเตอร์ของผู้ใช้หรือไคลเอนต์ (Client) ทำการใช้งานระบบจากส่วนของฟรอนต์เอนด์ (Frontend) ซึ่งทางฟรอนต์เอนด์จะทำการแสดงข้อมูลจากเอพีไอ (API) หรือสื่อสารข้อความผ่านเว็บซ็อกเก็ต (WebSocket) กับแบคเอนด์ (Backend) ที่เป็นตัวจัดการข้อมูลต่าง ๆ ในฐานข้อมูล (Database) ซึ่งในที่นี้จะใช้ ลาราวเอล เฟรมเวิร์คเป็นแบคเอนด์ ข้อมูลจะถูกสร้างให้อยู่ในรูปแบบของโออาร์เอ็ม (Object Relation Mapping: ORM) ซึ่งเป็นสร้างโครงสร้างฐานข้อมูลของระบบในรูปแบบเชิงวัตถุ

3. สร้างและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบมาในขั้นตอนที่ 3 และทดสอบระบบปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่เกิดข้อผิดพลาด ตัวอย่างดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2 หน้าเข้าสู่ระบบของเว็บไซต์

รูปที่ 2 เป็นส่วนของหน้าแรกเมื่อเข้าสู่เว็บไซต์เป็นหน้าในการเข้าสู่ระบบ โดยนักศึกษาสามารถสมัครสมาชิกใหม่ได้ภายในหน้านี้



รูปที่ 3 หน้าเลือกส่งแบบคำร้องของนักศึกษา

ในรูปที่ 3 เป็นหน้าแรกของนักศึกษาเมื่อมีการเข้าสู่ระบบแล้ว จะประกอบไปด้วยเมนูแบบคำร้อง และมีส่วนสำหรับนักศึกษาที่สามารถติดตามผลแบบคำร้องของตนเองที่เคยส่งมาแล้วก่อนหน้านี้



รูปที่ 4 ส่วนการกรอกข้อมูลแบบคำร้องของนักศึกษา

จากรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างหน้าในการกรอกข้อมูลแบบคำร้องของนักศึกษา โดยในภาพเป็นเอกสารขอตรวจสอบผลการเรียน ซึ่งนักศึกษาสามารถตรวจสอบคะแนนดิบ ตรวจสอบการส่งงานได้ เมื่อ

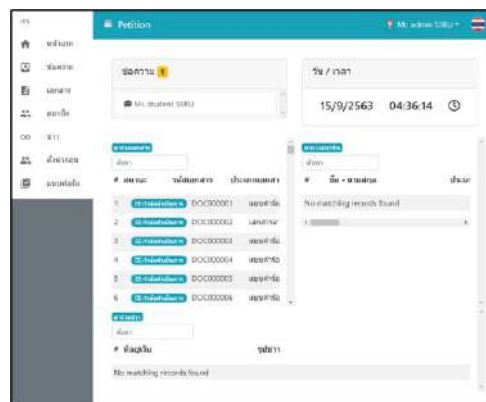
นักศึกษาเลือกที่แบบคำร้องแล้ว นักศึกษาจะต้องเลือกวิชา กลุ่มเรียน ภาคเรียน เพื่อส่งแบบคำร้อง

นักศึกษาสามารถที่จะตรวจสอบสถานะปัจจุบัน และติดตาม ลำดับขั้นการตรวจในปัจจุบัน



รูปที่ 5 ช่องข้อความไว้แจ้งปัญหากับผู้ดูแลระบบ

จากรูปที่ 5 จะเป็นหน้าต่างสนทนากับผู้ดูแลระบบ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถส่งข้อความสนทนาให้กับผู้ดูแลระบบได้ผ่านหน้าต่างนี้



รูปที่ 7 ส่วนจัดการข้อมูลต่าง ๆ ของเว็บไซต์ของผู้ดูแลระบบ

จากรูปที่ 7 เป็นส่วนของผู้ดูแลระบบไว้สำหรับจัดการข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการดูเอกสารทั้งหมด จัดการข้อมูลสถานะเอกสาร ตรวจสอบรายชื่อวิชา ตรวจสอบชื่อคณะ/สาขา จัดการข้อมูลข่าวสาร ตอบรับรายงาน และจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน

4. ทดสอบ วัดประสิทธิภาพของระบบและเก็บข้อมูลการทดสอบการใช้งานจากกลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มนักศึกษาสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้แบบประเมินเป็นตัวเก็บรวบรวมข้อมูลการทดสอบใช้ระบบเพื่อเก็บคะแนนความพึงพอใจจำนวน 34 ชุด

5. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินจากกลุ่มทดลองการใช้งาน นำข้อมูลมาสรุปในรูปแบบสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าร้อยละ (%) ค่าเฉลี่ย (Mean) เพื่อสรุปผลการทดสอบการใช้งานจากกลุ่มผู้ทดสอบ



รูปที่ 6 การส่งสถานะ/ผลรูปการตรวจแบบคำร้องของอาจารย์ และเจ้าหน้าที่

จากรูปที่ 6 เมื่อนักศึกษาได้มีการส่งแบบคำร้องไปแล้ว นักศึกษาสามารถเลือกแบบคำร้องที่ส่งไป ระบบจะแสดงหน้าสถานะ/ผลสรุปการตรวจแบบคำร้องของอาจารย์และเจ้าหน้าที่ โดย

ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแบบคำร้องสำหรับนักศึกษา โดยหลังจากมีการพัฒนาระบบโดยสมบูรณ์แล้ว จะต้องมีการทดสอบระบบ เพื่อความถูกต้องก่อนนำไปใช้งาน หรือ

นำไปใช้ในการสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ โดยการทดสอบระบบนั้นผู้วิจัยได้มีการทดสอบความถูกต้อง ในการส่งต่อข้อมูลไปยังผู้ใช้งานแต่ละประเภทแบ่งตามแบบคำร้องทั้ง 6 แบบคำร้อง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบระบบการทำงาน ความถูกต้องในการส่งต่อข้อมูลไปยังผู้ใช้ในแต่ละประเภท (Y: ส่งข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วน, N: ไม่สามารถส่งข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วน)

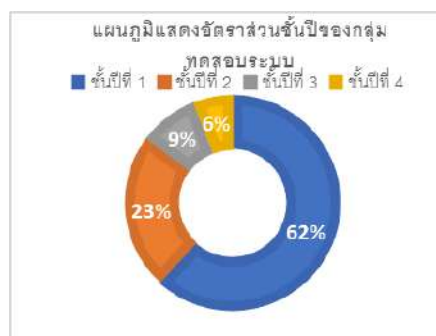
ชื่อแบบคำร้อง	ความถูกต้อง	นักศึกษา	เจ้าหน้าที่	อาจารย์
แบบคำร้องขอสอบภายหลัง	100%	Y	Y	Y
แบบคำร้องขอแก้ไขผลการเรียน	100%	Y	Y	
เอกสารขอตรวจสอบผลการเรียน	100%	Y	Y	
เอกสารลาป่วย ลาพัก	100%	Y	Y	Y
แบบคำร้องทั่วไป	100%	Y	Y	
แบบคำร้องขออนุญาตขาดสอบ	100%	Y	Y	Y

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าจากการทดสอบระบบระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง สามารถส่งแบบคำร้องจากนักศึกษาไปยัง เจ้าหน้าที่อาจารย์ ได้โดยมีข้อมูลครบถ้วน และส่งไปในเส้นทางแบบคำร้องที่ต้องการ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกลุ่มเป้าหมาย คือ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จำนวน 34 คน ผลที่ได้จะแยกกันเป็น 3 เรื่อง คือ 1) ความสวยงามและความเหมาะสมของระบบ 2) ด้านการใช้งาน 3) ด้านความสามารถของระบบ โดยมีหัวข้อที่สอบถามได้แก่ การจัดวางองค์ประกอบ ความสวยงาม สีสันความเหมาะสม และการใช้งาน ขั้นตอนในการส่งแบบคำร้อง การติดตามรายงานแบบคำร้อง ตัวเลือกภาษา ความสะดวกในการใช้งาน การเรียนรู้การใช้งานระบบ การสื่อความหมายจากสัญลักษณ์ และระบบอำนวยความสะดวกในการใช้งาน



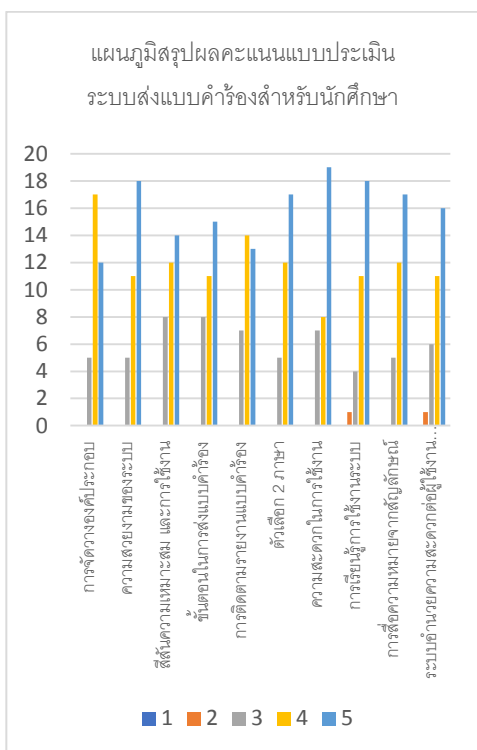
รูปที่ 8 แผนภูมิอัตราส่วนเพศของผู้ประเมิน



รูปที่ 9 แผนภูมิอัตราส่วนชั้นปีของกลุ่มนักศึกษาทดสอบระบบ

อัตราส่วนนักศึกษาทดสอบใช้งานระบบ และอัตราส่วนชั้นปีของกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา ดังรูปที่ 8 – 9

ผลสรุปแบบประเมินจากกลุ่ม ตัวอย่าง นักศึกษาที่ทดสอบระบบ ตามตารางที่ 4 โดยใน แนวนอนเป็นส่วนของจำนวนคน และแนว แนวนอนเป็นหัวข้อของแบบประเมินได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนภูมิสรุปผลคะแนนแบบประเมิน จากกลุ่มนักศึกษา

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์การทดสอบกับสภาพ การใช้ระบบสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ (e-Office) ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษา เขต 19 [5] ผลคะแนนโดยรวมจะอยู่ในระดับดีเท่ากัน โดยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการทดลองใช้งานระบบ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.
ด้านความสวยงามและความเหมาะสมของระบบ	4.26	0.13
ด้านการใช้งาน	4.27	0.18
ด้านความสามารถของระบบ	4.31	0.15
โดยรวม	4.28	0.15

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สภาพการใช้ระบบสำนักงานอิเล็กทรอนิกส์ใน โรงเรียน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษา เขต 19

รายการ	$\bar{X}$	S.D.
ด้านระบบจัดการหนังสือ	4.03	0.72
ด้านระบบการรับหนังสือ	4.05	0.57
ด้านระบบการส่งหนังสือ	4.41	0.62
ด้านระบบจัดเก็บหนังสือ	4.15	0.75
ด้านระบบทำลายหนังสือ	4.14	0.70
ภาพรวม	4.08	0.47

สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาการสร้างเว็บไซต์ แอปพลิเคชันแบบคำร้องสำหรับนักศึกษา วิเคราะห์ปัญหาของการส่งแบบคำร้องโดยใช้ สำนักวิชาการศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้มีการออกแบบ และพัฒนาระบบการจัดการแบบคำร้อง การส่งสถานะแบบคำร้อง และการจัดการข้อมูลแบบคำร้องของนักศึกษา และมีการประเมินผลและสรุป ข้อมูลจากการทดสอบระบบ ซึ่งข้อมูลจากแบบทดสอบที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาได้ ข้อเสนอแนะว่าสามารถทำงานได้ดี อย่างไรก็ตามนั้นจะต้องมีการปรับปรุงในด้านการออกแบบให้ดีขึ้น

ผู้ที่ศึกษาบทความนี้สามารถนำความรู้ไปต่อยอดการพัฒนา ตัวอย่างเช่น ระบบการกระจาย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน 2564

คำสั่งไปให้ผู้เกี่ยวข้องตัวอย่างเช่น เมื่อมีนักศึกษา
ที่ทำเรื่องขอลาหรือขาด เมื่อระบบอนุมัติ ข้อมูล
ระบบจะส่งข้อมูลไปยังเจ้าหน้าที่เพื่อแจ้งเตือนให้
ทราบการลา ในช่วงเวลาที่กำหนดเป็นต้น

References

- [1] Akinubi, T. I., Etus, C., & Udunwa, I. Design and Implementation of an E-Office System. *West African Journal of Industrial and Academic Research*, vol. 12, no. 1, 53-81, 2014.
- [2] Subari, A., Manan, S., & Ariyanto, E. Design of E-office system in vocational school Diponegoro University using code igniter framework. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 801, 2nd Talenta Conference on Engineering, Science and Technology 17 October 2019*, Medan, Indonesia, 1-8.
- [3] Dharmarajan, N., Mohd Lokman, A., & Zainol, Z. E-office for UiTM: a survey analysis. *Jurnal Teknologi Maklumat dan Sains Kuantitatif*, vol. 8, no. 1, 71-79, 2006.
- [4] Dewandaru, D. S. Pemanfaatan Aplikasi E-Office Untuk Mendukung Penerapan E-Government Dalam Kegiatan Perkantoran Studi Kasus: Puslitbang Jalan Dan Jembatan. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi 2013 (SENTIKA 2013)*, 232-239, Yogyakarta, 9 Maret 2013.
- [5] Rampian Noychiangkun, Suchart Bangwiset and Utai Pleeklum. State of the Using Electronic Office Systems (e-Office) in Schools Under the Secondary Educational Service Area Office 19. *Journal of Graduate Studies Valaya Alongkorn Rajabhat University*, vol. 10, no. 3, 135-148, September - December 2016.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

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

การเตรียมต้นฉบับบทความ

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

กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง
เอกสารอ้างอิง (References)	การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลขตามมาตรฐานสากลดังที่แสดงไว้ในส่วนท้ายของประโยคนี้นี้ [1] เอกสารอ้างอิงท้ายบทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงในบทความ ตามรูปแบบของ IEEE (http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf) <u>โดยแปลเอกสารอ้างอิง (References) จากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ</u>
รูปภาพและตาราง	ต้องมีความคมชัดเป็นภาพขาวดำที่ชัดเจน มีคำอธิบายสั้น ๆ ครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า “ตารางที่.....” และอธิบายใส่ไว้ในเนื้อตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า “รูปที่.....” และมีคำอธิบายใส่ไว้ใต้รูป

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง

ตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

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

ตัวอย่างการอ้างอิงจากการประชุมวิชาการ

- [4] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ใน หรือ In, *ชื่อการประชุมวิชาการ, ชื่อย่อการประชุมวิชาการ, ชื่อสถานที่จัดงาน*, วัน เดือน ปี ที่จัดงาน, เลขหน้า.
- [5] วรฤทัย 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 ถนนอุทงนอก แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440 Email : fit@ssru.ac.th

แบบฟอร์มส่งบทความวิจัยเพื่อพิจารณาตีพิมพ์
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

(ภาษาอังกฤษ)

ชื่อ-สกุล ผู้เขียนบทความ

ระดับการศึกษาสูงสุด ตำแหน่งทางวิชาการ

หน่วยงาน

สถานที่ติดต่อผู้เขียนบทความ

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล เขต/อำเภอ

จังหวัด รหัสไปรษณีย์ โทรศัพท์ โทรสาร

E-mail

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (1)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล เขต/อำเภอ

จังหวัด รหัสไปรษณีย์ โทรศัพท์ โทรสาร

E-mail

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (2)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล เขต/อำเภอ

จังหวัด รหัสไปรษณีย์ โทรศัพท์ โทรสาร

E-mail

ข้าพเจ้า และผู้เขียนร่วม (ถ้ามี) ขอรับรองบทความที่เสนอตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ดังนี้

1. บทความฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใดๆ
2. เนื้อหาของบทความ ทั้งข้อความ รูปภาพ ทั้งหมดที่ปรากฏขอรับรองว่าเป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมในกรณีที่มีการอ้างอิงผลงานจากผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมได้ดำเนินการตามจรรยาบรรณทางการวิจัยทุกประการ กรณีมีการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอรับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว
3. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมยอมรับเงื่อนไขการพิจารณาบทความ และยินยอมปรับแก้บทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิหรือตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร
4. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ให้แก่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ลงชื่อผู้ส่งบทความ
(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หมายเหตุ : กองบรรณาธิการไม่รับพิจารณาบทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนด