วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal

ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2563

ISSN 1906-6627 (Print)
E-ISSN 2673-0197 (Online)

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SRIVIJAYA

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย (Peer review)

บทความทุกเรื่องก่อนลงตีพิมพ์ในวารสารฯ ได้ผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อย 2 ท่าน

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วัตถุประสงค์	เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัย (Research article) ของบุคลากร นักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย รวมทั้งบทความวิจัยของบุคคลภายนอก
ฝ่ายจัดทำ	นางสาวบุญบรรจง สายลาด สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นางสาวพนิดา ชูเวท สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เจ้าของลิขสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ขอบเขต	เป็นวารสารวิชาการที่ครอบคลุมสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กำหนดการเผยแพร่	ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม
การเผยแพร่	Online
จัดทำโดย	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 179 หมู่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150 โทรศัพท์ 0 7520 4070 โทรสาร 0 7520 4071 E-mail: rdisv.journal@gmail.com Website: https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/index

Print ISSN 1906-6627

Online ISSN 2673-0197

สารบัญ

การติดเชื้อของตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรียในปูนาจากจังหวัดนนทบุรี

Infection of Metacercariae in Rice-Field Crab from Nonthaburi Province, Central Thailand

พัชรี ครูขยัน[1*] อารีรัตน์ พิจิตร[1] และ พรเทพ เนียมพิทักษ์[2]

Patcharee Khrukhayan[1*], Areerat Pijit[1] and Pornthep Niamphithak[2]

Received: 11 June 2019, Revised: 28 August 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

การสำรวจการติดเชื้อของตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรียในปูนา (*Sayamia bangkokensis*) จากจังหวัดนนทบุรี ซึ่งอยู่ในภาคกลางของประเทศไทย โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างปูนาตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน 2551 จำนวน 205 ตัว ตรวจพบตัวอ่อนของพยาธิใบไม้ระยะเมตาเซอร์คาเรียสกุล *Paragonimus* ในปูนาทั้งสิ้น 160 ตัว คิดเป็นค่าความชุกและความหนาแน่นเฉลี่ยของพยาธิเท่ากับ ร้อยละ 78 และ 4.3 ± 3.3 ตัว/ปู 1 ตัว ตามลำดับ ซึ่งบริเวณที่พบจะอยู่ในตับและตับอ่อน (มันปู) เป็นส่วนใหญ่ การติดเชื้อจะพบในปูเพศผู้มากกว่าเพศเมีย โดยมีค่าความชุกเท่ากับ ร้อยละ 81.8 และ 73.3 ตามลำดับ และมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของพยาธิ เท่ากับ 4.7 ± 3.7 และ 3.8 ± 2.7 ตัว/ปู 1 ตัว ตามลำดับ เมื่อทดสอบทางสถิติแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเพศ (p>0.05) นอกจากนี้ การติดเชื้อของตัวอ่อนระยะเมตาเซอร์คาเรียจะพบในปูที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดระหว่าง 4.01-5.00 เซนติเมตร) มากกว่าในปูที่มีขนาดเล็ก (ขนาดระหว่าง 2.00-3.00 เซนติเมตร) เมื่อหาค่าความชุกและความหนาแน่นเฉลี่ยในปูแต่ละขนาด พบว่า มีค่าความชุก เท่ากับ ร้อยละ 33.3, 56.0 และ 82.8 และค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 3.0 ± 0.0, 4.3 ± 2.5 และ 4.3 ± 3.4 ตัว/ปู 1 ตัว ในปูขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการบริโภคปูนาควรปรุงอาหารให้สุกก่อนการบริโภคทุกครั้งเพื่อลดการติดเชื้อของพยาธิใบไม้จากปูนาสู่คน

คำสำคัญ: เมตาเซอร์คาเรีย, *Paragonimus*, ปูนา, *Sayamia bangkokensis*, จังหวัดนนทบุรี

---

[1] ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900

[1] Department of Fishery Biology, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand.

[2] ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

[2] Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen 40002, Thailand.

[*] Corresponding author, e-mail: ffisprk@ku.ac.th Tel: 0 2942 8701

ABSTRACT

A survey on metacercariae infection was conducted with rice field crabs (*Sayamia bangkokensis*) from Nonthaburi province, Central Thailand. Crab samples were collected from January to April 2018. The metacercarial cysts from genus *Paragonimus* were detected from 160 crabs out of 205. Prevalence and mean intensity were 78% and 4.3 ± 3.3 parasites/crab, respectively. Most of the parasites were found in hepatopancreas. The infection was higher in males than females with the prevalence of 81.8% and 73.7%, and mean intensity of 4.7 ± 3.7 and 3.8 ± 2.7 parasites/crab, respectively. However, the prevalence and mean intensity were not significantly different (p>0.05) between genders. Moreover, the infection was found higher in large crab (4.01-5.00 cm) than small crab (2.00-3.00 cm). The prevalence rates were 33.3%, 56.0% and 82.8% and mean intensity values were 3.0 ± 0.0, 4.3 ± 2.5 and 4.3 ± 3.4 parasites/crab in small, medium, and large size, respectively. Consequently, it is recommended that the crab should be cooked before they are consumed to prevent infection.

Key words: metacercariae, *Paragonimus*, rice field crab, *Sayamia bangkokensis*, Nonthaburi province

INTRODUCTION

Rice farming area in Sai Noi District, Nonthaburi province is a minor part in urban areas near the capital city, Bangkok about 20 kilometers. Rice farming is usually carried out during May-October and November-April. During rice is grown, farmers will catch crabs out of the fields of their own because they will bite and destroy the stem of rice. Then, these crabs were cooked or sold at the market. The carb is also a source of protein for daily diets of the people for a few seasons and high demand for domestic markets (Panalikul *et al*., 2017). At present, the rice field crabs are consumed much more widely, e.g. jaew bong, fried crab paste and crab salad. Some foods made from cooked crab or raw crab might cause zoonotic diseases since crabs are secondary intermediate host of fluke in the metacercariae stage. Fluke (Trematoda: Digenea) is a group of parasites that are important in medicine and the vet. The parasitic adult stage is found in the digestive tract or internal organs in definitive mammal host including the human. Metacercariae is infection stage that found in rice field crab. It can infect the host by eating especially eating raw crab or consuming an ingredient in papaya salad and crab salad. The metacercariae will develop into an adult worm living in the digestive tract or internal organs of the definitive host. The past, the studies found many species of metacercariae in crab such as genus *Paragonimus*, *Microphallus*, *Microphaloides*, *Achillurbainia* and *Plenosominoides* (Habe *et al*., 1993; Yaemput *et al*., 1994; Waikagul and Yeamput, 1999; Sugiyama *et al*., 2004; Doanh *et al*., 2007; Sugiyama *et al*., 2007; Sugiyama. *et al*., 2009; Waikagul *et al*., 2009; Pina *et al*., 2011; Chamavit and Sahaisook, 2012; Doanh *et al*., 2013; Goswami *et al*., 2013; Habe *et al*., 2013; Sanpool *et al*., 2013; Athokpam and Tandon, 2015; Pachanawan *et al.*, 2017; Wongchum *et al*., 2018). These parasites cause lung fluke disease (paragonimiasis) and intestinal fluke disease in humans. In Thailand has reported the paragonimiasis in some areas of the province, Phetchabun, Saraburi, Nakhon Nayok, Chiang Rai, Nan, Loei, Ratchaburi province (Hospital for Tropical Diseases, 2013) and northern Thailand (Pachanawan *et al.*, 2017). These diseases are the problems the health of the population in the area directly. If the surveillance of the disease spread or the dissemination of knowledge and information to the public to reduce infectious disease caused by a fluke in humans. Although the fluke worm in rice field crab in Thailand studied in Kanchanaburi province, Chanthaburi province (Waikagul *et al*., 2009) Nakhon Nayok province (Yaemput *et al.,* 1994 and Waikagul *et al*., 2009), Phra Nakhon Si Ayutthaya province, Bangkok (Yaemput *et al*., 1994) Samut Prakan province (Chamavit and Sahaisook, 2012) Saraburi province (Waikagul *et al*., 2009 and Sanpool *et al*., 2013), Phitsanulok province, Phetchabun province (Sanpool *et al*., 2013), Surat Thani province(Sugiyama *et al*., 2007 and Sanpool *et al*., 2013) Nakhon Phanom province (Pachanawan *et al*., 2017) and Ubon Ratchathani province (Wongchum *et al*., 2018) but it is only a minority. Moreover, in Nonthaburi province, there were no data, so this study was determined the effect of host size and sex on the incidence of parasitic metacercariae infection to be used as guidelines for control and prevention of outbreak of infectious disease. Crab specimens were collected in the end of rice farming because in this period can easily find crabs.

MATERIALS AND METHODS

1. Collection and examination for metacercariae in rice-field crab

In total, 205 specimens of the rice field crab, Sayamia bangkokensis (Naiyanetr, 1982) (syn. Somanniathelphusa bangkokensis) were collected from rice field farmers in Sai Noi District, Nonthaburi province from January to April 2018 by crab traps, 18 cm in diameter and 33 cm long in rice fields and using fish as bait.

Crabs were obtained in a cool box to The Faculty of Fisheries laboratory, Kasetsart University, Bangkok. In the laboratory, the carapace width (Figure 1) was measured by vernier caliper and sex was determined by observing the appearance of the abdomen. In male, the abdomen is narrow and long rectangular while in female, the abdomen is wider and round. During the dissection, various internal organs and hepatopancreas were removed and pressed between two petri dishes for cyst detection. The sample of cysts were observed, photographed and total counted under a stereo microscope.

Figure 1 Measurement of the carapace width

2. Data analysis

Parasites were magnified 40-100x by using a compound microscope and identified as described by Waikagul *et al*. (2009), Pina *et al*. (2011), Goswami *et al*. (2013), Pachanawan *et al*. (2017). The prevalence and mean intensity levels of metacercariae were determined according to Bush *et al*. (1997).

$$\text{Prevalence (\%)} = \frac{\text{Number of crabs infested}}{\text{Number of crab specimens}} \times 100$$

$$\text{Mean intensity (parasites/crab)} = \frac{\text{Total numbers of metacercariae}}{\text{Number of infected crabs}}$$

Standard statistical computation (standard deviation) was carried out using Microsoft Excel (Office 2013). T-test was applied to find significant differences in the mean intensity of the gender of the host. Lastly, One-way ANOVA followed by Tukey's post hoc test were used to test the difference between sizes of crab. The statistical software SPSS (11.5 for windows) was used to analyze the data, with a level of significance of p<0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

A total of 205 crabs examined, 160 specimens (78%) were infected for *Paragonimus* sp. metacercariae. The metacercarial cysts were found with an overall prevalence and mean intensity of 78% and 4.3 ± 3.3 parasites/crab, respectively (Table 1). They found in hepatopancreas and some of internal organs of *Sayamia bangkokensis* (Naiyanetr, 1982) (Figure 2). The cyst is a spherical shape and has a thick wall composed of two layers, the external being thinner than the internal cyst wall. The mean diameter of cyst measured 420 µm (403-450) (n=688). The metacercariae were folded in U-shape inside the cyst and were also visible oral sucker, ventral sucker and excretory bladder (Figure 3).

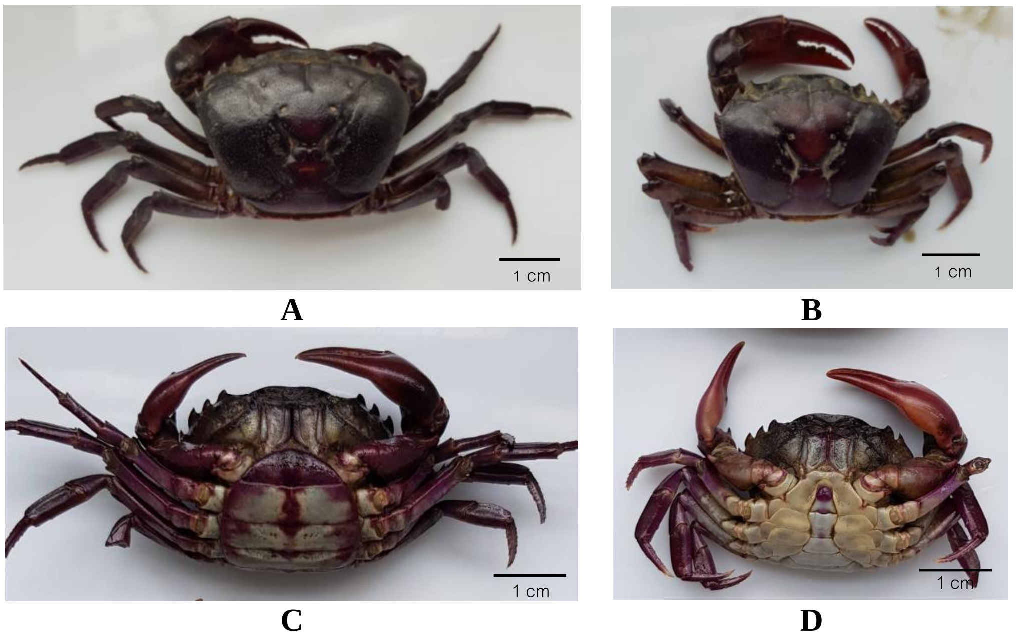


Figure 2 Morphology of rice-field crab (*Sayamia bangkokensis* (Naiyanetr, 1982)). (A) Dorsal view of female and (B) male rice field crab. (C) Ventral view of female and (D) male rice field crab.

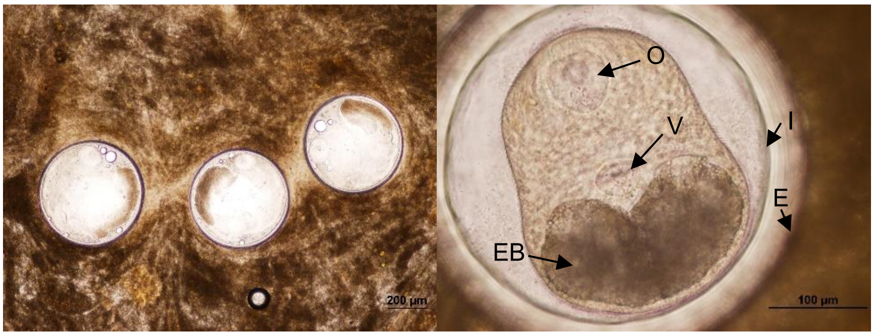


Figure 3 Photomicrographs of fresh encysted metacercariae of *Paragonimus* sp. O - oral sucker; V - ventral sucker; I - internal cyst wall; E - external cyst wall; EB - excretory bladder.

The prevalence and mean intensity levels of parasites shown that both sexes were high rate and no significant different (p>0.05). The prevalence rates were more than 70% in both genders of host, i.e. 81.8% and 73.7% and the mean intensity levels were 4.7 ± 3.7 parasites/crab and 3.8 ± 2.7 parasites/crab in male and female, respectively. Crabs were classed into 3 length classes: small size (2.00-3.00 cm), medium size (3.01-4.00 cm) and large size (4.01-5.00 cm.). The highest prevalence rate was found in the large size (82.8%) followed by the medium size (56.0%) and the lowest rate in the small size (33.3%). The mean intensity values of three sizes of host were 3.0 ± 0.0, 4.3 ± 2.5 and 4.3 ± 3.4 parasites/crab in small size, medium size and large size, respectively and no significant different (p>0.05) between size (Table 1).

Table 1 Prevalence (P) and mean intensity (MI) of *Paragonimus* metacercariae of rice filed crab collected in relation to sex and their carapace width from Nonthaburi province.

	No. crab infected/ No. crab examined	**P (%)**	**MI ± SE (parasites/crab)**
Gender			
Male	90/110	81.8	4.7 ± 3.7
female	70/95	73.7	3.8 ± 2.7
Carapace width group (cm)			
Small size (2.00-3.00)	2/6	33.3	3.0 ± 0.0
Medium size (3.01-4.00)	14/25	56.0	4.3 ± 2.5
Large size (4.01-5.00)	144/174	82.8	4.3 ± 3.4
Total	**160/205**	**78.0**	**4.3 ± 3.3**

160 (78%) of 205 rice filed crab (*Sayamia bangkokensis* (Naiyanetr, 1982)) from Sai noi district, Nonthaburi province, were found *Paragonimus* sp., that causes paragonimiasis in human. The parasite was found spread in Asia such as Thailand, Lao (Habe *et al*., 2013), Vietnam (Doanh *et al*., 2013), Malaysia (Habe *et al*., 1993), Japan (Habe, 1979; Habe and Terasaki, 1982; Sugiyama *et al*., 2004), Korea (Kim *et al*., 2009) and China (Wang *et al*., 2002). In Thailand, paragomiasis in human cause by *Paragonimus heterotremus* and *P. westermani* and in animals (cats, dogs and monkeys) cause by *P. bangkokensis*, *P. harinasutai*, *P. macrochis* and *P. siamensis*

(Miyazaki, 1974). The outbreak has been found in Phetchabun province, Saraburi province, Nakhon Nayok provice, Chiang Rai province, Nan provice, Loei province, Ratchaburi province and some provinces in upper of northern Thailand (Radomyos *et al*., 1998; Hospital for Tropical Diseases, 2013; Pachanawan *et al*., 2017). When the parasites infected, patients will have pneumonia, chest pain and chronic cough. Maybe the parasite can live on other organs such as liver, intestine, muscle, diaphragm and brain cause of abnormal symptoms of those organs (Hospital for Tropical Diseases, 2013). Although Nonthaburi province is a non-epidemic area of Paragonimus, this study is a preliminary data to know the distribution of parasites for to serve as a guideline for preventing infection of helminth species to humans. The prevalence of metacercarial parasite showed a high risk of infection as 78%, while the mean intensity value was low level as 4.3 ± 3.3 (range 1-12) parasites/crab. Despite the number of samples in each size varies greatly. The trend to find that mostly the parasites were found highest prevalence in biggest crab size (82.8%). Conversely, Pachanawan *et al*. (2017) reported Nakhon Phanom province, northeast Thailand, found the highest mean intensity of *Microphaloides* spp. metacercariae was 200.38 parasites/crab in Phon Sawan district which is more than Nonthaburi province about 50 times. It causes affect the high risk of infection in humans. Moreover, Wongchum *et al*. (2018) also reported the prevalence and intensity of *Paragonimus* metacercariae were 42.96% and 11.53 parasites/crab, respectively in Ubon Ratchathani province, northeast Thailand. There was a lower prevalence but higher intensity than Nonthaburi province. From the information previously shown that *Paragonimus* is a common species (high prevalence value) which found in crabs. Thus, raw crab-eating has a risk of parasitic infection. The infection of the parasites was found in both males and females crab with similar rate, according to Wongchum *et al*. (2018). Causes may be due to the crab (both sexes) has lived in the same environment and food source, thus the infection rate is not different. In addition, they were found in larger than small size crab. Crab has to molt for growth and increase size. Therefore, the size of the crab will increase with age. It is possible that the larger crab feed more food than smaller crab, so the larger one has a chance to get more infection, as well as Abu-Madi *et al*. (2001), Treml *et al.* (2012) and Haas *et al*. (2012) reported that the prevalence values of the parasite were related with age and size of the host. Most of the metacercariae were found in hepatopancreas because this organ was absorption, storage of nutrients and vitellogenesis, during growth and ovarian development (Wang *et al*., 2014) therefore suitable for the metacercariae infected. Due to the hepatopancreas is the most delicious part of the crab thus people who eat raw crabs will have a chance to get more parasitic infected. Then, the rice field crab food should be cooked before consumption.

CONCLUSION

This study of metacercariae survey in rice field crab (*Sayamia bangkokensis*) from Nonthaburi province from January to April 2018. About 78% (160 of 205 examination crabs) was infected with *Paragonimus* sp. and found 4.3 ± 3.3 parasites/crab. Most of the parasites were found in hepatopancreas. The larger crab size (4.01-5.00 cm) was infected higher than smaller ones (2.00-3.00 cm). This study is only one study in Sai Noi district, Nonthaburi province. If there were more studies in the provinces close to Nonthaburi, will allow us to know the spread of this parasite and to be able to predict the results that will happen in the future. Therefore, the consumption of rice field crab should be cooked. Do not feed pets such as dogs and cats with raw crab because they are susceptible to definition hosts.

REFERENCES

Abu-Madi, M.A., Lewis, J.W., Mikhail, M., El-Nagger, M.E. and Behnke, J.M. 2001. Monospecific helminth and arthropod infections in an urban population of brown rats from Doha, Qatar. **Journal of Helminthology** 75: 313-320.

Athokpam, V.D. and Tandon, V. 2015. A survey of metacercarial infections in commonly edible fish and crab hosts prevailing in Manipur, Northeast India. **Journal of Parasitic Diseases**, 39(3): 429-440.

Bush, A.O., Lafferty, K.H., Lotz, J.M., Shostak, A.W. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. **Journal of Parasitology** 83: 575-583.

Chamavit, P. and Sahaisook, P. 2012. *Paragonimus* metacercaria prevalence in freshwater crabs in the markets in Bang Phli district, Samut Prakan Province, Thailand. **Journal of Health Sciences** 21(2): 296-301. (In Thai)

Doanh, P.N., Horii, Y. and Nawa, Y. 2013. *Paragonimus* and Paragonimiasis in Vietnam: an update. **Korean Journal of Parasitology** 51(6): 621-627.

Doanh, P.N., Shinohara, A., Horii, Y., Habe, S., Nawa, Y., The, D.T. and Le, N.T. 2007. Morphological and molecular identification of two *Paragonimus* spp., of which metacercariae concurrently found in a land crab, *Potamiscus tannanti*, collected in Yenbai Province, Vietnam. **Journal of Parasitology Research** 100: 1075-1082.

Goswami, L.M., Prasad, P.K., Biswal, D.K., Chatterjee, A. and Tandon, V. 2013. Crustacean-borne infections with microphallid metacercariae (Digenea: Microphallidae) from focal areas in Meghalaya, north-east India. **Journal of Helminthology** 87: 222-229.

Haas, M., Lukan, M., Kiskova, J. and Hrehova, Z. 2012. Occurrence of blood parasites and intensity of infection in *Prunella modularis* in the montaneand subalpine zone in the Slovak Carpathians. **Acta Parasitologica** 57: 221-227.

Habe, S. 1979. Distribution of the metacercariae of lung flukes in their secondary intermediate hosts. **Medical Bulletin of Fukuoka University** 6: 135-138.

Habe, S. and Terasaki, K. 1982. On the type of *Paragonimus watermani* from crab hosts in Yaku Island Kagoshima Prefecture. **Japanese Journal of Parasitology** 31: 27-32 (In Japanese with English abstract).

Habe, S., Doanh, P.N., Yahiro, S., Vannavong, N., Barennes, H., Odermatt, P., Dreyfuss, G., Horii, Y. and Nawa, Y. 2013. *Paragonimus paishuihoensis* metacercariae in freshwater crabs, *Potamon lipkei*, in Vientiane Province, Lao PDR. **Korean Journal of Parasitology** 51(6): 683-687.

Habe, S., Lai, K.P.F., Agatsuma, T., Ow-Yang, C.K. and Kawashima, K. 1993. Crab hosts for *Paragonimus westermani* (Kerbert, 1878) in Malaysia. **Journal of Tropical Medicine and Hygiene** 21(3): 137-142.

Hospital for Tropical Diseases. 2013. **Paragonimiasis.** Available source: http://www.tm.mahidol.ac.th/hospital/hospital-p-paragonemous-th.php. August 2, 2018. (In Thai)

Kim, E.M., Kim, J.L., Choi, S.I., Lee, S.H. and Hong, S.T. 2009. Infection status of freshwater crabs and crayfish with metacercariae of *Paragonimus westermani* in Korea. **Korean Journal of Parasitology** 47(4): 425-426.

Miyazaki, I. 1974. Lung flukes in the world: morphology and life history, pp. 101-135. *In* Sasa, M., ed. **A symposium on epidemiology of parasitic diseases.** International Medical Foundation of Japan, Tokyo.

Naiyanetr, P. 1982. Three new species of freshwater crabs of Thailand. *In* **Abstracts of the twentieth conference: Fisheries section.** Kasetsart University, Bangkok. (In Thai)

Pachanawan, A., Phalee, A., Tiengtam, N., Phalee, W., Khamthorn, J. and Khampush, S. 2017. Prevalence and intensity of *Microphaloides* spp. in Black Rice Crab, *Somanniathelphusa* sp. from Nakhon Phanom Province, Year 2016. **Thaksin University Journal** 20(3): 8-16. (In Thai)

Panalikul, P., Wongmaneeprateep, S. and Doolgindachbaporn, S. 2017. Effects of Chitosan Levels on Growth Performance, Feed Utilization and Survival Rate of Rice-field Crab (*Esanthelphusa dugasti*). **Journal of Pure and Applied Microbiology** 11(3): 1357-1364.

Pina, S., Russell-Pinto, F. and Rodrigues, P. 2011. Morphological and molecular study of *Microphallus primas* (Digenea: Microphallidae) metacercaria, infecting the shore crab *Carcinus maenas* from northern Portugal. **Folia Parasitologica** 58(1): 48-54.

Radomyos, B., Wongsaroj, T. and Wilairatana, P. 1998. Opisthorchiasis and intestinal fluke infection in northern Thailand. **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health** 29: 123-127.

Sanpool, O., Intapan, P.M., Thanchomnang, T., Janwan, P., Nawa, Y., Blair, D. and Maleewong, W. 2013. Molecular variation in the *Paragonimus heterotremus* complex in Thailand and Myanmar. **Korean Journal of Parasitology** 51(6): 677-681.

Sugiyama, H., Morishima, Y. and Kameoka, Y. 2004. *Paragonimus ohirai* metacercariae in crabs collected along the Arakawa River in Tokyo, Japan. **Journal of Veterinary Medical Science** 66(8): 927-931.

Sugiyama, H., Morishima, Y., Binchai, S., Rangsiruji, A. and Ketudat, P. 2007. New form of *Paragonimus westermani* discovered in Thailand: Morphological characteristics and host susceptibility. **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health** 38 (suppl 1): 87-91.

Sugiyama, H., Umehara, A., Morishima, Y., Yamasaki, H. and Kawanaka, M. 2009. Detection of *Paragonimus* metacercariae in the Japanese freshwater crab, *Geothelphusa dehaani*, bought at retail fish markets in Japan. **Japanese Journal of Infectious Diseases** 62: 324-325.

Treml, F., Nepereny, J., Janova, E., Bandouchova, H. and Pikula, J. 2012. Prevalence of antibodies against leptospires in small mammals in relation to age, sex and season. **Acta Veterinaria** 81: 97-102.

Waikagul, J, and Yaemput, S. 1999. Two *Achillurbainia* metacercariae from mountain crabs in Central Thailand. **Journal of Tropical Medicine and Parasitology** 22: 1-6.

Waikagul, J., Pubampen, S., Sa-nguankait, S. and Yoonuan, T. 2009. Two *Plenosominoides* Metacercariae from Mountain Crabs in Central and Eastern Thailand. **Journal of Tropical Medicine and Parasitology** 32: 30-34.

Wang, W.L., Lei, L, Zhou, B.J., Zhang, X., Wang, M.L. and Xia, D.G. 2002. Investigation and observation on *Paragonimus paishuihoensis* in Mengla County, Yunnan Province. **Endemic Disease Bulletin** 17: 62-65.

Wang, W., Wu, X., Liu, Z., Zheng, H. and Cheng, Y. 2014. Insights into hepatopancreatic functions for nutrition metabolism and ovarian development in the crab *Portunus trituberculatus*: gene discovery in the comparative transcriptome of different hepatopancreas stages. **PLoS One** 9(1): e84921.

Wongchum, N., Dechakhumphu, A. and Sarapai, L. 2018. The relation of genders, size sand habitats of rice-field crabs (*Esanthelphusa* sp.) to the infection of lung fluke metacercariae in rice field of Khamcharoen Village, Detudom District, Ubonratchathani Province. **Khon Kaen University Science Journal** 46(1): 114-121. (In Thai)

Yaemput, S., Dekumyoy, P. and Visiassuk, K. 1994. The natural first intermediate hostof *Paragonimus siamensis* (Miyazaki and Wykoff, 1965) in Thailand. **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health** 25(2): 284-290.

การสำรวจและวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดคราบหมองหม่นของพระมหาธาตุเจดีย์นภเมทนีดล และพระมหาธาตุเจดีย์นภพลภูมิสิริ ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

Finding and Analyzing Cause of Stain of Phra Maha Dhatu Nabhamethanidol and Nabhapolbhumisiri at Doi Inthanon National Park, Chom Thong, Chiang Mai

ธีรพัฒน์ ขันใจ[1] พัฒนาวิศว์ สว่างลาภ[1] วรุต ธรรมวิชัย[2] ณัฐวัฒน์ ภู่ภักดี[2] กุศยา สุวรรณวิหค[2]
สมเกียรติ สุกางโฮง[2] สมคิด ระหงส์[2] และ สุธินี เกิดเทพ[1*]

Teerapat Khanjai[1], Pattanawit Sawanglap[1], Warut Thammawichai[2], Nathawat Poopakdee[2], Kusaya Suvanvihok[2], Somkiat Sukanghong[2], Somkid Rahong[2] and Sutinee Girdthep[1*]

Received: 30 May 2019, Revised: 1 July 2019, Accepted: 2 October 2020

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสาเหตุของการเกิดคราบสกปรกของแผ่นกระเบื้องโมเสกบนพระมหาธาตุเจดีย์นภเมทนีดลและพระมหาธาตุเจดีย์นภพลภูมิสิริ ซึ่งตั้งอยู่ในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการวิเคราะห์สีของแผ่นกระเบื้องโมเสกด้วยการวัดการดูดกลืนแสงแบบสำหรับพื้นผิวทึบแสง วัดค่าความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสที่พื้นผิวกระเบื้อง และการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ซึ่งพบองค์ประกอบของโพลียูริเทน จากนั้นตรวจสอบสภาพพื้นผิวและธาตุองค์ประกอบของแผ่นกระเบื้องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มี EDX นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของแผ่นกระเบื้องด้วย DSC และ TGA และที่สำคัญผู้วิจัยทำการตรวจสอบคราบซึ่งมีลักษณะคล้ายหินปูนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มี EDX วัดค่าความเป็นกรดด่างของน้ำฝน

---

[1] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

[1] Department of chemistry, Faculty of science, Silpakorn university, Sanamchandra Palace campus, Phrapathomchedi, Mueang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

[2] กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช จังหวัดกรุงเทพ 10220

[2] Academic faculty, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy, Bangkok 10220, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): GIRDTHEP_S@su.ac.th

บริเวณพระมหาธาตุ ตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำฝนด้วย ICP และยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อระบุชนิดของมอสในบริเวณพระมหาธาตุ ซึ่งผู้วิจัยมุ่งหวังว่าการระบุสาเหตุการเกิดคราบบนกระเบื้อง จะช่วยในการพัฒนาวิธีที่มีประสิทธิภาพในการดูแลรักษาพระมหาธาตุทั้งสององค์

คำสำคัญ: พระมหาธาตุเจดีย์, แผ่นโมเสก, คราบหินปูน, อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์

ABSTRACT

In this work, chemical properties, physical properties, and cause of stains on mosaics of Phra Maha Dhatu Nabhamethanidol and Nabhapolbhumisiri at Doi Inthanon National Park, Chiang Mai were studied. The mosaic colors were determined by Diffused Reflectance Ultraviolet-visible Spectrometer (DRS). The hydrophilicity properties of the mosaics were analyzed by contact angle measurement (CA). Characterization by infrared spectrometer (IR) revealed chemical functional groups on polyurethane of the mosaics. The morphologies and elements of the mosaics surfaces were analyzed by scanning electron microscope (SEM) with Energy Dispersive X-ray (EDX). Moreover, thermal properties of the mosaics were analyzed by Differential Scanning Calorimeters (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA). Importantly, the stains, limestone-like samples, were analyzed by SEM-EDX. In addition, the pH of rain water in the area of Phra Maha Dhatus was measured and its elemental composition was analyzed by Inductively Coupled Plasma (ICP). Furthermore, algae class of moss in vicinity of Phra Maha Dhatus was identified. Finding the cause of the unwanted stains will lead to developing of an effective maintenance method for Phra Maha Dhatus.

Key words: phra maha dhatu, mosaic, limestone, doi Inthanon national park

บทนำ

พระมหาธาตุเจดีย์นภเมทนีดลและพระมหาธาตุเจดีย์นภพลภูมิสิริ ประดิษฐานอยู่บนที่สูงสุดในราชอาณาจักรไทย ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ต.บ้านหลวง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ถูกสร้างขึ้นโดยกองทัพอากาศร่วมกับพสกนิกรชาวไทย โดยพระมหาธาตุเจดีย์นภเมทนีดลสร้างถวาย “พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชมหาราช (รัชกาลที่ 9) เนื่องในวโรกาสทรงเจริญพระชนมพรรษาครบ 5 รอบเมื่อปี พ.ศ. 2530 และพระมหาธาตุเจดีย์นภพลภูมิสิริ สร้างถวาย “สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ฯ พระบรมราชินีนาถ” เนื่องในวโรกาสทรงเจริญพระชนมพรรษาครบ 5 รอบเมื่อปี พ.ศ. 2535 (วิสุทธิ์, 2551) เป็นเวลากว่า 20 ปีแล้ว ที่พระมหาสถูปเจดีย์อันยิ่งใหญ่สององค์นี้ได้ประดิษฐานอย่างสง่างาม เป็นที่เคารพสักการะของปวงชนชาวไทย ด้วยความสูงของสถานที่ที่ประดิษฐานอันเป็นยอดเขาที่สูงที่สุดในประเทศไทยซึ่งสูงเกือบ 8,000 ฟุตจากระดับน้ำทะเล จึงทำให้มีความหนาวเย็นตลอดทั้งปีรวมไปถึงสภาพอากาศที่ชื้นตลอดเวลา (กองทัพอากาศ, 2550)

สำหรับพื้นผิวของพระมหาธาตุเจดีย์นั้นเป็นลักษณะของกระเบื้องโมเสกซึ่งเป็นเซรามิก ซึ่งในปัจจุบันเซรามิกได้เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมากและถูกนำมาประยุกต์เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ มากมาย (ธิติมา, 2556) สำหรับพื้นผิวขององค์พระมหาธาตุเจดีย์ฯ ทั้งสององค์นี้เช่นกัน โดยได้มีการนำวัสดุเซรามิกที่เป็นกระเบื้องใช้ในการตกแต่ง เพื่อให้เกิดความสวยงามและความคงทน แต่อย่างไรก็ตามด้วยสภาพอากาศที่ได้กล่าวข้างต้นเป็นสภาวะที่เหมาะแก่การเกิดตะไคร่น้ำ และราได้ง่าย ทำให้เกิดคราบและมีตะไคร่น้ำเกาะที่พื้นผิวของพระมหาธาตุเจดีย์ซึ่งเป็นคราบที่ไม่พึงประสงค์ (Cho *et al*., 2017) ทำให้พระมหาธาตุเจดีย์อันทรงคุณค่าเกิดความหมองหม่นไปอันเนื่องมาจากตะไคร่น้ำ และรา รวมไปถึงคราบหินปูนที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของพระมหาธาตุเจดีย์ฯ

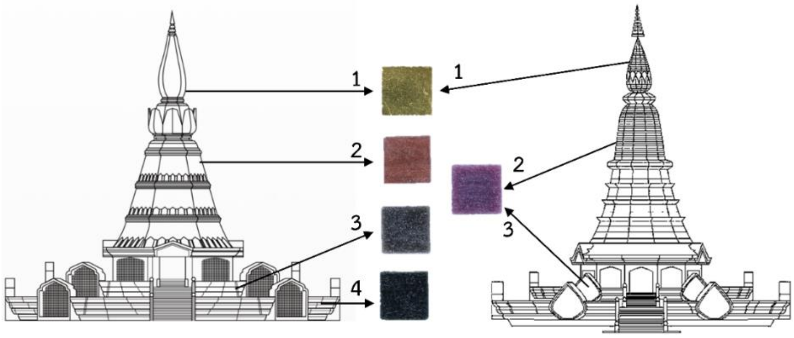
จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นนี้ทำให้ทางเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลได้จัดสรรงบประมาณในการทำความสะอาดเป็นจำนวน 2 ครั้งต่อปี และการทำความสะอาดที่บ่อยครั้งนี้ทำให้สิ้นเปลืองทั้งทางด้านงบประมาณและทรัพยากรบุคคลเป็นจำนวนไม่น้อย อีกทั้งการทำความสะอาดโดยใช้อุปกรณ์ขัดถูจะทำให้แผ่นกระเบื้องโมเสกที่ใช้เป็นวัสดุพื้นผิวของพระมหาธาตุทั้งสองเกิดการผุกร่อน หรือหลุดร่อนออกมา เนื่องด้วยพระมหาธาตุเจดีย์ทั้งสองที่เป็นอนุสรณ์สถานที่สำคัญแห่งหนึ่งและที่ยึดเหนี่ยวจิตใจของคนไทย การบำรุงรักษาพระมหาธาตุเจดีย์ทั้งสองเพื่อให้ดูสง่างามอยู่เสมอจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ในงานวิจัยนี้การสำรวจปัญหาของการเกิดคราบที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้เพื่อที่จะหาแนวทางในการบำรุงรักษาในทางใหม่จึงเป็นสิ่งที่ดีกว่าการทำความสะอาดด้วยการขัดถู และรวมไปถึงการหาสาเหตุของคราบไม่พึงประสงค์ที่จะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาการเกิดคราบได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นกับพระมหาธาตุทั้งสององค์ โดยหาสาเหตุของการหมองหม่น เช่น การเกิดตะไคร่น้ำ รา หรือจุลินทรีย์อื่นๆ รวมไปถึงคราบสกปรกที่เกิดขึ้น นอกจากนี้พื้นผิววัสดุขององค์พระมหาธาตุ ทั้งสององค์ถูกวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ชั้นสูง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นสำหรับสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจะนำไปสู่การแก้ปัญหาในการศึกษาหาแนวทางป้องกันการหมองหม่นขององค์พระมหาธาตุทั้งสององค์ต่อไปอย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุตัวอย่าง

วัสดุที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้จากการสำรวจองค์พระมหาเจดีย์ธาตุฯ โดยจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ บริเวณพื้นผิวที่ประกอบขององค์พระมหาเจดีย์ธาตุฯ และคราบไม่พึงประสงค์ที่ปรากฏ โดยตัวอย่างวัสดุที่ใช้ประกอบองค์พระมหาเจดีย์ธาตุฯ รวมทั้งสององค์เป็นแผ่นโมเสกมีลักษณะของสีที่แตกต่างกัน 5 ชนิด ได้แก่ โมเสกสีทอง (ตัวอย่างหมายเลข 1), โมเสกสีน้ำตาล (ตัวอย่างหมายเลข 2), โมเสกสีเทาเข้ม (ตัวอย่างหมายเลข 3), โมเสกสีเทาอ่อน (ตัวอย่างหมายเลข 4) และโมเสกสีม่วง (ตัวอย่างหมายเลข 5) ดังแสดงตำแหน่งของโมเสกแต่ละสีในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 (ซ้าย) ลักษณะโมเสกที่ใช้เป็นพื้นผิวของพระมหาเจดีย์ธาตุนภเมทนีดลในตำแหน่งต่างๆ 1. ยอดเจดีย์ 2. ตัวองค์เจดีย์ 3. ฐานด้านข้างด้านล่างชั้นที่สองของเจดีย์ 4. ฐานด้านข้างด้านล่าง (กองทัพอากาศ, 2550) และ (ขวา) แสดงลักษณะโมเสกที่ใช้เป็นพื้นผิวของพระมหาธาตุเจดีย์นภพลภูมิสิริในตำแหน่งต่างๆ 1. ยอดเจดีย์ 2. ตัวองค์เจดีย์ 3. ซุ้มและฐานด้านข้างด้านล่าง รวมถึงฐานด้านข้างด้านล่างชั้นที่สองของเจดีย์ (กองทัพอากาศ, 2550)

สำหรับคราบไม่พึงประสงค์ตัวอย่างที่เกาะอยู่บนพื้นผิววัสดุจะถูกเก็บตามตำแหน่งต่างๆ ขององค์พระมหาธาตุเจดีย์ หลังจากการสำรวจจะถูกเก็บเพื่อมาวิเคราะห์ลักษณะเพื่อประเมินหาสาเหตุของการเกิดคราบ โดยตัวอย่างที่เก็บคือตัวอย่างที่มีลักษณะคล้ายหินปูน (ภาพที่ 2ก) ตะไคร่น้ำ (ภาพที่ 2ข) และน้ำตัวฝนอย่าง (ภาพที่ 2ค) ซึ่งถูกวิเคราะห์โดยเครื่องมือขั้นสูงต่อไป

ภาพที่ 2 คราบไม่พึงประสงค์ (ก) ตัวอย่างลักษณะคล้ายหินปูน (ข) ตะไคร่น้ำ (ค) น้ำตัวฝนอย่าง

2. การวิเคราะห์และการตรวจสอบลักษณะ (Characterizations) ของสารตัวอย่าง

วัสดุตัวอย่าง (โมเสกทั้ง 5 ชนิด) ถูกศึกษาลักษณะทางกายภาพโดยการถ่ายรูปด้วยกล้อง DSLR ยี่ห้อ CANON รุ่น 80D และวิเคราะห์ลักษณะของสีของแผ่นโมเสกจะอาศัยการหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Diffused Reflectance Ultraviolet-visible Spectrometer (DRS) โดยใช้การรายงานค่าระบบสี

เป็น CIE D65 โดยค่า L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 100 ค่า a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว และค่า b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน (ภัคนัย, 2550)

สมบัติความชอบน้ำของแผ่นวัสดุตัวอย่างได้ถูกวิเคราะห์โดยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle, CA) จะหยดน้ำลงบนแผ่นโมเสกตัวอย่างในปริมาตร 2.00 μL และทำการเก็บภาพถ่ายโดย USB Microscope ยี่ห้อ SHODENSHA รุ่น TG500PC2 ทำการวัดหาค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ เวอร์ชัน 1.8.0

สำหรับการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของแผ่นโมเสกทั้ง 5 ชนิดจะตรวจสอบโดยอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Infrared spectrometer) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum 100 (ATR mode)

ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวภายในและภายนอกของแผ่นโมเสกถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ TESCAN รุ่น MIRA3 พร้อมกับ Energy Dispersive X-ray (EDX) ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุในแผ่นโมเสก

ในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของแผ่นวัสดุตัวอย่างจะอาศัยเครื่อง Differential Scanning Calorimeters (DSC) โดยใช้โมเสกตัวอย่างบดละเอียดปริมาณ 3-5 mg วิเคราะห์ภายใต้อุณหภูมิ 25 - 250 ºC ด้วยอัตรา 10 ºC/นาที และเสถียรภาพทางความร้อนของแผ่นโมเสกตัวอย่างถูกวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) ในช่วงอุณหภูมิ 50 - 800 ºC ด้วยอัตรา 20 ºC/นาที

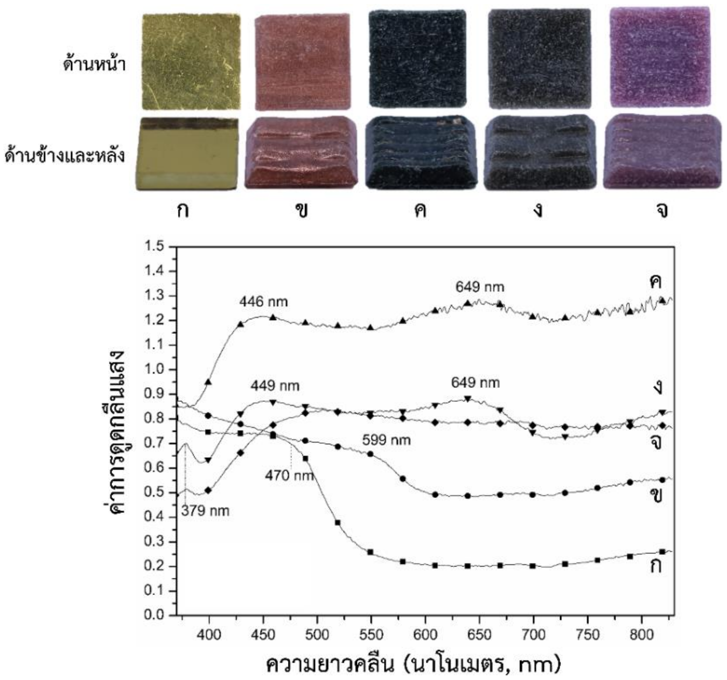
คราบไม่พึงประสงค์ตัวอย่างที่เป็นลักษณะคล้ายหินปูนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM - EDX และน้ำตัวฝนอย่างจะถูกวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อย่างง่ายด้วย Universal pH paper และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุแคลเซียม (Ca) ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) ของ PerkinElmer รุ่น PinAAcle 900F อาศัยวิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0-13 ppm โดยตัวอย่างน้ำฝน 3 มิลลิลิตรถูกเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนให้มีปริมาตร 25.00 มิลลิลิตรแล้วนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืน โดยมีค่าระดับการเจือจาง (Dilution factor) เท่ากับ 8.33

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การตรวจสอบลักษณะ (Characterizations) ของสารตัวอย่างโมเสก

1.1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นโมเสก

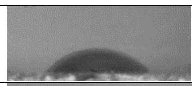
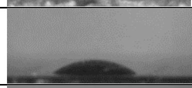
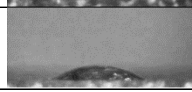
โมเสกทั้ง 5 ชนิดดังภาพที่ 3 เป็นโมเสกที่ใช้ปูเป็นพื้นผิวขององค์พระมหาธาตุเจดีย์นภเมทนีดล และพระมหาธาตุเจดีย์นภพลภูมิสิริ



ภาพที่ 3 (บน)โมเสกตัวอย่าง และ (ล่าง)ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นโมเสกทั้ง 5 ชนิดได้แก่ (ก) สีทอง, (ข) สีน้ำตาล, (ค) สีเทาเข้ม, (ง) สีเทาอ่อน และ (จ) สีม่วง

จากการนำแผ่นโมเสกตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของโมเสกแต่ละชนิด ได้ผลแสดงดังภาพที่ 3 พร้อมทั้งหาค่าสีโดยการใช้ระบบสี CIE D65 ได้ผลตามตารางที่ 1 โดยระบบที่ใช้การวัดสีในเครื่อง Spectrophotometer คือ ระบบ CIE L* a* b* ซึ่งเป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะของ Color space

ตารางที่ 1 แสดงค่าสีในระบบสี CIE D65 และมุมสัมผัสของหยดน้ำ

โมเสกตัวอย่าง	ค่าสี			มุมสัมผัสของหยดน้ำ	
	L*	a*	b*		
สีทอง	77.4463	0.2937	44.5548	45.5º ± 0.6º	
สีน้ำตาล	56.7576	8.8328	12.5742	35.9º ± 0.6º	
สีเทาเข้ม	30.4811	-2.9891	0.1430	42.9º ± 0.5º	
สีเทาอ่อน	45.0418	-1.7729	0.9988	35.7º ± 0.6º	
สีม่วง	46.3560	5.3265	-5.4804	25.2º ± 0.3º	

จากการวัดการดูดกลืนแสงของโมเสกสีทอง พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงอยู่ในช่วง 450 nm เป็นช่วงคลื่นสีน้ำเงิน ซึ่งสีที่มองเห็นจะมีสีเหลือง จากค่าสีในตารางที่ 1 บ่งบอกถึงโมเสกสีทองมี

ลักษณะเป็นสีเหลือง โดยแสดงค่า b* ที่เป็นบวกซึ่งหมายถึงสีแสดงทิศทางสีเหลือง โมเสกสีน้ำตาลพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงอยู่ในช่วง 550 nm เป็นช่วงของสีเขียว จะทำให้โมเสกชนิดนี้แสดงค่าเป็นสีน้ำตาลจากค่าสีในตารางที่ 1 บ่งบอกถึงโมเสกสีน้ำตาลมีลักษณะเป็นสีเหลือง โดยแสดงค่า b* ที่เป็นบวกซึ่งหมายถึงสีแสดงทิศทางสีเหลืองเล็กน้อย โมเสกสีเทาเข้มพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงอยู่ในช่วง 430 และ 650 nm เป็นสีม่วงและสีส้มตามลำดับ จะแสดงลักษณะสีเทา โมเสกสีเทาอ่อนพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงอยู่ในช่วง 430 และ 650 nm เป็นสีม่วงและสีส้มตามลำดับ จะแสดงลักษณะสีเทาเช่นเดียวกับโมเสกสีเทาเข้ม นอกจากนี้มีค่าความสว่าง L* ที่เพิ่มขึ้นจากโมเสกสีเทาเข้มที่แสดงในตารางที่ 1 โมเสกสีม่วงพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงอยู่ในช่วง 500 nm เป็นสีเขียวแกมเหลือง จะแสดงลักษณะสีคราม-ม่วง จากค่าสีในตารางที่ 1 บ่งบอกถึงโมเสกสีม่วงนี้มีค่าความสว่าง L* เล็กน้อยและมีค่าโทนสีน้ำเงินโดยแสดงค่า b* ไปในทางลบ

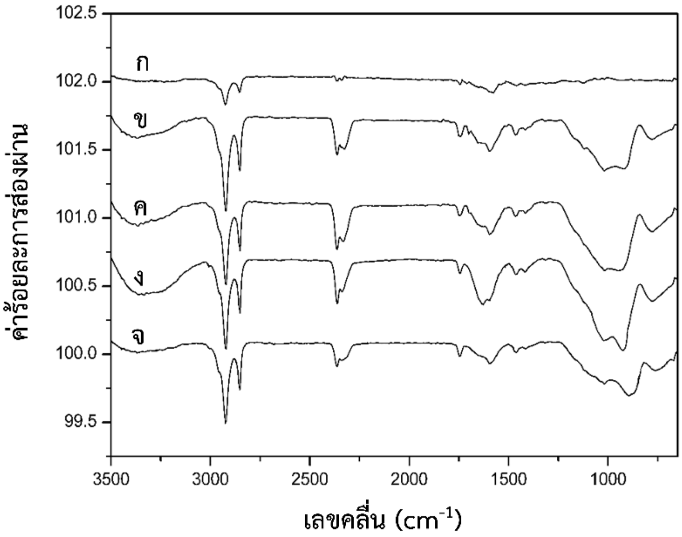
1.2 สมบัติความชอบน้ำของแผ่นวัสดุตัวอย่าง

การวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle, CA) ของแผ่นโมเสกตัวอย่างได้ผลดังตารางที่ 1 และจากปรากฏการณ์ความชอบและไม่ชอบน้ำของพื้นผิวมีความเกี่ยวข้องกับมุมสัมผัสกับพื้นผิว ซึ่งเป็นมุมที่เกิดขึ้นในเขตสามสภาวะ (ของแข็ง,ของเหลว,ไอ) อธิบายด้วยมุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของของเหลวที่พื้นผิวของของแข็ง โดยทั่วไป ถ้ามุมสัมผัสน้อยกว่า 90 องศา จะเรียกว่าพื้นผิวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic surface) ถ้ามุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา จะเรียกว่าพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic surface) ถ้ามุมสัมผัสมากกว่า 150 องศา จะเรียกว่าพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำเป็นพิเศษ (Superhydrophilic or Ultra hydrophilic surface) (Anand *et al*., 2011)

จากค่ามุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวโมเสกตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ สีทอง สีน้ำตาล สีเทาเข้ม สีเทาอ่อน และ สีม่วง มีค่า 45.2, 35.0, 43.1, 35.5 และ 25.3 องศาตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 90 องศา นั่นแสดงว่าโมเสกตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดเป็นพื้นผิวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic surface) และเนื่องจากโมเสกดังกล่าวมีพื้นผิวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic surface) ประกอบกับสภาพอากาศ ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ที่มีสภาพอากาศที่มีฝนตกชุกและมีความชื้นสูงตลอดทั้งปี ทำให้พระมหาธาตุฯ ทั้งสององค์มีหยดน้ำเกาะอยู่ตลอด ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะกับตะไคร่น้ำ เช่น มอส นอกจากนี้ยังทำให้เกิดคราบหินปูนได้อีกด้วย ซึ่งมาจากการที่น้ำสะสมบนพื้นผิวบริเวณปูนยาแนวที่เป็นรอยต่อของโมเสกโดยเกิดการชะและหลุดในเวลาต่อมา

1.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชั่นของพื้นผิวหน้าแผ่นโมเสกได้ถูกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (cm^{-1}) และค่าร้อยละการส่องผ่าน (%Transmittance, %T) ดังภาพที่ 5 พบว่าโมเสกทั้ง 5 ชนิดปรากฏพีคที่เลขคลื่น 3329-3365 cm^{-1} ที่แสดงถึงการสั่นแบบ N-H Stretching และ 1539-1651 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบ Scissoring ของหมู่ $–NH_2$- การสั่นที่ประมาณ 1280 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C-N stretch และ 761-777 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ $–NH_2$ wagging นอกจากนี้ที่เลขคลื่น 2900-2800 cm^{-1} แสดงหมู่ $–CH_2$ Stretching เลขคลื่นที่ 1700-1600 cm^{-1} นั่นคือพีคของหมู่คาร์บอนิล (C=O) เมื่อนำไปเปรียบเทียบสเปกตรัมมาตรฐานจะพบว่าเป็นสเปกตรัมของพอลิยูรีเธน (Polyurethane) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiono *et al*. (2014) โดยสามารถยืนยันได้ว่าโมเสกทั้ง 5 ชนิดได้ถูกเคลือบด้วยพอลิยูรีเธนที่พื้นผิว

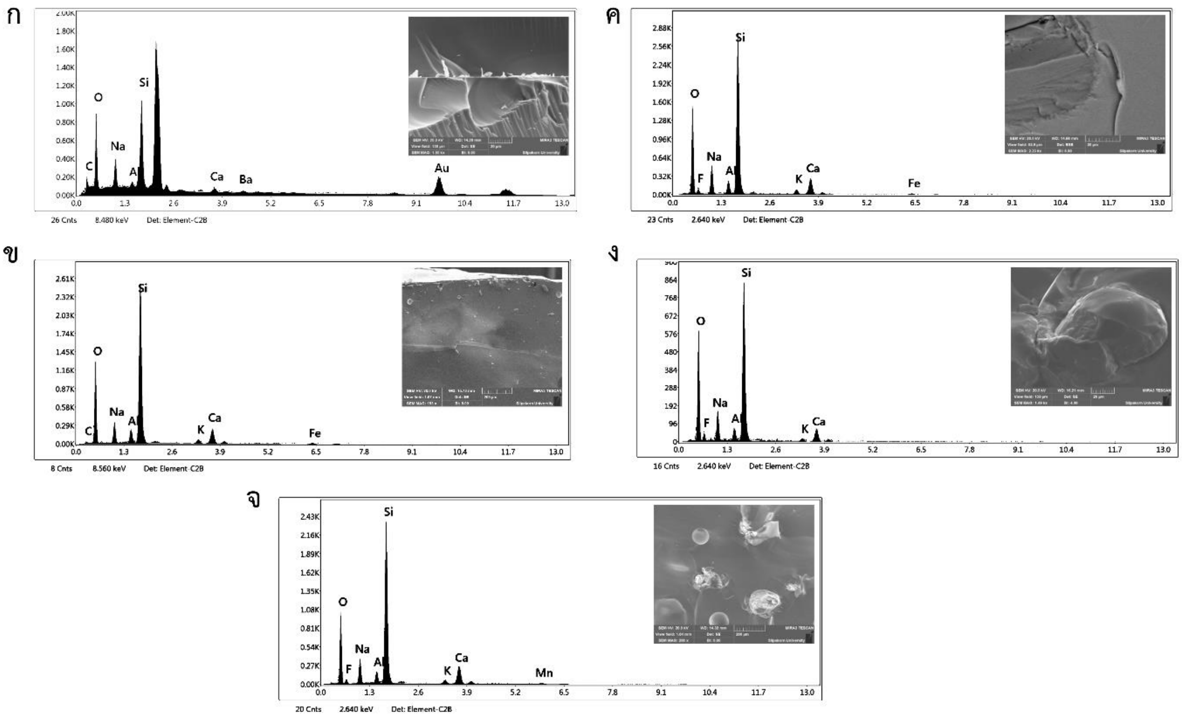


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (cm^{-1}) และค่า %T ของแผ่นโมเสกทั้ง 5 ชนิด คือ (ก) สีทอง, (ข) สีน้ำตาล, (ค) สีเทาเข้ม, (ง) สีเทาอ่อน และ (จ) สีม่วง

1.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวภายในและภายนอกของแผ่นวัสดุตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์พื้นผิวภาคตัดขวาง (Fractural surface) ของแผ่นโมเสกแสดงดังภาพที่ 6 พบว่าโมเสกทั้ง 5 ชนิดธาตุซิลิกา (Silica, Si) เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาเป็นธาตุออกซิเจน (Oxygen, O) และอะลูมิเนียม (Aluminum, Al) ชี้ให้เห็นว่าโมเสกทั้ง 5 นี้ถูกขึ้นรูปจากแก้วชนิดที่มีซิลิกาโดยมีการเติมธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบเพื่อทำให้เกิดสีขึ้น โดยโมเสกสีทอง (ภาพที่ 6ก) ปรากฏธาตุของทอง (Gold, Au) สำหรับโมเสกสีน้ำตาลแสดงภาพ SEM ของพื้นผิวที่เป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 6ข) โดยมีสารประกอบให้สีที่มีธาตุเหล็ก (Iron, Fe) เป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับโมเสกที่มีสีเทาเข้ม (ภาพที่ 6ค) สำหรับโมเสกสีเทาอ่อน (ภาพที่ 6ง) แสดงภาพ SEM ของพื้นผิวที่เป็นเนื้อเดียวกันเช่นกันแต่ไม่แสดงองค์ประกอบของธาตุที่ให้สีชัดเจน จากภาพที่ 6จ เป็นภาพ SEM ถ่ายตัดขวางของแผ่นโมเสกสีม่วงโดยพบว่าเนื้อของโมเสกไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด และมีองค์ประกอบเป็นธาตุแมงกานีส (Manganese, Mn) ที่เป็นองค์ประกอบที่ให้สีของแผ่นโมเสกสีม่วงอีกด้วย

จากข้อมูลพื้นผิวภาคตัดขวางที่ได้จากเทคนิค SEM นี้ชี้ให้เห็นว่าได้ว่าโมเสกทั้ง 5 ชนิดเป็นโมเสกที่ผลิตมาจากแก้วซิลิกา โดยเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบ FTIR ดังแสดงก่อนหน้า (หัวข้อ 1.3) ที่มีการส่องวิเคราะห์ลงบนพื้นผิวตัวอย่างพบหมู่ฟังก์ชั่นที่น่าจะเป็นของพอลิยูรีเธนบนพื้นผิวของโมเสก ดังนั้นจึงโมเสกทั้ง 5 ชนิดนี้เป็นแก้วซิลิกา และมีการเคลือบพอลิยูรีเธนด้านบน

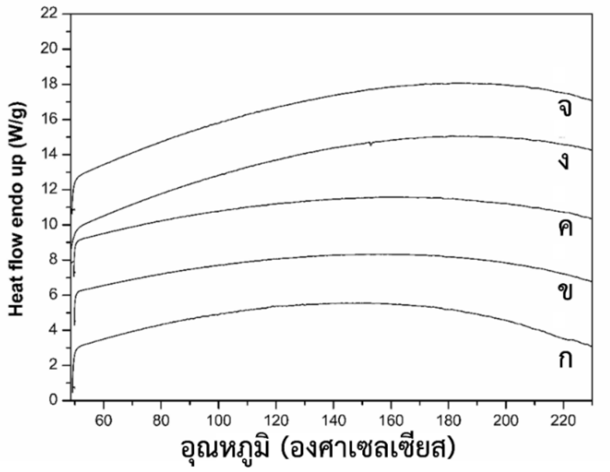


ภาพที่ 6 ภาพ SEM-EDX แสดงพื้นผิวตัดขวางของ (ก) แผ่นโมเสกสีทองที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ข) แผ่นโมเสกสีน้ำตาลที่กำลังขยาย 200 เท่า (ค) แผ่นโมเสกสีเทาเข้มที่กำลังขยาย 200 เท่า (ง) แผ่นโมเสกสีเทาอ่อนที่กำลังขยาย 200 เท่า (จ) แผ่นโมเสกสีม่วงที่กำลังขยาย 200 เท่า

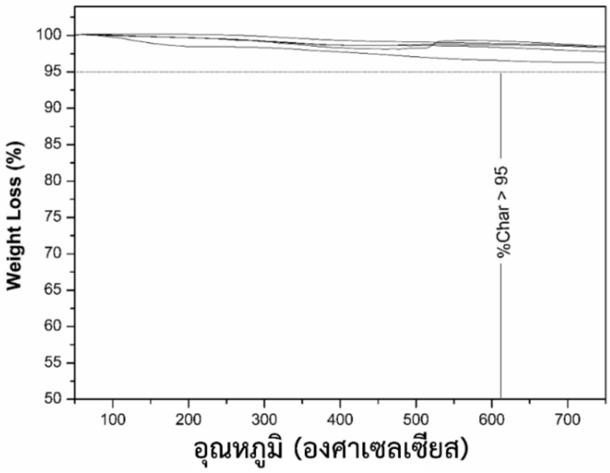
1.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

เมื่อนำแผ่นโมเสกตัวอย่างไปวัดด้วยเทคนิค DSC พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนเกิดขึ้นในช่วงการทดสอบตั้งแต่ 45-230 ºC ดังภาพที่ 7ก เช่นเดียวกับผลของ Amrollahi *et al.* (2011) เนื่องจากพอลิยูรีเธนเป็นพอลิเมอร์ที่เป็นเทอร์โมเซท (Thermoset) และมีลักษณะเป็นร่างแห (Crosslink) ไม่สามารถหลอมด้วยความร้อนได้ในช่วงอุณหภูมิการศึกษา นอกจากนี้โมเสกยังมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกาซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ที่หลอมที่อุณหภูมิมากกว่าช่วงอุณหภูมิที่วิเคราะห์ (ประมาณ 1,000 ºC) จึงไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกิดขึ้น

(ก)



(ข)



ภาพที่ 7 (บน) เทอร์โมแกรมของแผ่นโมเสกทั้ง 5 ชนิดได้แก่ (ก) สีทอง, (ข) สีน้ำตาล, (ค) สีเทาเข้ม, (ง) สีเทาอ่อน และ (จ) สีม่วง และ (ล่าง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Sample Temperature (ºC) และค่า %weight (%) ของโมเสกทั้ง 5 ชนิด

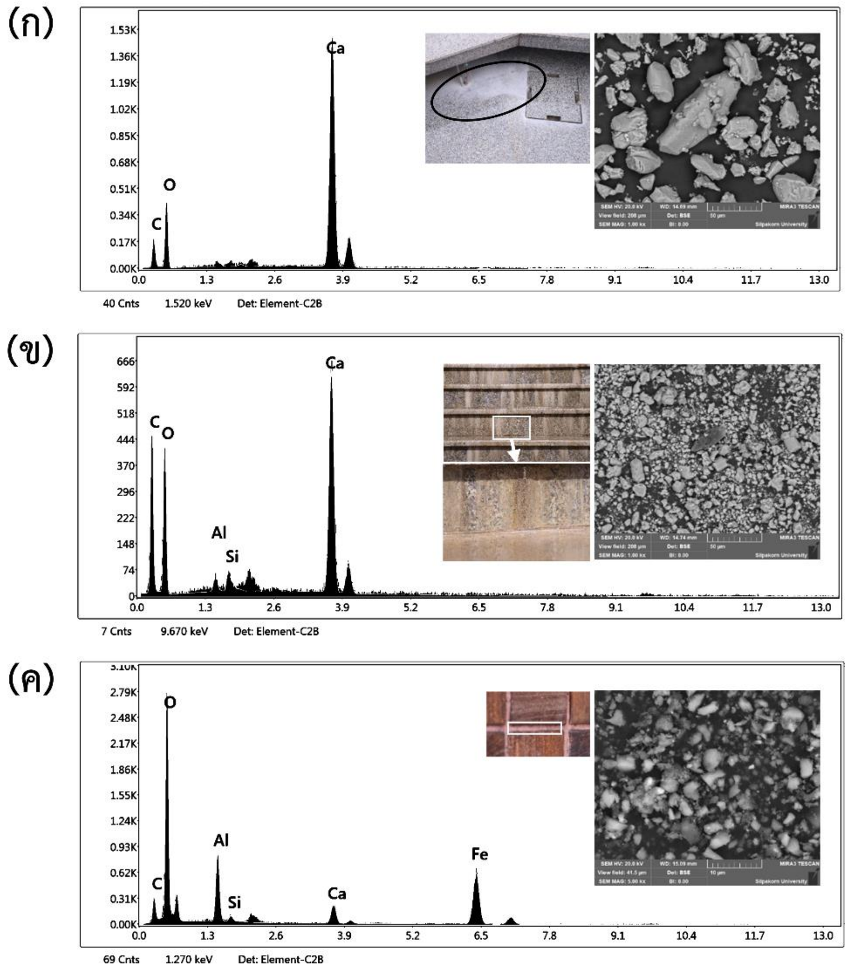
สำหรับผลการทดสอบ TGA (ภาพที่ 7ข) เป็นการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุ พบว่าวัสดุสามารถทนความร้อนได้ดีโดยการสลายตัวหรือน้ำหนักที่หายไป (Weight loss) ลดลง 3-4 % ที่อุณหภูมิ 785 ºC โดยมี %char ที่มีค่าน้อยกว่า 95% จากผลการทดลงดังกล่าวสอดคล้องกับผล DSC เนื่องจากมีองค์ประกอบของแก้วซิลกาที่เป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ช่วงอุณหภูมิในการวิเคราะห์ (อุณหภูมิห้อง-800 ^{o}C) เช่นเดียวกับการทดลองของ Zhang *et al*. (2011) และสำหรับองค์ประกอบที่เป็นพอลิยูรีเธนไม่สามารถหลอมด้วยความร้อนได้ในช่วงอุณภูมิดังกล่าวจึงไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่หายไป

2. การสำรวจและการวิเคราะห์คราบไม่พึงประสงค์ตัวอย่าง

คราบไม่พึงประสงค์ตัวอย่างที่บริเวณพระมหาธาตุเจดีย์ฯ ถูกเก็บมาวิเคราะห์และตรวจสอบทางเคมี ซึ่งจากการสำรวจจะพบตัวอย่างที่เคลือบหรือเกาะติดที่พื้นผิว คือ ตัวอย่างที่เป็นลักษณะคล้ายหินปูน จะวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิค SEM-EDX เพื่อดูลักษณะสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของธาตุ นอกจากนี้น้ำตัวฝนอย่างที่ตกบริเวณบริเวณพระมหาธาตุเจดีย์ฯ ถูกเก็บมาตรวจวิเคราะห์เช่นกัน โดย

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเบส (pH) และหาองค์ประกอบธาตุแคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบหลักคราบหินปูนด้วยการอาศัยเทคนิค AAS

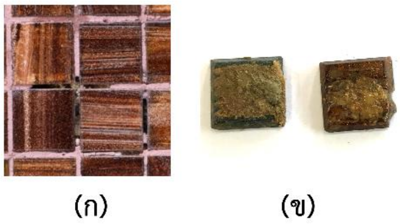
สำหรับคราบตัวอย่างที่เป็นลักษณะคล้ายหินปูนถูกเก็บมาจากแหล่งต่างๆ จากการสำรวจพบว่าคราบดังกล่าวพบมากที่สุดคือ พื้นทางเดินของพระมหาเจดีย์ธาตุนภพลภูมิสิริ (ภาพที่ 8ก) และคราบหินปูนบนบันไดทางขึ้นไปยังพระมหาธาตุฯ (ภาพที่ 8ข) ซึ่งพบว่าจากสองแหล่งนี้มีองค์ประกอบธาตุหลักเป็นแคลเซียม (Ca) ซึ่งองค์ประกอบหลักของหินปูนซึ่งบริเวณบันไดทางขึ้นจะมีองค์ประกอบของธาตุ Al และ Si ด้วย เนื่องจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างเป็นบริเวณทางเดินจึงมีการปนเปื้อนของดินโดยพบว่ามี Al และ Si เป็นองค์ประกอบหลักร่วมด้วย



ภาพที่ 8 (ก) คราบหินปูนพื้นทางเดินของพระมหาเจดีย์ธาตุนภพลภูมิสิริและผล SEM-EDX (ข) หินปูนของพระธาตุคราบหินปูนบนบันใดทางขึ้นไปยังพระมหาธาตุและผล SEM-EDX (ค) ตัวอย่างปูนยาแนวของซุ้มรอบองค์พระธาตุฯ ที่อยู่บริเวณรอยต่อของแผ่นโมเสกและผล SEM-EDX

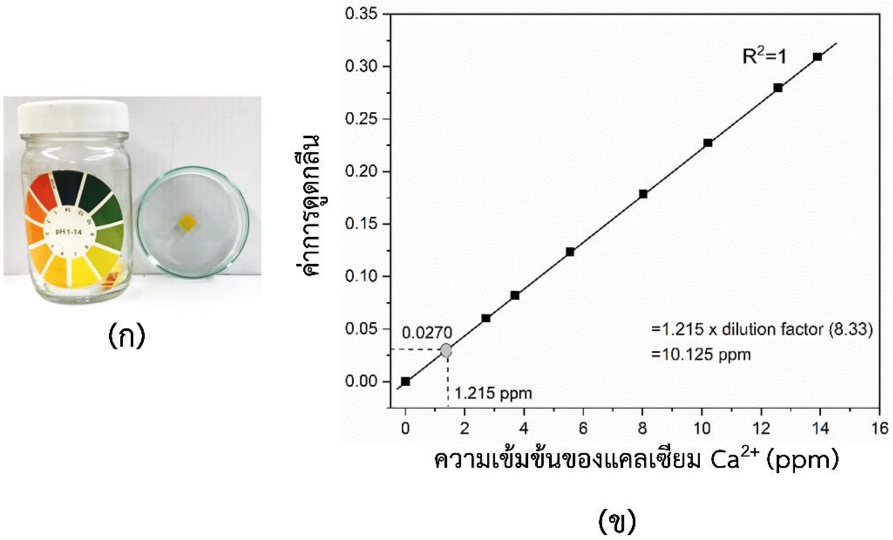
นอกจากนี้ตัวอย่างของปูนยาแนวได้ถูกเก็บเพื่อมาวิเคราะห์ซึ่งสาเหตุที่มาของการเกิดคราบหินปูนที่มีองค์ประกอบของแคลเซียม (ภาพที่ 8ค) จากผลพบว่าปูนยาแนวมีองค์ประกอบของธาตุแคลเซียม และจากการสำรวจพบว่าลักษณะปูนยาแนวที่เป็นรอยต่อระหว่างแผ่นโมเสกนั้นถูกหลุดล่อน

ออกซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้โมเสกหลุดออกจากตัวองค์พระธาตุฯ ทั้งสอง ดังภาพที่ 9 โดยสามารถเกิดจากการที่มีน้ำฝนชะเป็นเวลานานและสม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนที่พบ (จะแสดงในหัวข้อที่ 3 การวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดคราบหมองหม่น)



ภาพที่ 9 (ก) การหลุดล่อนของปูนยาแนว และ (ข) โมเสกที่หลุดออกจากตัวองค์พระธาตุ

สำหรับน้ำตัวฝนอย่างถูกวิเคราะห์โดยการตรวจสอบค่าความเป็นกรดเบส (pH) และองค์ประกอบของธาตุแคลเซียมที่เป็นธาตุที่สำคัญที่เป็นองค์ประกอบในหินปูนด้วยเทคนิค AAS แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 (ก) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) และ (ข) การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม (Ca^{2+}) ด้วยกราฟมาตรฐานของสารละลายแคลเซียม (Ca^{2+}) โดยมีค่าระดับการเจือจาง (Dilution factor) เท่ากับ 8.33

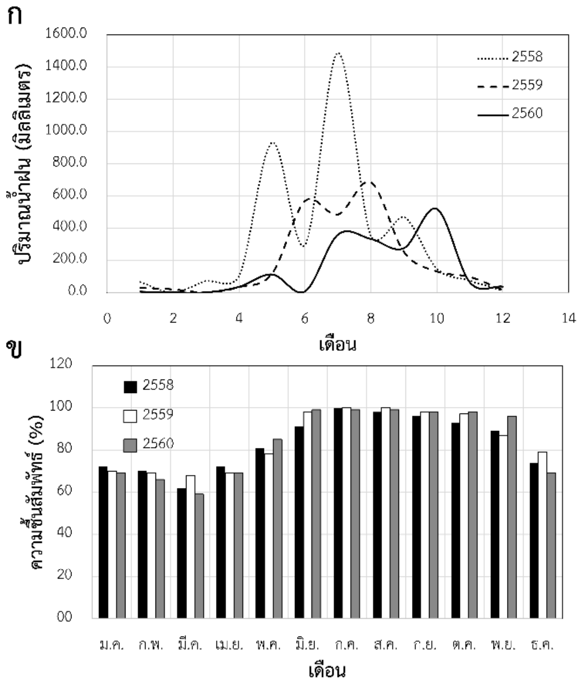
จากผลการทดสอบพบว่าค่าความเป็นกรดเบสแสดงค่าประมาณ 7-8 ซึ่งเป็นค่าปกติของน้ำตามธรรมชาติ โดยค่าความกระด้างของน้ำแสดงได้ด้วยค่า total hardness ซึ่งคำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (หรือ 1 ส่วนในล้านส่วน, ppm) พบว่าปริมาณของแคลเซียม (Ca^{2+}) ที่ได้คือ 10.125 ppm จัดว่าเป็นน้ำอ่อนที่เป็นน้ำฝน

3. การวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดคราบหมองหม่น

สำหรับการวิเคราะห์ถึงการเกิดคราบหมองหม่นบนองค์พระมหาเจดีย์ฯ นั้นจำเป็นต้องทราบถึงสภาพอากาศ ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์

โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากแผนกภูมิอากาศ กองข่าวอากาศ กรมควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ กองทัพอากาศ ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ (แผนกภูมิอากาศ กองข่าวอากาศ กรมควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ กองทัพอากาศ, 2561) โดยเก็บข้อมูลปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 1 มกราคม 2558 - 31 ธันวาคม 2560 (ภาพที่ 11)

สำหรับปริมาณน้ำฝน (ภาพที่ 11ก) พบว่าช่วงเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 100 มิลลิเมตร จะอยู่ในช่วงเดือน ก.ค. - ต.ค. ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนที่มีปริมาณฝนที่สูง จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าปริมาณฝนที่มากกว่า 100 มิลลิเมตรครอบคลุมเกินกว่า 6 เดือน จากสถิติข้อมูลในรอบ 3 ปี



ภาพที่ 11 (ก) แสดงปริมาณน้ำฝนและ (ข) ความชื้นสัมพัทธ์ ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ 12 เดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 - 2560

จากภาพที่ 11ข แสดงให้เห็นว่าดอยอินทนนท์ มีความชื้นสัมพัทธ์สูงถึงสูงมากตลอดทั้งปี โดยมีค่าเฉลี่ยรายปีของปี พ.ศ. 2558 - 2560 ใกล้เคียงกันคือ 84% ช่วงเดือนที่มีความความชื้นสัมพัทธ์สูงมากคือ พ.ค. - พ.ย. คือมีค่าเฉลี่ยรายสามปี อยู่ในช่วง 81% ถึง 100% ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำฝน กล่าวคือในช่วงฤดูฝนจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูง โดยความชื้นสัมพัทธ์นั้นมีผลอย่างมากต่อการเกิดสิ่งมีชีวิตจำพวกรา และสาหร่ายขนาดเล็กบนพื้นผิวของวัสดุพื้นผิวที่มีความชอบน้ำ (แสดงในตารางที่ 1) โดยจากการสำรวจก็พบสิ่งมีชีวิตที่เป็นราและมอสเป็นจำนวนมาก ดังนั้นคราบหมองหม่นเกิดขึ้นเกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน โดยปัจจัยหลักคือ ได้แก่ สภาพอากาศที่มีความชื้นและปริมาณน้ำฝนที่สูง กล่าวคือการที่น้ำฝนตกลงมาแล้วเกิดการชะลงบนโมเสกและปูนยาแนวไหลจากที่สูงลงด้านล่างรอบองค์พระมหาเจดีย์ฯ เกิดเป็นคราบหินปูนสะสมบนทางเดินพื้นและบันไดเป็นจำนวนมากนั้นเอง นอกจากนี้การที่โมเสกมีความชอบน้ำยังสามารถทำให้เกิดการสะสมคราบฝุ่นบนพื้นผิวของโมเสกทำให้

เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของราและมอส ซึ่งจัดว่าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดคราบหมองหม่นขึ้นบนองค์พระมหาเจดีย์ฯ

สรุป

จากการสำรวจสาเหตุของการเกิดคราบหมองหม่นของพระมหาธาตุเจดีย์นภเมทนีดล และพระมหาธาตุเจดีย์นภพลภูมิสิริ ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าองค์พระมหาธาตุฯ ใช้โมเสกที่เป็นวัสดุตกแต่งทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ โมเสกสีทอง สีน้ำตาล สีเทาเข้ม สีเทาอ่อน และสีม่วง ซึ่งเมื่อตรวจสอบองค์ประกอบด้วย SEM และ ATR-FTIR ชี้ให้เห็นว่าเป็นโมเสกที่ทำมาจากแก้วซิลิกาที่พื้นผิวมีการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชนิดที่เป็นพอลิยูริเธน แผ่นโมเสกจึงมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่แสดงถึงพื้นผิวที่ชอบน้ำ นอกจากนี้พบว่าสีที่ปรากฏของโมเสกแต่ละชนิดมาจากองค์ประกอบของสารให้สีที่มีธาตุที่แตกต่างกัน คือ โมเสกสีทองมีองค์ประกอบของธาตุทอง (Au) สีน้ำตาลและสีเทาเข้มมีองค์ประกอบของธาตุเหล็ก (Fe) และสีม่วงมีองค์ประกอบของธาตุแมงกานีส (Mn) และจากสมบัติทางความร้อนที่ได้จากเทคนิค DSC และ TGA ชี้ให้เห็นว่าแผ่นโมเสกทำมาจากวัสดุที่สามารถทนความร้อนได้สูงมากกว่า 1,000 $^{\circ}$C ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จาก SEM-EDX ที่พบองค์ประกอบของธาตุซิลิกา (Si) ในแผ่นโมเสกทั้ง 5 ชนิด

เมื่อทำการสำรวจและวิเคราะห์คราบไม่พึงประสงค์ตามทางเดินและบันได พบว่าคราบไม่พึงประสงค์นั้นประกอบด้วยธาตุหลักที่เป็นแคลเซียมซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของหินปูน สำหรับตัวอย่างน้ำฝนเมื่อถูกตรวจสอบความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบว่ามีค่าเป็นกลางและมีปริมาณของแคลเซียม (Ca^{2+}) เท่ากับ 10.125 ppm ถึงถือว่าเป็นค่าปกติของน้ำฝนที่จัดว่าเป็นน้ำอ่อน นอกจากนี้จากการสำรวจยังพบว่าปูนยาแนวที่เป็นรอยต่อระหว่างแผ่นโมเสกนั้นถูกหลุดล่อนออกซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้โมเสกหลุดออกจากตัวองค์พระธาตุฯ ทั้งสอง ดังนั้นคราบหมองหม่นเกิดขึ้น เกิดจากการที่มีน้ำฝนชะลงบนองค์พระมหาธาตุฯ เป็นเวลานานและสม่ำเสมอซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ที่มาก ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ทำให้ปูนยาแนวเกิดการหลุดร่อน จึงส่งผลให้เกิดเป็นคราบหินปูนสะสมบนทางเดินพื้นและบันไดเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การที่โมเสกมีความชอบน้ำยังสามารถทำให้เกิดการสะสมคราบฝุ่นบนพื้นผิวของโมเสกทำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของราและมอส ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดคราบหมองหม่นขึ้นบนองค์พระมหาเจดีย์ฯ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมูลนิธิพระมหาธาตุเจดีย์นภเมทนีดลและพระมหาธาตุเจดีย์นภพลภูมิสิริ กองทัพอากาศ ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยแก่ผู้วิจัย แผนกภูมิอากาศ กองข่าวอากาศ กรมควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ กองทัพอากาศ ณ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลสภาพอากาศ ณ ดอยอินทนนท์ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ กองการศึกษาโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช และภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสารเคมี รวมถึงสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กองทัพอากาศ. 2550. **พระมหาธาตุนภพลภูมิสิริ.** พระมหาธาตุนภพลภูมิสิริ ประวัติฉบับเต็ม. แหล่งที่มา: http://phramahathat.com/fulldoc/mother.html, 30 มกราคม 2562.

ธิติมา คุณยศยิ่ง. 2556. การทดลองเนื้อดินเพื่อทำเซรามิกหอม โดยใช้กากดินขาวทดแทนทราย. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง** 6(1): 19-30.

แผนกภูมิอากาศ กองข่าวอากาศ กรมควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ กองทัพอากาศ. 2561. **ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายปี พ.ศ.2558 – 2560 สถานีดอยอินทนนท์.** กรมอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพฯ.

ภัคนัย ทองทิอัมพร. 2550. **การมองเห็นและการวัดสี.** กรมวิทยาศาสตร์บริการ. แหล่งที่มา: http://dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_7_550_Color_Measurement.pdf, 30 มกราคม 2562.

วิสุทธิ์ ภิญโญวาณิชกะ. 2551. **พระมหาธาตุ “นภเมทนีดล นภพลภูมิสิริ”.** แหล่งที่มา: http://www.wisut.net/article/พระมหาธาตุ “นภเมทนีดล นภพลภูมิสิริ”, 30 มกราคม 2562.

Amrollahi, M., Sadeghi, G.M.M. and Kashcooli, Y. 2011. Investigation of novel polyurethane elastomeric networks based on polybutadiene-ol/polypropyleneoxide mixture and their structure–properties relationship. **Materials and Design** 32(7): 3933-3941.

Anand, V.G., Hemant, K.R., Sreekumaran, A.N. and Seeram, R. 2011. A review on self-cleaning coatings. **Journal of Materials Chemistry** 21: 16304-16322.

Chiono, V., Mozetic, P., Boffito, M., Sartori, S., Gioffredi, E., Silvestri, A., Rainer, A., Giannitelli, S.M., Trombetta, M., Nurzynska, D., Meglio, F.D., Castaldo, C., Miraglia, R., Montagnani, S. and Ciardelli, G. 2014. Polyurethane-based scaffolds for myocardial tissue engineering. **Interface Focus** 4(1): 2042-8898.

Cho, E.C., Chang-Jian, C.W., Chen, H.C., Chuang, K.S., Zheng, J.H., Hsiao, Y.S., Lee, K.C. and Huang, J.H. 2017. Robust multifunctional superhydrophobic coatings with enhanced water/oil separation, self-cleaning, anti-corrosion, and anti-biological adhesion. **Chemical Engineering Journal** 314: 347-357.

Zhang, H., Li, C., Guo, J., Zang, L. and Luo, J. 2011. In Situ Synthesis of Poly (methyl methacrylate)/SiO_2 Hybrid Nanocomposites via “Grafting Onto” Strategy Based on UV Irradiation in the Presence of Iron Aqueous Solution. **Journal of Nanomaterials** 2012: 9.

การแยกจุลินทรีย์เอนโดไฟต์จากฟองน้ำและจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมในทะเล ที่สามารถผลิตสารเมตาบอไลท์ทุติยภูมิต้านการเจริญของเชื้อสแตปฟิลโลคอคคัส ออเรียส ที่ดื้อยาเมธิซิลลิน

Isolation of Secondary Metabolites-Producing Endophytics and Free Living Microorganisms from Sea Active against Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*

มณฑล เลิศคณาวนิชกุล [1,2*] และ พชร เพชรประดับ [3]

Monthon Lertcanawanichakul [1,2*] and Pachara Pedpradab [3]

Received: 8 July 2019, Revised: 22 October 2019, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

งานศึกษาในครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเพื่อค้นหายาปฏิชีวนะจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ โดยแหล่งของสารออกฤทธิ์ปฏิชีวนะในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากจุลินทรีย์เอนโดไฟต์ที่อาศัยอยู่ร่วมกับฟองน้ำและสิ่งมีชีวิตอยู่อย่างอิสระในโคลนจากทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล จากนั้นนำไปทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่ไวต่อยาปฏิชีวนะ (*Staphylococcus aureus* TISTR517) และแบคทีเรียที่ดื้อยาเมธิซิลลิน (*Staphylococcus aureus* MRSA142) โดยทดสอบด้วยวิธี Double layer overlay และ Agar well diffusion จากการทดลองสามารถแยกแบคทีเรียจากกลุ่มเอนโดไฟต์ แบคทีเรียที่อาศัยปกคลุมผิวฟองน้ำ และแบคทีเรียกลุ่มที่อาศัยอยู่อย่างอิสระได้จำนวน 11 ไอโซเลท โดยแบคทีเรียที่แยกได้มีลักษณะคล้ายแบคทีเรียในกลุ่มแอคติโนมัยสีท ซึ่งแบคทีเรียรหัส S6.2 และ SK3 แสดงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่นำมาทดสอบทั้ง 2 สายพันธุ์ งานวิจัยนี้อาจเป็นประโยชน์ต่อการศึกษายาปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อดื้อยาเมธิซิลลินได้ในอนาคต

คำสำคัญ: สแตปฟิลโลคอคคัส ออเรียส, ยาเมธิซิลลิน, สารเมตาบอไลท์ทุติยภูมิ, สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ, เอนโดไฟต์

---

[1] สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

[1] School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat 80160, Thailand.

[2] หน่วยวิจัยโรคเขตร้อน สถาบันวิจัยวิทยาการสุขภาพ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

[2] Tropical Medicine Research Unit, Research Institute for Health Sciences, Walailak University 80160, Thailand.

[3] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

[3] Faculty of Sciences and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, Sikao, Trang 92150, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): lmonthon55@gmail.com

ABSTRACT

This study is a part of drug-based screening from natural products. The sponges and mud from the sea were randomly collected for antibiotic-producing bacteria isolation. The bacterial isolates mud from the sea and endophytic from sponges found on Ko Sarai area, Satun province. They were tested for antibiotic-sensitive bacteria (*Staphylococcus aureus* TISTR517) and methicillin-resistance bacteria (*Staphylococcus aureus* MRSA142). Double layer overlay and agar well diffusion methods were tested. From the experiment, 11 isolates bacteria were separated from the endophytic group that covered the surface of the sponge and free-living bacteria groups. The morphology of isolated bacteria showed embedded colony which acted as Actinomycetes. Isolated bacteria code S6.2 and SK3 showed antimicrobial against two bacterial strains tested. This research may be useful for methicillin resistant antibiotic studies in the future.

Key words: *Staphylococcus aureus*, methicillin, secondary metabolites, bioactive compounds, endophytics

บทนำ

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive Compounds) เป็นสารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิที่ได้จากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เช่น พืชหรือจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตทั้งคน สัตว์ และพืช โดยกลุ่มสารดังกล่าวได้รับความสนใจในการนำไปผลิตเป็นยารักษาโรคหรือใช้ในอาหารเสริมต่างๆ มากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีต้องเป็นสารที่มีความจำเพาะเจาะจง เช่น มีฤทธิ์จำเพาะต่อเซลล์มะเร็งเต้านม เชื้อวัณโรค เชื้อมาลาเรีย และแบคทีเรียที่ดื้อยา เป็นต้น โดยสารดังกล่าวต้องไม่มีผลในทางลบต่อร่างกาย หรือมีผลข้างเคียงน้อยที่สุด ยกเว้นมีผลต่อเชื้อโรค หรือสารอื่นๆ ที่เราต้องการขจัดเท่านั้น (Prapaiwong, 2012; Blunt *et al.*, 2004; Ely *et al.*, 2004; Fenecal and Jensem, 1993; Friedrich *et al.*, 1999; Groombridge, 1992)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบางชนิดแสดงฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีมาก ดังนั้นจึงมีความต้องการใช้ในปริมาณมาก ซึ่งสารสังเคราะห์ที่ได้จากพืชอาจไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ ทำให้ต้องใช้วัตถุดิบเพื่อการสกัดในปริมาณมาก แต่อย่างไรก็ตามพืชบางชนิดมีข้อจำกัดในการใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล อายุ หรือสภาพแวดล้อมในการปลูก นอกจากนี้การสังเคราะห์สารในห้องปฏิบัติการต้องใช้สารเคมี และกระบวนการที่ยุ่งยาก อีกทั้งยังใช้ต้นทุนในการสังเคราะห์ค่อนข้างสูง จึงมีความจำเป็นในการแสวงหาแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพแหล่งใหม่ๆ

มีรายงานว่าจุลินทรีย์เอนโดไฟต์ (Endophytic Microorganisms) เช่น แบคทีเรียและราที่อาศัยอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Intercellular Space) ของพืชแบบภาวะพึ่งพาอาศัยโดยไม่ก่อให้เกิดโรค (Friedrich *et al.*, 1999; Groombridge, 1992; Colwell, 2002) สามารถสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ในระยะเวลาที่สั้นและมีข้อจำกัดที่น้อยกว่าพืช การเตรียมวัตถุดิบหรือการแยกสารดังกล่าวจากจุลินทรีย์เอนโดไฟต์สามารถทำได้ทุกฤดูกาล ในปริมาณที่มากตามความต้องการ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าหาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากจุลินทรีย์เอน

โดไฟต์จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำสารเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์

นอกจากนี้ยังมีแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเช่น กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลังในท้องทะเล ได้แก่ ฟองน้ำ และกัลปังหา (Friedrich *et al*., 1999; Groombridge, 1992; Colwell, 2002; Anand *et al*., 2005; Gandhimathi *et al*., 2008; Menezes *et al*., 2010) รวมถึงจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในทะเลและอาศัยอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลัง แต่อย่างไรก็ตามสารที่แยกได้จากสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลังมักมีปริมาณที่น้อยกว่า 1 ส่วนในล้านส่วนของน้ำหนักตัว (Proksch *et al*., 2002)

ดังนั้นจึงมีรายงานการศึกษากลุ่มจุลินทรีย์เอนโดไฟต์ที่อาศัยอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิต เช่น ในเนื้อเยื่อฟองน้ำ Aplysia aerophoba มีกลุ่มแบคทีเรียที่อาศัยร่วมกันแบบ symbiotic โดยแบคทีเรียได้รับอาหารจากฟองน้ำและทำให้ฟองน้ำคงรูปร่าง หรือแบคทีเรียจากกัลปังหาสามารถผลิตสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย รา และไวรัส

งานวิจัยนี้ คัดแยกจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณผิวภายในและภายนอกของสิ่งมีชีวิต และที่อาศัยอยู่เป็นอิสระ (Free-Living) ในทะเล โดยศึกษาฤทธิ์ต้านการเจริญของเชื้อสแตปฟิลโลคอคคัส ออเรียส ที่ไวต่อยาปฏิชีวนะ (Staphylococcus aureus TISTR517) และที่ดื้อต่อยาเมธิซิลลิน (Staphylococcus aureus MRSA142)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์จากทะเล

เก็บตัวอย่างฟองน้ำ และโคลนจากทะเลบริเวณเกาะสาหร่าย จังหวัดสตูล โดยใส่ในถุงพลาสติกที่บรรจุน้ำทะเลบริเวณที่เก็บตัวอย่าง รัดปากถุงให้แน่น แช่ในลังน้ำแข็ง แล้วนำกลับห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบภายในเวลา 24 ชั่วโมง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างฟองน้ำและโคลนจากทะเล

วันที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดตัวอย่าง	จำนวน	รหัส
25 มีนาคม 2560	ฟองน้ำสีแดง	1	S1
(14.00-17.00 น.)	ฟองน้ำสีน้ำเงิน	1	S2
ช่วงน้ำลง	ฟองน้ำสีน้ำตาล	1	S3
	ฟองน้ำสีม่วง	1	S4
	ฟองน้ำสีเขียว	1	S5
	ฟองน้ำสีดำ	1	S6
	ฟองน้ำสีเขียวขี้ม้า	1	S7
	ฟองน้ำสีเขียวอ่อน	1	S8
	ฟองน้ำสีเหลือง	1	S9
	ฟองน้ำสีดำ	1	S10

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วันที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดตัวอย่าง	จำนวน	รหัส
26 มีนาคม 2560 (6.00-6.30 น.) ช่วงคาบเกี่ยว น้ำขึ้น	ฟองน้ำสีเหลือง	1	S11
	โคลนบนผิวฟองน้ำสีเหลือง	1	M1

2. เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ

แบคทีเรียที่ไวต่อยาปฏิชีวนะ (*Staphylococcus aureus* TISTR517) สั่งซื้อจากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และแบคทีเรียก่อโรคที่ดื้อยาเมธิซิลลิน (*Methicillin resistant Staphylococcus aureus*) สายพันธุ์ MRSA142 ที่แยกได้จากผู้ป่วยในโรงพยาบาลมหาราช เก็บรักษาในกลีเซอรอลเข้มข้นร้อยละ 15 ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

3. การแยกจุลินทรีย์จากตัวอย่าง

3.1 การแยกเอนโดไฟต์จากตัวอย่างฟองน้ำ

คัดเลือกฟองน้ำที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีอาการของโรค ล้างให้สะอาด แช่ในแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 นาน 30 วินาที ล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อนาน 3-5 วินาที ตัดตัวอย่างฟองน้ำออกเป็นชิ้นเล็กๆ โดยใช้กรรไกรจุ่มแอลกอฮอล์ผ่านเปลวไฟ (ดัดแปลงมาจาก Wilson, 1988) นำไปวางบนอาหาร Marine agar (MA) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 วัน สังเกตการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากชิ้นตัวอย่างฟองน้ำ จากนั้นใช้เข็มเขี่ยปลายแหลม (needle) เชื้อแยกโคโลนีที่มีความแตกต่างกัน ไปเพาะเลี้ยงบนอาหาร MA เก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์เป็นเวลา 7 วัน แล้วเก็บรักษาในกลีเซอรอลเข้มข้นร้อยละ 15 ในตู้แช่เยือกแข็ง (Deep Freezer) ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

3.2 การแยกจุลินทรีย์จากตัวอย่างโคลน

แยกจุลินทรีย์โดยขีดตัวอย่างโคลนลงบนอาหาร MA ด้วยเข็มเขี่ยเชื้อปลายกลม (loop) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 วัน สังเกตการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ จากนั้นแยกโคโลนีที่แตกต่างกันโดยทำเช่นเดียวกับข้อ 3.1

4. การทดสอบฤทธิ์ปฏิชีวนะในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียด้วยวิธี Double layer overlay (Shetty *et al*., 2014) โดยผสมเซลล์แขวนลอยของเชื้อทดสอบเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งเลี้ยงไว้ข้ามคืนในอาหาร Mueller Hinton broth (MHB) กับอาหารวุ้นอ่อน (Soft Agar) หลอมเหลวปริมาตร 7 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าโดยไม่ให้เกิดฟองจากนั้นเททับลงบนโคโลนีของจุลินทรีย์ตัวอย่างที่เลี้ยงไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง วัดขนาดวงใสของการยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone)

5. การแยกสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากจุลินทรีย์

คัดเลือกโคโลนีที่แสดงฤทธิ์ปฏิชีวนะต้านเชื้อแบคทีเรียทดสอบ โดยเพาะเลี้ยงในอาหาร MA บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แยกโคโลนีเดี่ยวจำนวน 5 โคโลนี โดยถ่ายเชื้อลงในอาหาร Marine Broth (MB) ในขวดก้นจีบ (Baffled flask) ที่ใส่เม็ดลูกปัดแก้วในอัตราส่วน 1 เม็ดต่อ 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 วัน แยก

ผลิตภัณฑ์เป็น 2 ส่วน คือน้ำเลี้ยงเชื้อ (Culture filtrate) และเซลล์แขวนลอยเชื้อ (Cell suspension)

6. การทดสอบฤทธิ์ในการต้านเชื้อ MRSA142

6.1 การเตรียมเชื้อ MRSA142

เพาะเลี้ยงเชื้อ MRSA142 ลงบนอาหาร Mueller Hinton Agar (MHA) ด้วยวิธีการขีดเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แยกโคโลนีเดี่ยวแล้วนำไปทดสอบกับเชื้อตัวอย่าง

6.2 การทดสอบฤทธิ์ปฏิชีวนะในการต้านเชื้อ MRSA142

ทดสอบฤทธิ์ปฏิชีวนะด้วยวิธี Agar well diffusion โดยปรับความเข้มข้นของเซลล์แขวนลอยเชื้อ MRSA142 ให้ได้ 0.5 McFarland (1.5×108 CFU/mL) ด้วยสารละลาย NaCl เข้มข้นร้อยละ 0.85 นำไปเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหาร MHA ทิ้งไว้ให้ผิวหน้าอาหารแห้งประมาณ 10 นาที ใช้ส่วนท้ายของทิปที่ปราศจากเชื้อเจาะอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยกดลงไปในเนื้อวุ้น จากนั้นดูดน้ำเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ในข้อ 5. ปริมาตร 80 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลุม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนน้ำเลี้ยงเชื้อซึมเข้าเนื้อวุ้นจนหมด บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง วัดขนาดวงใสของการยับยั้ง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. เอนโดไฟต์ที่แยกได้จากฟองน้ำและจุลินทรีย์ที่แยกได้จากทะเล

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่แยกได้เป็นแบคทีเรียแกรมลบ โคโลนีมีลักษณะมันวาว มีเมือกเยิ้ม พบทั้งจุลินทรีย์ในกลุ่มของ free-living และ epibiotic ซึ่งจุลินทรีย์ที่แยกได้มี 11 ไอโซเลท แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มที่แยกได้จากผิวฟองน้ำจำนวน 9 ไอโซเลท และ 2) กลุ่มเอนโดไฟต์ จำนวน 2 ไอโซเลท (ตารางที่ 2) โดยส่วนใหญ่แล้วจากการศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียที่แยกออกมาได้จากตัวอย่างศึกษาในครั้งนี้เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาคัดแยกแบคทีเรียจากฟองน้ำบริเวณเกาะครก จ.ชลบุรี หมู่เกาะสิมิลัน, สุรินทร์ จังหวัดพังงา และหน้าหาดแม่รำพึง จังหวัดระยอง โดยพบว่าส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียแกรมลบ มากถึงร้อยละ 95 โดยแบคทีเรียที่แยกออกมาส่วนใหญ่มีโคโลนีสีครีม รองลงมาคือ ขาว น้ำตาล ส้ม ม่วง และเหลือง ตามลำดับ และมีรูปร่างแบบแท่ง (rod) ร้อยละ 75.26 สามารถเคลื่อนที่ได้ (motility) ถึงร้อยละ 29 และมีแบคทีเรียบางส่วนที่สร้างเอนโดสปอร์ โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ถูกแยกออกมาได้ดังกล่าวสามารถแสดงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (Dechsakulwatana and Putchakarn, 1998) นอกจากนี้ยังพบว่ามีกลุ่มแบคทีเรีย Actinomycetes ที่แยกได้จากฟองน้ำสามารถแสดงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ด้วยเช่นกัน (Gandhimathi *et al*., 2008)

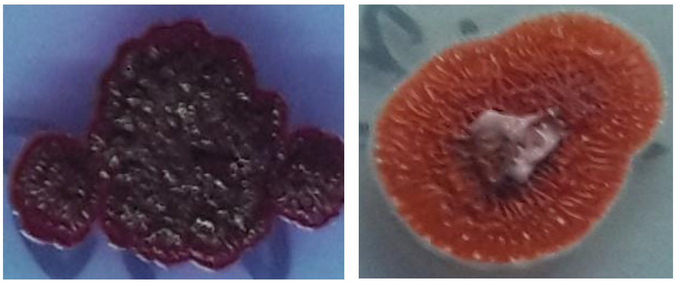
ตารางที่ 2 จุลินทรีย์ที่แยกได้จากสิ่งแวดล้อมและเอนโดไฟต์ที่แยกได้จากจากฟองน้ำ

ชนิดตัวอย่าง	รหัส	จำนวนไอโซเลท (รหัสเชื้อ)	
		บนผิวฟองน้ำ	เอนโดไฟต์
ฟองน้ำสีแดง	S1	1 (S1.1)*	1 (S1.2)*
ฟองน้ำสีดำ	S6	2 (S6, S6.1)*	1 (S6.2)
ฟองน้ำสีเขียวอ่อน	S8	1 (S8)*	0
ฟองน้ำสีดำ	S10	2 (S10.1, S10.2)*	0
โคลนบนผิวฟองน้ำสีเหลือง	M1	3 (SK3, SL4, SL19)	0

* โคโลนีสีขาวและสีดำ มีมูกเยิ้ม มันวาว

2. การแสดงฤทธิ์ปฏิชีวนะต้านเชื้อ MRSA142

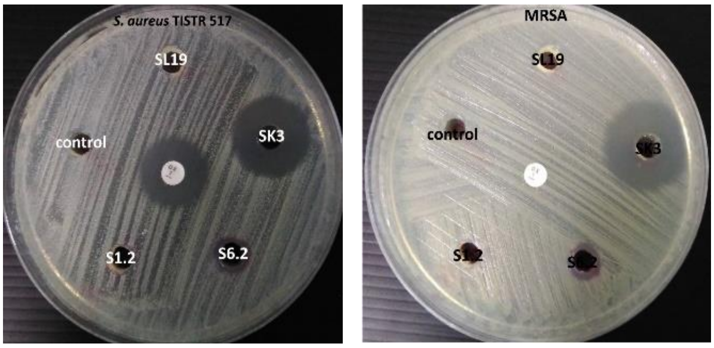
แบคทีเรียที่แสดงฤทธิ์ปฏิชีวนะต้านเชื้อ MRSA142 ได้แก่ แบคทีเรียที่พบในชิ้นส่วนฟองน้ำสีดำรหัส S6 คือ แบคทีเรียรหัส S6.2 ซึ่งโคโลนีมีผิวหยาบด้านสีแดง ลักษณะฝังวุ้น และแบคทีเรียที่แยกได้จากโคลนบนผิวฟองน้ำสีเหลือง คือ แบคทีเรียรหัส SK3 โดยโคโลนีมีผิวหยาบด้านสีส้ม ลักษณะฝังวุ้น (ภาพที่ 1)



รหัส S6.2 รหัส SK3

ภาพที่ 1 โคโลนีของแบคทีเรียเอนโดไฟต์ที่พบในฟองน้ำสีดำ (รหัส S6.2) และโคลนบนผิวฟองน้ำสีเหลือง (รหัส SK3)

แบคทีเรียรหัส S6.2 และ SK3 มีลักษณะโคโลนีผิวหน้าหยาบ และฝังวุ้น ซึ่งเป็นลักษณะของแบคทีเรียในกลุ่มแอคติโนมัยสีท (Shetty *et al.*, 2014) และเป็นแบคทีเรียที่สามารถตรวจพบได้เป็นเอนโดไฟต์ รวมทั้งดำรงชีวิตเป็นอิสระ (Groombridge, 1992) โดยพบว่าไอโซเลททั้ง 2 แสดงฤทธิ์ต้านเชื้อ *S. aureus* TISTR517 เมื่อทดสอบด้วยวิธี Double layer overlay โดยแบคทีเรียรหัส S6.2 สามารถแสดงฤทธิ์ต้านเชื้อ MRSA142 ดังนั้นจึงคัดเลือกแบคทีเรียรหัส S6.2 และ SK3 ไปศึกษาประสิทธิภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากน้ำเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งพบว่าน้ำเลี้ยงเชื้อจากแบคทีเรียรหัส SK3 มีฤทธิ์ต้านทั้งเชื้อ *S. aureus* TISTR517 และ MRSA142 โดยมีขนาดวงใสในการยับยั้งเชื้อสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 2 วัน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อ *S. aureus* TISTR517 (ซ้าย) และ MRSA (ขวา) โดยมีแผ่นยามาตรฐาน oxacillin เป็นชุดควบคุม (กลาง)

การศึกษาสารออกฤทธิ์ปฏิชีวนะจากสิ่งแวดล้อมในทะเล ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญและมีความหลากหลายของระบบนิเวศ (Colwell, 2002) โดยเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Prapaiwong, 2012) ในกลุ่ม terpenes, polyketides, acetogenins และ peptide (Wright, 1998; Shetty *et al*., 2014) จากการทดลองนี้สามารถแยกแบคทีเรียกลุ่ม Actinomycetes ที่เป็นแบคทีเรียเอนโดไฟต์ในฟองน้ำ (S6.2) และกลุ่มที่อาศัยอยู่อย่างอิสระในสิ่งแวดล้อม (SK3, SL4, SL19) รวมทั้งสิ้น 4 ไอโซเลท โดยมีแบคทีเรียเพียง 2 ไอโซเลท คือ รหัส S6.2 และ รหัส SK3 ที่แสดงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียในกลุ่ม MRSA ดังเช่นที่มีรายงานเกี่ยวกับ Marine Actinomycetes (Gandhimathi *et al*., 2008) และ Streptomyces parvulus สามารถผลิตสารออกฤทธิ์ปฏิชีวนะต้านแบคทีเรียก่อโรคได้หลายชนิด (Shetty *et al*., 2014) แต่ยังไม่มีรายงานในการแสดงฤทธิ์ต้าน MRSA ซึ่งในการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียรหัส S6.2 และ รหัส SK3 สามารถแสดงฤทธิ์ต้าน MRSA ได้ ดังนั้นควรศึกษาถึงโครงสร้างของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากแบคทีเรียดังกล่าวเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการผลิตยาที่ออกฤทธิ์ต้านเชื้อดื้อยาได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

สรุป

แบคทีเรียรหัส S6.2 และ รหัส SK3 ซึ่งแยกจากโคลนและชิ้นส่วนฟองน้ำในทะเล สามารถแสดงฤทธิ์ต้าน *S. aureus* TISTR517 และ MRSA142 ซึ่งการสกัดและแยกให้ได้สารบริสุทธิ์เป็นขั้นตอนที่จะต้องทำการศึกษาต่อไป นอกจากจะเป็นแหล่งสำคัญของสารยับยั้งจุลชีพดื้อยา การศึกษาการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในด้านอื่นๆ เช่น การยับยั้งเนื้องอก การยับยั้งมะเร็ง ยังเป็นอีกแนวทางในการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียในในฟองน้ำให้ใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ในชุดโครงการ “แนวโน้มการใช้สารสกัดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (สมุนไพร และจุลินทรีย์) เพื่อใช้ประโยชน์ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม” ประจำปีงบประมาณ 2563 (WUBG-022/2563)

เอกสารอ้างอิง

Anand, T., Abdul, W.B., Yogesh, S., Shouche, U.R., Jay, S. and Siddhartha, P.S. 2005. Antimicrobial Activity of Marine Bacteria Associated with Sponges from the Waters of the Coast of South East India. **Microbiological Research** 16: 252-262.

Blunt, J.W., Copp, B.R.M., Munro, M.H.G., Northcote, P.T. and Prinsep, M.R. 2004. Marine Natural Products. **Natural Product Reports** 21: 1-49.

Colwell, R.R. 2002. Fulfilling the Promise of Biotechnology. **Biotechnology Advances** 20: 215-228.

Dechsakulwatana, C. and Putchakarn, S. 1998. Research Report on Studies on Bioactive Metabolites from Marine Bacteria which Associated with Thai Sponges. National Research Council of Thailand. (In Thai)

Ely, R., Supriya, T. and Naik, C.G. 2004. Antimicrobial Activity of Marine Organisms Collected of the Coast of South East India. **Journal of Experimental Marine and Ecology** 339: 121-127.

Fenecal, W. and Jensem, P.R. 1993. Marine microorganisms: A new Biomedical Resource, pp. 500. *In* Attaway, D.H. and Zaborsky, O.R., eds. **Marine Biotechnology, I.** Pharmaceutical and bioactive natural products, Plenum press, New York.

Friedrich, A.B., Markert, H., Fendert, T., Hacker, J., Proksch, P. and Hentschel, U. 1999. Microbial Diversity in the Marine Sponge *Aplysina caverniucola* (formerly *Verongia cavernicola*) Analyzed by Fluorescence In Situ Hybridization (FISH). **Marine Biology** 134: 461-470.

Gandhimathi, R., Arunkumar, M., Selvin, J., Thangavelu, T., Sivaramakrisnan, S., Kiran, G.S., Shanmughapriya, S. and Natarajseenivasan, K. 2008. Antimicrobial Potential of Sponge Associated Marine Actinomycetes. **Journal of Medical Mycology** 18: 16-22.

Groombridge, B. 1992. **Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources.** Chapman and Hall, London.

Menezes, C.B., Bonugli-Santos, R.C., Miqueletto, P.B. Passarini, M.R., Silva, C.H., Justo, M.R., Leal, R.R., Garboggini, F.F., Oliverira, V.M., Berlinck, R.G. and Sette, L.D. 2010. Microbial Diversity Associated with Algae, Ascidians and Sponges from the North Coast of Sao Paulo State, Brazil. **Microbiological Research** 165: 466-482.

Prapaiwong, A. 2012. Isolation of Bacteria with Antimicrobial Activity from Marine Invertebrates. Thesis for the Degree of Master of Science in Microbiology. Department of Microbiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University.

Proksch, P., Edrada, R.A. and Ebel, R. 2002. Drugs from the Sea-Current Status and Microbiological Implications. **Applied Microbiology and Biotechnology** 59: 125-134.

Shetty, P.R., Buddana, S.K., Tatipamula, V.B., Naga, Y.V.V. and Ahmad, J. 2014. Production of polypeptide antibiotic from *Streptomyces* *parvulus* and its antibacterial activity. **Brazilian Journal of Microbiology** 45(1): 303-312.

Wilson, J.E. 1988. The Systematics' Perspective, pp. 1-6. *In* Fautin, D.G., ed. **Biomedical Importance of Marine Organisms.** California Academy of Science, San Francisco.

Wilson, J.E. 1988. The Systematics' Perspective, pp. 1-6. *In* Fautin, D.G., ed. **Biomedical Importance of Marine Organisms.** California Academy of Science, San Francisco.

ผลของการนวดน้ำมันลำโพงกาสลัก ต่ออาการปวดกล้ามเนื้อคอ บ่า ไหล่ จากออฟฟิศซินโดรมในนักศึกษาวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก

Effect of Thorn Apple Oil Massage on Neck and Shoulder Pain from Office Syndrome in Students of Kanchanabhishek Institute of Medical and Public Health Technology

ธนภรณ์ ทีเหล็ก* อำพล บุญเพียร และ ปฐมา จันทรพล

Thanapohn Teehlek*, Aumpol Bunpean and Patama Chantarapon

Received: 12 June 2019, Revised: 15 July 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

โรคออฟฟิศซินโดรม เป็นกลุ่มอาการที่พบบ่อยในคนวัยทำงาน และกลุ่มนักเรียน นักศึกษา ที่สภาพแวดล้อมในที่ทำงาน การเรียนไม่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นการนั่งทำงานตลอดเวลา ไม่มีการเคลื่อนไหวร่างกาย สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้เกิดอาการกล้ามเนื้ออักเสบ และปวดเมื่อยตามอวัยวะต่างๆ อาทิ คอ บ่า ไหล่ การวิจัยกึ่งทดลองครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการนวดด้วยน้ำมันลำโพงกาสลัก ต่ออาการปวดกล้ามเนื้อคอ บ่า ไหล่ จากออฟฟิศซินโดรม กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก จำนวน 30 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงตามคุณสมบัติที่กำหนด เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคือ แบบวัดระดับความปวด (NRS) เครื่องวัดระดับความรู้สึกกดเจ็บ (Algometer) เครื่องวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อ (Inclinometer) คู่มือการนวด และแบบบันทึกข้อมูลการทดลอง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ Paired Sample t-test ผลการวิจัยพบว่า ก่อนการนวดอาสาสมัครมีระดับความปวด ($\bar{X}$ = 5.33) องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม ($\bar{X}$ = 52.367) เงย ($\bar{X}$ = 66.73) เอียงไปทางด้านซ้าย ($\bar{X}$ = 42.10) เอียงไปทางด้านขวา ($\bar{X}$ = 42.93) ระดับความรู้สึกกดเจ็บ ($\bar{X}$ = 32.83) หลังการนวดน้ำมันลำโพงกาสลัก อาสาสมัครมีระดับความปวดลดลง ($\bar{X}$ = 3.10) องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม ($\bar{X}$ = 63.23) เงย ($\bar{X}$ = 76.37)

ภาควิชาการแพทย์แผนไทย วิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก เลขที่ 56 หมู่ 1 ตำบลราษฎร์นิยม อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี 11150

Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Kanchanabhishek Institute of Medical and Public Health Technology, 56 Moo 10, Rat Niyom, Sai Noi, Nontaburi 11150, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): thanapohn.tee@kmpht.ac.th Tel: 09 8571 6306

เอียงไปทางด้านซ้าย ($\bar{X}$ = 53.87) เอียงไปทางด้านขวา ($\bar{X}$ = 53.13) ระดับความรู้สึกกดเจ็บเพิ่มขึ้น ($\bar{X}$ = 43.30) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพบว่าระดับความปวดลดลง องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม-เงย และเอียงไปทางด้านซ้าย-ขวา และความรู้สึกกดเจ็บเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ดังนั้นน้ำมันลำโพงกาสลักจึงสามารถเป็นทางเลือกในการบรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อจากออฟฟิศซินโดรมได้

คำสำคัญ: น้ำมันลำโพงกาสลัก, การนวด, ออฟฟิศซินโดรม

ABSTRACT

Office Syndrome is a common symptom in working people and students in the inappropriate workplace environment such as sitting during working all the time without body movement. These things result in inflammation of the muscles and pain in various organs such as neck and shoulders. This quasi-experimental research aimed to examine the effect of Thorn apple oil massage on neck and shoulder pain from office syndrome. The samples were 30 students of Kanchanabhishek Institute of Medical and Public Health Technology, conducted by the purposive sampling method. The research instruments used for data collection were numeric rating score, algometer, inclinometer, hand book of massage and data record. The statistical procedures employed included frequency, percentage, means, standard deviations and paired sample t-test. The results showed that before the massage, volunteers had the pain level ($\bar{X}$ = 5.33), degree of neck movement in the bent direction ($\bar{X}$ = 52.367), perk ($\bar{X}$ = 66.73), tilt to the left ($\bar{X}$ = 42.10) and right ($\bar{X}$ = 42.93), and level of sore feeling ($\bar{X}$ = 32.83). After oil massage, volunteers had the pain level ($\bar{X}$ = 3.10), degree of neck movement in the bending direction ($\bar{X}$ = 63.23), perk ($\bar{X}$ = 76.37), tilt to the left ($\bar{X}$ = 53.87) and right ($\bar{X}$ = 53.13), and pressure level ($\bar{X}$ = 43.30). The findings revealed that Thorn apple oil massage significantly reduced pain level and increased the capability of neck movement in the bending direction, left and right tilt, and pressure level at the .001 level. All three kinds of oil can be used interchangeably. As a result, Thorn apple oil massage is the appropriate option to lower the muscle pain from office syndrome.

Key words: thorn apple oil, massage, office syndrome

บทนำ

ลำโพงกาสลัก ไม้ล้มลุก อายุหลายปี สูง 1-2 เมตร แตกกิ่งก้านเป็นพุ่ม ตามลำต้นและกิ่งก้านมีสีม่วง ใบเดี่ยว รูปไข่ ออกเรียงสลับ ดอกโต รูปปากแตรหรือลำโพง ออกดอกเดี่ยว ผลรูปทรงค่อนข้างกลม ผิวเป็นขนคล้ายหนาม พอผลแห้งแตกออกได้ เมล็ดมีจำนวนมาก เมล็ดกลมแบนเหมือนเมล็ดมะเขือ (สุธรรม, 2552) สามารถพบได้ทั่วไปในป่าเบญจพรรณ ที่รกร้างว่างเปล่าไปจนถึงป่าดิบเขา สรรพคุณตามตำรายาพื้นบ้านคือ แก้ไข้พิษ ไข้กระสับกระส่าย ปรุงยาใส่แผล แก้กลากเกลื้อน

ผื่นคัน หิดเหา เมล็ดทาบรรเทาอาการปวดเมื่อย ขัดยอกได้ (คณะเภสัช มหาวิทยาลัยมหิดล, 2558)

ลำโพงกาสลัก (*Datura metel* L. var. *fastuosa* (Bernh.) Danert) อยู่ในวงศ์ Solanaceae สารสำคัญที่พบในต้นลำโพง เป็นสารในกลุ่มอัลคาลอยด์ โดยส่วนใหญ่คือ สาร (-)-scopolamine ซึ่งสูงถึง 75% ของสารอัลคาลอยด์ทั้งหมด รองลงไปจะเป็น (-)-hyoscyamine, (-)-norhyoscyamine, (-)-norscopolamine, 6-hydroxy hyoscyamine และ meleloidine สามารถพบสารกลุ่มนี้ได้ทุกส่วนของต้นลำโพง (De Padua *et al*., 1999)

ตำรายาไทย ใช้ ใบ รสขมเมาเบื่อ ตำพอกฝีทำให้ยุบ ยาพอกแก้โรคผิวหนังกลากเกลื้อน แก้แผลเรื้อรัง แก้พิษสัตว์กัดต่อย แก้พิษฝี แก้ปวดแสบบวมที่แผล แก้ปวดบวมอักเสบ ดอก รสเมาเบื่อ นำมาดองกับเหล้า 500 ซีซี เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วนำมารับประทานครั้งละ 1 ถ้วยชาจีน วันละ 2 ครั้ง จะช่วยแก้อาการปวดเมื่อยได้ (วิทยา, 2554) เมล็ด รสเมาเบื่อ คั่วให้หมดน้ำมัน ปรุงยาแก้ไข้พิษ น้ำมันจากเมล็ด รสเมาเบื่อ ปรุงยาใส่แผล แก้กลากเกลื้อน ผื่นคัน เมล็ดทาบรรเทาอาการปวดเมื่อย ขัดยอก โดยนำเมล็ด 30 กรัม ทุบพอแหลก แล้วแช่กับน้ำมันพืชประมาณ 7 วัน ทาตรงบริเวณที่ปวดเมื่อย หรือขัดยอก จะช่วยบรรเทาอาการปวด และใช้ใส่ฟันที่เป็นรู ช่วยบรรเทาอาการปวดได้ ราก รสเมาเบื่อหวาน ฝนทาพิษร้อนดับพิษฝี แก้ปวดบวมแก้อักเสบ (วิทย์, 2554) นอกจากนี้ ในโรคอัมพฤกษ์ อัมพาต ครูหมอยายังนิยมใช้ลำโพงเข้ายาประคบ ยังสามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย เพราะใช้กับบริเวณที่ไม่ได้มีแผลเปิด (โรงพยาบาลอภัยภูเบศ, 2558)

จากการศึกษาข้อมูลในสัตว์ทดลองพบว่า เมื่อนำสารสกัดด้วยน้ำของใบและเมล็ดของลำโพงกาสลักมาทดสอบฤทธิ์ระงับปวดโดยเหนี่ยวนำให้หนูไมค์เกิดความเจ็บปวดจนเกิดอาการบิดงอลำตัวด้วยกรดอะซิติก พบว่าสามารถลดจำนวนครั้งของการบิดงอลำตัวของหนูได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Abena *et al*., 2003) และการศึกษาทางคลินิกของลำโพงกาสลักพบว่าลำโพงกาสลัก มีฤทธิ์คล้ายยาชา และสามารถระงับความเจ็บปวดได้ (วิทยา, 2554)

ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การบรรเทาอาการปวดปัจจุบัน มีปัญหาผู้ป่วยมักจะได้รับผลข้างเคียง เช่น การใช้ยาต้านการอักเสบมีผลทำให้เกิดแผลในระบบทางเดินอาหาร มีเลือดออกในระบบทางเดินอาหาร การติดยาในกลุ่มยากล่อมประสาท และการใช้ยามากเกินไป (จุลจิรา และคณะ, 2555) สถิติปัญหาของออฟฟิศซินโดรมจากข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ ปี พุทธศักราช 2552 ในกลุ่มผู้ทำงานในประเทศไทยจำนวน 3,865,100 คน พบว่า มีผู้ที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อคอ บ่า ไหล่ มากถึงร้อยละ 42 และมีผู้ที่มีอาการปวดหลังส่วนล่าง ร้อยละ 34 คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจมากถึงหมื่นล้านบาทต่อปี (สุนิสา และ รัชติญา, 2559) โดยกลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรมไม่เพียงพบแต่ในกลุ่มผู้ทำงานเท่านั้น กลุ่มนักเรียน นักศึกษาก็เป็นปัญหาเช่นกัน โดยจากการสัมภาษณ์นักศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในประเทศไทยจำนวน 316 คน พบว่า ร้อยละ 58.5 มีอาการปวดกล้ามเนื้อบางส่วนของร่างกาย โดยบริเวณที่พบมากที่สุดสามอันดับแรกได้แก่ คอ ร้อยละ 52.2 หลังส่วนล่าง ร้อยละ 39.9 และไหล่ ร้อยละ 32.6 (กลางเดือน และ องุ่น, 2557)

การรักษากลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อด้วยการแพทย์ทางเลือกนั้นมีมากมายหลายวิธีการ แต่วิธีการที่มีนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การนวด การนวดน้ำมัน และการประคบสมุนไพร (ชาคริต และคณะ, 2557) สำหรับการรักษาโดยการนวดนั้นเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายว่าสามารถช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น อันเนื่องมาจากการทำงานในชีวิตประจำวัน (เกศ, 2553) ช่วยผ่อน

คลายความเครียด ลดความวิตกกังวล (ชำนาญ, 2550) นอกจากนี้ยังมีการนำสมุนไพรเข้ามาใช้ประกอบการนวดเพื่อให้การนวดมีผลสัมฤทธิ์มากยิ่งขึ้น โดยในการรักษาหรือบำบัดจะใช้ยาสมุนไพรถูนวดให้ตัวยาซึมเข้าไปในบริเวณกล้ามเนื้อเพื่อให้สรรพคุณของตัวยาในสมุนไพรได้ทำหน้าที่ในการบรรเทาหรือรักษาอาการที่เกิดขึ้น (โสภา และคณะ, 2557)

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัย พบว่าน้ำมันลำโพงกาสลักยังไม่มีการเก็บข้อมูลทางคลินิกต่ออาการปวดกล้ามเนื้อ ทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญในการทำวิจัยเรื่อง “ผลของการนวดน้ำมันลำโพงกาสลักต่ออาการปวดกล้ามเนื้อคอ บ่า ไหล่จากออฟฟิศซินโดรม ในนักศึกษาวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก จังหวัดนนทบุรี” เพื่อศึกษาผลของการนวดด้วยน้ำมันลำโพงกาสลักต่ออาการปวดกล้ามเนื้อคอ บ่า ไหล่จากออฟฟิศซินโดรม โดยผลของการศึกษาวิจัยที่ได้จะสามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้สมุนไพรเพื่อบรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่าง/ผู้เข้าร่วมวิจัย

ประชากรที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ คือ นักศึกษาวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก จำนวน 611 คน กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการนวดไทยกับการใช้ยาไดโคลฟีแนค (Diclofenac) ในการลดอาการปวดบ่า (คัญฑมารา และคณะ, 2557) นำมาคำนวณค่าขนาดอิทธิพล (Effect Size) ได้ค่าเท่ากับ 0.8 แล้วนำมาประมาณขนาดตัวอย่างจากตารางประมาณขนาดกลุ่มตัวอย่างแบบทดสอบสมมุติฐานสองทาง (Cohen, 1992) ที่ระดับความเชื่อมั่น .05 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 20 คน แต่เพื่อป้องกันการสูญหายของกลุ่มตัวอย่างการทดลองผู้วิจัยได้เพิ่มกลุ่มตัวอย่างอีก 10 คน จึงทำให้มีขนาดกลุ่มตัวอย่าง 30 คน โดยมีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้าสู่การวิจัยด้วยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะ (Purposive sampling) โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย ดังต่อไปนี้

1. นักศึกษาที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป
2. มีอาการปวดบริเวณคอ บ่า ไหล่ จากโรคออฟฟิศซินโดรม (Office syndrome) และมีระดับความปวดอยู่ในระดับ 4 ขึ้นไป
3. ไม่มีโรคประจำตัว และความผิดปกติที่เป็นข้อห้ามในการนวดน้ำมันบริเวณคอ บ่า ไหล่ เช่น ผู้ที่มีการอักเสบการติดเชื้อคือ ไข้มากกว่า 38 องศาเซลเซียส ปวด บวม แดง ร้อน เป็นต้น
4. ไม่มีอาการปวดที่มีสาเหตุมาจากอุบัติเหตุหรือความผิดปกติของสมอง
5. ไม่มีประวัติการแพ้น้ำมันลำโพงกาสลัก
6. ไม่มีอาการชา ร้าวลงแขนจากการกดทับของเส้นประสาท
7. ไม่เป็นโรคที่ห้ามทำหัตถการ ได้แก่ หอบหืดระยะรุนแรง โรคลมชัก โรคติดเชื้อเฉียบพลัน โรคกระดูกพรุนรุนแรง
8. ไม่มีพยาธิสภาพที่คอ บ่า ที่ห้ามทำหัตถการ ได้แก่ มีกระดูกแตก หัก ปริร้าว ที่ยังไม่ติดดี เป็นมะเร็ง
9. ไม่มีแผลเปิด แผลเรื้อรัง หรือมีรอยโรคผิวหนังที่สามารถติดต่อได้ การบาดเจ็บภายใน 24 ชั่วโมง มีการผ่าตัดภายในระยะเวลา 1 เดือน มีหลอดเลือดดำอักเสบ
10. ยินดีและสมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย และมาสารถปฏิบัติตามข้อตกลงการเข้าร่วมโครงการวิจัย

ทั้งนี้ หากพบว่าอาสาสมัคร มีอาการแพ้สมุนไพรขณะทำการทดลองหรือไม่ปฏิบัติตัวตามข้อตกลงหรือขอถอนตัวออกจากการศึกษา ไม่

สามารถเข้าร่วมงานวิจัยครบตามระยะเวลาที่กำหนด จะพิจารณาให้สิ้นสุดการเข้าร่วมการวิจัย โดยการวิจัยครั้งนี้ไม่มีอาสาสมัครออกจากการวิจัย

2. วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi – Experimental Research) ชนิด 1 กลุ่ม วัดก่อนและหลังการทดลอง (One-Group Pretest - Posttest Design)

3. เครื่องมือในการศึกษา

1. แบบประเมินอาการปวดกล้ามเนื้อ Numeric Rating Score มีลักษณะเป็นเส้นตรงยาว 10 เซนติเมตร แต่ละช่องห่างกันช่องละ 1 เซนติเมตร มีตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 10 เพื่อบอกระดับความรุนแรงของอาการปวด 0 คือ ไม่ปวด, 1-3 คือ ปวดน้อย, 4- 6 คือ ปวดปานกลาง, 7-9 คือ ปวดมาก และ 10 คือ ปวดมากที่สุดเท่าที่จะคิดได้

2. เครื่องมือวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อ (Inclinometer) มีลักษณะเป็นทรงกลมข้างในมีน้ำสีฟ้าครึ่งวงกลม มีตัวเลขตั้งแต่ 0-350 เป็นตัวเลขที่บอกถึงองศาการเคลื่อนไหว โดยอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วงโลก

3. เครื่องวัดระดับความรู้สึกกดเจ็บ (Algometer Combo รุ่น OE-220) มีลักษณะที่ส่วนปลายสุดจะเป็นปุ่มหัวเรซิน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ใช้เพื่อกดบริเวณกล้ามเนื้อและถูกเชื่อมกับสายที่มีปุ่มกด (Patient switch) สำหรับผู้ถูกประเมินกด ตัวเครื่องมีหน้าจอแสดงถึงค่าระดับแรงกด

4. น้ำมันลำโพงกาสลัก โดยมีสูตรคือ น้ำมันลำโพงกาสลักที่ได้จากการสกัดโดยวิธีนำเมล็ดลำโพงกาสลักจำนวน 50 กรัม ทุบให้แหลก แช่ลงในน้ำมันปาล์มปริมาตร 1200 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 7 วัน นำมาจำนวนทั้งสิ้น 550 มิลิลิตร ผสมกับ เมนทอล 60 กรัม และการบูร 120 กรัม

5. รายละเอียดของคู่มือการนวด ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการนวด ขั้นตอนการนวด และข้อปฏิบัติของผู้เข้าร่วมงานวิจัย

6. แบบเก็บข้อมูลประกอบไปด้วย 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป เป็นลักษณะคำถามแบบเลือกตอบ จำนวนทั้งสิ้น 4 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ ระยะเวลาที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อคอและบ่า ข้างที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อคอและบ่า

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการทดลอง เป็นแบบบันทึกข้อมูล ได้แก่ ระดับอาการเจ็บปวด การประเมินองศาการเคลื่อนไหวของคอ และค่าเฉลี่ยระดับความรู้สึกกดเจ็บ ในแต่ละครั้ง

7. ผู้นวดน้ำมัน งานวิจัยนี้มีผู้นวดทั้งสิ้นจำนวน 1 คน ผ่านการอบรมระยะสั้นตามคู่มือการนวดของงานวิจัย จากแพทย์แผนไทย วิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก และได้ดำเนินการฝึกการนวดน้ำมันตามคู่มือการนวดของงานวิจัย เป็นจำนวนทั้งสิ้น 30 คน

8. ผู้ตรวจร่างกายทั้งสิ้นจำนวน 1 คน ผ่านการอบรมระยะสั้น จากแพทย์แผนไทย วิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก และได้ดำเนินการฝึก การตรวจประเมินร่างกายด้วยแบบประเมินระดับความปวดด้วยตัวเลข (Numerical rating scale) เครื่องวัดองศาการเคลื่อนไหว (Inclinometer) เครื่องวัดระดับความรู้สึกกดเจ็บ (Algometer) เป็นจำนวนทั้งสิ้น 30 คน

4. การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

1. แบบประเมินระดับความปวดด้วยตัวเลข หาค่าความเชื่อมั่น โดยวิธีวัดซ้ำ (Test-retest method) ผู้ตรวจร่างกายนำแบบประเมินไปทดลองใช้กับนักศึกษาวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง 30 คน โดยการให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการประเมิน 2 ครั้ง ให้ห่างกัน 15

นาที จากนั้นนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของความคงที่ (coefficient of stability) ได้ค่าความเชื่อมั่น 1.00

2. เครื่องวัดองศาการเคลื่อนไหว หาค่าความเชื่อมั่น โดยวิธีวัดซ้ำ (Test-retest method) ผู้ตรวจร่างกายนำแบบประเมินไปทดลองใช้กับนักศึกษาวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง 30 คน โดยการให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการประเมิน 2 ครั้ง ให้ห่างกัน 15 นาที จากนั้นนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของความคงที่ (coefficient of stability) โดยการวัดองศาในการก้มได้ค่า 0.976 องศาในการเงยได้ค่า 0.971 องศาในการเอียงซ้ายได้ค่า 0.958 และองศาในการเอียงขวาได้ค่า 0.983

3. เครื่องวัดระดับความรู้สึกกดเจ็บ หาค่าความเชื่อมั่น โดยวิธีวัดซ้ำ (Test-retest method) ผู้ตรวจร่างกายนำแบบประเมินไปทดลองใช้กับนักศึกษาวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง 30 คน โดยการให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการประเมิน 2 ครั้ง ให้ห่างกัน 15 นาที จากนั้นนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของความคงที่ (coefficient of stability) ได้ค่า 0.942

4. สูตรน้ำมันลำโพงกาสลักได้รับการตรวจสอบความตรงจากผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการนวด 3 ท่าน โดยผลในการตรวจสอบคุณภาพได้มีการปรับเปลี่ยนสูตรตามผู้ทรงคือ จากเดิมมีการใช้น้ำมันเขียวเป็นส่วนผสม ปรับเปลี่ยนโดยการตัดออกจากส่วนผสม เพื่อให้ผลของการวิจัยมีตัวแปรน้อยที่สุด

5. คู่มือการนวด เพื่อให้การนวดมีผลต่ออาการปวดน้อยที่สุด จึงมีการตรวจสอบความตรงจากผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการนวด 3 ท่าน โดยจากการตรวจสอบความตรงพบว่า การตรวจแบบบันทึกข้อมูลพบว่า ทุกข้อมีค่าเกิน 0.5 จึงไม่มีการแก้ไขคู่มือการนวด

6. ผู้นวดน้ำมันผ่านการทดสอบความตรงในการนวดตามคู่มืองานวิจัยจำนวนทั้งสิ้น 3 ครั้ง โดยพบว่า สามารถนวดได้ถูกต้องตามคู่มือร้อยละ 100

5. การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยแนะนำตัวเองและชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทราบ อธิบายให้เข้าใจว่าการเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมัครใจของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะเก็บไว้เป็นความลับ จะนำเสนอผลการศึกษาออกมาในลักษณะของภาพรวมและนำมาใช้ประโยชน์ทางการศึกษาเท่านั้น และเมื่อกลุ่มตัวอย่างต้องการถอนตัวจากการวิจัยสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา โดยได้รับการอนุมัติคณะกรรมการจริยธรรมในมนุษย์จากวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก ใบอนุญาตเลขที่ : KMPHT -60020151

6. ขั้นตอนการศึกษา

1. ผู้วิจัยคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยตามเกณฑ์การคัดเลือกตัวอย่างตามที่ ระบุไว้ในหัวข้อประชากรกลุ่มตัวอย่างในเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมการศึกษาอาสาสมัครทุกคนจะได้ทราบวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีวิจัย อันตรายหรืออาการข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลอง ได้แก่อาการแพ้สมุนไพรคือมีอาการผื่นคันหรือแพ้ หายใจไม่ออก และการปฏิบัติตัวในระหว่างที่เข้าร่วมการวิจัย ได้แก่ ห้ามอาสาสมัครล้างออกหรืออาบน้ำจนกระทั่งครบ 6 ชั่วโมง และห้ามทำการรักษาที่มีผลต่ออาการปวดบ่า อาทิเช่น ด้วยการทายา รับประทานยา ฉีดยา การนวด การประคบ การฝังเข็ม การกายภาพบำบัด เป็นต้น พร้อมลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

2. ผู้วิจัยทดสอบอาการแพ้แก่กลุ่มตัวอย่างก่อนดำเนินการทดลองโดยใช้น้ำมันลำโพงกาสลักทาท้องแขนด้านในทั้ง 2 ข้าง ขนาดเท่าเหรียญ 5 บาท ทิ้ง

ไว้นาน 5 นาที หากพบผื่นแดงจะคัดอาสาสมัครออกจากการศึกษา

3. ผู้วิจัยสอบถามข้อมูลส่วนตัวจากกลุ่มตัวอย่างแล้วบันทึกลงในข้อมูลส่วนบุคคล

4. ผู้ตรวจร่างกายประเมินระดับความปวด โดยใช้แบบวัดระดับความปวด (*Numerical Rating Scale*) โดยให้ผู้ป่วยบอกถึงตัวเลขที่แสดงถึงความปวดที่ผู้ป่วยมีขณะนั้นๆ แล้วผู้วิจัยบันทึกลงในแบบวัดระดับความปวด (*Numerical Rating Scale*)

5. ผู้ตรวจร่างกายประเมินการเคลื่อนไหวของคอในทิศทาง ก้ม เงย เอียงซ้าย และเอียงขวา ด้วยเครื่องมือวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อ เครื่องวัดองศาการเคลื่อนไหว (Inclinometer) วางในการวัดองศาการก้มและเงยผู้ตรวจประเมินจะใช้เครื่องวัดองศาการเคลื่อนไหว (Inclinometer) ไว้ที่บริเวณกึ่งกลางของศีรษะในระนาบข้าง (Sagittal plane) ตั้งค่าองศาอยู่ในระดับ 0 องศา แล้วให้ผู้รับการตรวจประเมินก้มหรือเงยจุดสิ้นสุดขององศาที่ต้องการวัด คือ สามารถเคลื่อนไหวได้เองโดยไม่มีอาการปวด ส่วนการประเมินองศาการเอียงคอไปทางด้านข้างกระทำในท่านั่งเช่นกัน แต่วาง(Inclinometer) ที่บริเวณกึ่งกลางศีรษะของผู้ป่วยในระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane) ตั้งค่าองศาอยู่ในระดับ 0 องศา จุดสิ้นสุดขององศาที่ต้องการวัดคือ สามารถเคลื่อนไหวได้เองโดยไม่มีอาการปวด

6. ผู้ตรวจร่างกายประเมินระดับความรู้สึกกดเจ็บ (*Algometer*) โดยกดลงที่ตำแหน่งกล้ามเนื้อบริเวณบ่าตรงจุดกึ่งกลางของเส้นที่ลากจากหัวดุมไหล่ (*Acromion process*) ถึงกระดูกต้นคอชิ้นที่ 7 (C7) ให้แรงกดตั้งฉากกับผิวหนังด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 4 นิวตัน/วินาที (N/s) อาสาสมัครจะกดสวิทช์ทันทีเมื่อรู้สึก ใต้หัวกดเรซินเปลี่ยนจากแรงกดเป็นความรู้สึกเจ็บ (Painful) แล้วจึงอ่านค่าที่ได้

7. ผู้นวดทำการนวดน้ำมัน โดยให้ผู้ป่วยนั่งห้อยขา หรือนั่งขัดสมาธิ ใช้มือข้างเดียวกับข้างที่จะทำการนวด นำน้ำมันลำโพงกาสลักจำนวน 10 หยด หยดลงบนแนวบ่าที่ 1 ใช้นิ้วหัวแม่มือกดรูดขึ้นจากเหนือบ่าขึ้นไปตามแนวข้างคอ 10 รอบ ด้วยความเร็ว 10 วินาที/รอบโดยกดรูดขึ้นอย่างเดียว มืออีกข้างประคองหน้าผากไว้ ทำทั้ง 2 ข้าง และหยดน้ำมันลำโพงกาสลัก 10 หยด หยดลงบนแนวบ่าที่ 2 ใช้นิ้วหัวแม่มือกดรูดขึ้นจากเหนือหัวไหล่มาตามแนวเหนือสะบักขึ้นไปตามแนวชิดกระดูกคอ 5 รอบ ด้วยความเร็ว 10 วินาที/รอบ ทำทั้ง 2 ข้าง โดยใช้เวลาในการนวดทั้งหมด 10 นาที ใช้การนวดจำนวน 3 ครั้ง ใช้เวลาการนวดห่างกัน 24 ชั่วโมง (ตามคู่มือแนวทางการปฏิบัติการนวดน้ำมัน)

8. ประเมินระดับความปวดด้วยแบบวัดระดับความปวด (*Numerical Rating Scale*) ประเมินระดับความรู้สึกกดเจ็บ (*Algometer*) และประเมินการเคลื่อนไหวของคอ ในทิศทาง ก้ม เงย เอียงซ้าย และเอียงขวา ด้วยเครื่องมือวัดองศาการเคลื่อนไหวของข้อ (Inclinometer) หลังการรักษา

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีแจกแจงความถี่และร้อยละ

2. การเปรียบเทียบประสิทธิผลก่อน-หลังของการนวดด้วยน้ำมันลำโพงกาสลักต่อระดับความปวดคอ บ่า ไหล่ โดยใช้สถิติการทดสอบที แบบกลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Paired Sample T-Test)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุระหว่าง 18-20 ปีจำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 76.7 กำลังศึกษาในชั้นปีที่ 2 มากที่สุด จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 53.3 เรียนหลักสูตร

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาเวชระเบียนมากที่สุด จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 53.3 ระยะเวลาที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อคอและบ่าน้อยกว่า 1 สัปดาห์ จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 50 ข้างที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อคอและบ่าข้างขวาจำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 56.7 ช่วงเวลาที่มีอาการปวดมากที่สุดหลังเลิกเรียนจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 26.7 ดังตารางที่ 1

2. ผลก่อน-หลังการนวดน้ำมันลำโพงกาสลัก ด้วยสถิติ Paired Sample T-Test พบว่าก่อนการนวด อาสาสมัครมีระดับความปวด ($\bar{X}$ = 5.33) องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม ($\bar{X}$ = 52.367) เงย ($\bar{X}$ = 66.73) และเอียงไปทางด้านซ้าย ($\bar{X}$ = 42.10) ขวา ($\bar{X}$ = 42.93) ระดับความรู้สึกกดเจ็บ ($\bar{X}$ = 32.83) และเมื่อหลังการนวดน้ำมันลำโพงกาสลัก อาสาสมัครมีระดับความปวด ($\bar{X}$ = 3.10) องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม ($\bar{X}$ = 63.23) เงย ($\bar{X}$ = 76.37) และเอียงไปทางด้านซ้าย ($\bar{X}$ = 53.87) ขวา ($\bar{X}$ = 53.13) ระดับความรู้สึกกดเจ็บ ($\bar{X}$ = 43.30) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพบว่าระดับความปวดลดลง องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม-เงย และเอียงไปทางด้านซ้าย-ขวา และความรู้สึกกดเจ็บเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามข้อมูลทั่วไป (n= 30)

ข้อมูลทั่วไป	กลุ่มนวดน้ำมันลำโพงกาสลัก	
	จำนวน	**ร้อยละ**
อายุ		
18-20 ปี	23	76.7
21-23 ปี	6	20.0
24-26 ปี	1	3.3
รวม	**30**	**100**
ชั้นที่กำลังศึกษา		
ปี 1	8	26.7
ปี 2	16	53.3
ปี 4	6	20.0
รวม	**30**	**100**
หลักสูตร		
การแพทย์แผนไทยบัณฑิต	14	46.7
ปวส. เวชระเบียน	16	53.3
ปวส.โสตทัศนศึกษาทางการแพทย์	0	0
รวม	**30**	**100**

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	กลุ่มนวดน้ำมันลำโพงกาสลัก	
	จำนวน	ร้อยละ
ระยะเวลาที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อคอและบ่า		
น้อยกว่า 1 สัปดาห์	15	50
1-2 สัปดาห์	12	40
3-4 สัปดาห์	0	0
5 สัปดาห์ขึ้นไป	3	10
รวม	**30**	100
ข้างที่มีการการปวดกล้ามเนื้อคอ บ่า ไหล่		
ข้างซ้าย	13	43.3
ข้างขวา	17	56.7
รวม	**30**	**100**
ช่วงเวลาที่มีอาการปวดมากที่สุด		
ตื่นนอนตอนเช้า	6	20.0
ขณะเรียน	8	26.7
หลังเลิกเรียน	8	26.7
ก่อนนอน	4	13.3
ตลอดเวลา	4	13.3
รวม	**30**	**100**

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลก่อน-หลังของการนวดน้ำมันลำโพงกาสลัก (n=30)

ประสิทธิผล	ก่อนนวด		หลังนวด		p-value
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
Pain score	5.33	1.06	3.10	1.30	.000*
Flextion	52.367	9.04	63.23	8.57	.000*
Extenion	66.73	13.93	76.37	12.62	.000*
Left-lateral	42.10	7.94	53.87	7.79	.000*
Right-lateral	42.93	7.89	53.13	8.14	.000*
Pain Threshold	32.83	11.01	43.30	12.46	.000*

* *p*-value < .001

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าคะแนนเฉลี่ยอาการปวดคอ บ่า ไหล่ ก่อนการทดลองมีคะแนนเฉลี่ยอาการปวดไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสามารถอธิบายได้ว่าก่อนการทดลองกลุ่มตัวอย่างทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีคะแนนอาการปวดคอ บ่า ไหล่ ไม่แตกต่างกัน โดยมีคะแนนอาการปวดคอ บ่า ไหล่ ระดับ 4 ขึ้นไป และพบว่าก่อนการนวดอาสาสมัครมีระดับความปวด ($\bar{X}$ = 5.33) องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม ($\bar{X}$ = 52.367) เงย ($\bar{X}$ = 66.73) เอียงไปทางด้านซ้าย ($\bar{X}$ = 42.10) เอียงไปทางด้านขวา ($\bar{X}$ = 42.93) ระดับความรู้สึกกดเจ็บ ($\bar{X}$ = 32.83) และเมื่อหลังการนวดน้ำมันลำโพงกาสลักอาสาสมัครมีระดับความปวด ($\bar{X}$ = 3.10) องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม ($\bar{X}$ = 63.23) เงย ($\bar{X}$ = 76.37) เอียงไปทางด้านซ้าย ($\bar{X}$ = 53.87) เอียงไปทางด้านขวา ($\bar{X}$ = 53.13) ระดับความรู้สึกกดเจ็บ ($\bar{X}$ = 43.30) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพบว่าระดับความปวดของอาสาสมัครหลังการรักษาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.001) โดยอธิบายได้ว่าการนวดด้วยน้ำมันลำโพงกาสลักทำให้สารสำคัญ scopolamine ที่พบในลำโพงกาสลัก (วิทย์, 2554) และกดประสาทส่วนกลางทำให้อาการปวดของอาสาสมัครลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Abena *et al*. (2003) ที่ทำการศึกษาเรื่องการประเมินผลสารสกัดจากใบและเมล็ดของลำโพงกาสลักในการแก้ปวด โดยพบว่า สามารถลดอาการบิดงอตัวของหนูไมค์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความเจ็บปวดด้วยกรดอะซิติก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

และจากการศึกษาพบว่า ระดับความรู้สึกกดเจ็บของอาสาสมัครหลังการรักษาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.001) โดยอธิบายได้ว่าการนวดด้วยน้ำมันลำโพงกาสลักทำให้สารสำคัญ (-)-hyoscyamine ซึ่งมีฤทธิ์ anticholinergic (De Padua LS, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Webb (2017) ที่ทำการศึกษาการจัดการอาการคลื่นไส้และอาเจียนในผู้ป่วยมะเร็งระยะลุกลาม พบว่า hyoscyamine มีฤทธิ์ anticholinergic โดยไปปิดกั้น muscarinic receptors ช่วยลดการหลั่งกรดในทางเดินอาหารจึงช่วยบรรเทาอาการคลื่นไส้และลดปริมาณของอาเจียน อีกทั้งยังช่วยบรรเทาอาการปวดบิดในช่องท้อง

และองศาการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นอธิบายได้ว่า จากการที่กล้ามเนื้อแข็งเกร็งลดลง อาการปวดลดลงทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อนั้นสามารถหดตัว เคลื่อนไหวร่างกายได้เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของรุ้งทิพย์ และคณะ (2559) ที่ทำการศึกษาวิจัยเรื่องผลทันทีของการนวดด้วยเทคนิคพิเศษบริเวณปลายสะบักจนถึงชายโครง ในผู้ป่วยที่มีอาการปวดคอ ซึ่งพบว่านวดด้วยเทคนิคพิเศษหรือการกดนวดตามแนวกระดูกสันหลังทั้งสองข้าง ตั้งแต่ปลายสะบักด้านล่างจนถึงขอบของกระดูกซี่โครงซี่สุดท้าย ช่วยลดอาการปวดคอและเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวของคอได้

สรุป

ผลการวิจัยพบว่า ก่อนการนวดอาสาสมัครมีระดับความปวด ($\bar{x}$ = 5.33) องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม ($\bar{x}$ = 52.367) เงย ($\bar{x}$ = 66.73) เอียงไปทางด้านซ้าย ($\bar{x}$ = 42.10) เอียงไปทางด้านขวา ($\bar{x}$ = 42.93) ระดับความรู้สึกกดเจ็บ ($\bar{x}$ = 32.83) หลังการนวดน้ำมันลำโพงกาสลัก อาสาสมัครมีระดับความปวดลดลง ($\bar{x}$ = 3.10) องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม ($\bar{x}$ = 63.23) เงย ($\bar{x}$ = 76.37) เอียงไปทางด้านซ้าย ($\bar{x}$ = 53.87) เอียงไปทางด้านขวา ($\bar{x}$ = 53.13) ระดับความรู้สึกกดเจ็บเพิ่มขึ้น ($\bar{x}$ = 43.30) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพบว่าระดับความปวดลดลง องศาการเคลื่อนไหวคอในทิศทางก้ม-เงย และเอียงไปทางด้านซ้าย-ขวา และความรู้สึกกดเจ็บเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ดังนั้นน้ำมันลำโพง

กาสลักจึงสามารถเป็นทางเลือกในการบรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อจากออฟฟิศซินโดรมได้

ข้อเสนอแนะ

การนำผลการวิจัยครั้งนี้ไปในสถานบริการแพทย์แผนไทย หรือพัฒนาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับลำโพงกาสลัก และให้ส่งเสริมการปลูกของเกษตรกร

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาผลของน้ำมันลำโพงกาสลักที่มีต่ออาการปวดโดยตรง โดยมีการกำหนดกลุ่มควบคุมเพื่อเปรียบเทียบ และควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่ออาการปวด อาทิเช่น กระบวนการนวด สูตรของน้ำมันลำโพงกาสลักที่มีส่วนผสมของ การบูร เมนทอล และควรเพิ่มการศึกษาความคงตัว อายุการใช้งานของสาระสำคัญจากน้ำมันลำโพงกาสลัก เพื่อเป็นข้อมูลต่อยอดในการสร้างผลิตภัณฑ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ วิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุข กาญจนาภิเษก ที่ให้ทุนทำให้วิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กลางเดือน โพชนา และ องุ่น สังขพงศ์. 2557. ความชุกและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของกลุ่มผู้ใช้คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค กรณีศึกษา นักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. **วารสารสาธารณสุขศาสตร์** 44(2): 162-173.

เกศ สัตยพงศ์. 2553. ความชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องของอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในอาชีพหมอนวดแผนไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต การวิจัยและการจัดการด้านสุขภาพ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณะเภสัช มหาวิทยาลัยมหิดล. 2558. **บทความเผยแพร่ความรู้สู่ประชาชน ลำโพง : ไม้ประดับมีพิษ.** สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. แหล่งที่มา: https://goo.gl/wpkdMy, 11 กันยายน 2560.

คัญฑมารา สิทธิไกรพงษ์, ปารัณกุล ตั้งสุขฤทัย, ปรีชา หนูทิม, วไลรัตน์ ศิริวงศ์ และ ภาวิณี อ่อนนุช. 2557. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลการนวดไทยกับการใช้ยาไดโคลฟีแนค (Diclofenac) ในการลดอาการปวดบ่า. **วารสารวิชาการสาธารณสุข** 23(5): 842-849.

จุลจิรา ธีรชิตกุล, ขนิษฐา นาคะ และ ปิยะภรณ์ บุญพัฒน์. 2555. การจัดการอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของผู้สูงอายุที่มีอาชีพกรีดยางพารา. **วารสารสภาการพยาบาล** 27(2): 134-147.

ชาคริต สัตยารมณ์, ลดาวัลย์ อุ่นประเสริฐ, พงศ์ นิชโรจน์ และ นพวรรณ เปียซื่อ. 2557. ผลของการนวดด้วยน้ำมันหอมระเหยและประคบสมุนไพรร่วมกับการใช้ยา ต่ออาการปวดหลังส่วนล่างและปฏิกิริยาสะท้อนความตึงตัวของกล้ามเนื้อในผู้ที่มีอาการปวดหลังส่วนล่าง. **วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี** 25(2): 1-13.

ชำนาญ ผึ่งผาย. 2550. ผลการนวดแผนไทยประยุกต์ต่อการผ่อนคลาย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

รุ้งทิพย์ พันธุเมธากุล, รวิพร พิทักษ์, วิชัย อึงพินิจพงศ์, พีราภรณ์ โลหะมงคล, วรวุฒิ อุสุภราช, ศุภาพิชญ์ บุญเสนา และ ธวัชชัย สุวรรณโท. 2559. ผลทันทีของการนวดด้วยเทคนิคพิเศษบริเวณปลายสะบักจนถึงชายโครงในผู้ป่วยที่มีอาการปวดคอ. **วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด** 28(2): 135-143.

โรงพยาบาลอภัยภูเบศ. 2558. **"ลำโพง" สมุนไพรสวยพิฆาต ฆ่าแบคทีเรีย-รักษาแผลหนอง.** แหล่งที่มา: http://www.thinsiam.com/%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B9%87%E0%B8%9A/22081, 1 มิถุนายน 2562.

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. 2554. **พจนานุกรมสมุนไพรไทย.** พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์รวมสาส์น, กรุงเทพฯ.

วิทยา บุญวรพัฒน์. 2554. **สารานุกรมสมุนไพรไทย-จีน ที่ใช้บ่อยในประเทศไทย.** สมาคมศาสตร์การแพทย์แผนจีนในประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สุธรรม อารีกุล. 2552. **องค์ความรู้เรื่องพืชป่าที่ใช้ประโยชน์ทางภาคเหนือของไทย.** มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่.

สุนิสา ชายเกลี้ยง และ รัชติญา นิธิธรรมธาดา. 2559. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปวดคอ ไหล่ หลังของบุคลากรในโรงพยาบาลของรัฐ จังหวัดขอนแก่น. **วารสารสาธารณสุขศาสตร์** 46(1): 42-56.

โสภา ลี้ศิริวัฒนกุล, คณิสร แก้วแดง และ วิภารัตน์ ภิบาลวงษ์. 2557. การเปรียบเทียบประสิทธิผลของการนวดเพื่อผ่อนคลายแบบนวดโดยใช้น้ำมันไพลกับนวดแบบดั้งเดิมในผู้ที่มีปัญหาปวดไหล่และคอ. **วารสารวิทยาลัยพระปกเกล้า จันทบุรี** 5(2): 41-51.

Abena, A.A., Miguel, L.M., Mouanga, A., Hondi Assah, T. and Diatewa, M. 2003. Evaluation of analgesic effect of *D. fastuosa* L. leaves and seed extracts. **Fitoterapia** 74(5): 486-488.

Cohen, J. 1992. Quantitative methods in psychology: A power primer. **Psychological Bulletin** 112(1): 155-159.

De Padua, L.S., Bunyapraphatsara, N. and Lemmens R.H.M.J. 1999. **Plant Resources of South-East Asia No. 12(1). Medicinal and Poisonous Plants 1.** Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.

Webb, A. 2017. Management of nausea and vomiting in patients with advanced cancer at the end of life. **Nursing Standard** 32(10): 53-63.

เครื่องต้นแบบตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์

Solar Refrigerator Prototype

วิรัช กองสิน *

Wiruch Kongsin *

Received: 12 June 2019, Revised: 15 July 2019, Accepted: 21 April 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการออกแบบตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดประมาณ กว้าง 0.4 เมตร ยาว 0.33 เมตร สูง 0.54 เมตร สำหรับถนอมของสด โดยรับพลังงานไฟฟ้ามาจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อหาประสิทธิภาพพลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นที่เหมาะสมระหว่างตู้เย็นที่ไม่มีการควบคุมด้วยระบบควบคุมพีไอดีกับตู้เย็นที่มีการควบคุมด้วยระบบควบคุมพีไอดี โดยทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากผัก 5 ชนิด คือ แตงกวา มะเขือยาว พริกหวาน มะเขือเทศดิบ มะเขือเทศสุก ซึ่งอยู่ในกลุ่มผักสดที่ต้องใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาอยู่ในช่วงประมาณ 8-10 องศาเซลเซียส โดยการทดลองใช้อุณหภูมิทำความเย็นที่ 8 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่าการทำความเย็นให้กับผัก 5 ชนิดที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส แบบไม่มีการควบคุมด้วยระบบควบคุมพีไอดี ใช้แรงดัน 11.29 โวลท์ กระแส 0.40 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้า 4.59 วัตต์ และ แบบมีการควบคุมด้วยระบบควบคุมพีไอดี ใช้แรงดัน 10.14 โวลท์ กระแส 0.27 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้า 2.74 วัตต์ ทำให้ทราบว่าแบบควบคุมด้วยระบบควบคุมพีไอดี มีการใช้พลังงานน้อยกว่า 36.93 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ช่วงเวลาที่เก็บพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ที่ดีที่สุดอยู่ที่ประมาณ 14.30 น. มีค่าความเข้มแสงที่ 32500 ลักซ์ ได้ค่ากำลังไฟฟ้าประมาณ 65 วัตต์ โดยแบตเตอรี่ขนาด 60 แอมแปร์ต่อชั่วโมงเก็บพลังงานไฟฟ้าในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ได้กำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดเท่ากับ 580.53 วัตต์ หรือ กระแสไฟฟ้าที่ 48.37 แอมแปร์ ซึ่งเพียงพอกับการใช้สำหรับตู้เย็นภายใน 1 วัน และสามารถนำไปพัฒนาตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไปในอนาคต นอกจากพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วตู้เย็นแบบมีการควบคุมด้วยระบบควบคุมพีไอดียังสามารถประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนแบบอื่นๆ ได้ เช่น พลังงานทดแทนจากลม พลังงานทดแทนจากน้ำ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน

คำสำคัญ: ตู้เย็น, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานทดแทน

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ เลขที่ 450 หมู่ 6 ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, 450 Moo 6, Yanyao, Samchuk, Suphan Buri 72130, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): wiruch.k@rmutsb.ac.th

ABSTRACT

This paper presented the design of a solar refrigerator of approximate 0.4 × 0.33 × 0.54 meters for preserving fresh food by receiving electrical energy from the solar system. This was to explore suitable energy efficiency for refrigerating between the refrigerating system with and without PID control. The efficiency was analyzed from five types of vegetables, namely cucumber, eggplant, bell pepper, raw tomato, and ripe tomato. These vegetables needed to be stored at 8-10 degrees Celsius and this experiment employed 8 degrees Celsius temperature. The results of the research showed that the refrigerating system without PID control uses a voltage of 11.29 volts and a current of 0.40 amperes that was equal to the electric power of 4.59 watts. The refrigerating system with PID control uses a voltage of 10.14 volts and a current of 0.27 amperes that was equal to the electrical power of 2.74 watts. This showed that energy consumption of the system with PID control was less than 36.93 % of without PIC control. The best time for energy storage of the solar system was around 14.30 p.m. with a light intensity of 32500 lux and a power of about 65 watts. The 60 ampere-hour batteries storing power in eight hours were able to store total electricity power of 580.53 watts or the current of 48.37 amperes that was enough to use refrigerator for a day. This was also able to develop more efficient solar refrigerator in the future. In addition to the solar energy, refrigerator with the PID control system can apply to other alternative energy for more efficiency such as wind power and water power.

Key words: refrigerator, solar energy, renewable energy

บทนำ

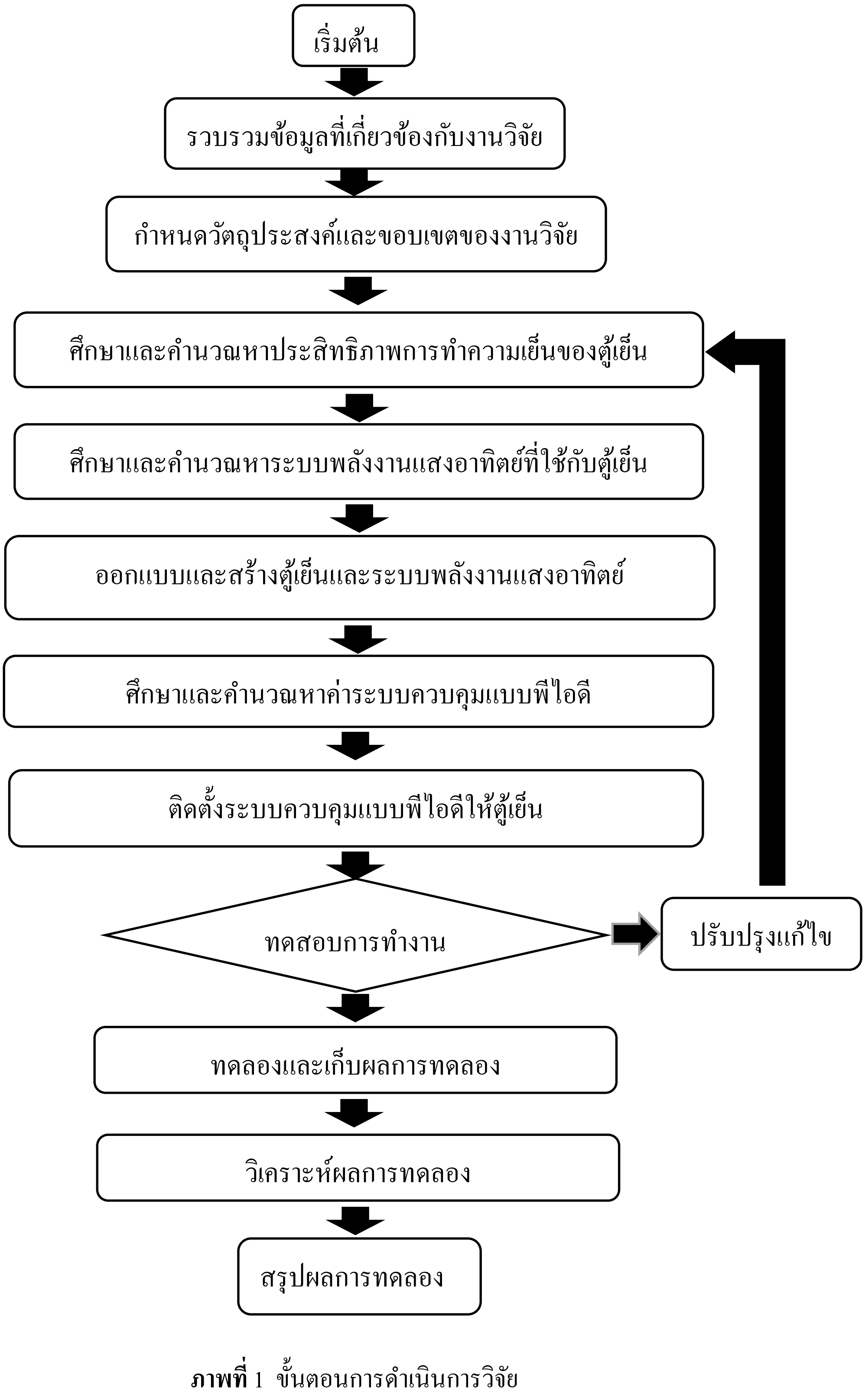
ในปัจจุบัน ถ้าหากไม่มีการถนอมอาหาร ประชากรของประเทศไทยและโลกจะต้องประสบปัญหาการขาดแคลนอาหาร ในทางตรงกันข้าม บางพื้นที่อาจจะประสบปัญหากับผลผลิตล้นตลาด ในฤดูกาลการผลิต ราคาผลผลิตตกต่ำ ผลผลิตเกิดการเน่าเสีย การบริโภคอาหารในชีวิตประจำวันไม่ได้รับความสะดวก ประชาชนจำนวนมากในบางภาคของประเทศที่อยู่ห่างไกลจากทะเล อาจประสบปัญหาโรคคอพอกที่เกิดจากการขาดไอโอดีน ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการถนอมอาหารเจริญขึ้น จึงทำให้ปัญหาต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้วลดลงอย่างมาก (ชมภู่, 2550) โดยการถนอมอาหารมีหลายวิธีหนึ่งวิธีที่นิยมคือการใช้ความเย็น และอุปกรณ์ที่นิยมใช้คือตู้เย็น เป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่แทบทุกบ้านจะต้องมีไว้ใช้ ประโยชน์ที่สำคัญของตู้เย็นก็คือไว้ใช้เก็บอาหารให้ได้นานขึ้น ทั้งอาหารสดประเภทเนื้อสัตว์และผักสดต่างๆ และอาหารสำเร็จรูปที่อาจยังกินไม่หมดก็สามารถเก็บไว้ในตู้เย็น เพื่อยืดระยะเวลาการบูดเน่าได้ แต่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ พลังงานที่ใช้ในปัจจุบันมีแนวโน้มลดลง ทำให้มนุษย์หาวิธีการที่จะลดการใช้พลังงานและหาพลังงานทดแทนโดยเฉพาะมาใช้แทนพลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานอีกทางเลือก และเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดและมีทุกหนทุกแห่ง อีกทั้งในการเปลี่ยนรูปพลังงานยังไม่ก่อให้เกิดมลพิษเป็นพลังงานที่สะอาด โดยเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าไม่ต้อง

บำรุงรักษามากและมีอายุการใช้งานยาวนานถึง 30 ปี ได้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในวงกว้างทำให้มีการลดการใช้ค่ากระแสไฟฟ้า (นพดล, 2557) ทำให้มีการคิดค้นระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยโซล่าเซล์ที่ใช้กับตู้เย็นเรียกว่า ตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อประโยชน์ในการประหยัดพลังงานและใช้กับพื้นที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้การควบคุมด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดี จากงานวิจัย (บุญเลิศ, 2551) นำเสนอการศึกษาการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างตู้เย็นไฟฟ้ากับตู้เย็นไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1.7 คิว 60 W อุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส พบว่า การลงทุนตู้เย็นไฟฟ้าลงทุน 3,500 บาท ตู้เย็นไฟฟ้าใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ลงทุน 68,500 บาท ตู้เย็นไฟฟ้าใช้พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายเป็นค่าไฟฟ้า 894.25 บาทต่อปี และงานวิจัย (ปฐมพงศ์ และคณะ, 2557) นำเสนอศึกษาระบบทำน้ำร้อนและน้ำเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ร่วมกับโซล่าเซลล์ โดยระบบใช้กำลังไฟฟ้าขนาด 210 วัตต์ โดยสามารถทำน้ำเย็นมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ 15.4 องศาเซลเซียส และทำน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 66.9 องศาเซลเซียส มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) การชาร์จประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาสู่แบตเตอรี่ 82.08 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 10 เดือน จากงานวิจัยทั้งสองเรื่องนี้ทำให้ทราบว่าตู้เย็นไฟฟ้าสามารถลดอุณภูมิได้ต่ำกว่าระบบแบบเทอร์โมอิเล็กทริกส์โดยใช้พลังงานที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพจากตู้เย็นไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษา การออกแบบ และจัดสร้างตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โซล่าเซลล์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับแบตเตอรี่เพื่อนำกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์โดยมีโซล่าชาร์จเจอร์เป็นตัวชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ออกแบบส่วนประกอบของตู้เย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ออกแบบและสร้างระบบตู้เย็นตามอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการทดลองและทดสอบหาประสิทธิภาพสูงสุดของระยะเวลาการใช้งานทางไฟฟ้า



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบและคำนวณหาประสิทธิภาพการทำความเย็น

1.1 การคำนวณหาอุปกรณ์สำหรับระบบทำความเย็น

กำหนดขนาดตู้เย็นใช้เก็บผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยมี ขนาดกว้าง 0.4 เมตร ยาว 0.33 เมตร สูง 0.54 เมตร หุ้มด้วยแผ่นโพลิสไตรีน หนา 10 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U= 0.28 W/m^2-K (สุลักษณา และ ปริญา, 2558) อุณหภูมิแวดล้อมภายนอกเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ในแต่ละวันจะทำความเย็นให้กับของสดหนัก 10 กิโลกรัม จากอุณหภูมิในการเก็บ 8 องศาเซลเซียส คำนวณภาระการทำความเย็น โดยไม่คิด ภาระความร้อนอื่นๆ ทั้งนี้ให้คิดจากการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน

พื้นที่ผิวภายนอกห้องเย็น = 2(0.4 × 0.33) + 2(0.33 × 0.54) + 2(0.54 × 0.4) = 1.128 ตารางเมตร

ปริมาตรภายในห้องเย็น = 0.4 × 0.33 × 0.54 = 0.071 ลูกบาศก์เมตร

จากตารางค่าปริมาณอากาศที่เข้ามาจากการเปิดประตูแปรผันตามขนาดห้อง ได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลเข้าของอากาศภายนอก โดยการเทียบที่ปริมาตรภายในเท่ากับ 0.071 ลูกบาศก์เมตร ได้อัตราการไหลเข้าของอากาศภายนอกเท่ากับ 2.3 l/s (สุลักษณา และ ปริญา, 2558)

ถ้าให้อากาศภายนอกมี RH เท่ากับ 50% และอุณหภูมิภายนอกห้องเย็น 40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในห้องเย็น 8 องศาเซลเซียส ได้ค่าตัวประกอบเอนทัลปีที่เปลี่ยนแปลง (กรณีใช้งานหลัก) เท่ากับ 0.1359 kJ/l (สุลักษณา และ ปริญา, 2558) และที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ได้ค่าอัตราการคายน้ำของสดรายวันเท่ากับ 0.023 W/kg (สุลักษณา และ ปริญา, 2558) โดยผักมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 3.94 kJ/kg-K (สุลักษณา และ ปริญา, 2558)

<u>ภาระความร้อนที่ผ่านผนัง</u>

$$\dot{Q} = UA\,(To- Ti) = (0.28\ W/m^2\text{-}K) \times (1.128\ m^2) \times ((40+273) - (8+273)\ K) = 10.10\ W$$

<u>ภาระความร้อนจากอากาศภายนอกเข้ามา</u>

$$\dot{Q} = mh= (2.3\ l/s) \times (0.1359\ kJ/l) = 0.312\ W$$

<u>ภาระความร้อนของผลิตภัณฑ์</u>

$$\dot{Q} = mCp\,(Tj\text{-}Tz) / t= 10\ kg \times 3.94\ kJ/kg\text{-}K \times ((40+273) - (8+273)\ K) / (24 \times 3600s) = 0.0146\ W$$

<u>ภาระความร้อนจากการคายน้ำ</u>

$$\dot{Q} = m \times RR= (10\ kg) \times (0.023\ W/kg) = 0.23\ W$$

<u>ภาระความร้อนรวม</u>

ภาระความร้อนรวม = 10.10+0.312+0.0146+0.23 = 10.66 W

คิดค่าความปลอดภัย 5 % = (10.66 × 1.05) W = 11.19 W

<u>ขนาดของเครื่องทำความเย็น</u>

ขนาดของเครื่องทำความเย็นที่ต้องการ $Q = 24\ Q_E/T$

Q = 24 hr × 11.19 W / 24 hr = 1.19 W (ค่าความปลอดภัย 10%)

(เลือกคอมเพรสเซอร์ขนาด 12 V/24 V, 18 W, 2000 rpm ซึ่งมีขนาดเล็กสุด)

1.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับระบบทำความเย็น (ตระการ, 2555)

การเลือกคอนเด็นซิ่งยูนิต

คอนเด็นซิ่งยูนิตโดยทั่วไปจะใช้สำหรับปริมาณความเย็นไม่มากนัก ในกรณีที่ต้องการปริมาณความเย็นมาก จะต้องเลือกอุปกรณ์มาประกอบกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงการเลือกคอนเด็นซิ่งยูนิตก่อน ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการเลือกคอนเด็นซิ่งยูนิตพิจารณาดังนี้ อุณหภูมิอีวาโปรเรเตอร์ ระบบทำความเย็น การระบายความร้อน อุณหภูมิคอล์ยร้อน และปริมาณความเย็นที่ต้องการ

ตารางที่ 1 การเลือกจำนวนขั้นตอน

อุณหภูมิอีวาโปรเรเตอร์ (ºC)	จำนวนขั้นตอน (Stage)
สูงกว่า -25	1
-25 ถึง -40	2
-40 ถึง -80	3

อุณหภูมิอีวาโปรเรเตอร์ได้จากการเลือกอีวาโปรเรเตอร์เย็นมาก่อน โดยอุณหภูมิอีวาโปรเรเตอร์เป็นตัวกำหนดระบบทำความเย็น จากตารางที่ 1 เลือกแบบหนึ่งขั้นตอนเนื่องจากต้องการอุณภูมิสูงกว่า -25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 การเลือกอุณหภูมิคอล์ยร้อน

ระบายความร้อน	อุณหภูมิ(ºC)
อากาศ	50-60
น้ำ	40

จากข้อมูลตารางที่ 2 ให้เลือกคอนเด็นซิ่งยูนิตสำหรับตู้เย็น ใช้อากาศระบายความร้อน ซึ่งเป็นคอมเพรสเซอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลท์ 18 วัตต์ ซึ่งเป็นขนาดเล็กสุดและเพียงพอต่อขนาดตู้เย็นที่ออกแบบ

การเลือกคอล์ยเย็น

คอล์ยเย็น เป็นอุปกรณ์ที่จะให้ความเย็นกับตู้เย็น เพื่อทำให้ห้องมีอุณหภูมิและความชื้นตามที่ออกแบบไว้ ขนาดตู้ : ขนาดความกว้าง ยาว และสูงของตู้ จะใช้พิจารณาว่า

- คอล์ยเย็นที่จะเลือกสามารถติดตั้งภายในตู้ได้หรือไม่
- ความต้องการที่จะให้ลมเย็นส่งไปถึงท้ายตู้ได้หรือไม่
- การกระจายลมทั่วถึงภายในตู้หรือไม่ซึ่งอาจจะทำให้ต้องใช้คอล์ยเย็นหลายชุด

การเลือกคอล์ยเย็น นอกจากจะพิจารณาสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น ยังต้องพิจารณาระยะห่างระหว่างฟินอีกด้วย ระยะห่างฟินน้อย เมื่อใช้กับห้องอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสและความชื้นต่ำ น้ำแข็งจะเกาะที่ฟินเร็ว ทำให้ประสิทธิภาพต่ำ จึงควรเลือกระยะฟินมากขึ้น ข้อแนะนำ ระยะฟินไม่น้อยเกิน 4.5 มิลลิเมตร ความชื้นสูง ที่อุณหภูมิใดๆ ดังนั้นจากตารางเลือกคอล์ยเย็น จึงเลือกขนาดที่ใช้กับ

คอมเพรสเซอร์ 1/3 แรงม้า ขนาดความเย็น 1,150 BTU/HR

การเลือกอุปกรณ์ลดความดัน

จากตารางเลือกอุปกรณ์ลดความดันตามขนาดที่ใช้กับคอมเพรสเซอร์ 1/3 แรงม้า ขนาดความเย็น 1,150 BTU/HR โดยใช้รุ่นที่ความดันเท่ากันภายนอก ซึ่งจะทำให้การทำงานของวาล์วลดความดันโดยอุณหภูมิ (thermal expansion value) ทำงานได้ดีขึ้น โดยไม่ต้องกังวลถึงความดันตกในคอล์ยเย็น

2. การออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้กับตู้เย็น (นพดล, 2557)

คำนวณระบบโซล่าเซลล์ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับตู้เย็นโอโซนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ตู้เย็นใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 18 วัตต์

2.1 การคำนวณหาขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ค่าการใช้พลังงานใน 1 วัน = ค่าการใช้พลังงานทั้งหมด × ชั่วโมงการใช้งาน

ค่าการใช้พลังงานใน 1 วัน = 18 × 24 = 432 วัตต์

ขนาดของแผง = ค่าการใช้พลังงานใน 1 วัน / ชั่วโมงการรับแสงประมาณ 6 ชั่วโมงต่อวัน

ขนาดของแผง = 432 / 6 = 72 วัตต์ (เลือกแผง 100 วัตต์ 12 โวลล์)

2.2 การคำนวณหาขนาดเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า (charger)

ทำหน้าที่เก็บประจุกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ ทำให้ยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ ซึ่งต้องมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจากแผงโซลล่าเซลล์สู่แบตเตอรี่ ดังนั้นขนาดของเครื่องควบคุมการเก็บประจุกระแสไฟฟ้าควรมีขนาดเกินกระแสไฟฟ้าของแผงโซลล่าเซลล์

ขนาดเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า = ขนาดของแผง/แรงดันไฟฟ้าของแผง

ขนาดเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า = 100 /12 = 8.33 แอมแปร์

(เลือกใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าขนาด 15 แอมแปร์)

2.3 การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ (battery)

ทำหน้าที่เก็บสำรองไฟฟ้าในเวลาที่แผงโซลล่าเซลล์ไม่สามารถรับแสงได้ (เช่น ในเวลากลางคืน) แบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ deep cycle แต่จะมีราคาสูง ซึ่งเราสามารถเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดอื่นแทนได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ หรือแบตเตอรี่แห้ง ซึ่งจะมีราคาถูกกว่า

ขนาดแบตเตอรี่ = ค่าการใช้พลังงานใน 1 วัน /แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ × 0.6 (การใช้งานกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่) × 0.85 (ประสิทธิภาพ inverter)

ขนาดแบตเตอรี่ = 432 / (12 × 0.6 × 0.85) = 70.58 Ah (เลือกขนาด 75 Ah)

ภาพที่ 2 เครื่องต้นแบบตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์

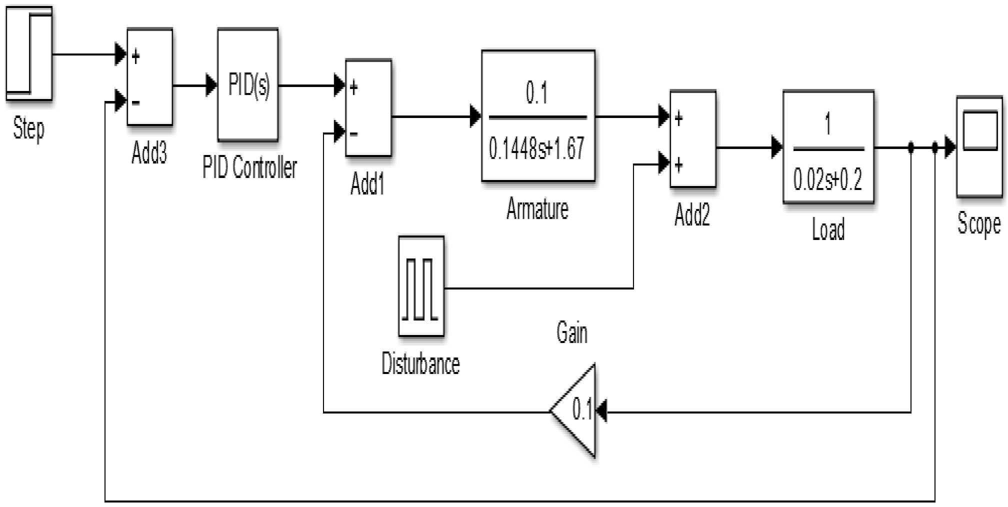
3. การหาค่าระบบควบคุมแบบพีไอดี (วโรดม, 2550)

การควบคุมระบบทำความเย็นของตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์ จะควบคุมมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดี โดยการใช้โปรแกรมแมทแลบ/ซิมูลิงค์ ช่วยในการทดสอบระบบที่ทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเพื่อหาค่าเกนของตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้วิธีการซีเกลอร์นิโคลแล้วใช้โปรแกรมแมทแลบ/ซิมูลิงค์ ทดสอบผลของการใช้ตัวควบคุมที่ได้กับระบบดังกล่าว

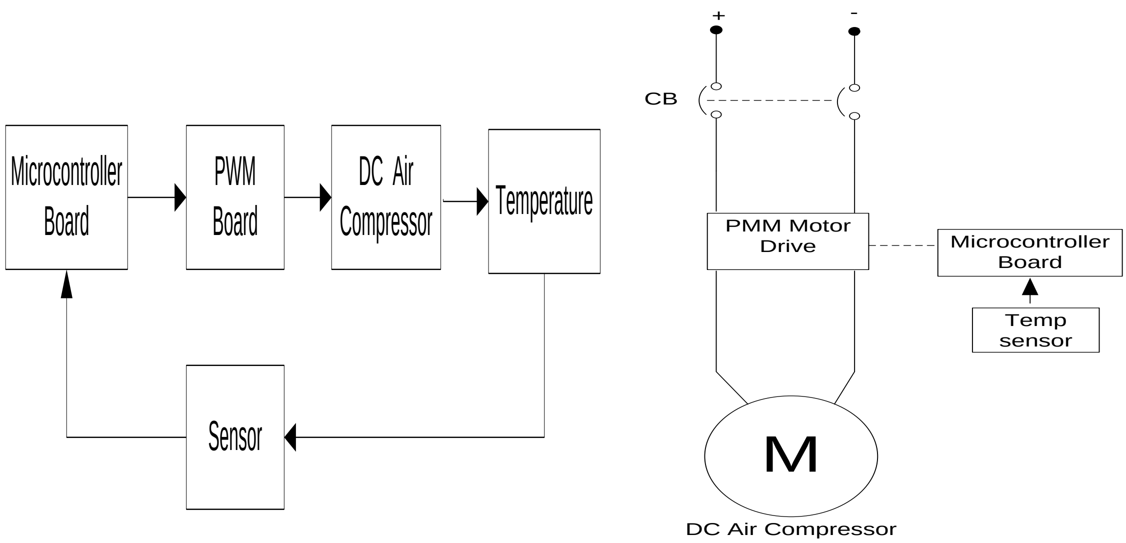
ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์คอมเพรสเซอร์

ตัวแปร	ค่าของตัวแปร
พิกัดแรงดัน	12 V/24 V
พิกัดกระแส	3.58 A
พิกัดกำลังงาน	43 W
ความเร็วรอบสูงสุด	2,000 rpm
ความต้านทานขดลวดอาเมจอร์	1.67 Ω
ความเหนี่ยวนำขดลวดอาเมเจอร์	0.1448 H
ความเฉื่อยของอาเมเจอร์	0.02 kg.m^2/s^2
แรงเสียดทานสถิต	0.2 N.m.s
K_a, K_t	1

จากค่าพารามิเตอร์คอมเพรสเซอร์ในตาราง ที่ 3 นำมาหาค่าเกนที่เหมาะสมด้วยวิธีการซีเกลอร์ นิโคล เพื่อใช้ในการควบคุมระบบด้วยการควบคุมแบบพีไอดี โดยการปรับจูนเกนเพื่อหาค่าของระบบ ซึ่งได้ค่า $K_P = 3$, $K_I = 2$, $K_D = 0.05$ ซึ่งเป็นค่าเกนที่ทำให้การเกิดโอเวอร์ไม่เกิน 5% ผลตอบสนองมีการพุ่งเกินที่ค่อนข้างต่ำ ผลดีก็คือระบบค่อนข้างปลอดภัยจากการพุ่งเกินของผลตอบสนองและได้ผลตอบสนองที่มีความเร็ว



ภาพที่ 3 แบบจำลองสำหรับหาผลตอบสนองในการควบคุมแบบพีไอดี

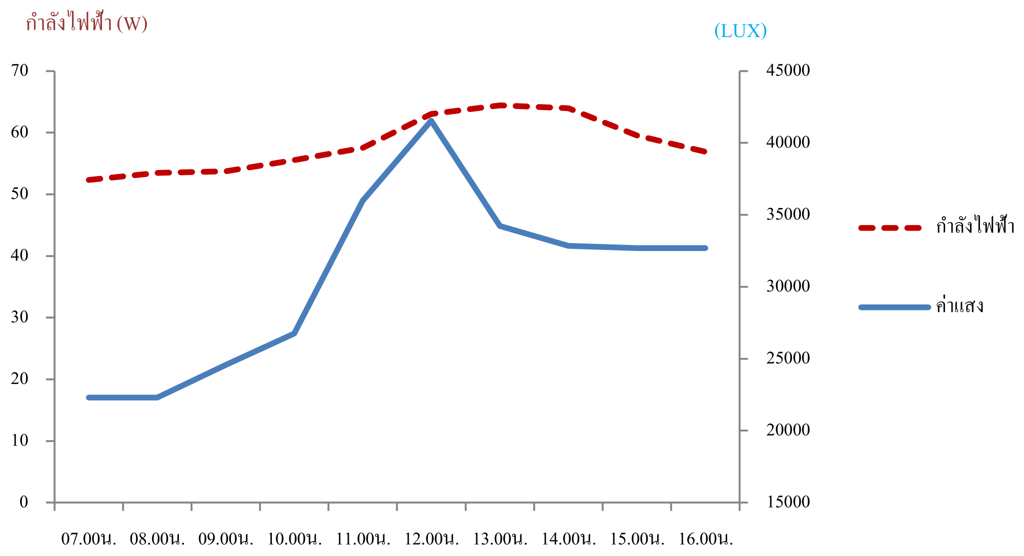


ภาพที่ 4 ระบบควบคุมการทำงานในการควบคุมระบบทำความเย็น

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การทดลองการชาร์จพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้โซล่าเซลล์ 120 วัตต์ ในการชาร์จแบตเตอรี่ 60 แอมแปร์ ในระยะเวลา 1 วัน หรือ 10 ชั่วโมง จากการคำนวณได้กระแสทั้งหมด ซึ่งเป็นกระแสที่สามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่ให้ได้ประสิทธิภาพให้พร้อมใช้งาน เฉลี่ยภายใน 5 วัน

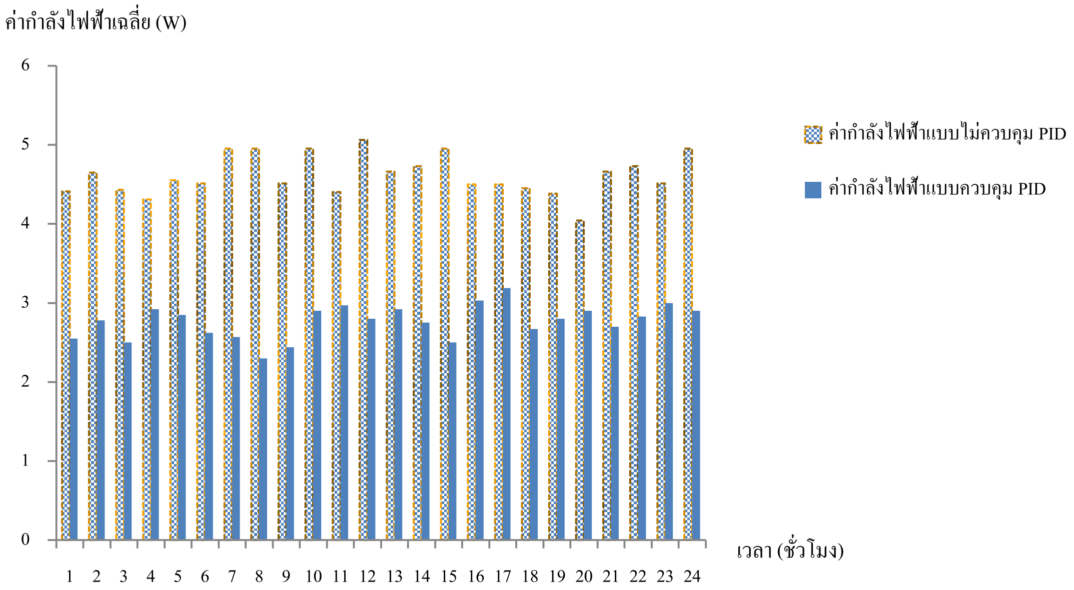


ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในการเก็บพลังงาน

จากกราฟในภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าช่วงประมาณ 12.30 น. ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงจะมากสุดประมาณ 43000 ลักซ์ ได้ค่ากำลังไฟฟ้าประมาณ 60 วัตต์ แต่ไม่ใช่ช่วงเวลาที่เก็บพลังงานได้สูงสุดเนื่องจากความร้อนมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง (ทนงเกียรติ, 2559) เวลาที่เก็บพลังงานที่สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 14.30 น. มีค่าความเข้มแสงที่ 32500 ลักซ์ ได้ค่ากำลังไฟฟ้าประมาณ 65 วัตต์ และเวลาที่เก็บพลังงานต่ำที่สุดอยู่ที่เวลา 07.00 น. มีค่าความเข้มแสงที่ 22000 ลักซ์ ได้ค่ากำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 52.36 วัตต์

2. การทดลองการใช้งานของตู้เย็นที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส (เฉลี่ย) ไม่มีการควบคุมด้วยพีไอดีและควบคุมด้วยพีไอดี

การเก็บผลการทดลองจะทำการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเก็บผลการทดลองเป็นเวลา 10 วัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยเริ่มเก็บค่าเมื่อระบบทำความเย็นของตู้เย็นมีอุณหภูมิอยู่ที่ 8 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ไม่มีผลิตภัณฑ์ในตู้เย็น ทั้งแบบระบบไม่มีการควบคุมด้วยพีไอดีและควบคุมด้วยพีไอดี



ภาพที่ 6 กำลังไฟฟ้าขณะใช้งานตู้เย็น

จากกราฟในภาพที่ 6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างที่ไม่ควบคุมกับที่ควบคุมด้วยระบบพีไอดี แบบที่ไม่ควบคุมด้วยระบบพีไอดี จะใช้พลังงานรวมใน 24 ชั่วโมง ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 92.25 วัตต์ เมื่อเทียบกับอุณภูมิที่ใกล้เคียงกับตู้เย็นแบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า (Akinola *et al.*, 2015) ส่วนแบบที่ควบคุมด้วยระบบพีไอดี จะใช้พลังงานรวมใน 24 ชั่วโมง ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 54.96 วัตต์ ทำให้ทราบว่าการควบคุมด้วยพีไอดี ทำให้ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าแบบที่ไม่ควบคุมด้วยระบบพีไอดี กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 37.29 วัตต์ เกิดจากระบบที่ควบคุมด้วยพีไอดี สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่ต้องการมากที่สุดและจัดการกับสัญญาณรบกวนต่าง ๆ จึงส่งผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้าของตู้เย็นลดลง ถ้ามีการใส่ผลิตภัณฑ์ในตู้เย็น กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใส่เข้าไปในตู้เย็น (Ekren *et al.*, 2011)

สรุป

การทดสอบประสิทธิภาพตู้เย็นที่ไม่ควบคุมด้วยระบบพีไอดี โดยเฉลี่ยอุณหภูมิของตู้เย็นที่ 8 องศาเซลเซียส โดยผักที่ใช้มี 5 ชนิด ได้แก่ แตงกวา มะเขือยาว พริกหวาน มะเขือเทศดิบ และมะเขือเทศสุก ซึ่งอยู่ในกลุ่มผักสดที่ต้องใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาอยู่ในช่วงประมาณ 8-10 องศาเซลเซียส โดยตู้เย็นแบบที่ไม่ควบคุมด้วยระบบพีไอดี โดยเฉลี่ยใช้กระแส 0.40 แอมแปร์ แรงดัน 11.29 โวลท์ กำลังไฟฟ้า 4.59 วัตต์ และแบบที่ควบคุมด้วยระบบพีไอดี โดยเฉลี่ยใช้กระแส 0.27 แอมแปร์ แรงดัน 10.14 โวลท์ กำลังไฟฟ้า 2.74 วัตต์ จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบที่ควบคุมด้วยระบบพีไอดีสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 1.84 วัตต์ และมีอัตราควบคุมความเย็นในตู้เย็นที่สม่ำเสมอ ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น

แผงโซลล่าเซลล์ 120 วัตต์ เวลาที่เก็บพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ที่ดีที่สุดอยู่ที่ประมาณ 14.30 น.มีค่าความเข้มแสงที่ 32500 ลักซ์ ได้ค่ากำลังไฟฟ้า

ประมาณ 65 วัตต์ และเวลาที่เก็บพลังงานต่ำที่สุดอยู่ที่เวลา 07.00 น.มีค่าความเข้มแสงที่ 22000 ลักซ์ ได้ค่ากำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 52.36 วัตต์ โดยในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 60 แอมแปร์ ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง จากการคำนวณได้กำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดเท่ากับ 580.53 วัตต์ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่สามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่ที่ 48.37 แอมแปร์ ซึ่งเพียงพอกับการใช้สำหรับตู้เย็นภายใน 1 วัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากผู้มีพระคุณอย่างสูงหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้กรุณาแก้ปัญหาและเสริมสร้างกำลังใจในการวิจัยตลอดมาผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

ชมภู่ ยิ้มโต. 2550. **การถนอมอาหาร: Food Preservation.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ตระการ ก้าวกสิกรรม. 2555. การทำความเย็นตอนที่ 2-3 อุปกรณ์ทำความเย็นแบบอัดไอ. **วารสารเทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ** 21(238): 136-144.

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2559. **ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศในเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้า.** สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. แหล่งที่มา: https://www.nnr.nstda.or.th/website/attachments/article/1034/10-Solarพลังงานแสงอาทิตย์.pdf, 14 ธันวาคม 2559.

นพดล รุ่งสวาท. 2557. **การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.** ส่วนวิชาการวิศวกรรม สำนักส่งเสริม และพัฒนางานเทคนิค กรมประชาสัมพันธ์. แหล่งที่มา: https://hq.prd.go.th/engineer/download/article/article_20150720153823.pdf, 28 มีนาคม 2557.

บุญเลิศ สงวนวัฒนา. 2551. การศึกษาตู้เย็นไฟฟ้าใช้พลังงานแสงอาทิตย์. **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร** 14(2): 59-68.

ปฐมพงศ์ จิโน, ถิรายุ ปิ่นทอง และ โกเมน หมายมั่น. 2557. การศึกษาระบบทำน้ำร้อนและน้ำเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ ร่วมกับโซล่าเซลล์. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา** 19(3): 231-243.

วโรดม ตู้จินดา. 2550. **การออกแบบระบบควบคุม.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุลักษณา มงคล และ ปริญา คงกระพันธ์. 2558. **ห้องเย็นเก็บผลผลิตทางการเกษตร.** การจัดการพลังงานในภาคเกษตรกรรม วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยลัยแม่โจ้. แหล่งที่มา: http://readgur.com/doc/2105408/วิชา-พง-424-การจัดการพลังงานในภาคเกษตรกรรม, 15 พฤษภาคม 2558.

Akinola, A.O., Mogaji, T.S. and Adewole, K.A. 2015. Development of Solar-Powered Mobile Refrigerator. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering** 5(9): 1-6.

Ekren, O, Yilanci, A., Cetin, E. and Ozturk, H.K. 2011. Experimental Performance Evaluation of A Pv-Powered Refrigeration System.

Electronics and Electrical Engineering
8(114): 7-10.

หมายเหตุ: บทความนี้มาจากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 11 ปี พ.ศ. 2562

การประเมินประสิทธิภาพของการฝึกทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็กโดยการใช้ส่วนเชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ผ่านเกมคอมพิวเตอร์สำหรับเด็กพิการผู้มีความบกพร่องทางสติปัญญา

Evaluation of the Efficacy of Fine Motor Skill Practice by Using Tangible User Interface through Educational Games in Children with Intellectual Disability

วรรณพร ทีเก่ง[1] กรัญญา สิทธิสงวน[2*] และ พรคิด อั้นขาว[3]

Wannaporn Teekeng[1], Karanya Sitdhisanguan[2*] and Pornkid Unkaw[3]

Received: 8 May 2019, Revised: 1 July 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในรูปแบบของเกมเข้ามาช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ในเด็กผู้บกพร่องทางสติปัญญาอยู่มาก ส่วนใหญ่แล้วเป็นการส่งเสริมการเรียนรู้ทางด้านต่างๆ อาทิ คณิตศาสตร์ การอ่าน และการเขียน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำเทคโนโลยีเชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบจับต้องได้และเลียนแบบการจับต้องที่เป็นธรรมชาติ มาช่วยในกิจกรรมบำบัดเพื่อส่งเสริมพัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็ก ซึ่งเป็นความบกพร่องอีกด้านหนึ่งของเด็กผู้บกพร่องทางสติปัญญานั้น ตามที่ทำการสืบค้นยังไม่มีผู้นำมาใช้ในการฝึก อีกทั้งในการฝึกการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กกับนักกิจกรรมบำบัด หรือครูฝึกจะเป็นผู้กระตุ้นผู้เรียนให้เกิดความสนใจและให้ความร่วมมือในการร่วมกิจกรรมตลอดจนเสร็จสิ้นและเป็นการปฏิบัติซ้ำๆ กับเด็กทุกคน ดังนั้นในงานวิจัยนี้

---

[1] สาขาวิชาระบบสารสนเทศทางธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[1] Department of Business Information System, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai 50300, Thailand.

[2] ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

[2] Department of Computer, Faculty of Science, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus, Muang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

[3] สาขาวิชาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10300

[3] Department of Information System, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Dusit, Bangkok 10300, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): kasaa@yahoo.com

จึงได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ด้านการพัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็กผู้บกพร่องทางสติปัญญาจากการฝึกทักษะโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ผ่านเกมคอมพิวเตอร์ จำนวน 60 คน เพื่อเปรียบเทียบกับการฝึกทักษะปกติกับนักกิจกรรมบำบัด

จากผลการวิจัยพบว่า กลุ่มที่ฝึกทักษะผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ มีพัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็กดีขึ้นโดยมีค่าแรงบีบมือเพิ่มขึ้น และเปรียบเทียบวิธีการระหว่างการฝึกโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ และการฝึกครู/นักกิจกรรมบำบัด มีค่าเฉลี่ยของค่าวัดแรงบีบมือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และเด็กมีความสนใจและสามารถฝึกจากอุปกรณ์เชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ส่วนเชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้, กล้ามเนื้อมัดเล็ก, ความบกพร่องทางสติปัญญา, เกมการศึกษา

ABSTRACT

A variety of educational games have been designed to enhance learning for children with intellectual disabilities in various fields such as mathematics, reading, writing skills. However, developing a tangible user interface (TUI) system that encourages learning by touching and manipulating objects by creating a similar experience for interactions with real world objects, to our knowledge, has not been explored yet. Besides, in the practice of development of fine motor skill with occupational therapists, children are less likely to cooperate and must be motivated at all times. Therefore, this paper explored the use of a tangible user interface for children with intellectual disabilities for fine motor skill practice. An experiment was conducted among 60 children with intellectual disabilities and the results were compared with conventional practice with an occupational therapist.

The results revealed that children with intellectual disabilities who practiced with the TUI training system had better development of fine motor skills with higher hand force's scores than those practiced with conventional methods. There was a significant difference in the average value of the hand's force at the 0.05 level, and children had more interest and preferred to train with TUI than conventional methods.

Key words: tangible user interface, fine motor skill, intellectual disability, educational game

บทนำ

ความบกพร่องทางสติปัญญา (ผดุง, 2542) หมายถึง บุคคลที่มีความสามารถในการใช้สติปัญญาจำกัดหรือต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานและมีพัฒนาการล่าช้ากว่าคนปกติทั่วไป เมื่อวัดสติปัญญาโดยใช้แบบทดสอบมาตรฐานปรากฏว่ามีสติปัญญาต่ำกว่าบุคคลทั่วไปในวัยเดียวกัน ซึ่งตามเกณฑ์การวินิจฉัย DSM-5 ของสมาคมจิตแพทย์อเมริกัน คือมีระดับเชาวน์ปัญญาต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอย่างชัดเจน ร่วมกับมีความความบกพร่องในทักษะการปรับตัว โดยมีอาการให้เห็นตั้งแต่ช่วงวัยเด็กหรือวัยรุ่น ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในชีวิตประจำวันหลายด้านทั้งที่บ้าน โรงเรียน ที่ทำงาน และชุมชน ซึ่งสามารถยืนยันโดยการประเมินอาการทางคลินิก และการทดสอบเชาวน์

ปัญญา หรือที่เรียกกันว่าการทดสอบไอคิว โดยถ้าได้ต่ำกว่า 70 จะเข้าเกณฑ์ของความบกพร่องทางปัญญา (ทวีศักดิ์, 2560) กิจกรรมบำบัด (Occupational Therapy) (นพวรรณ และคณะ, 2560) เป็นแนวทางหนึ่งในการฝึกการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในการหยิบจับ การฝึกสมาธิ และการรับรู้สัมผัส รวมถึงการฝึกทักษะการทำงานของตากับมือให้ประสานกัน ซึ่งจะช่วยให้การดำเนินชีวิตประจำวันเป็นไปได้อย่างราบรื่นและสะดวกขึ้น

ทั้งนี้ด้วยการเติบโตอย่างรวดเร็วของการใช้งานคอมพิวเตอร์ทั่วไป พบว่ามีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ในเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาไม่ว่าจะเป็นการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ด้านการอ่านและการเขียน (Ortega-Tudela and Gomez-Ariza, 2006; Yussof *et al*., 2016; Felix *et al*., 2017) ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ผู้ที่เรียนรู้ผ่านบทเรียนคอมพิวเตอร์มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ดีกว่าผู้ที่เรียนรู้จากการเรียนการสอนปกติ อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งการเรียนรู้ผ่านบทเรียนทางคอมพิวเตอร์ยังช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ เพิ่มความสนใจ ลดพฤติกรรมไม่เหมาะสม ลงอีกด้วย โดย Black and Wood (2003) ได้ชี้ให้ถึงข้อดีของคอมพิวเตอร์ที่นำมาช่วยในการเรียนรู้ของผู้ที่บกพร่องทางสติปัญญาว่าการเรียนรู้ด้วยคอมพิวเตอร์นั้นมีภาพเคลื่อนไหว และเสียง จึงช่วยส่งเสริมและดึงดูดความสนใจในการเรียนรู้ได้ดี อีกทั้งคอมพิวเตอร์ยังช่วยสร้างความมั่นใจให้กับเด็กอีกด้วย เช่นเดียวกับ Ortega-Tudela and Gomez-Ariza (2006) ที่ได้ศึกษาถึงผลกระทบของการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนคณิตศาสตร์ในเรื่องการนับเลขในเด็กผู้ที่บกพร่องทางสติปัญญา พบว่าผู้ที่เรียนรู้ผ่านเทคโนโลยีสื่อประสมสามารถเรียนรู้ได้ดีกว่าผู้ที่เรียนรู้แบบเดิมจากครูอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากภาพและเสียง จะช่วยดึงดูดความสนใจส่งผลให้กระบวนการจำในสมองทำงานได้ดีขึ้น อีกทั้งภาพเคลื่อนไหวยังช่วยในเรื่องของการคิดที่เป็นนามธรรมได้ดีขึ้นอีกด้วย

นอกจากเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์แล้ว ปัจจุบันมีผู้นำเทคโนโลยีเชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ (Tangible User Interface; TUI) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเชื่อมต่อประสานที่ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับข้อมูลดิจิตอลโดยผ่านสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่สามารถจับต้องได้ เคลื่อนย้าย ได้ยิน และมองเห็นได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจได้ง่ายและเพิ่มข้อมูลให้กับผู้ใช้ได้ดีกว่ารูปภาพที่แสดงความหมายเท่านั้น (Ishii and Ullmer, 1997) มาช่วยในเรื่องการเรียน การสอน (Marco *et al*., 2009; Marshall, 2007) เนื่องจากใช้เวลาน้อยในการเรียนรู้ เป็นการใช้งานที่เลียนแบบธรรมชาติ ทำให้ผู้บกพร่องทางการเรียนรู้ใช้งานได้ง่าย อีกทั้งยังมีผู้นำมาใช้ในการทำกิจกรรมบำบัดเพื่อฝึกการเรียนรู้เบื้องต้นในเด็กออทิสติก (Sitdhisanguan *et al*., 2012) ซึ่งผลการวิจัยพบว่านอกจากอุปกรณ์ ทียูไอ จะใช้งานได้ง่ายแล้ว ยังช่วยให้เด็กออทิสติกสามารถเรียนรู้ และนำไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวันอีกด้วย นอกจากนี้ยังนำเทคโนโลยี ที ยู ไอ มาผนวกกับเกมคอมพิวเตอร์ (Jeong *et al*., 2010) เพื่อใช้ในการฝึกทักษะการแก้ปัญหา และ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมัดเล็ก โดยผู้เล่นจะต้องใช้ทักษะในการหมุนบล็อกรูปเรขาคณิตให้ได้ตามที่กำหนด สำหรับเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญา (Guerrero *et al*., 2015) ได้นำเทคโนโลยี ทียูไอ มาผนวกกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) เพื่อใช้สนับสนุนการเรียนรู้คำศัพท์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันผ่านของเล่น จากผลการทดลองพบว่า นอกจากเทคโนโลยี ทียูไอ จะช่วยให้การเรียนรู้คำศัพท์จากการใช้ประสาทสัมผัสทางกายภาพมีการพัฒนาขึ้นแล้ว ยังพบว่าการเรียนรู้ของเด็กผู้มีความบกพร่องทาง

สติปัญญา จะเรียนรู้ได้ดีเมื่อมีการเรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่มอีกด้วย เช่นเดียวกับ Choosri (2017) ได้พัฒนาเกมโดยใช้เทคโนโลยี ทียูไอ เพื่อใช้ในการพัฒนาทักษะการเรียนรู้เรื่องศัพท์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับเด็กก่อนวัยเรียน ผลการทดลองพบว่าเกมสามารถช่วยให้เด็กก่อนวัยเรียนมีพัฒนาการเรียนรู้คำศัพท์เบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากแต่ในกรณีของการนำเทคโนโลยี ทียูไอ มาใช้ในการฝึกทักษะการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็ก ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากในเด็กผู้มีความบกพร่องทางสติปัญญา ที่ส่งผลต่อการใช้ชีวิตประจำวัน อาทิ การหยิบจับ และการประสานการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อตากับมือไม่สัมพันธ์กันนั้น จากการสืบค้นจากวรรณกรรมยังไม่พบใครนำมาใช้ในการศึกษา ดังนั้นจึงเป็นที่มาของแนวคิดในงานวิจัยนี้ โดยมุ่งถึงการศึกษาผลสัมฤทธิ์ในการใช้เทคโนโลยีเชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ หรือ เทคโนโลยี ทียูไอ ซึ่งเป็นสื่อนวัตกรรมในการฝึกทักษะการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กผ่านเกมคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานได้ง่าย มีการจับต้อง เคลื่อนย้าย อย่างเป็นธรรมชาติ ไม่ต้องอาศัยการเรียนรู้ เพื่อนำช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ และเสริมสร้างพัฒนาการและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมัดเล็กที่อ่อนแรงเพื่อให้เด็กสามารถช่วยเหลือตัวเองในการทำกิจวัตรประจำวันได้ตลอดจนลดภาระการดูแลของผู้ปกครองลงอีกด้วย โดยเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์กับการฝึกกับนักกิจกรรมบำบัดในรูปแบบเดิม ซึ่งยังมีข้อจำกัดหลายประเด็น อาทิ ปัญหาในการเรียนรู้และความเข้าใจ, การขาดสมาธิและมีช่วงความสนใจในระยะเวลาสั้น รวมถึงการขาดแคลนบุคลากร หรือนักกิจกรรมบำบัด ฯลฯ ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี่ส่งผลให้การฝึกฝนยังไม่สัมฤทธิ์ผลเท่าที่ควร

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (Cause and Effect relationship) จากตัวแปรที่เป็นสาเหตุ โดยใช้แผนงานวิจัยเชิงทดลองแท้จริง (True-Experimental Design) จากกิจกรรมฝึกปฏิบัติที่สร้างขึ้นจากแนวคิดตามแนวคิดของอุปกรณ์เชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ และสังเกตผลที่เกิดขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลสัมฤทธิ์ในการฝึกพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กของผู้มีความบกพร่องทางสติปัญญาผ่านเกมคอมพิวเตอร์โดยใช้เทคโนโลยี ทียูไอ เพื่อเปรียบเทียบกับการฝึกปกติกับนักกิจกรรมบำบัด โดยเลือกกรณีศึกษาของการฝึกทักษะกล้ามเนื้อฝ่ามือ ข้อมือ และนิ้วมือ จากการบีบ และการฝึกทักษะความสัมพันธ์ระหว่างตากับมือ ด้วยการทุบ

1. กลุ่มตัวอย่าง

เด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาที่เข้ามารับการฝึกกิจกรรมบำบัดจากศูนย์การศึกษาพิเศษของภาคเหนือตอนล่าง 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกำแพงเพชร ตาก และสุโขทัย จำนวน 60 คน ที่มีพัฒนาการสมองอยู่ในระดับอนุบาล 2 โดยการคัดกรองจากครูประจำหน่วยจาก 3 จังหวัด โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) โดยทุกคนได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าเป็นผู้มีความบกพร่องทางสติปัญญา ตามเกณฑ์การวินิจฉัย DSM-5 ของสมาคมจิตแพทย์อเมริกัน (Choosri *et al.*, 2017) ซึ่งมีระดับเชาวน์ปัญญาต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอย่างชัดเจน มีความบกพร่องทางด้านกล้ามเนื้อมัดเล็ก และมีประสบการณ์ในการฝึกกิจกรรมบำบัดอยู่ในระดับเดียวกัน ทุกคนมีประสบการณ์ในการใช้คอมพิวเตอร์อยู่ในระดับเดียวกัน อีกทั้งไม่เป็นผู้บกพร่องทางการได้ยิน และสายตา

2. วิธีการทดลอง

การทดลองกระทำในระหว่างเดือนเมษายน - มิถุนายน พ.ศ. 2561 ตอนเวลา 10.00-12.00 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ๆ ละ 3 วัน ได้แก่ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ โดยแบ่งเป็น 2 กิจกรรม ได้แก่ 1) กิจกรรมการฝึกทักษะกล้ามเนื้อฝ่ามือ ข้อมือ และนิ้วมื้อ 15 นาที และ 2) การฝึกกล้ามเนื้อ และความสัมพันธ์ระหว่างตากับมือ 15 นาที รวมเวลาฝึกทั้งสิ้น 30 นาทีต่อหนึ่งคน ซึ่งก่อนเริ่มการทดลองในสัปดาห์แรก ผู้เข้าร่วมการทดลองต้องทำการวัดค่าของแรงบีบมือเพื่อนำมาไว้ใช้ในการเปรียบเทียบค่าการพัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็กหลังจากการฝึกเสร็จสิ้นในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งจะทำการวัดค่าอีกครั้งดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางกิจกรรมการทดสอบ

สัปดาห์ที่	ฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ 30 คน				ฝึกปกติกับครู/นักกิจกรรมบำบัด 30 คน
	ครั้งที่	เวลา	วัน	กิจกรรม	
1	วัดค่าของแรงบีบมือ (Hand Grip) (Pretest)				
2	1	10.00 - 12.00	จันทร์ พุธ ศุกร์	กิจกรรม 1 (ระดับ 1)	
3	2	10.00 - 12.00	จันทร์ พุธ ศุกร์	กิจกรรม 2 (ระดับ 1)	ฝึกปฏิบัติจากวิธีการปกติ
4	3	10.00 - 12.00	จันทร์ พุธ ศุกร์	กิจกรรม 1 (ระดับ 2)	ของครู/นักกิจกรรมบำบัด
5	4	10.00 - 12.00	จันทร์ พุธ ศุกร์	กิจกรรม 2 (ระดับ 2)	
6	วัดค่าของแรงบีบมือ (Hand Grip) (Posttest)				

การทดลองแบ่งผู้เข้าร่วมทดลองออกเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 30 คน โดยกลุ่มที่ 1 ทำการฝึกกับนักกิจกรรมบำบัด และกลุ่มที่ 2 ทำการฝึกกับอุปกรณ์ ทียูไอ ผ่านเกมคอมพิวเตอร์ ก่อนเริ่มการทดลองในวันแรกผู้ฝึกจะทำการสาธิตถึงขั้นตอนการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละชนิดให้กับผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละกลุ่ม โดยทำให้ดู 3 ครั้ง และจับมือผู้เข้าร่วมการทดลองทำเพื่อให้รู้จักการใช้งานของแต่ละอุปกรณ์ทีละคนซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

กิจกรรมที่ 1 เป็นกิจกรรมฝึกทักษะการทำงานของกล้ามเนื้อฝ่ามือ ข้อมือ และนิ้วมือ

กลุ่มที่ 1: ผู้เรียนจะทำการฝึกกับนักกิจกรรมบำบัดจะต้องใช้สายบีบน้ำ เพื่อเติมน้ำให้เต็มถังให้ครบจำนวน ตามเวลาที่กำหนด (ดังภาพที่ 1)

กลุ่มที่ 2: ทำการฝึกโดยใช้อุปกรณ์ ทียูไอ ผ่านเกมคอมพิวเตอร์ ต้องทำการบีบลูกบอลยางเพื่อยิงตัวมอนสเตอร์ที่มีสีแตกต่างกัน และวิ่งออกมาในทิศทางที่ต่างกัน ให้ครบตามจำนวนที่กำหนด (ดังภาพที่ 2) โดยกิจกรรมแรกนี้จะใช้เวลาทั้งสิ้น 15 นาทีต่อคน

ภาพที่ 1 ภาพอุปกรณ์ใช้ในการบีบน้ำเข้าถัง

ภาพที่ 2 เกมมอนสเตอร์ที่มีสีแตกต่างกัน พร้อมอุปกรณ์ทียูไอ ใช้ในการบีบเพื่อยิงตัวมอนสเตอร์

กิจกรรมที่ 2 เป็นกิจกรรมเพื่อฝึกความสัมพันธ์ระหว่างตากับมือ

กลุ่มที่ 1: ฝึกด้วยการใช้ค้อนไม้ตีตัวตุ่น ที่โผล่สลับไป มา ด้วยค้อนไม้ (ดังภาพที่ 3) และในขณะเดียวกัน

กลุ่มที่ 2: ฝึกด้วยอุปกรณ์ ทียูไอ ต้องทำการเก็บผลไม้ โดยใช้ค้อนตีตัวอุปกรณ์ตามสีและตำแหน่งของผลไม้ที่ตกลงมาแต่ละชนิดในทิศทางที่ต่างกัน (ดังภาพที่ 4) กิจกรรมนี้ยังคงใช้เวลาในการฝึก 15 นาที ต่อคน เช่นเดียวกับกิจกรรมที่หนึ่ง

ภาพที่ 3 ภาพอุปกรณ์ในการฝึกความสัมพันธ์ระหว่างตา กับมือ

ภาพที่ 4 เกมเก็บผลไม้ที่มีสีต่างกัน และอุปกรณ์ทียูไอ ที่ใช้ในทุบตามสีและตำแหน่งของผลไม้

โดยการทดลองในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 เป็นการฝึกในระดับง่าย ผู้เล่นทำให้ครบตามจำนวน โดยไม่มีเวลาเป็นตัวกำหนดในแต่ละกิจกรรม และต่อมาในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 เป็นการฝึกในระดับที่ยากขึ้น โดยในส่วนของเทคโนโลยีทียูไอนั้น กิจกรรมที่ 1 จะเพิ่มความเร็วและจำนวนตัวมอนสเตอร์ที่วิ่งมาในทิศทางที่ต่างกัน ในขณะที่กิจกรรมที่ 2 จะเพิ่มจำนวนและความเร็วของผลไม้ที่ร่วงลงมา ทั้งนี้ในส่วนของการฝึกกับนักกิจกรรมบำบัดนั้นทั้งกิจกรรมที่ 1 และ 2 จะเพิ่มระดับความยากด้วยการกำหนดเวลาให้ผู้เข้าร่วมทดลองทำให้ได้จำนวนมากที่สุด ในเวลาที่กำหนด

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญา ที่มาเรียนในศูนย์การศึกษาพิเศษใน 3 จังหวัด ได้แก่ กำแพงเพชร ตาก และสุโขทัย ในปีการศึกษา 2561 รวมจำนวน 60 คน มีเพศหญิงเท่ากับเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 50 มีอายุ 0 - 10 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51.6 และ อายุ 21 - 30 ปี น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 11.7 ซึ่งอยู่ในจังหวัดตากมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50.0 และอยู่ในจังหวัดกำแพงเพชร และสุโขทัยน้อยเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 25.0 และการวัดดัชนีมวลกาย ส่วนใหญ่ผอมเกินไป คิดเป็นร้อยละ 60.0 และน้ำหนักเกินน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 3.3 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญา จำนวน 60 คน

ลำดับ	ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (N=60)	ร้อยละ
1	**เพศ**		
	ชาย	30	50.0
	หญิง	30	50.0
2	**อายุ**		
	0 - 10	31	51.6
	11 - 20	22	36.7
	21 - 30	7	11.7
3	**จังหวัด**		
	กำแพงเพชร	15	25.0
	ตาก	30	50.0
	สุโขทัย	15	25.0
4	**การวัดดัชนีมวลร่างกาย (BMI)**		
	ผอมเกินไป	36	60.0
	ปกติ	14	23.3
	น้ำหนักเกิน	2	3.3
	อ้วน	3	5.0
	อ้วนมาก	5	8.4

จากการทดลองวัดผลทำโดยการวัดแรงบีบมือของผู้เข้าร่วมการทดลอง ซึ่งจะทำการวัดค่า 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกก่อนเข้ารับการฝึกในสัปดาห์แรก และวัดอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 6 หลังจากทำการฝึกเสร็จสิ้น จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ผู้ที่ทำการฝึกทักษะพัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็กผ่านอุปกรณ์ทียูไอ มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ของแรงบีบมือสูงขึ้น 100% โดยพบว่าส่วนใหญ่มีแรงบีบมือเพิ่มขึ้นในช่วง 4-6 กก. จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 53.3 รองลงมา มีแรงบีบคือ มีแรงบีบเพิ่มขึ้นในช่วง 1-3 จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 33.4 และมีแรงบีบเพิ่มขึ้นมากกว่า 6 กก. จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 13.3 ตามลำดับ ทั้งนี้ในภาพรวมมีแรงบีบมือเพิ่มขึ้น 30 คนคิดเป็นร้อยละ 100.0 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ของการวัดแรงบีบมือ (Hand Grip Test) ก่อนและหลังการฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอผ่านเกมคอมพิวเตอร์

คนที่	ก่อนทดลอง (กก.)	หลังทดลอง (กก.)	ระดับการเพิ่ม	คนที่	ก่อนทดลอง (กก.)	หลังทดลอง (กก.)	ระดับการเพิ่ม
T1	11	17	**	**T16**	8	11	*
T2	7	11	**	**T17**	8	14	**
T3	8	16	***	**T18**	9	14	**
T4	22	29	***	**T19**	6	11	**
T5	15	19	**	**T20**	15	17	*
T6	2	10	***	**T21**	0	3	*
T7	11	15	**	**T22**	6	9	*
T8	5	9	**	**T23**	21	24	*
T9	5	8	*	**T24**	26	29	*
T10	7	13	**	**T25**	14	18	**
T11	1	6	**	**T26**	15	16	*
T12	8	16	***	**T27**	6	8	*
T13	3	7	**	**T28**	3	7	**
T14	4	6	*	**T29**	4	8	**
T15	0	4	**	**T30**	5	10	**

หมายเหตุ * มีแรงบีบเพิ่มขึ้นในช่วง 1-3 กก.; ** มีแรงบีบมือเพิ่มขึ้นในช่วง 4-6 กก. และ
*** มีแรงบีบเพิ่มขึ้นมากกว่า 6 กก.

จากผลการเปรียบเทียบค่าวัดแรงบีบมือกลุ่มที่ฝึกด้วยวิธีการสอนปกติกับครู/นักกิจกรรมบำบัด จำนวน 30 คน พบว่าส่วนใหญ่มีแรงบีบคงที่ จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 43.3 รองลงมา มีแรงบีบเพิ่มขึ้นในช่วง 1-3 กก. จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 36.7 มีแรงบีบเพิ่มขึ้นในช่วง 4-6 กก. มีจำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 6.7 และมีแรงบีบลดลงในช่วง 1-3 กก. จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 13 ตามลำดับ ทั้งนี้ใน

ภาพรวมมีแรงบีบมือเพิ่มขึ้น 13 คนคิดเป็นร้อยละ 43.3 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ของการวัดแรงบีบมือ (Hand Grip Test) ก่อนและหลังการฝึกโดยวิธีการฝึกปกติกับครู/นักกิจกรรมบำบัด จำนวน 30 คน

คนที่	ก่อนทดลอง (กก.)	หลังทดลอง (กก.)	ระดับการเพิ่ม	คนที่	ก่อนทดลอง (กก.)	หลังทดลอง (กก.)	ระดับการเพิ่ม
N1	0	1	*	**N16**	14	15	*
N2	24	25	*	**N17**	0	1	*
N3	0	0		**N18**	0	2	*
N4	2	3	*	**N19**	9	8	
N5	8	8		**N20**	15	14	
N6	0	0		**N21**	0	0	
N7	5	6	*	**N22**	4	4	
N8	6	5		**N23**	3	3	
N9	7	7		**N24**	3	4	*
N10	0	1	*	**N25**	16	20	**
N11	19	19		**N26**	11	15	**
N12	15	15		**N27**	8	8	
N13	15	16	*	**N28**	0	0	
N14	1	1		**N29**	5	6	*
N15	9	9		**N30**	6	5	

หมายเหตุ * มีแรงบีบเพิ่มขึ้นในช่วง 1-3 ; ** มีแรงบีบมือเพิ่มขึ้นในช่วง 4-6 กก. และ
*** มีแรงบีบเพิ่มขึ้นมากกว่า 6 กก.

การทดสอบค่าเฉลี่ยค่าวัดแรงบีบมือกลุ่มที่ฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด หลังการฝึกจำนวน 30 คน มีค่าสูงกว่าก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ค่า Sig. 0.021 (t = -2.443) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ยอมรับ H1 ค่าของแรงบีบฯ ก่อนแตกต่างกับหลังที่ฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด โดยค่าวัดแรงบีบก่อนฝึกมีค่าเฉลี่ย 6.83 และ หลังฝึกมีค่าเฉลี่ย 7.37 แสดงว่าการฝึกด้วยกับครู/นักกิจกรรมบำบัด มีค่าแรงบีบมือเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5

การทดสอบค่าเฉลี่ย ค่าวัดแรงบีบมือกลุ่มที่ฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ หลังการจัดกิจกรรมด้วยเกมคอมพิวเตอร์จำนวน 30 คน สูงกว่าก่อนการจัดกิจรรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ค่า Sig 0.000 (t = -13.0) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ยอมรับ H1 ค่าของแรงบีบฯ ก่อนแตกต่างกับหลังที่ฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอการฝึกผ่านเกมฯ โดยค่าวัดแรงบีบก่อนฝึกมีค่าเฉลี่ย 8.50 และ หลังฝึกมีค่าเฉลี่ย 12.83 แสดงว่าการฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอมีค่าแรงบีบมือเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ส่วนค่าผลต่างของค่าวัดแรงบีบมือเฉลี่ยหลังจากการฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ ผ่านเกมคอมพิวเตอร์ สูงกว่า กลุ่มที่ฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ค่า Sig. 0.032 (t = 9.537) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ยอมรับ H1 ผลการฝึกทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน โดยค่าวัดแรงบีบกลุ่มที่เรียนปกติกับครูมีค่าเฉลี่ย .53 และ กลุ่มที่ฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอมีค่าเฉลี่ย 4.33 ดังแสดงในตารางที่ 7

จากการสังเกตระหว่างการทดลองพบว่าผู้ที่ทำการฝึกจากอุปกรณ์ทียูไอ ผ่านเกมคอมพิวเตอร์จะมีความกระตือรือร้น และอยู่กับการฝึกได้นานกว่าผู้ที่ฝึกกับนักกิจกรรมบำบัด อีกทั้งยังแสดงออกถึงความสนุกสนาน อยากกลับมาเล่นอีก โดยไม่มีผู้ใดแสดงออกถึงความเบื่อหน่าย และยิ่งไปกว่านั้นผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนมากยังให้ความสนใจกับตัวอุปกรณ์ โดยแสดงความต้องการอยากนำกลับไปเล่นที่บ้านได้อีก

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบระดับค่าวัดแรงบีบก่อน – หลังการฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด

H0: μ ค่าวัดแรงบีบมือก่อนฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด = μ ค่าวัดแรงบีบมือหลังการฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด

H1: μ ค่าวัดแรงบีบมือก่อนฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด $\neq$ μ ค่าวัดแรงบีบมือหลังการฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด

	N	ก่อน		หลัง		t	df	Sig.
		$\bar{X}$	SD.	$\bar{X}$	SD.			
แรงบีบมือกลุ่มที่ฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด	30	6.83	6.654	7.37	6.916	-2.443	29	0.021

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบระดับค่าวัดแรงบีบก่อน – หลังการฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ

H0: μ ค่าวัดแรงบีบมือก่อนฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ = μ ค่าวัดแรงบีบมือหลังการฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ

H1: μ ค่าวัดแรงบีบมือก่อนฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ $\neq$ μ ค่าวัดแรงบีบมือหลังการฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ

	N	ก่อน		หลัง		t	df	Sig.
		$\bar{X}$	SD.	$\bar{X}$	SD.			
แรงบีบมือกลุ่มที่ฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ	30	8.50	6.485	12.83	6.555	-13.000	29	0.000

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบระดับผลต่างของค่าวัดแรงบีบระหว่างการฝึกผ่านอุปกรณ์ทียูไอ เปรียบเทียบกับการฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด

H0: μ ผลต่างของค่าวัดแรงบีบจากการฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด = μ ฝึกโดยใช้อุปกรณ์ทียูไอ

H1: μ ผลต่างของค่าวัดแรงบีบจากการฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด $\neq$ μ ฝึกโดยใช้อุปกรณ์ทียูไอ

	N	หลัง		t	df	Sig.
		$\bar{X}$	SD.			
- ผลต่างแรงบีบมือกลุ่มที่เรียนกับครู/นักกิจกรรมบำบัด	30	.53	1.195	9.537	58	.032
- ผลต่างแรงบีบมือกลุ่มที่ฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ	30	4.33	1.825			

ผลการวิจัยครั้งนี้ ได้ข้อค้นพบซึ่งสามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

1. เด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาควรใช้กิจกรรมเพื่อพัฒนาร่างกายโดยใช้อุปกรณ์ที่มีเสียงและการเคลื่อนไหวสามารถกระตุ้นความสนใจและร่วมกิจกรรมได้เองโดยที่ครูไม่ต้องกระตุ้น ซึ่งไม่ซับซ้อนและยากเกินไปสำหรับความเข้าใจในการเล่นโดยเน้นการสัมผัสเมื่อเทียบกับการใช้เกมออนไลน์ที่อยู่ในแอพพลิเคชันบนแทบเล็ต สอดคล้องกับสุรางค์ (2546) ที่นำคอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อการเรียนรู้และช่วยสอนสร้างความสนใจของผู้เรียน ทุกพฤติกรรม และธานินทร์ (2549) ที่พัฒนาการเรียนรู้ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ร่วมกิจกรรมมีผลสัมฤทธิ์ในความสนใจและความพึงพอใจในการเรียนสูงขึ้น

2. ผลการพัฒนาการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กผ่านเกมคอมพิวเตอร์ พบว่า สามารถพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมัดเล็กให้มีแรงเพิ่มขึ้น โดยสามารถกระตุ้นความสนใจ โดยครูไม่ต้องกระตุ้นหรือเรียกให้ทำ จากการวิจัยพบว่าค่าวัดแรงบีบมือ มีค่าเฉลี่ยหลังการฝึกเพิ่มขึ้นมากกว่าการฝึกด้วยอุปกรณ์ของครู ซึ่งสอดคล้องกับ Ortega-Tudela and Gomez-Ariza (2006) ที่พบว่าการใช้เทคโนโลยีสื่อประสมสามารถเรียนรู้ได้ดีกว่าผู้ที่เรียนรู้แบบเดิมจากครู เนื่องจากภาพและเสียง จะช่วยดึงดูดความสนใจส่งผลให้กระบวนการจำในสมองทำงานได้ดีขึ้น

3. จากการสังเกตระหว่างการทดลองยังพบว่าเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญา สามารถเรียนรู้และใช้อุปกรณ์ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการใช้งานที่เลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marco *et al*. (2009) ที่นำเทคโนโลยีทียูไอที่สามารถจับต้องได้มาร่วมในการเรียนรู้และความเข้าใจจากเกมสำหรับเด็กอายุ 3-4 ปี และ Marshall (2007) ที่กล่าวว่า การนำเทคโนโลยี ที ยู ไอ มาใช้ในการเรียนรู้ของผู้บกพร่องทางสติปัญญานั้น ใช้เวลาในการเรียนรู้น้อย เนื่องจากใช้งานได้ง่าย และเลียนแบบธรรมชาติ

4. จากการทดลองพบว่าผู้เรียนที่ฝึกกล้ามเนื้อมัดเล็กโดยใช้เทคโนโลยีที ยู ไอ มีการสนองตอบต่อสื่ออย่างรวดเร็ว ไม่ลังเล ในขณะที่ผู้ที่เรียนรู้กับครูฝึกยังขาดความมั่นใจในการตัดสินใจ ทำให้การฝึกไม่ต่อเนื่อง เช่นเดียวกับที่ Black and Wood (2003) ได้ชี้ให้เห็นถึงข้อดีของคอมพิวเตอร์ที่นำมาช่วยในการเรียนรู้ของผู้ที่บกพร่องทางสติปัญญาว่าการเรียนรู้ด้วยคอมพิวเตอร์นั้นมีภาพเคลื่อนไหว และเสียง จึงช่วยส่งเสริมและดึงดูดความสนใจในการ

เรียนรู้ได้ดี อีกทั้งคอมพิวเตอร์ยังช่วยสร้างความมั่นใจให้กับเด็กอีกด้วย

สรุป

งานวิจัยเรื่อง การประเมินประสิทธิภาพของการฝึกทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็กโดยการใช้ส่วนเชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ผ่านเกมคอมพิวเตอร์สำหรับเด็กพิการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อนวัตกรรมในการฝึกพัฒนาการกล้ามเนื้อมัดเล็กสำหรับเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาในเขตภาคเหนือตอนล่าง และเพื่อศึกษาถึงผลสัมฤทธิ์ในการฝึกการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กผ่านเกมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ส่วนเชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ (Tangible user interface) เพื่อเปรียบเทียบกับการฝึกกับครูผู้สอน

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า

กลุ่มเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาที่ฝึกทักษะพัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็กผ่านอุปกรณ์ทียูไอ มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ของแรงบีบมือสูงขึ้น โดยภาพรวมมีค่าแรงบีบเพิ่มขึ้นทุกคนคิดเป็นร้อยละ 100 ขณะที่กลุ่มเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาที่ฝึกปกติกับครู/นักกิจกรรมบำบัด ในภาพรวมมีแรงบีบมือเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 43.3 แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเครื่องมือผ่านเกมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ส่วนเชื่อมต่อประสานแบบจับต้องได้ (ทียูไอ) สามารถสร้างกล้ามความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมัดเล็กได้มากกว่าวิธีการฝึกปกติ

ผลสัมฤทธิ์มีค่าวัดแรงบีบมือก่อนและหลังการทดลอง ในการฝึกทักษะการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กของผู้มีความบกพร่องทางสติปัญญา เปรียบเทียบระดับค่าวัดแรงบีบก่อน - หลังการฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลสัมฤทธิ์มีค่าวัดแรงบีบมือก่อนและหลังการทดลอง ในการฝึกทักษะการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กของผู้มีความบกพร่องทางสติปัญญา เปรียบเทียบระดับค่าวัดแรงบีบก่อน - หลังการฝึกด้วยอุปกรณ์ทียูไอ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลสัมฤทธิ์มีค่าวัดแรงบีบมือ ในการฝึกทักษะการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กของผู้มีความบกพร่องทางสติปัญญาเปรียบเทียบระดับผลต่างของค่าวัดแรงบีบระหว่างการฝึกผ่านอุปกรณ์ทียูไอเปรียบเทียบกับการฝึกกับครู/นักกิจกรรมบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

นอกจากนี้ยังพบว่าการฝึกทักษะการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กด้วยอุปกรณ์ทียูไอ สามารถช่วยดึงดูดความสนใจ สร้างความสนุกสนาน ให้กับผู้เรียนกลุ่มที่มีความบกพร่องทางจึงส่งผลให้ผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่กับการฝึกได้นานกว่าขึ้นการฝึกกับนักกิจกรรมบำบัด เนื่องจากมีการสัมผัสจริง มีเสียงที่กระตุ้น และชื่นชมเมื่อสามารถเล่นตามคำสั่งได้ถูกต้อง กิจกรรมดังกล่าวยังส่งผลให้เด็กกลุ่มดังกล่าวอยากมาเรียนโดยที่ผู้ปกครองไม่ต้องบังคับหรือกระตุ้น ทำให้ผู้ปกครองสามารถไม่ต้องหยุดงานเพื่อดูแลเด็กที่บ้าน ซึ่งครอบครัวของกลุ่มเด็กส่วนใหญ่มีฐานะยากจน

ครู/นักกิจกรรมบำบัด มีเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ช่วยกระตุ้นการฝึกทักษะในการฝึกกล้ามเนื้อมัดเล็กเพิ่มเติมจากกิจกรรมปกติที่ใช้ ลดการทำงานซ้ำๆ จากการฝึกทักษะการฝึกกล้ามเนื้อมัดเล็ก สร้างเสริมให้ครู/นักกิจกรรมบำบัดมีแนวทางการพัฒนาสื่ออุปกรณ์ให้ปฏิบัติงานตามเป้าหมายได้เร็วขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการทำวิจัย และ

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบ และแก้ไขปรับปรุงบทความฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ทวีศักดิ์ สิริรัตน์เรขา. 2560. **ความบกพร่องทางสติปัญญา.** แหล่งที่มา: http://www.happyhomeclinic.com/sp0 5 -intellectual-disability.html, 2 กรกฎาคม 2560.

ธานินทร์ รักสัตย์. 2549. **การพัฒนาทักษะพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เรื่อง จำนวนนับ สำหรับเด็กบกพร่องทางสติปัญญาระดับฝึกได้ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์.** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. แหล่งที่มา: http://cmuir.cmu.ac.th/handle/6653943832/12149, 2 กรกฎาคม 2560.

นพวรรณ ศรีวงค์พานิช, ชนิสา เวชวิรุฬห์, วันทนี ผลสมบูรณ์, จันทร์เพ็ญ ธัชสินพงษ์, กิ่งสร เกาะประเสริฐ, ธีรพล เชื้อสุข, อนัญญา อนุพรวัฒนากิจ และ สุภาภรณ์ ระยันต์. 2560. **บกพร่องทางสติปัญญาเรื่องภาวะบกพร่องทางสติปัญญา / ภาวะปัญญาอ่อน.** แหล่งที่มา: http://rajanukul.go.th/main/_admin/images/groupreview/grouppreview0000008.pdf, 2 กรกฎาคม 2560.

ผดุง อารยะวิญญู. 2542. **การเรียนร่วมระหว่างเด็กปกติกับเด็กที่มีความต้องการพิเศษ.** โรงพิมพ์รำไทยเพรส จำกัด, กรุงเทพฯ.

เยาวพา เดชะคุปต์. 2528. **กิจกรรมสำหรับเด็กก่อนวัยเรียน.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สุรางค์ สุวรรณหล่อ. 2546. **การใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการเรียนรู้คำศัพท์ภาษาอังกฤษ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2.** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. แหล่งที่มา: http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2546/edel0546ss_abs.pdf, 2 กรกฎาคม 2560.

American Psychiatric Association. 2013. Neurodevelopmental Disorders, pp.31-86. *In* **American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders 5th ed. (DSM-5).** American Psychiatric, Washington DC.

Black, B. and Wood, A. 2003. **Utilizing Information Communication Technology to Assist the Education of Individuals with Down Syndrome.** The Down Syndrome Educational Trust, Hampshire.

Choosri, N., Pookao, C., Swangtrakul, N. and Atkin, A. 2017. Tangible interface for stimulating child language cognitive skill. **IADIS International Journal on WWW/Internet** 15(2): 17-31.

Jeong, D., Kerci, E. and Lee K. 2010. TaG-Games: Tangible geometric games for assessing cognitive problem-solving skills and fine motor proficiency, pp. 32-37. *In* **IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligence Systems.** University of Utah, Salt Lake City, USA.

Felix, V., Mena, L., Ostos, R. and Maestre, G. 2017. A pilot study of the use of emerging computer technologies to improve the effectiveness of reading and writing therapies in children with Down syndrome.

British Journal of Educational Technology 48(2): 611-624.

Guerrero, J.J., Guerrero, L., López, G., Cáliz, D. and Bravo, J. 2015. Creating TUIs using RFID sensors - A case study based on the literacy process of children with Down syndrome. **Sensors (Basel)** 15(7): 14845-14863.

การผลิตเอนไซม์ไซลาเนสจากยีสต์ *Candida glabrata* strain SKa4/2 โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Xylanase Production by *Candida glabrata* Strain SKa4/2 using Agricultural Residues

จันทรพร ทองเอกแก้ว * และ วัลลี ปะตังทะสา

Jantaporn Thongekkaew * and Wanlee Patangtasa

Received: 24 July 2019, Revised: 5 September 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

จากการศึกษาความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสของยีสต์ *Candida glabrata* strain SKa4/2 โดยการเลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจนจากสารสกัดจากยีสต์ (yeast extract) ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งคาร์บอนจากน้ำตาลกลูโคส (glucose) หรือ เบอร์ชวู๊ดไซแลน (Birchwood xylan) 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์ได้ดีที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีสารสกัดจากยีสต์ ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และ ใช้เบอร์ชวู๊ดไซแลน เป็นแหล่งคาร์บอน ให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ เท่ากับ 0.89 ยูนิตต่อมิลลิลิตร จากนั้นทำการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ในอาหารที่มีเบอร์ชวู๊ดไซแลน ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์ได้สูงที่สุด (0.85 ยูนิตต่อมิลลิลิตร) เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีเบอร์ชวู๊ดไซแลน 1 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการทดสอบความสามารถของยีสต์ในการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด เป็นแหล่งคาร์บอน พบว่า ยีสต์สามารถใช้ชานอ้อยเป็นแหล่งคาร์บอนได้ดีที่สุด โดยให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ เท่ากับ 0.61 ยูนิตต่อมิลลิลิตร การศึกษานี้จึงสรุปได้ว่ายีสต์ *Candida glabrata* strain SKa4/2 สามารถใช้ชานอ้อยเป็นแหล่งคาร์บอนในการผลิตเอนไซม์ได้ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตสารที่มีประโยชน์จากการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

คำสำคัญ: ยีสต์, ไซลาเนส, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon-Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon-Ratchathani 34190, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): jantaporn.t@ubu.ac.th

ABSTRACT

Xylanase production from *Candida glabrata* strain SKa4/2 in the medium containing yeast extract as nitrogen source at the different concentration of 0.5 and 1% and carbon sources from glucose or Birchwood xylan at the concentration of 1% was investigated. The result showed that this yeast produced the highest yields of xylanase when grew in the medium containing 1% yeast extract and Birchwood xylan as a carbon source with the enzyme activity of 0.89 UmL^{-1}. Among the different concentration of Birchwood xylan (0.5-1.5%) on xylanase production, the maximum enzyme activity was achieved in the medium containing 1% Birchwood xylan (0.85 UmL^{-1}). Amongst different agricultural waste samples (such as sugarcane bagasse, rice straw and corn husk) as a carbon sources, sugarcane bagasse gave the highest yields of xylanase and the activities was 0.61 UmL^{-1}. This study suggests that sugarcane bagasse could be utilized as a carbon source for economical xylanase production by *Candida glabrata* strain SKa4/2. This may in turn reduce the cost of enzyme production leading to efficient use of lignocellulosic materials to produce value-added products.

Key words: yeast, xylanase, agricultural residues

บทนำ

เอนไซม์ไซลาเนส (xylanase) เป็นเอนไซม์ที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลไซโลส การฟอกสีกระดาษ อาหารสัตว์ อาหารเสริม และ การผลิตเอทานอล สำหรับพลังงานทางเลือก (Bocchini *et al*., 2003; Damiano *et al*., 2003; Suchita and Ramesh, 2006; Ahmed *et al*., 2009; Romdhane *et al*., 2010; Teixeira *et al*., 2010) แต่ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้เอนไซม์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาแพง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตมีราคาสูง จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรม ปลูกพืชเศรษฐกิจต่างๆ เช่น ข้าว อ้อย ข้าวโพด ยางพารา ฯลฯ สำหรับการบริโภคและป้อนให้กับอุตสาหกรรม ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกข้าวโพด ชานอ้อย และฟางข้าว เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้จะมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส สารประกอบเพคติค และลิกนินในปริมาณสูง (Kasemsumran *et al*., 2010) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญและผลิตสารที่มีประโยชน์ได้ เช่น เอนไซม์ หรือ วิตามิน เป็นต้น (Rajoka *et al*., 2012) การนำวัสดุเหล่านี้มาใช้เพื่อผลิตเอนไซม์ไซลาเนสอาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่เพิ่มการใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือนี้ อีกทั้งเป็นการลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งได้

เอนไซม์ไซลาเนส (Xylanase หรือ Endo-1,4-beta-xylanase; EC 3.2.1.8) เป็นเอนไซม์ย่อยสลายไซแลนที่เป็นองค์ประกอบหลักของเฮมิเซลลูโลสพบได้ในผนังเซลล์พืช (Kuhad and Singh, 1993) โครงสร้างของไซแลนจะเป็นสายโพลีเมอร์ที่มีน้ำตาลไซโลส (D-xylose) เป็นหลักประมาณ 85-90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลอะราบิโนส (L-arabinose) และกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) (Kulkarni *et al*., 1999) การย่อยสลายไซแลนต้องอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ อะซิติล เอสเทอเรส

(acetyl esterase) อะริโนฟูราโนซิเดส (L-arabinofuranosidase) และกลูคูโรนิเดส (glucuronidase) เพื่อตัดหน่วยย่อยที่เป็นกิ่งก้านของไซแลนออก จากนั้นสายหลักของไซแลนจะถูกย่อยด้วยกลุ่มของเอนไซม์ไซลาเนส ได้แก่ 1. เอนโดไซลาเนส (endo-xylanase) ทำหน้าที่ย่อยพันธะ β-(1,4) ที่อยู่ภายในสายหลักแบบสุ่ม ได้ผลผลิตเป็นไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ (xylooligosaccharides) 2. เอกโซไซลาเนส (exo-xylanase) ทำหน้าที่ย่อยสลายไซแลนและไซโลโอลิโกแซคคาไรด์ จากด้านที่เป็น non-reducing end ให้ผลผลิตเป็นน้ำตาลไซโลส และ 3. เบตา ไซโลซิเดส (β-xylosidase) ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่เป็นผลผลิตจากการทำงานของเอนโดไซลาเนส และเอกโซไซลาเนส ได้เป็นน้ำตาลไซโลส เพื่อเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิตเอนไซม์ และการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสจากยีสต์สายพันธุ์ *Candida glabrata* strain SKa4/2 ที่คัดแยกจากบริเวณป่าภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นแหล่งคาร์บอนในการเลี้ยงเชื้อ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมกล้าเชื้อ

เขี่ยเชื้อยีสต์สายพันธุ์ *Candida glabrata* strain SKa4/2 จากจานอาหาร YPD (Yeast extract Peptone Dextrose Agar) ลงในอาหารเหลว YM (Yeast extract-Malt extract) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. การศึกษาความเข้มข้นของแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ไซลาเนส

ถ่ายเชื้อยีสต์จากอาหารเหลว YM ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยเปปโตน (peptone) 0.5 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งไนโตรเจน คือ สารสกัดจากยีสต์ ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยมีน้ำตาลกลูโคส หรือ เบอร์ชวู๊ดไซแลน 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งคาร์บอน ในปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากัน (OD_{600} = 0.1) จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน ทำการเก็บเชื้อทุก 24 ชั่วโมง มาวัดการเจริญที่ OD_{600} และนำส่วนใสที่ได้หลังจากการปั่นเหวี่ยงเซลล์ (supernatant) มาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

3. การทดสอบความสามารถของยีสต์ในการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสในอาหารที่มีแหล่งคาร์บอนที่ความเข้มข้นต่างๆ

ถ่ายเชื้อยีสต์จากอาหารเหลว YM ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเปปโตน 0.5 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดจากยีสต์ 1 เปอร์เซ็นต์ และ แหล่งคาร์บอน คือ เบอร์ชวู๊ดไซแลน ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากัน (OD_{600} = 0.1) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน ทำการเก็บเชื้อทุก 24 ชั่วโมง มาวัดการเจริญ และวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

4. การทดสอบความสามารถของยีสต์ในการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นแหล่งคาร์บอน

4.1 การเตรียมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

นำชานอ้อยและฟางข้าว ที่ผ่านการทำความสะอาดและตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 เซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ส่วนเปลือกข้าวโพดจะอบที่อุณหภูมิ 80 เซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากนั้นนำชานอ้อย ฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด มาปั่นให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาด 25 เมช (mesh) เก็บวัสดุที่ได้ในขวดป้องกันความชื้นเพื่อรอการนำไปใช้ต่อไป

4.2 การทดสอบการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสของยีสต์

ถ่ายเชื้อยีสต์จากอาหารเหลว YM ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเปปโตน 0.5 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดจากยีสต์ 1เปอร์เซ็นต์ และ แหล่งคาร์บอนต่างๆ ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด 1 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากัน (OD_{600} = 0.1) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน ทำการเก็บเชื้อทุก 24 ชั่วโมง มาวัดการเจริญ และวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

5. การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไซลาเนส

นำส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงเซลล์ (supernatant) มาหากิจกรรมของเอนไซม์ไซลาเนส ที่มีเบอร์ชวู๊ดไซแลนเป็นสารตั้งต้น โดยการปิเปตสารละลายเบอร์ชวู๊ดไซแลน 1 เปอร์เซ็นต์ใน 50 mM citrate buffer pH 5.5 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติม supernatant ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา นำสารละลายจากการบ่ม มาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โดยการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยสารละลาย Somogyi–Nelson (Somogyi, 1952) กำหนดให้ 1 ยูนิตของเอนไซม์ไซลาเนส หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายเบอร์ชวู๊ดไซแลน 1 ไมโครโมลเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ในเวลา 1 นาที

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

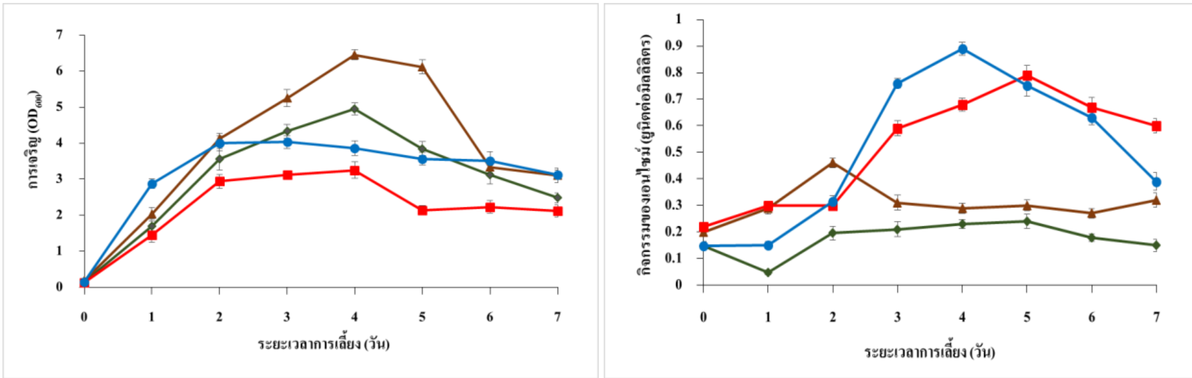
นำค่าจากผลการทดลองจากการวิเคราะห์การทดลองละ 3 ซ้ำ มาคำนวณค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล เวอร์ชัน 2013

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ความเข้มข้นของแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ไซลาเนส

จากการเลี้ยงเชื้อยีสต์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเปปโตน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งไนโตรเจน คือ สารสกัดจากยีสต์ ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ และ น้ำตาลกลูโคส หรือ เบอร์ชวู๊ดไซแลน 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งคาร์บอน ผลการทดลองพบว่า ยีสต์สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน ในขณะที่การผลิตเอนไซม์ของยีสต์ จะพบว่า ยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์ได้ดีที่สุดในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และใช้เบอร์ชวู๊ดไซแลนเป็นแหล่งคาร์บอน มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ 0.89 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 4 ของการเลี้ยง ดังภาพที่ 1 ดังนั้นจึงเลือกใช้แหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองต่อไป

(ก) (ข)



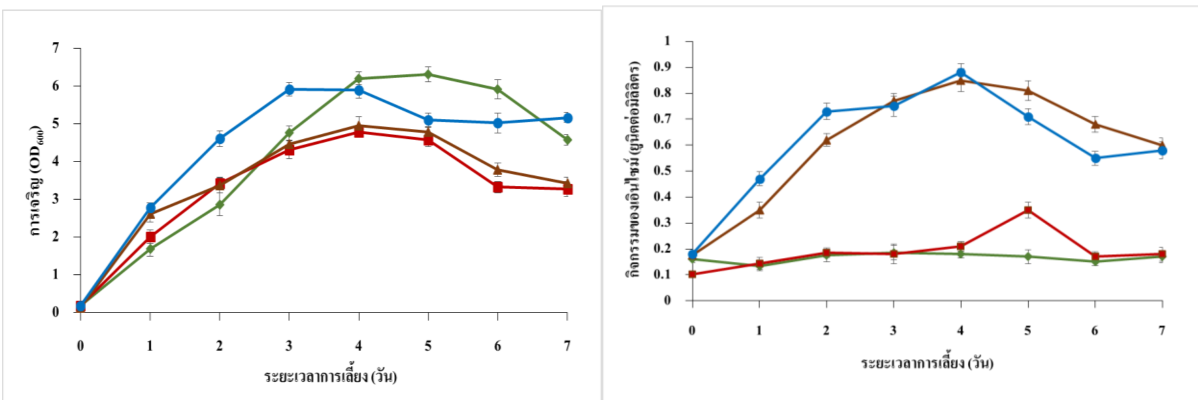
ภาพที่ 1 การเจริญ (ก) และการผลิตเอนไซม์ไซลาเนส (ข) ในอาหารเหลวที่มีแหล่งไนโตรเจนความเข้มข้น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ที่มีแหล่งคาร์บอนจากน้ำตาลกลูโคสหรือเบอร์ชวู๊ดไซแลน

0.5% สารสกัดจากยีสต์ + 1% น้ำตาลกลูโคส
1% สารสกัดจากยีสต์ + 1% น้ำตาลกลูโคส
0.5% สารสกัดจากยีสต์ + 1% เบอร์ชวู๊ดไซแลน
1% สารสกัดจากยีสต์ + 1% เบอร์ชวู๊ดไซแลน

2. การผลิตเอนไซม์ไซลาเนสของยีสต์ในอาหารที่มีแหล่งคาร์บอนความเข้มข้นต่างๆ

จากการเลี้ยงเชื้อยีสต์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเปปโตน 0.5 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดจากยีสต์ 1 เปอร์เซ็นต์ และ แหล่งคาร์บอน คือ เบอร์ชวู๊ดไซแลน ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0 (ใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน) 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลอง พบว่า ยีสต์สามารถเจริญได้ดีทั้งในอาหารที่มีน้ำตาลกลูโคสและมีเบอร์ชวู๊ดไซแลน ในขณะที่การผลิตเอนไซม์ของยีสต์ พบว่า ยีสต์มีการผลิตเอนไซม์ได้ดีในอาหารที่มีเบอร์ชวู๊ดไซแลน ที่ความเข้มข้น 1-1.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ 0.85 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 4 ดังภาพที่ 2 ดังนั้นจึงเลือกใช้แหล่งคาร์บอนที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ในการทดลองต่อไป

(ก) (ข)

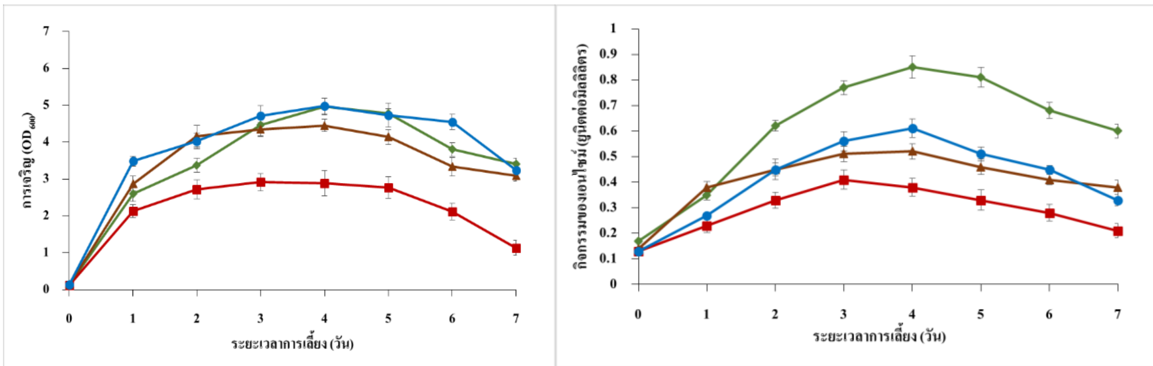


ภาพที่ 2 การเจริญ (ก) และการผลิตเอนไซม์ไซลาเนส (ข) ในอาหารเหลวที่มีเบอร์ชวู๊ดไซแลนที่ความเข้มข้นต่างๆ 0 (♦), 0.5 (■), 1.0 (▲) และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ (●)

3. การผลิตเอนไซม์ไซลาเนสของยีสต์โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นแหล่งคาร์บอน

จากการเลี้ยงเชื้อยีสต์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเปปโตน 0.5 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดจากยีสต์ 1 เปอร์เซ็นต์ และ แหล่งคาร์บอนต่างๆ ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด 1 เปอร์เซ็นต์ และ เบอร์ชวู๊ดไซแลน (ตัวเปรียบเทียบ) พบว่า ยีสต์สามารถเจริญในอาหารที่มีชานอ้อยและเปลือกข้าวโพดใกล้เคียงกับเบอร์ชวู๊ดไซแลน ในขณะที่การผลิตเอนไซม์ของยีสต์ พบว่า ยีสต์สามารถผลิตเอนไซม์ได้สูงที่สุดจากอาหารที่มีเบอร์ชวู๊ดไซแลน รองลงมา คือ ชานอ้อย และ เปลือกข้าวโพด มีค่ากิจกรรมเท่ากับ 0.85, 0.61 และ 0.52 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 4 ของการเลี้ยง ส่วนการเลี้ยงเชื้อในฟางข้าว จะเจริญและให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต่ำที่สุด ดังภาพที่ 3

(ก) (ข)



ภาพที่ 3 การเจริญ (ก) และการผลิตเอนไซม์ไซลาเนส (ข) จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เบอร์ชวู๊ดไซแลน (◆) ชานอ้อย (●) ฟางข้าว (■) เปลือกข้าวโพด (▲)

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสจากยีสต์สายพันธุ์ *Candida glabrata* strain SKa4/2 พบว่า ยีสต์สามารถใช้สารสกัดจากยีสต์เป็นแหล่งไนโตรเจน ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ได้ดีกว่าที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และพบว่ายีสต์สามารถผลิตเอนไซม์ในอาหารที่มีแหล่งคาร์บอน คือ เบอร์ชวู๊ดไซแลนได้ดีกว่าน้ำตาลกลูโคส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำตาลกลูโคสจะไปกดการทำงาน (repressor) การสร้างยีนเพื่อผลิตเอนไซม์ไซลาเนส แต่จะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารเพื่อสร้างเป็นพลังงาน ส่งผลให้จุลินทรีย์มีการเจริญที่ดี ในขณะที่ไซแลนจะเป็นตัวเหนี่ยวนำ (inducer) ในการสร้างยีนเพื่อผลิตเอนไซม์ไซลาเนส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Gupta and Kar (2008) ที่พบว่าเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อ *Streptomyces syaneus* SN32 ในอาหารที่มีทั้งน้ำตาลกลูโคสและไซแลนจะไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์ไซลาเนสในช่วงแรก แต่จะตรวจพบกิจกรรมของเอนไซม์หลังจากเชื้อมีการใช้น้ำตาลกลูโคสหมดไป สำหรับความเข้มข้นของเบอร์ชวู๊ดไซแลนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์ของยีสต์จะเท่ากับ 1.0-1.5 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการผลิตเอนไซม์นี้ โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารอาหารที่แตกต่างกัน เช่น จากรายงานของ Kamble and Jadhav (2012) พบว่า *Cellulosimicrobium* sp. MTCC 10645 สามารถผลิตเอนไซม์ไซลาเนสได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่แหล่งคาร์บอนมีความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Poosarla and Chandra (2010) พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสจาก *Gracilibacillus* sp. TSCPVG อยู่ที่ 0.75 เปอร์เซ็นต์

ในปัจจุบันแม้ว่าจะมีรายงานการศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์ เพื่อลดต้นทุนการใช้ผงไซแลนที่มีราคาสูงจำนวนมาก เช่น รายงานของ Patel and Prajapati (2014) ที่พบว่า *Cladosporium* sp. สามารถผลิตเอนไซม์ไซลาเนสได้ในอาหารที่เตรียมจากรำข้าว และ รายงานของ Ho (2015) ที่พบว่า *Bacillus subtilis* ATCC 6633 สามารถผลิตเอนไซม์ไซลาเนสได้ดีในอาหารที่เตรียมจากเปลือกข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น หากแต่การศึกษาการผลิตเอนไซม์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรยังคงเป็นที่สนใจ เพื่อให้ได้แหล่งผลิตเอนไซม์จากจุลินทรีย์แหล่งใหม่ๆ ในงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบความสามารถในการสร้างเอนไซม์ไซลาเนสของยีสต์สายพันธุ์ SK-4/2 เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ ได้แก่ ชานอ้อย เปลือกข้าวโพด และฟางข้าว เปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงเชื้อทางการค้า (เบอร์ชวู๊ดไซแลน) พบว่า ยีสต์สามารถเจริญเติบโตในอาหารที่มีชานอ้อย และเปลือกข้าวโพด ดีกว่าฟางข้าว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชานอ้อยและเปลือกข้าวโพดมีน้ำตาลที่ตกค้าง ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลซูโครส ที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้ก่อนที่จะได้จากผลผลิตจากการทำงานของเอนไซม์ และจากการวิเคราะห์ปริมาณการผลิตเอนไซม์ของยีสต์สายพันธุ์ SK-4/2 นี้ พบว่า สามารถผลิตเอนไซม์ไซลาเนสได้สูงที่สุดในอาหารที่เตรียมจากเบอร์ชวู๊ดไซแลน รองลงมาคือ ชานอ้อย เปลือกข้าวโพด และ ฟางข้าว ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Milagres *et al*. (2004) ศึกษาการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสในสภาพถังหมักแบบมีอากาศโดยเชื้อรา *Thermoascus aurantiacus* ATCC 204492 พบว่า เชื้อสามารถผลิตเอนไซม์ได้ปริมาณสูงเมื่อใช้ชานอ้อยเป็นแหล่งคาร์บอน จากการที่เซลล์ยีสต์มีการผลิตเอนไซม์ได้แตกต่างกันในแต่ละชนิดของวัสดุเนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีผนังเซลล์ที่มีองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง และการเรียงตัวที่ต่างกันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากการศึกษาของ Kuhad and Singh (1993) พบว่า เบอร์ชวู๊ดไซแลน เป็นแหล่งคาร์บอนที่เอนไซม์ไซลาเนสย่อยได้มากที่สุด รองลงมา คือ เปลือกข้าวโพด ชานอ้อย และฟางข้าว ทั้งนี้เนื่องจากในฟางข้าว นอกจากจะมีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสแล้วยังมีซิลิกาในปริมาณสูง ซึ่งอาจมีผลต่อการนำเฮมิเซลลูโลสไปใช้ของเซลล์ยีสต์ ส่งผลให้เกิดการผลิตเอนไซม์ได้ช้ากว่าชานอ้อย และ เปลือกข้าวโพด

สรุป

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสจากยีสต์สายพันธุ์ SK-4/2 ด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเอนไซม์เพื่อลดต้นทุน เนื่องจากเป็นการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนับว่าเป็นการเพิ่มแหล่งการผลิตเอนไซม์จากการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้อีกแหล่งหนึ่ง ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ทั้งทางด้านการลดต้นทุนการผลิตจากการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกลับมาใช้ผลิตสารที่มีประโยชน์แล้วยังเป็นการช่วยลดมลภาวะจากวัสดุเหลือทิ้งที่มีจำนวนมากในประเทศได้อีกทางหนึ่งด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ในปีงบประมาณ 2557 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับการให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณคณะ

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในการเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

Ahmed, S., Riaz, S. and Jamil, A. 2009. Molecular cloning of fungal xylanases: An overview. **Applied Microbiology and Biotechnology** 84(1): 19-35.

Bocchini, D.A., Damiano, V.B., Gomes, E. and Da Silva, R. 2003. Effect of *Bacillus circulans* D1 thermostable xylanase on biobleaching of eucalyptus Kraft pulp. **Applied Biochemistry and Biotechnology** 105-108: 393-401.

Damiano, V.B., Bocchini, D.A., Gomes, E. and Da Silva, R. 2003. Application of crude xylanase from *Bacillus licheniformis* 77-2 to the bleaching of eucalyptus Kraft pulp. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 19: 139-44.

Gupta, U. and Kar, R. 2008. Optimization and scale up of cellulase free endo xylanase production by solid state fermentation on corn cob and by immobilized cells of a thermotolerant bacterial isolate. **Jordan Journal of Biological Science** 1: 129-134.

Ho, H.L. 2015. Xylanase production by *Bacillus subtilis* using carbon source of inexpensive agricultural wastes in two different approaches of submerged fermentation (SmF) and solid state fermentation (SsF). **Journal of Food Processing and Technology** 6(4): 1-9.

Kamble, R.D. and Jadhav, A.R. 2012. Production, purification and characterisation of alkali stable xylanase from *Cellulosimicrobium* sp. MTCC 10645. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine** 2(3): S1790-S1797.

Kasemsumran, S., Suttiwijitpukdee, N., Prasatsrisupub, J., Thanapase, W. and Miyata, S. 2010. Determination of chemical constituents in biomass for substitute energy utilization by using near infrared spectroscopy. **Agricultural Science Journal** 41: 65-68.

Kuhad, R.C. and Singh, A. 1993. Lignocellulose Biotechnology: Current and future prospects. **Critical Reviews in Biotechnology** 13(2): 151-172.

Kulkarni, N., Shendye, A. and Rao, M. 1999. Molecular and biotechnological aspects of xylanases. **FEMS Microbiology Review** 23(4): 411-456.

Milagres, A.M.F., Santos, E., Piovan, T. and Roberto, I.C. 2004. Production of xylanase by *Thermoascus aurantiacus* from sugar cane bagasse in an aerated growth fermenter. **Process Biochemistry** 39(11): 1387-1391.

Patel, K. and Prajapati, K. 2014. Xylanase production by *Cladosporium* sp. from agricultural waste. **International Journal of Current Research and Academic Review** 2(12): 84-90.

Poosarla, V.G. and Chandra, T. 2010. Production of novel halo-alkali-thermo-stable xylanase by a newly isolated moderately halophilic and alkali-tolerant *Gracilibacillus* sp. TSCPVG. **Process Biochemistry** 45(10): 1730-1737.

Rajoka, M.I., Ahmed, S., Hashmi, A.S. and Athar, M. 2012. Production of microbial biomass protein from mixed substrates by sequential culture fermentation of *Candida utilis* and *Brevibacterium lactofermentum*. **Annals of Microbiology** 62(3): 1173-1179.

Romdhane, B.I.B., Achouri, I.M. and Belghith, H. 2010. Improvement of highly thermostable xylanases production by *Talaromyces thermophilus* for the agro-industrials residue hydrolysis. **Applied Biochemistry and Biotechnology** 162: 1635-1646.

Somogyi, M. 1952. Notes on sugar determination. **The Journal of Biological Chemistry** 195(1): 19-23.

Suchita, N. and Ramesh, C.K. 2006. Bleaching of wheat straw rich soda pulp with xylanase from a thermoalkalophilic *Streptomyces cyaneus* SN32. **Bioresource Technology** 97(18): 2291-2295.

Teixeira, R.S.S., Siqueira, F.G., Souza, M.V., Filho, E.X.F and Bon, E.P.S. 2010. Purification and characterization studies of a thermostable-xylanase from *Aspergillus awamori*. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology** 37: 1041-1051.

สภาวะที่เหมาะสมของการใช้เลคตินเป็นตัวบ่งชี้การตอบสนองของกุ้งแชบ๊วยต่อการเหนี่ยวนำด้วยเชื้อก่อโรค

Optimizing Conditions for Using Lectin as a Marker for Banana Shrimp Response against Pathogenic Challenge

วิไลวรรณ เซ่งโห้ย[1] ปิ่นนภา ลิ่มพานิช[2] วนิดา ฤทธิเดช[2] และ ประภาพร อุทารพันธุ์[2*]
Wilaiwan Senghoi[1], Pinnapa Limpanich[2], Wanida Rittidach[2] and Prapaporn Utarabhand[2*]
Received: 20 March 2019, Revised: 16 December 2019, Accepted: 12 March 2020

บทคัดย่อ

เลคตินเป็นโปรตีนจดจำที่มีบทบาทสำคัญในระบบภูมิคุ้มกันของครัสเตเชียน ที่จดจำน้ำตาลของเซลล์ บุกรุก งานวิจัยนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เลคตินเป็นตัวบ่งชี้การตอบสนองของกุ้งแชบ๊วยต่อการเหนี่ยวนำด้วยเชื้อก่อโรค ได้วัดการเปลี่ยนแปลงแอคทิวิทีการเกาะกลุ่มเม็ดเลือดแดง (HA) ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งที่ฉีดด้วยเชื้อก่อโรค และพัฒนาเทคนิค ELISA มีความไวสูงวัดปริมาณเลคตินได้น้อยสุด 12 ng เมื่อฉีดกุ้งด้วยเชื้อปริมาณต่างๆ พบว่า *Vibrio harveyi* 5×10^7 เซลล์ มีผลทำให้ HA และ specific HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ 12 ชั่วโมง เป็น 6.8 และ 10.5 เท่า ตามลำดับ แล้วมีค่าลดลง สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเลคตินที่หาด้วยวิธี ELISA โดยโปรตีนในฮีโมลิมฟ์ทั้งหมดมีค่าลดลงจากการฉีดเชื้อ การฉีดเชื้อก่อโรค *V. harveyi* ในปริมาณที่เหมาะสมมีผลทำให้ระดับ HA และปริมาณเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ไม่ได้หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดการฉีดกุ้งด้วยน้ำเกลือ, inactive *V. harveyi* หรือเชื้อไม่ก่อโรค *Vibrio cholerae* การฉีดกุ้งด้วย WSSV 10^{-7} ของหัวเชื้อ ทำให้ค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มสูงสุดเป็น 3.8 เท่า ที่ 18 ชั่วโมง แล้วลดลง งานวิจัยนี้สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของเลคตินในฮีโมลิมฟ์สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การตอบสนองต่อเชื้อก่อโรคที่บุกรุก และบ่งบอกปริมาณเชื้อก่อโรคที่เหมาะสมในการเหนี่ยวนำกุ้ง คือ *V. harveyi* 5×10^7 เซลล์ หรือ WSSV 10^{-7} ของหัวเชื้อ

คำสำคัญ: เลคติน, กุ้งแชบ๊วย, จุลินทรีย์ก่อโรค, *Vibrio* spp., WSSV

---

[1] สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80161

[1] School of Allied Health Sciences, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat 80161, Thailand.

[2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

[2] Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): wilaiwan.se@wu.ac.th Tel: 08 9462 1325

ABSTRACT

Lectin is one of pattern recognition proteins which plays an important role in crustacean innate immunity. It is capable of recognizing specific carbohydrates on the cell surfaces of invading microorganisms. In this study, in order to optimize conditions for using lectin as a marker for Banana shrimp response against pathogenic challenge, changes in hemagglutinating activity (HA) of lectin in the hemolymph of shrimp injected with pathogens were investigated. ELISA was also developed to quantify lectin contents in the hemolymph with the sensitivity as low as 12 ng per assay. Among the challenge of shrimp with various amounts of pathogenic bacterium, the injection with *Vibrio harveyi* (5×10^7 cells) resulted in a significant increase in HA and specific HA of hemolymph lectin to the maximum level at 12 h post-injection of 6.8 and 10.5 folds, respectively and then decreased. It was agreed well with a change in levels of lectin contents determined by ELISA while total protein in the hemolymph was reduced from injection. The changes in hemolymph HA and lectin contents indicated the significant response of shrimp against pathogenic *V. harveyi* and toward the appropriate amount of the challenged bacterium since HAs were more or less the same in the hemolymph of shrimp during injection with saline, inactive *V. harveyi* or non-pathogenic *Vibrio cholerae*. When each shrimp was injected with white spot syndrome virus (WSSV) 10^{-7} of stock, HA of hemolymph lectin increased to the highest level (3.8 folds) at 18 h post-injection and then declined. Altogether, it is concluded that changes in lectin levels in the hemolymph could be used as a marker for shrimp response toward invading pathogens, indicating the appropriate amount for pathogenic challenge that was *V. harveyi* 5×10^7 cells or WSSV 10^{-7} of stock

Key words: Lectin, *Fenneropenaeus merguiensis*, pathogen, *Vibrio* spp., WSSV

บทนำ

สัตว์ทะเลในกลุ่มครัสเตเชียนอย่างกุ้งเป็นที่ต้องการของตลาดโลก และเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีมูลค่าการส่งออกค่อนข้างสูง แต่อุปสรรคที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลคือการระบาดของโรคที่มีสาเหตุมาจากแบคทีเรีย หรือไวรัส การวิจัยเพื่อศึกษาระบบภูมิคุ้มกันในกุ้งจึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการป้องกันและควบคุมโรค ปัญหาการเกิดโรคระบาดในกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) และการขาดแคลนพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ทำให้กุ้งท้องถิ่นที่หาพ่อแม่พันธุ์ได้ง่ายกว่าและมีราคาสูงกว่าอย่างกุ้งแชบ๊วย (*Fenneropenaeus merguiensis*) เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ กุ้งแชบ๊วยเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง อาศัยระบบภูมิคุ้มกันที่มีแต่กำเนิด (innate immunity) เพื่อป้องกันตนเอง ทั้งชนิดอาศัยเซลล์ฮีโมไซท์เป็นหลักในการกำจัดสิ่งบุกรุกแบบ phagocytosis, encapsulation หรือ nodule formation ในฮีโมลิมฟ์ของครัสเตเชียนยังมีโปรตีนหลากหลายชนิดที่ทำหน้าที่ป้องกันเซลล์เจ้าบ้านจากการบุกรุก หนึ่งในนั้นคือเลคติน (lectin) ซึ่งมีบทบาทในการจดจำเซลล์แปลกปลอมและกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันอื่นๆ ตามมา อาทิ กระบวนการยับยั้งหรือทำลายเซลล์แปลกปลอม (Wang and Wang, 2013) การจดจำสิ่งแปลกปลอมเป็นขั้นตอนเริ่มต้นใน

การตอบสนองของระบบภูมิคุ้ม โปรตีนที่ทำหน้าที่จดจำและจับกับโมเลกุลหรือโครงสร้างของสิ่งแปลกปลอมเรียกว่า pattern recognition proteins (PRPs)

เลคตินเป็น PRP ชนิดหนึ่งที่จับได้อย่างจำเพาะกับน้ำตาลบนผิวเซลล์ จึงเป็นตัวเชื่อมระหว่างเซลล์ทำให้เซลล์หลายชนิดรวมทั้งเซลล์เม็ดเลือดแดงของสัตว์ชนิดต่างๆ เกาะกลุ่ม (hemagglutination) (Goldstein *et al*., 1980) เลคตินแต่ละชนิดจับจำเพาะกับผิวเซลล์แต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามชนิดของน้ำตาลบนผิวเซลล์นั้นๆ ดังนั้นการทำให้เม็ดเลือดแดงเกาะกลุ่มจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการตรวจหาแอคทิวิที (activity) ของเลคติน และใช้จำแนกชนิดของเลคตินที่มีความจำเพาะต่อชนิดของน้ำตาลต่างกัน เลคตินมีบทบาทในระบบภูมิคุ้มกันแบบอาศัยเซลล์และแบบอาศัยสารน้ำที่เกี่ยวข้องกับกลไกการป้องกันตนเองของครัสเตเชียนอย่างหลากหลาย อาทิ ชักนำให้เกิด phagocytosis หรือ encapsulation ต่อเซลล์บุกรุก (Ling and Yu, 2006; Kwankaew *et al*., 2018) ยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียและเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการกำจัดไวรัส (Runsaeng *et al*., 2018) มีส่วนเกี่ยวข้องในการควบคุมการทำงานของเซลล์ฮีโมไซท์ (Sierra *et al*., 2005) และช่วยกำจัดแบคทีเรียในฮีโมลิมฟ์ผ่านการแสดงออกของ antimicrobial peptides (AMPs) (Wang *et al*., 2014) เลคตินในสัตว์กลุ่มครัสเตเชียนมักพบในฮีโมลิมฟ์และส่วนใหญ่เป็นแบบ C ซึ่งต้องการ Ca^{2+} ในการเกิดปฏิกิริยา เลคตินในฮีโมลิมฟ์ที่ทำให้แบคทีเรียเกาะกลุ่มได้พบหลากหลาย เช่น ในกุ้งกุลาดำ กุ้ง *Penaeus californiensis* กุ้งก้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii* และในปู *Scylla serrata* (Ratanapo and Chulavatnatol, 1992; Vargas-Albores *et al*., 1993; Chattopadhyay *et al*., 1996; Vazquez *et al*., 1996) ในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วยมีเลคตินที่จำเพาะต่อน้ำตาล sialic acid ที่สามารถทำให้เชื้อก่อโรคอย่าง *Vibrio harveyi* และ *Vibrio parahaemolyticus* เกาะกลุ่มได้ดีกว่า *Vibrio vulnificus* แต่ไม่เกาะกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ก่อโรคกุ้ง เช่น *Vibrio cholerae* การเกาะกลุ่มดังกล่าวถูกยับยั้งได้โดยน้ำตาล sialic acid และ fetuin (Rittidach *et al*., 2007; Utarabhand *et al*., 2007) นอกจากนี้ยังพบปริมาณเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มขึ้นเมื่อกุ้งแชบ๊วยหรือกุ้งกุลาดำมีการติดเชื้อ (Ratanapo and Chula-vatnatol, 1992; Utarabhand *et al*., 2017a) จากการศึกษาเหล่านี้บ่งชี้ถึงบทบาทที่สำคัญของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ในด้านการป้องกันและยับยั้งแบคทีเรียที่บุกรุก เนื่องจากระดับของเลคตินที่เพิ่มขึ้นในฮีโมลิมฟ์เกิดจากการตอบสนองของกุ้งต่อการติดเชื้อ งานวิจัยนี้จึงต้องการใช้การเปลี่ยนแปลงของระดับเลคตินทั้งด้านแอคทิวิทีและปริมาณโปรตีนของเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้การตอบสนองของกุ้งต่อการติดเชื้อ *V. harveyi* และ white spot syndrome virus (WSSV) และใช้เป็น parameter ในการระบุปริมาณเชื้อก่อโรคที่เหมาะสมซึ่งทำให้เกิดการเหนี่ยวนำได้ดีที่สุด โดยวิเคราะห์แอคทิวิทีของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ด้วยการทำ hemagglutination และวัดปริมาณโปรตีนของเลคตินโดยการพัฒนาเทคนิค ELISA ให้มีความไว (sensitivity) สูง ทั้งนี้เพื่อนำผลการวิจัยไปศึกษาปัจจัยอื่นๆ เช่นการใช้ปริมาณเชื้อก่อโรคที่เหมาะสมไปเหนี่ยวนำให้มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับระบบอิมมูนของกุ้งต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมฮีโมลิมฟ์ตัวอย่างจากกุ้งแชบ๊วย

กุ้งแชบ๊วยที่ใช้ในการศึกษามีขนาดลำตัวยาวประมาณ 10-14 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 20-30 กรัม และอยู่ในระยะคราบแข็ง (ไม่อยู่ในระยะลอกคราบ) จับจากทะเลอันดามัน นำมาเลี้ยงในถังพักใน

น้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 ppt ให้ออกซิเจนตลอดเวลา และควบคุมอุณหภูมิน้ำที่ 25°ซ โดยให้อาหารสำเร็จรูปวันละ 5 ครั้ง เป็นเวลา 5 วัน สังเกตพฤติกรรมว่ากุ้งแข็งแรงสมบูรณ์ดีไม่มีอาการติดเชื้อก่อนใช้ในการทดลอง (Runsaeng *et al.*, 2018) จากนั้นเจาะเลือดจากบริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 3 ของกุ้ง ปล่อยให้แข็งตัวที่ 4°ซ นาน 1 คืน โฮโมจีไนซ์ (homogenize) แล้ว เซนตริฟิวจ์ (centrifuge) ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่ 4°ซ นาน 15 นาที ทิ้งตะกอนที่เป็นกากเซลล์ และเก็บส่วนใสหรือฮีโมลิมฟ์ไว้ที่อุณหภูมิ -20°ซ เพื่อทดสอบการเกาะกลุ่มเม็ดเลือดแดงกระต่ายและหาปริมาณของเลคติน

2. การทดสอบการเกาะกลุ่มเม็ดเลือดแดงกระต่าย

ในการทดสอบการเกาะกลุ่มเม็ดเลือดแดงกระต่าย ทำตามวิธีของ Utarabhand *et al.* (2007) ดังนี้ เจาะเลือดกระต่ายผสมกับเฮพาริน (heparin) เพื่อกันเลือดแข็งตัว นำไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที ที่ 4°ซ นาน 5 นาที ล้างเม็ดเลือดแดงด้วย TBS (50 mM Tris-HCl, pH 7.4 - 0.85% NaCl) โดยการเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วเดิม 2 ครั้ง แขวนลอยเม็ดเลือดแดงใน TBS ให้ได้ความเข้มข้น 2% แล้วนำไปทดสอบการเกาะกลุ่มเม็ดเลือดแดงโดยผสมสารละลายเลคตินที่เจือจางแบบ 1:2 ตาม ลำดับ (1:2 serial dilution) 50 ไมโครลิตร กับ 2% สารแขวนลอยเม็ดเลือดแดง 50 ไมโครลิตร ในไมโครไตเตอร์เพลท ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้ TBS แทนสารละลายเลคติน แอคทิวิทีของการเกาะกลุ่มเม็ดเลือดแดง (hemagglutinating activity, HA) มีค่าเป็นส่วนกลับของการเจือจางสูงสุดของสารละลายเลคตินซึ่งยังทำให้เม็ดเลือดแดงเกาะกลุ่มได้อย่างสมบูรณ์ แสดงผลในรูปของหน่วย HA ต่อมิลลิลิตรฮีโมลิมฟ์ตัวอย่าง (U/ml) ส่วน specific HA คำนวณได้จากค่า HA ต่อมิลลิกรัมโปรตีนของตัวอย่าง (U/mg)

3. การวัดปริมาณเลคตินด้วยวิธี ELISA

ในการหาปริมาณของโปรตีนเลคตินในฮีโมลิมฟ์ ด้วยวิธี ELISA ตามวิธีของ Utarabhand *et al.* (2017a) ดังนี้ ทำการทดลองแต่ละหลุมโดยนำฮีโมลิมฟ์เจือจางด้วยบัฟเฟอร์เคลือบ (coating buffer, 50 mM Na_2CO_3, pH 9.6) ด้วยอัตราส่วนตั้งแต่ 1:50 ถึง 1:400 เติมลงในเพลทขนาด 96 หลุม ปริมาตร 150 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 4°ซ นาน 16 ชั่วโมง จากนั้นล้างออกด้วยบัฟเฟอร์ PBST (50 mM potassium phosphate buffer, pH 7.4 - 0.15 M NaCl - 0.05% Tween 20) ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ล้างซ้ำ 3 ครั้ง แล้วเติมบัฟเฟอร์ PBST ที่มี 3% BSA ปริมาตร 200 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ล้างออกด้วยบัฟเฟอร์ PBST ปริมาตร 200 ไมโครลิตร 3 ครั้ง จากนั้นเติมแอนติบอดีต่อเลคตินบริสุทธิ์ (1° Ab) (Utarabhand *et al.*, 2017a) ที่เจือจางด้วยบัฟเฟอร์ PBST อัตราส่วนระหว่าง 1:1,000 ถึง 1:5,000 ปริมาตร 150 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 ชั่วโมง ล้างออกด้วยบัฟเฟอร์ล้างปริมาตร 200 ไมโครลิตร 3 ครั้ง เติม 2° Ab ซึ่งเป็นแอนติบอดีต่อ IgG ของกระต่ายซึ่งยึดติดกับเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (anti-rabbit IgG peroxidase conjugated) ที่เจือจางด้วยบัฟเฟอร์ PBST อัตราส่วนระหว่าง 1:12,500 ถึง 1:50,000 ปริมาตร 150 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 ชั่วโมง ล้างด้วยบัฟเฟอร์ PBST ปริมาตร 200 ไมโครลิตร 3 ครั้ง เติมสารละลาย 0.4 mg/ml *o*-phenylenediamine (OPD) ใน 50 mM sodium citrate phosphate, pH 5.0 ที่มี 0.01% H_2O_2 ปริมาตร 150 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วย 2 M H_2SO_4 ปริมาตร 50 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 492 นาโนเมตร (A492) ด้วยเครื่อง ELISA microplate reader จากค่าแอคทิวิทีของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่วัดได้ สามารถคำนวณหาปริมาณเลคตินใน ฮีโมลิมฟ์ได้โดยการเทียบกับกราฟมาตรฐานเลคตินซึ่งทำในทำนองเดียวกัน แต่ใช้เลคตินบริสุทธิ์เคลือบผิวเพลทในปริมาณต่างๆ กัน

4. การหาปริมาณโปรตีน

หาปริมาณโปรตีนของฮีโมลิมฟ์ตัวอย่างตามวิธีของ Bradford (1976) ดังนี้ ดูดฮีโมลิมฟ์ 20 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง โดยทำควบคู่กับ BSA (bovine serum albumin) ซึ่งใช้เป็นโปรตีนมาตรฐาน เจือจาง BSA มาตรฐานให้มีปริมาณโปรตีนในช่วง 0 - 10 ไมโครกรัม ผสมกับสารละลาย Bradford (0.01% Coomassie brilliant blue G-250 - 4.7% ethanol - 8.5% phosphoric acid) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี นาน 1-2 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร (A595)

5. การเหนี่ยวนำด้วยเชื้อก่อโรคปริมาณต่างๆ

5.1 การฉีดกุ้งแชบ๊วยด้วยเชื้อ *Vibrio harveyi*

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองคือ *V. harveyi* นำไปเลี้ยงบนอาหาร tryptic soy agar ที่มี 2% NaCl ที่อุณหภูมิ 37 $^{\circ}$ซ ค้างคืน แล้วเพิ่มปริมาณเชื้อโดยการนำไปเลี้ยงใน tryptic soy broth จากนั้นล้างเซลล์แบคทีเรียในน้ำเกลือ (0.85% NaCl) โดยการเซนตริฟิวจ์ ล้างตะกอนและเตรียมแบคทีเรียในน้ำเกลือ ให้มีความเข้มข้นของเซลล์เป็น 10^{10} เซลล์ต่อมิลลิลิตร หรือโดยวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้มีค่าประมาณ 0.1 หน่วย เพื่อหาปริมาณเชื้อที่เหมาะสมที่สามารถกระตุ้นให้กุ้งติดโรคช้าๆ และมีเวลามากพอต่อการสังเคราะห์เลคตินจึงเริ่มจากการทดลองชุดที่ 1 แบ่งการทดลองเป็น 6 กลุ่ม ทำการฉีดกุ้งกลุ่มที่ 1 ถึง 5 ด้วยเชื้อ *V. harveyi* ปริมาณ 10^6, 10^7, 10^8, 10^9 และ 10^{10} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ตัวละ 0.1 มิลลิลิตร กลุ่มที่ 6 เป็นกลุ่มควบคุม ฉีดกุ้งด้วยน้ำเกลือ อย่างเดียว ปริมาตรเท่ากัน การทดลองชุดที่ 2 แบ่งเป็น 6 กลุ่ม ทำการฉีดกุ้งกลุ่มที่ 1 ถึง 5 ด้วยเชื้อ *V. harveyi* ปริมาณ 1×10^9, 2×10^9, 3×10^9, 4×10^9 และ 5×10^9 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับตัวละ 0.1 มิลลิลิตร กลุ่มที่ 6 เป็นกลุ่มควบคุมฉีดด้วยน้ำเกลือ และชุดที่ 3 แบ่งการทดลองเป็น 5 กลุ่ม ทำการฉีดกุ้งกลุ่มที่ 1 ถึง 4 ด้วยเชื้อ *V. harveyi* ปริมาณ 5×10^5, 5×10^6, 5×10^7 และ 5×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ตัวละ 0.1 มิลลิลิตร กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มควบคุมฉีดด้วยน้ำเกลือ ทำการทดลองกลุ่มละ 2 ซ้ำ สังเกตอาการการติดเชื้อของกุ้งเป็นระยะๆ เมื่อกุ้งมีการติดเชื้อจะแสดงอาการอ่อนเพลีย ไม่กินอาหาร ว่ายน้ำไม่มีทิศทางและตัวงอ ดูดเลือดจากกุ้งแต่ละตัวที่เวลา 0, 6, 12 และ 18 ชั่วโมง เวลาละ 3-5 ตัว แล้วนำไปเตรียมฮีโมลิมฟ์ตามวิธีข้อ 1 จากนั้นนำฮีโมลิมฟ์ไปวัดการเกาะกลุ่มเม็ดเลือดแดงกระต่ายเปรียบเทียบกับกุ้งชุดควบคุม ทำการทดลองกลุ่มละ 2 ซ้ำ ส่วนตัวกุ้งนำไปทดสอบการติดเชื้อด้วยวิธีตรวจสอบการเรืองแสงของเชื้อในที่มืดตามวิธีของ Jiravanichpaisal and Miyazaki (1994) ข้อมูลที่ได้จะถูกวิเคราะห์ค่าสถิติด้วย One-way ANOVA โดยใช้ Ducan's multiple comparison test ที่มีค่า $p < 0.05$ ถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

5.2 การฉีดกุ้งแชบ๊วยด้วยเชื้อ WSSV

หัวเชื้อไวรัส WSSV ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กิจการ ศุภมาตย์ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ซึ่งได้ผ่านการทดสอบแล้วว่าที่ความเข้มข้น 10^{-7} เท่าของหัวเชื้อทำให้กุ้งตาย 50% ภายใน 5 วัน โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 กลุ่ม ฉีดกุ้งกลุ่มที่ 1 ถึง 5 ด้วย WSSV ปริมาณ 10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-7}, 10^{-8} และ 10^{-9} เท่าของหัวเชื้อตามลำดับ ที่บริเวณกล้ามเนื้อโคนหาง ตัวละ 0.1 มิลลิลิตร กลุ่มที่ 6 เป็นกลุ่มควบคุมซึ่งฉีดด้วยน้ำเกลือปริมาตรเท่ากัน ทำการทดลองกลุ่มละ 2 ซ้ำ แล้วนำ

กุ้งไปเลี้ยงต่อตามปกติ ดูดเลือดจากกุ้งแต่ละตัวที่เวลา 0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง เวลาละ 3-5 ตัว แล้วนำไปเตรียมฮีโมลิมฟ์ตามวิธีข้อ 1 เพื่อหาแอคทิวิทีของเลคติน

6. การศึกษาเลคตินในกุ้งที่ได้รับเชื้อก่อโรคชนิดต่างๆ

ในการทดลองชุดนี้ใช้กุ้งแชบ๊วยขนาดกลางที่มีน้ำหนัก 17±3 กรัม แบ่งการทดลองเป็น 5 กลุ่ม คือ 3 กลุ่มแรกฉีดกุ้งแต่ละตัวด้วยแบคทีเรียปริมาณ 5×10^{7} เซลล์ ได้แก่ *V. harveyi*, *V. cholerae* และ inactive *V. harveyi* กลุ่มที่ 4 ฉีดด้วย WSSV ปริมาณ 10^{-7} ของหัวเชื้อต่อตัวกุ้ง และกลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มควบคุม ฉีดกุ้งด้วยน้ำเกลืออย่างเดียว ทำการทดลองกลุ่มละ 2 ซ้ำ ดูดเลือดจากกุ้งแต่ละตัวที่เวลา 0, 6, 12 และ 18 ชั่วโมง (เวลาละ 3-5 ตัว) นำฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแต่ละตัวไปวิเคราะห์หา HA สำหรับ ฮีโมลิมฟ์ของกุ้งกลุ่มที่ฉีดด้วย *V. harveyi* วิเคราะห์หา HA ปริมาณเลคตินด้วยวิธี ELISA และปริมาณโปรตีนตามวิธีข้อ 4 ข้อมูลที่ได้จะถูกวิเคราะห์ค่าสถิติด้วย One-way ANOVA โดยใช้ Ducan's multiple comparison test ที่ซึ่ง $p < 0.05$ ถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการทำให้ *V. harveyi* inactive ทำโดยนำ *V. harveyi* แบบ active ที่เลี้ยงปกติ ปริมาณ 5×10^{10} เซลล์/มิลลิลิตร ไปเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °ซ แล้วแขวนลอยตะกอนแบคทีเรียในน้ำเกลือที่มี 0.1% thimerosal บ่มที่อุณหภูมิ 37 °ซ ค้างคืน ล้างตะกอนแบคทีเรียหลังการเซนตริฟิวจ์ในน้ำเกลือ แล้วแขวนลอยกลับให้มีปริมาตรเท่ากับเริ่มต้น จากนั้นเจือจางและนำฉีดไปกุ้ง

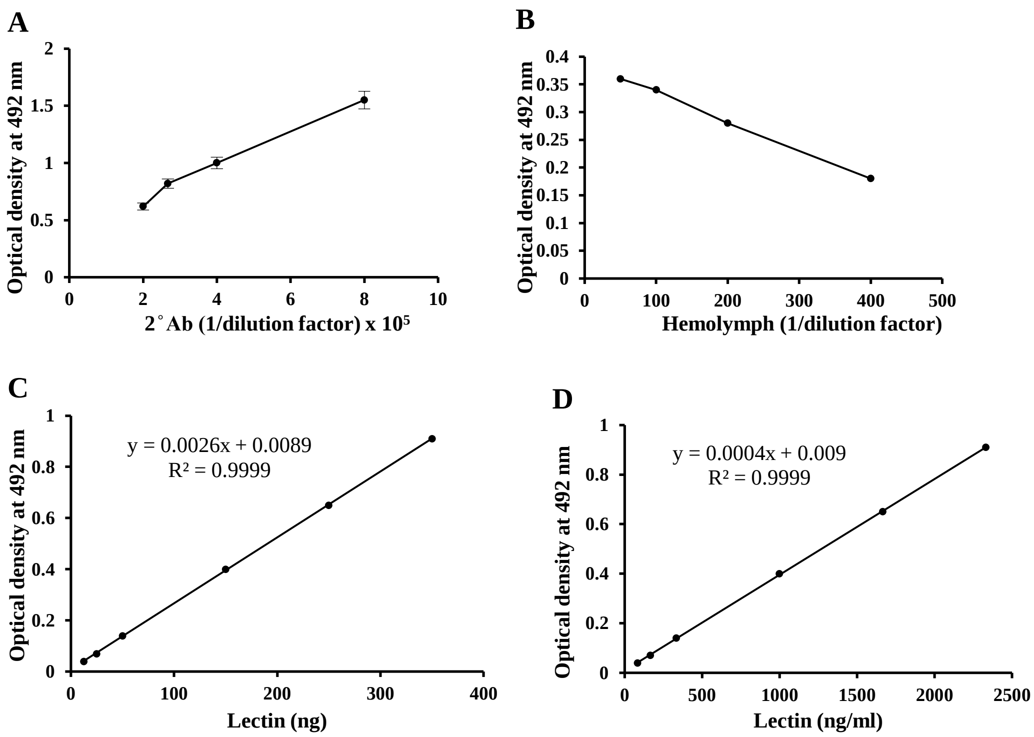
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. คุณลักษณะของเลคตินที่ศึกษาและการพัฒนาเทคนิคเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเลคติน

จากการศึกษาเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วยเบื้องต้น พบว่าสามารถทำให้เม็ดเลือดแดงของกระต่ายเกาะกลุ่ม (hemagglutination) ได้ดีกว่าเม็ดเลือดแดงของคนหรือสัตว์ชนิดอื่นๆ (Utarabhand *et al.*, 2007) ในการวิจัยนี้จึงได้วัดแอคทิวิทีของเลคตินด้วยการวัดความสามารถในการเกาะกลุ่มเม็ดเลือดแดงกระต่าย (HA) ยังพบว่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วยเกิดได้ดีเมื่อมี Ca^{2+} แต่ไม่มีแอคทิวิทีเมื่อมี EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) หรือในบัฟเฟอร์ที่ไม่มี Ca^{2+} บ่งชี้ว่าเลคตินที่ศึกษาเป็นเลคตินแบบ C ซึ่งเป็น PRP ชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องในกลไกการป้องกันตนเองของกุ้ง (Ratanapo and Chulavatnatol, 1992; Rittidach *et al.*, 2007)

งานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาวิธี ELISA ให้มีความจำเพาะและมีความไวสูงเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปริมาณเลคตินในฮีโมลิมฟ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้นำเลคตินที่ทำบริสุทธิ์จากฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วย และใช้แอนติบอดีต่อเลคตินบริสุทธิ์ (Urarabhand *et al.*, 2017a) เป็น 1° Ab ในการพัฒนาเทคนิค ELISA เพื่อทดสอบหาปัจจัยที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ จากการทำโดยใช้ 1° Ab ที่เจือจางด้วยอัตราส่วนระหว่าง 1:1,000 ถึง 1:5,000 พบว่า 1° Ab ที่เจือจาง 1:3,000 ให้ค่า A492 ดีที่สุดคือไม่น้อยหรือมากเกินไป ส่วน 2° Ab ที่เจือจางด้วยอัตราส่วนระหว่าง 1:12,500 ถึง 1:50,000 พบว่า 2° Ab ที่เจือจาง 1:25,000 ให้ค่า A492 ดีที่สุด (ภาพที่ 1A) และปฏิกิริยาของเอนไซม์ เปอร์ออกซิเดสเกิดได้ดีที่สุดเมื่อใช้สับสเตรทเป็น 0.4 mg/ml OPD และ 0.01% H_2O_2 โดยเวลาของการเกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที เพื่อลดผลเบี่ยงเบนอันอาจเกิดจากการใช้ปริมาณตัวอย่างที่ไม่เหมาะสม จึงได้วิเคราะห์โดยใช้ฮีโมลิมฟ์ที่เจือจางด้วยอัตราส่วนตั้งแต่ 1:50 ถึง 1:400 พบว่าการเจือจางในช่วงดังกล่าวยังให้ผลแปร

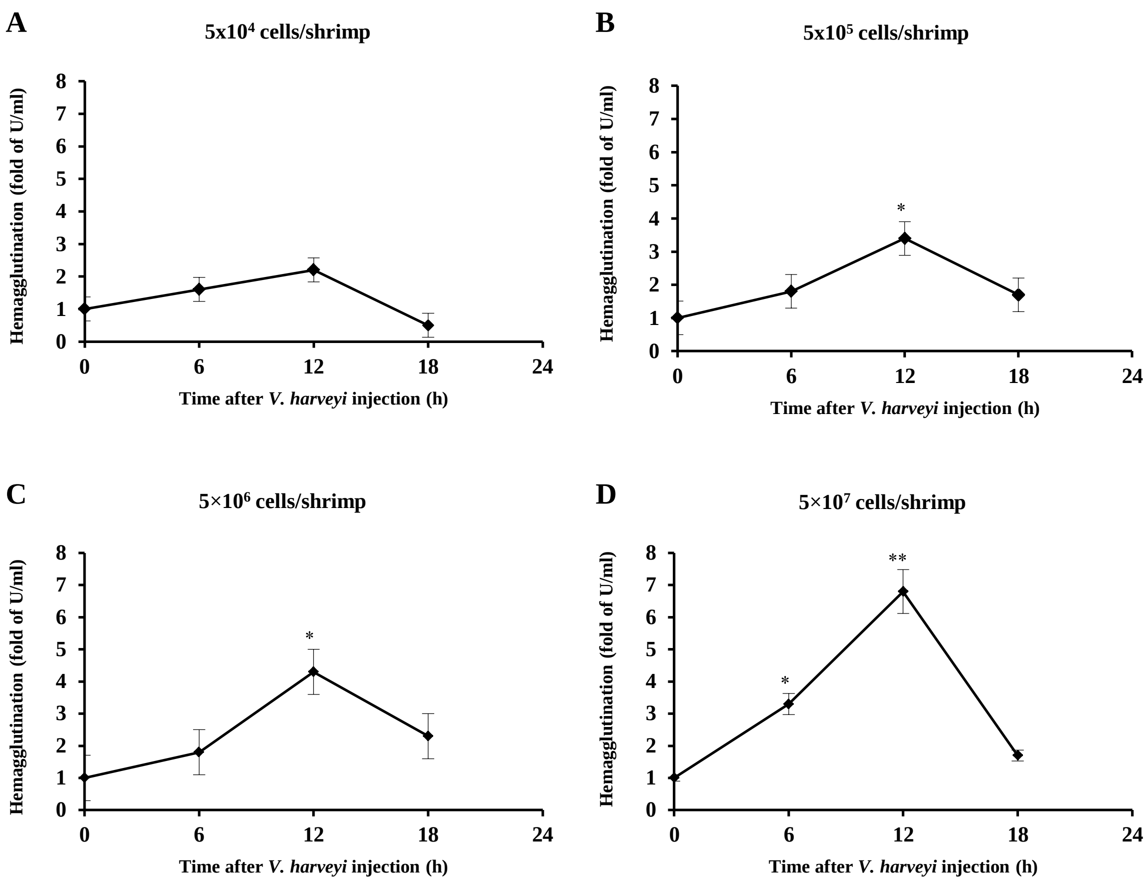
ผันเป็นเส้นตรงตามปริมาณเลคติน (ภาพที่ 1B) แต่การเจือจางที่ 1:100 ให้ค่า A492 ดีกว่าค่าอื่นๆ จึงเลือกใช้ฮีโมลิมฟ์ที่เจือจางด้วยอัตราส่วน 1:100 ตลอดการทดลองทั้งหมด การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเลคตินด้วยวิธี ELISA ที่พัฒนาจึงสรุปผลได้เป็นดังนี้ ใช้ฮีโมลิมฟ์ที่เจือจางด้วยอัตราส่วน 1:100 เคลือบเพลท ใช้ 1° Ab ที่เจือจาง 1:3,000 เท่า ใช้ 2° Ab ที่เจือจาง 1:25,000 เท่า วัดปฏิกิริยาของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสโดยใช้สับสเตรท 0.4 mg/ml OPD และ 0.01% H_2O_2 และเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที จากการทำกราฟมาตรฐานของเลคตินบริสุทธิ์เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วยพบว่ากราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรงตามปริมาณของเลคตินบริสุทธิ์ที่เพิ่มขึ้นในช่วง 12 - 350 นาโนกรัม โดยมีค่า Correlation coefficient R2 = 0.9999 (ภาพที่ 1C) เมื่อหาความไวของเทคนิคโดยใช้ตัวอย่างเป็นเลคตินบริสุทธิ์พบว่า วิธี ELISA ที่พัฒนานี้ สามารถวัดปริมาณเลคตินที่ความเข้มข้นน้อยสุด 80 ng/ml (หรือ 12 ng) และได้มากสุดถึง 2,330 ng/ml โดยมีค่า R2 = 0.9999 (ภาพที่ 1D) ซึ่งมีความไวใกล้เคียงเคียงกับการใช้เทคนิคนี้ในการหาความเข้มข้นของเลคตินในซีรัมของกุ้งก้ามกราม (Agundis *et al*., 2000) โดยสรุปงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิค ELISA ที่มีความไวเพื่อใช้ในการหาปริมาณเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทำนองเดียวกับการใช้ ELISA หาปริมาณเลคตินในกุ้งก้ามกราม (Agundis *et al*., 2000) และในฮีโมลิมฟ์ของกุ้ง *Fenneropenaeus indicus* (Jayasree *et al*., 2000) ซึ่งทั้งค่า HA และปริมาณเลคตินที่เปลี่ยนแปลงในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วยจะใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีของการตอบสนองของกุ้งต่อการติดเชื้อก่อโรคได้



ภาพที่ 1 การพัฒนาเทคนิค ELISA (A) การเจือจางแอนติบอดีต่อ IgG ของกระต่ายที่มีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (2° Ab) (B) การเจือจางตัวอย่างฮีโมลิมฟ์ที่เหมาะสม (C) กราฟมาตรฐานของเลคตินบริสุทธิ์ และ (D) การหาความไวของการวิเคราะห์

2. แอคทิวิทีของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งที่ถูกฉีดด้วยเชื้อก่อโรค *V. harveyi* ปริมาณต่างๆ

จากผลการวิจัยที่พบว่าเลคตินบริสุทธิ์และเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วย สามารถเกาะกลุ่มเชื้อก่อโรคของกุ้งคือ *V. harveyi* และ *V. parahaemolyticus* ได้ดีกว่า *V. vulnificus* แต่ไม่เกาะกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ก่อโรคกุ้ง เช่น *V. cholerae* (Rittidach *et al*., 2007; Utarabhand *et al*., 2007) เนื่องจากแบคทีเรียที่ก่อโรคอย่างมากในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำคือ *V. harveyi* งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ *V. harveyi* ในการศึกษาผลการเหนี่ยวนำให้กุ้งแชบ๊วยติดเชื้อแบคทีเรียก่อโรค แล้ววิเคราะห์การตอบสนองของกุ้งด้วยการวัดแอคทิวิทีของเลคติน (HA) ในฮีโมลิมฟ์ แต่การตอบสนองนั้นต้องมีนัยสำคัญทางสถิติ เพื่อที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของ HA ในฮีโมลิมฟ์จึงมีนัยสำคัญต่อการใช้เป็นตัวบ่งชี้การติดโรคได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้หาปริมาณเชื้อที่เหมาะสมในการฉีดกระตุ้นกุ้งเพื่อก่อให้มีผลเกิดการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญตามเวลา และเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ฉีดด้วยน้ำเกลือ ซึ่งพบว่าเมื่อฉีดกุ้งด้วยเชื้อ *V. harveyi* ปริมาณ 10^5 เซลล์/กุ้ง HA ของเลคตินมีค่าเพิ่มขึ้นที่เวลาต่างๆ ไม่มากนัก แต่มีค่าเพิ่มตามปริมาณเชื้อที่ฉีด จาก 10^6 - 10^9 เซลล์/กุ้ง ซึ่งพบว่าค่า HA เพิ่มขึ้นอย่างมาก การฉีดด้วยเชื้อปริมาณ 1×10^8 เซลล์/กุ้ง พบค่า HA มากสุด แต่กุ้งตายก่อน 12 ชั่วโมง ขณะที่การฉีดด้วยเชื้อ 1×10^9 เซลล์/กุ้ง ทำให้กุ้งตายภายในเวลา 1 ชั่วโมง (ไม่ได้แสดงผลการทดลอง) ด้วยเหตุนี้จึงลองฉีดกุ้งด้วย *V. harveyi* ปริมาณในช่วง 1×10^8 - 5×10^8 เซลล์/กุ้ง พบว่าการฉีดเชื้อด้วยปริมาณ 5×10^8 เซลล์/กุ้ง จะทำให้กุ้งมีค่า HA เพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่กุ้งตายเร็วเกินไป จึงเปลี่ยนปริมาณเชื้อ *V. harveyi* ที่ฉีดเป็น 5×10^4 - 5×10^7 เซลล์/กุ้ง พบว่า ค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อฉีดกุ้งด้วย *V. harveyi* 5×10^4 เซลล์ แต่เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อฉีดด้วยเชื้อ 5×10^5 และ 5×10^6 เซลล์ และเพิ่มมากสุดเมื่อฉีดด้วย *V. harveyi* 5×10^7 เซลล์ต่อตัวกุ้ง และกุ้งแสดงรูปแบบการตอบสนองต่อเชื้อแบคทีเรียปริมาณต่างๆในทำนองเดียวกัน คือเมื่อหาค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ ณ เวลาต่างๆ เทียบกับค่า HA ที่ชั่วโมง 0 พบว่าค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มขึ้นชั่วโมงที่ 6 แล้วเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 12 และลดลงในชั่วโมงที่ 18 (ภาพที่ 2A-D) ในขณะที่ค่า HA ของกุ้งชุดควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกัน ณ เวลาต่างๆ ในช่วง 0-18 ชั่วโมง หลังฉีดด้วยน้ำเกลือ (รูปที่ 3A) บ่งชี้ว่าวิธีการฉีดกุ้งไม่ได้ทำให้กุ้งเครียดและไม่มีผลต่อค่า HA ของเลคตินที่เปลี่ยนแปลง แต่การฉีดกุ้งด้วย *V. harveyi* เป็นการเหนี่ยวนำให้กุ้งตอบสนองต่อแบคทีเรียโดยมีแอคทิวิทีของเลคติน (HA) เพิ่มมากขึ้นในฮีโมลิมฟ์ จากการที่ฉีดกุ้งด้วยปริมาณ 5×10^7 เซลล์/กุ้ง ทำให้กุ้งตอบสนองโดยมีค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มมากสุดและเป็นปริมาณที่กุ้งยังมีชีวิตตลอดการทดลอง ดังนั้นปริมาณ *V. harveyi* ที่เหมาะสมในการเหนี่ยวนำให้กุ้งแชบ๊วยเกิดโรคและตอบสนองได้อย่างมีนัยสำคัญ จึงเป็นการฉีดกุ้งด้วยเชื้อแบคทีเรีย 5×10^7 เซลล์/กุ้ง



ภาพที่ 2 แอคทิวิทีของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งที่ฉีด *V. harveyi* ปริมาณต่างๆ (Significant differences at $*p < 0.05$; $**p < 0.01$)

3. แอคทิวิทีของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งที่ถูกฉีดด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

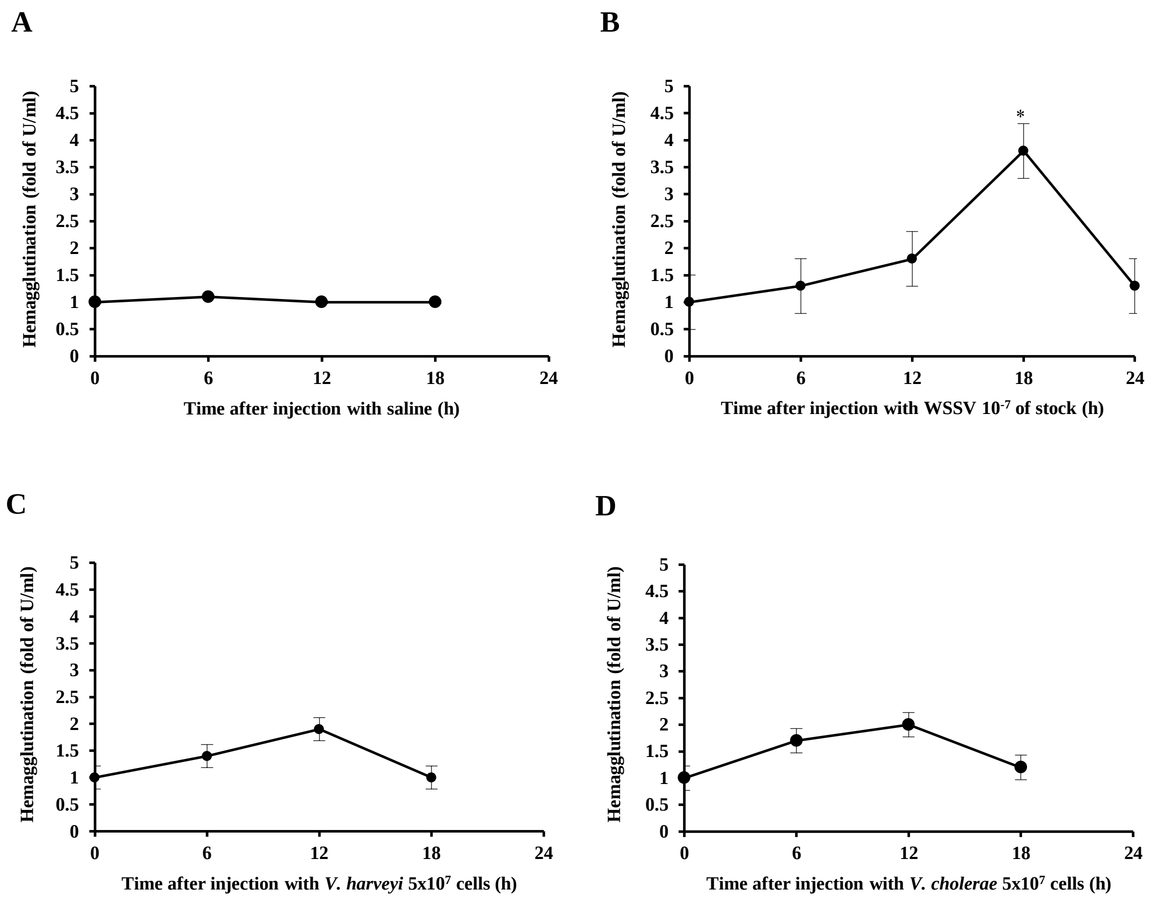
สำหรับการฉีดกุ้งแต่ละตัวด้วย WSSV ปริมาณ 10^{-5} - 10^{-9} ของหัวเชื้อ พบว่า ณ ความเข้มข้นของ WSSV สูง ทำให้กุ้งตายเร็วเกินไป แต่ที่ความเข้มข้นของ WSSV ต่ำ ทำให้กุ้งตอบสนองไม่ชัดเจน เพราะการเพิ่มของค่า HA ของ เลคตินในฮีโมลิมฟ์ไม่มีนัยสำคัญ แต่ปริมาณ WSSV 10^{-7} ของหัวเชื้อเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถเหนี่ยวนำให้มีการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญได้ในเวลาการทดลองที่เหมาะสม กล่าวคือค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 เพิ่มขึ้นตามลำดับ จนมีค่าสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 18 แล้วมีค่าลดลงที่ชั่วโมงที่ 24 (ภาพที่ 3B) การใช้ WSSV 10^{-7} ของหัวเชื้อ สามารถเหนี่ยวนำให้กุ้งแชบ๊วยตอบสนองได้ดี ยืนยันได้ด้วยการวัดการแสดงออกของ mRNA ของเลคตินแบบ C 3 ชนิด ที่มีชื่อ FmLC3, FmLC5 และ FmLdlr ที่มีรูปแบบการแสดงออกของ mRNA ของเลคตินเหล่านี้ในทำนองเดียวกับค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ที่เปลี่ยนแปลง คือการแสดงออกของ mRNA ของเลคตินแบบ C ทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 เพิ่มขึ้นตามลำดับ จนมีค่าสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 18 แล้วมีค่าลดลงที่ชั่วโมงที่ 24 (Runsaeng *et al.*, 2017; Senghoi *et al.*, 2017; Kwankaew *et al.*, 2018) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ที่เปลี่ยนแปลงเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีในการติดตามการตอบสนองของกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ และช่วยบ่งชี้ว่าปริมาณ WSSV ที่เหมาะสมในการ

เหนี่ยวนำเป็น 10^{-7} ของหัวเชื้อ ซึ่งสามารถใช้ผลการวิจัยนี้ไปศึกษาการแสดงออกของยีนเลคตินได้ด้วย

แต่เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ที่เพิ่มขึ้นสูงสุด 3.8 เท่า ที่ 18 ชั่วโมง หลังการฉีดด้วย WSSV 10^{-7} ของหัวเชื้อ (ภาพที่ 3B) ในขณะที่การฉีดกุ้งด้วย *V. harveyi* 5×10^{7} เซลล์/กุ้ง ทำให้ค่า HA ของเลคตินเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 6.8 เท่า ที่ 12 ชั่วโมง (ภาพที่ 2D) บ่งชี้ให้เห็นว่ากุ้งมีการตอบสนองต่อการเหนี่ยวนำด้วย WSSV ช้ากว่าและน้อยกว่าการเหนี่ยวนำด้วยแบคทีเรีย *V. harveyi* อาจเป็นเพราะ WSSV ไม่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบบนผิวอนุภาคของไวรัส ในขณะที่เลคตินมีความจำเพาะต่อคาร์โบไฮเดรตบนผิวเซลล์แบคทีเรียแกรมลบ จึงนำไปสู่การกระตุ้นกระบวนการในระบบอิมมูนได้ดีและเร็วกว่า ดังเช่นการแสดงออกของ mRNA ของเลคตินแบบ C ที่มีความจำเพาะต่อ lipopolysaccharide ชื่อ FmLC4 ที่เพิ่มขึ้นตอบสนองต่อการเหนี่ยวนำด้วย *V. harveyi* 5×10^{7} เซลล์/กุ้ง มากกว่าการเหนี่ยวนำด้วย WSSV 10^{-7} ของหัวเชื้อ รวมทั้งมีการแสดงออกตอบสนองต่อคาร์โบไฮเดรตบนผิวแบคทีเรียคือ lipopolysaccharide ด้วย (Utarabhand *et al*., 2017b) ในทำนองเดียวกับเลคตินแบบ C ของกุ้งกุลาดำ (Luo *et al*., 2006) และของกุ้ง *P. californiensis* (Vargas-Albores *et al*., 1993)

จากการฉีดกุ้งแชบ๊วยด้วย *V. harveyi* แบบ active 5×10^{7} เซลล์/กุ้ง (ภาพที่ 2D) กุ้งแสดงอาการติดโรคชัดเจนคือว่ายน้ำอย่างไร้ทิศทาง และค่อยๆ อ่อนแอลง จากนั้นจะนอนนิ่งๆ และอาจตายภายใน 24 ชั่วโมง เมื่อวัดค่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ที่ชั่วโมงต่างๆ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95-99% ทั้งชั่วโมงที่ 6 และ 12 เป็น 3.3 และ 6.8 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าก่อนฉีด (0 ชั่วโมง) ซึ่งต่างจากการฉีดกุ้งด้วย *V. harveyi* แบบ inactive ด้วยปริมาณเท่ากัน พบกุ้งแสดงอาการติดเชื้อไม่ชัดเจน อ่อนแอลงเล็กน้อย ว่ายน้ำน้อยลง และมี HA ของ เลคตินในฮีโมลิมฟ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่า HA เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 เป็น 1.4 และ 1.9 เท่า ณ ชั่วโมงที่ 6 และ 12 ตามลำดับ (ภาพที่ 3C) อาจเป็นเพราะเลคตินยังจดจำต่อคาร์โบไฮเดรตบนผิวเซลล์ของเชื้อ *V. harveyi* แบบ inactive ได้ แอคทิวิทีจึงเพิ่มขึ้นเพื่อกำจัดเซลล์แบคทีเรียที่บุกรุก แต่เนื่องจากเซลล์แบคทีเรียแบบ inactive ไม่มีการเพิ่มจำนวนหลังการฉีดเข้าตัวกุ้ง ดังนั้นจึงอาจมีจำนวนไม่มากพอที่จะกระตุ้นให้กุ้งตอบสนองได้มากนัก จึงพบแอคทิวิทีของเลคตินมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการฉีด *V. harveyi* แบบ active

ในทำนองเดียวกัน เมื่อฉีดกุ้งด้วยแบคทีเรียไม่ก่อโรคกุ้งคือ *V. cholerae* ปริมาณ 5×10^{7} เซลล์/กุ้ง พบว่าหลังจากฉีด กุ้งมีอาการอ่อนแอลงเล็กน้อย บางตัวมีอาการเป็นปกติ ณ ชั่วโมงที่ 6 และ 12 สาเหตุที่กุ้งอ่อนแอลง ทั้งๆ ที่ไม่มีการติดเชื้อจากแบคทีเรียวิบริโอชนิดนี้ อาจเป็นเพราะกุ้งถูกดูดเลือดทุก 6 ชั่วโมงทำให้อ่อนเพลียจากการเสียเลือด และพบว่า HA ของเลคตินในฮีโมลิมฟ์มีค่าเพิ่มขึ้นไม่มาก เมื่อเทียบกับกุ้งที่ฉีดเชื้อก่อโรค *V. harveyi* แบบ active โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.7 และ 2.0 เท่า ณ ชั่วโมงที่ 6 และ 12 เมื่อเทียบกับค่าก่อนฉีด ดังแสดงผลในภาพที่ 3D ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเลคตินไม่มีความจำเพาะต่อคาร์โบไฮเดรตบนผิวของ *V. cholerae* ซึ่งสอดคล้องกับการที่เลคตินชนิดนี้ไม่ทำให้ *V. cholerae* เกิดการเกาะกลุ่มได้ (Utarabhand *et al*., 2007)

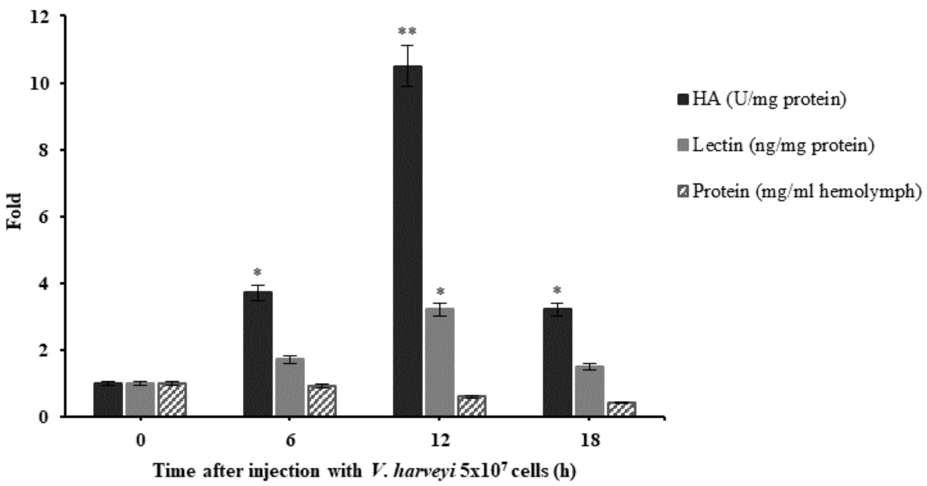


ภาพที่ 3 แอคทิวิทีของเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งที่ฉีดน้ำเกลือหรือจุลินทรีย์ (Significant differences at *$p < 0.05$)

4. การตอบสนองของกุ้งที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยแบคทีเรียก่อโรค

จากการฉีดกุ้งขนาดกลางด้วย *V. harveyi* ปริมาณ 5×10^7 เซลล์/กุ้ง แล้วนำฮีโมลิมฟ์ที่เวลาต่างๆ ไปวัดค่า HA ของเลคติน และวัดปริมาณโปรตีนทั้งหมดด้วยวิธี Bradford พบว่าปริมาณโปรตีนในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งแชบ๊วยที่ฉีดด้วยเชื้อ *V. harveyi* ลดลงตามระยะเวลาหลังการฉีดเชื้อ (ภาพที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Luo (1996) ที่พบปริมาณโปรตีนลดลงในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งขาวจีนที่ติดเชื้อแบคทีเรียเช่นกัน ดังนั้นเมื่อคำนวณหาค่า specific HA (U/mg protein) เทียบกับค่าที่ชั่วโมง 0 ก่อนการฉีดกุ้ง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 3.7 และ 10.5 เท่า (อย่างมีนัยสำคัญที่ 99%) ที่ชั่วโมง 6 และ12 หลังการฉีดตามลำดับ (ภาพที่ 4) เพื่อทดสอบว่าการที่กุ้งมีค่า HA ของเลคตินเพิ่มขึ้นเกิดจากการที่กุ้งมีการหลั่งโปรตีนเลคตินออกมาในฮีโมลิมฟ์มากขึ้นด้วยหรือไม่ จึงวัดปริมาณเลคตินในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งตัวอย่างชุดเดียวกันโดยวิธี ELISA เปรียบเทียบกับค่า HA พบว่าปริมาณเลคตินจำเพาะ (นาโนกรัมเลคตินต่อมิลลิกรัมโปรตีนทั้งหมดในฮีโมลิมฟ์) เมื่อเทียบกับค่าก่อนการฉีดกุ้งเพิ่มขึ้นเป็น 1.7 และ 3.2 เท่า ที่ชั่วโมง 6 และ 12 หลังการฉีด ตามลำดับ และลดลงเป็น 1.5 เท่า ที่ชั่วโมง 18 (ภาพที่ 4) จากผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่าการเหนี่ยวนำด้วยเชื้อก่อโรค *V. harveyi* 5×10^7 เซลล์/กุ้ง กระตุ้นให้กุ้งแชบ๊วยมีระดับปริมาณโปรตีนเลคติน

ในฮีโมลิมฟ์เพิ่มขึ้น 3.2 เท่า อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ชั่วโมง 12 หลังการฉีด ในขณะที่มีค่า specific HA เพิ่มขึ้นเป็น 10.5 เท่า อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% แสดงให้เห็นว่ากุ้งมีกลไกการป้องกันตนเองตอบสนองต่อการติดเชื้ออาจจะเป็น 2 ทาง กล่าวคือกระตุ้นเลคตินที่มีอยู่ฮีโมลิมฟ์ให้ทำงานได้ดีขึ้น (มีค่า HA เพิ่มขึ้น) และถ้าการติดเชื้อค่อนข้างรุนแรงก็อาจมีผลกระตุ้นให้กุ้งสังเคราะห์หรือหลั่งเลคตินสู่ฮีโมลิมฟ์มากขึ้นเพื่อช่วยในการกำจัดเชื้อก่อโรค ดังจะเห็นได้จากการปริมาณเลคตินที่เพิ่มขึ้นซึ่งวัดโดยวิธี ELISA ในขณะที่ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในฮีโมลิมฟ์ลดลงจากการติดเชื้อ ซึ่งจะสอดคล้องกับการแสดงออกของยีนเลคตินแบบ C ที่เพิ่มมากที่สุดที่ชั่วโมง 12 หลังการฉีดกุ้งด้วย *V. harveyi* 5×10^7 เซลล์/กุ้ง ดังที่ได้รายงานไปแล้ว (Runsaeng *et al.*, 2017; Senghoi *et al.*, 2017; Utarabhand *et al.*, 2017b; Kwankaew *et al.*, 2018)



ภาพที่ 4 ปริมาณและแอคทิวิทีของเลคตินและปริมาณโปรตีนในฮีโมลิมฟ์ของกุ้งที่ฉีด *V. harveyi* 5×10^7 เซลล์/กุ้ง (Significant differences at $*p < 0.05$; $**p < 0.01$)

สรุป

เนื่องจากเลคตินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับกลไกการป้องกันตนเองตอบสนองต่อเชื้อก่อโรคที่บุกรุก งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิค ELISA ให้มีความไวเพื่อใช้หาปริมาณเลคตินได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้การเปลี่ยนแปลงระดับของเลคตินในฮีโมลิมฟ์เป็นตัวติดตามการตอบสนองของกุ้งต่อการติดเชื้อก่อโรค ซึ่งในการเหนี่ยวนำกุ้งแชบ๊วยด้วยการฉีดเชื้อ *V. harveyi* ปริมาณ 5×10^7 เซลล์/กุ้ง พบว่าแอคทิวิทีและปริมาณของเลคตินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในฮีโมลิมฟ์บ่งชี้ว่าสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงระดับของเลคตินแบบ C ในฮีโมลิมฟ์ เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีต่อการตอบสนองของกุ้งต่อเชื้อก่อโรค และเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณเชื้อก่อโรคที่เหมาะสมในการเหนี่ยวนำให้กุ้งตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า เชื้อก่อโรค *V. harveyi* ปริมาณ 5×10^7 เซลล์/กุ้ง หรือ WSSV ปริมาณ 10^{-7} ของหัวเชื้อ/กุ้ง เป็นปริมาณที่เหมาะสม

ต่อการเหนี่ยวนำให้กุ้งตอบสนองได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถนำข้อมูลวิจัยนี้ไปใช้ในการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกลไกการป้องกันตนเองตอบสนองต่อเชื้อก่อโรคของกุ้งได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กิจการ ศุภมาตย์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลา นครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่เลี้ยงกุ้งตัวอย่างและอนุเคราะห์จุลินทรีย์ก่อโรคกุ้ง

เอกสารอ้างอิง

Agundis, C., Pereyra, A., Zenteno, R., Brassart, C., Sierra, C., Vazquez, L. and Zenteno, E. 2000. Quantification of lectin in freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) hemolymph by ELISA. **Comparative Biochemistry and Physiology** 127B: 165-172.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry** 72: 248-254.

Chattopadhyay, T., Guha, A.K. and Chatterjee, B.P. 1996. Novel antimicrobial activity of scyllin, a haemolymph lectin of the edible crab *Scylla serrata*. **Biomedical Letters** 53: 29-40.

Goldstein, I.J., Huges, R.C., Monsigny, M., Osawa, T. and Sharon, N. 1980. What should be called a lectin. **Nature** 285: 66.

Jayasree, S., Selvam, G.S. and Thomas, S. 2000. Development of an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for agglutinin, and antibacterial protein of the shrimp *Fenneropenaeus indicus*. **Journal of Crustacean Biology** 20: 621-627.

Jiravanichpaisal, P. and Miyazaki, T. 1994. Histopathology, biochemistry, and pathogenicity of *Vibrio harveyi* infecting black tiger prawn, *Penaeus monodon*. **Journal of Aquatic Animal Health** 6: 27-35.

Kwankaew, P., Praparatana, R., Runsaeng, P. and Utarabhand, P. 2018. An alternative function of C-type lectin comprising low-density lipoprotein receptor domain from *Fenneropenaeus merguiensis* to act as a binding receptor for viral protein and vitellogenin. **Fish & Shellfish Immunology** 74: 295-308.

Ling, E. and Yu, X. 2006. Cellular encapsulation and melanization are enhanced by immulectins, pattern recognition receptors from the tobacco hornworm *Manduca sexta*. **Developmental and Comparative Immunology** 30: 289-299.

Luo, R. 1996. S tudy on the contents of serum protein and glucose in the hemolymph of the shrimp *Penaeus chinensis*. **Journal of Oceanology and Limnology** 27(5): 476-480.

Luo, T., Yang, H., Li, F., Zhang, X. and Xu, X. 2006. Purification, characterization and cDNA cloning of a novel lipopolysaccharide-binding lectin from the shrimp *Penaeus monodon.* **Developmental and Comparative Immunology** 30: 607-617.

Ratanapo, S. and Chulavatnatol, M. 1992. Monodin-induced agglutination of *Vibrio vulnificus*, a major infective bacterium in black tiger prawn (*Penaeus monodon*). **Comparative Biochemistry and Physiology** 102: 855-859.

Rittidach, W., Paijit, N. and Utarabhand, P. 2007. Purification and characterization of a lectin from the banana shrimp *Fenneropenaeus merguiensis* hemolymph. **Biochimica et Biophysica Acta** 1770: 106-114.

Runsaeng, P., Puengyam, P. and Utarabhand, P. 2017. A mannose-specific C-type lectin from *Fenneropenaeus merguiensis* exhibited antimicrobial activity to mediate shrimp innate immunity. **Molecular Immunology** 92: 87-98.

เทคนิคการคัดเลือกคุณภาพของตัวอ่อนปูแสมด้วยวิธีการตรวจจับการเคลื่อนที่

Qualification Examination of Larvae Crab by Motion Detection Process

เชิด คงห้อย[1*] และ นิคม สุวรรณวร[2]

Cherd Khonghoi[1*] and Nikom Suvonvorn[2]

Received: 8 April 2020, Revised: 8 June 2020, Accepted: 29 July 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอถึงเทคนิคและอัลกอริทึมการตรวจจับการเคลื่อนที่เพื่อตรวจคัดเลือกคุณภาพของตัวอ่อนปูแสมโดยพิจารณาจากคุณสมบัติการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมด้วยวิธีการประมวลผลภาพ ใช้โปรแกรมประมวลผลภาพ OPEN CV ในการตรวจสอบคุณสมบัติของตัวอ่อนปูแสมและใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนเสริมด้วยเลนส์ขยายขนาด 20x ทำการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมช่วงระยะซูเอี้ย 1 (แรกเกิด 1-3 วัน) มีขนาดเล็กประมาณ 40-50 ไมครอน (μm) โดยการนำข้อมูลไฟล์วิดีโอการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพ ทำการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) การคัดกรองวัตถุ (Object Filtering) และการติดตามการเคลื่อนที่วัตถุ (Object Tracking) ตามลำดับ ซึ่งผลจากการทดลองจากตัวอ่อนปูแสมจำนวน 282 ตัว ที่มาจากแม่พันธุ์ปูแสม 5 ตัว แต่ละตัวถูกเพาะฟักอยู่ในกระบะแยกออกจากกันกระบะละ 1 ตัว ทำการตักสุ่มจำนวน 50 ครั้ง ด้วยวิธีการตักสุ่มซ้ำกระบะละ 10 ซ้ำ หลังจากนั้นทำการตรวจจับและติดตามการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมเพื่อประเมินคุณสมบัติ โดยการหาค่าเฉลี่ยรวมจากจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่เปรียบเทียบกันทั้ง 5 กระบะ ปรากฏว่าวิธีการที่ได้นำเสนอสามารถตรวจจับและค้นหาวัตถุที่เคลื่อนที่ได้เป็นอย่างดี

ผลจากการตรวจสอบคุณสมบัติจากการเคลื่อนที่ตัวอ่อนปูแสมปรากฏว่ากระบะที่ 3 มีอัตราค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 87.92% ซึ่งคาดว่าเป็นกระบะที่มีตัวอ่อนปูแสมที่มีคุณสมบัติด้านพัฒนาการดีที่สุด รองลงมาคือกระบะที่ 4 คิดเป็นร้อยละ 40.44% กระบะที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 27.66% กระบะที่ 5 คิดเป็นร้อยละ 23.82% และกระบะที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 19.51% ตามลำดับ

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, การตรวจจับ, การตรวจจับการเคลื่อนที่, ตัวอ่อนปูแสม

---

[1] สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

[1] Management of Information Technology Program, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkla 90110, Thailand.

[2] ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

[2] Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkla 90110, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): cherd.rdi@gmail.com

ABSTRACT

This paper describes motion detection algorithm and technique to examine the quality of mangrove crab larvae by detecting its movement quality using image processing method. OpenCV program was used to examine the quality of the larvae and mobile phone with 20x magnifying lens was used to record its movement during Zoea 1 (first three days after birth) with size range of approximate 40-50 microns (μm). The recording video files were processed with Object Detection, Object Filtering, and Object Tracking, respectively. 282 of mangrove crab larvae from five breeders were used in the study. Each breeder was cultured in separate truck. The larvae were randomly selected 10 times from each truck - 50 times in total. Their movement were then detected and tracked to examine the quality by calculating mean score of the movement. It was found that this method can be employed to detect and track moving objects well.

The result from examining the movement quality revealed that the larvae from the third truck showed the highest moving rate with 87.92%. It was likely that the truck contained the larva with the best developmental quality. It was then followed by the fourth truck with 40.44%, the first truck with 27.66%, the fifth truck with 23.82%, and the second truck with 19.51%, respectively.

Key words: images processing, detection, motion detection, larvae crab

บทนำ

การรอดตายของลูกปูแสมวัยอ่อนในการนำไปอนุบาลเพื่อการเพาะฟักเป็นปัญหาและอุปสรรคสำคัญอย่างยิ่งในการขยายพันธุ์และการเพาะเลี้ยง เพื่อการผลิตลูกปูแสมทั้งเชิงพาณิชย์และเพื่อการอนุรักษ์ของโรงเพาะฟักและเกษตรกร ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษา วิจัยและพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยีการเพาะพันธุ์และการเพาะเลี้ยงตัวอ่อนของปูแสมในแต่ระยะต่างๆ อย่างต่อเนื่อง (Genodepa *et al.*, 2004; Forward, 2009; Ren *et al.*, 2017; Sudtongkong, *et al.*, 2019) แต่อัตราการรอดตายของลูกปูแสมวัยอ่อนในโรงเพาะฟักของเกษตรกร หลังจากที่คัดเลือกเพื่อนำตัวอ่อนไปอนุบาลต่อ ยังคงแปรปรวนสูงและเป็นปัญหาอย่างยิ่งที่ต้องแก้ไข ในปัจจุบันการคัดเลือกและประเมินอัตราการรอดชีวิตตัวอ่อนของปูแสมที่จะนำไปอนุบาลเพื่อการเพาะฟักและเพาะเลี้ยงทั้งในเชิงพาณิชย์และเพื่อการอนุรักษ์ เกษตรกรมักใช้วิธีการสังเกตการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนของปูแสมด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญและมีประสบการณ์เป็นพิเศษเท่านั้น ส่งผลให้เกษตรกรและโรงเพาะฟักยังขาดซึ่งวิธีการและเทคนิคการประเมินอัตราการรอดชีวิตตัวอ่อนของปูแสมที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยีการประมวลผลภาพได้ถูกนำมาใช้เพื่อประโยชน์ในหลากหลายด้านและหลากหลายรูปแบบ (Chitradevi and Srimanthi, 2014) มีการศึกษา วิจัยทั้งในมนุษย์ เช่น ด้านการรักษาความปลอดภัย (Tekalp and Salman, 2007; Jain and Chadokar, 2015) เพื่อทำหน้าที่แทนมนุษย์ในการเฝ้าระวัง ตรวจจับและเตือนภัย หรือด้านการแพทย์เพื่อการวิเคราะห์และวินิจฉัยโรค (Zion, 2012) เป็นต้น ส่วนในสัตว์ได้นำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

มาใช้ในสามด้านหลักด้วยกันคือ (Boon and Haidi, 2012) 1) เพื่อการตรวจจับสัตว์ (Animal Detection) เช่นใช้เทคโนโลยี LIDAR (Light Detection and Range) สำหรับค้นหาตำแหน่งของปลาในท้องทะเลลึก หรือค้นหาตำแหน่งที่อยู่ของสัตว์ในป่า 2) เพื่อการติดตามสัตว์ (Animal Tracking) ใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ (Sensor) หรือ Radio Frequency Identification (RFID) และ Global Positioning System (GPS) กล้องวิดีโอ (Video Camera) และกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) เพื่อการเฝ้าดู ติดตาม และการสังเกตพฤติกรรม 3)ใช้เพื่อการวินิจฉัยหรือแยกแยะสัตว์ (Animal Identification) โดยใช้เทคโนโลยี Radio Frequency Identification (RFID) เพื่อดูแลสุขภาพของสัตว์ เป็นต้น

แต่เทคนิคและวิธีการประมวลผลด้วยภาพในตัวอ่อนของสัตว์ที่มีขนาดเล็กในระดับไมครอนยังมีข้อจำกัดเรื่องเทคนิค วิธีการและสถานที่ดำเนินการวิจัย งานวิจัยโดยส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) เท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลภาพจากการเคลื่อนที่ในตัวอ่อนของสัตว์น้ำที่มีขนาดเล็กระดับไมครอน ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อการมองเห็นที่จัดเจนได้ เช่น กล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น จากงานวิจัยการประมวลผลด้วยภาพในสัตว์โดยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นศึกษาวิจัยไปในสัตว์ที่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน เช่นในสัตว์ขนาดเล็ก อาทิเช่นในปลา (Pavlov, 2006) ในปู (Jiang *et al*., 2014) หรือในหนู (Koniar *et al*., 2015) เป็นต้น หรือในสัตว์ขนาดใหญ่เช่นในหมู (Tillett *et al*., 1997) ในวัว (Schwager *et al*., 2007) เป็นต้น แต่จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยที่พยายามศึกษาเพื่อนำเสนอเทคนิคด้านการประมวลภาพโดยการวิเคราะห์คุณภาพของตัวอ่อนของปลา (Pavlov, 2006) โดยการใช้กล้องวิดีโอร่วมกับการใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ซึ่งคุณลักษณะตัวอ่อนของปลากับตัวอ่อนของปูแสมมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องของลักษณะของตัวอ่อนและรูปแบบการเคลื่อนที่จึงไม่สามารถนำวิธีการในปลามาใช้กับปูได้ ดังนั้นในบทความนี้จึงนำเสนอ เทคนิคการตรวจจับคุณลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนของปูแสมด้วยวิธีการประมวลผลภาพเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของตัวอ่อนของปูแสม ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ 1) การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือเพื่อนำเข้าข้อมูลตัวอ่อนของปูแสมสำหรับการประมวลผลภาพ 2) เทคนิคและวิธีการตรวจสอบคุณสมบัติเพื่อประเมินความแข็งแรงของตัวอ่อนปูแสมด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

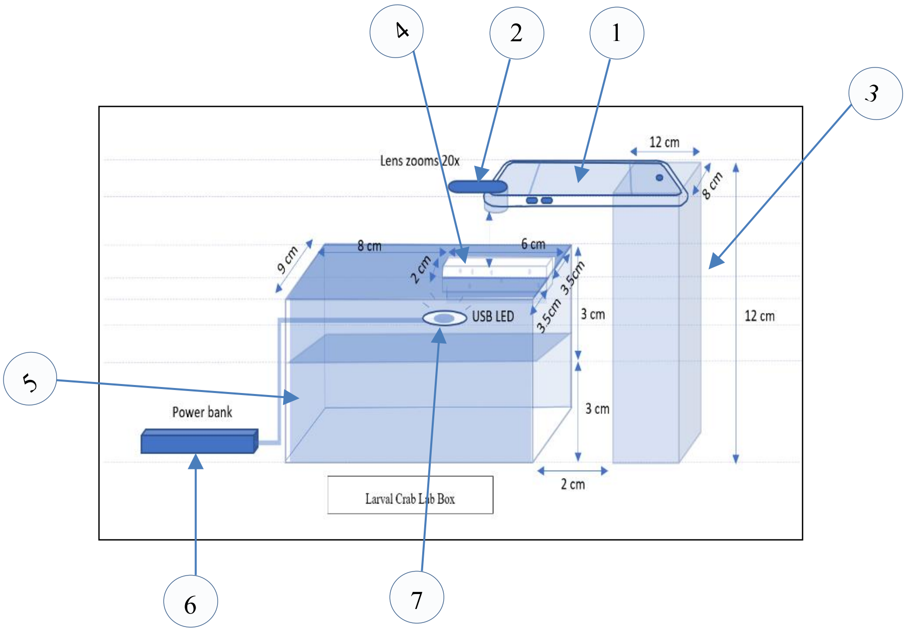
1. วัสดุและอุปกรณ์

ในการศึกษาใช้วิธีการเก็บภาพวิดีโอ (Video) การเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมแบบ 2-D โดยใช้กล้องของโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน (Smartphone) ของ Samsung รุ่น Galaxy Note 2 N7100 ติดเข้ากับเลนส์ขยายที่ 20x เพื่อทำการบันทึกภาพวิดีโอ (Video) การเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสม ซึ่งมีคุณสมบัติทางเทคนิคตาม ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเทคนิคของกล้องวิดีโอ Samsung รุ่น Galaxy Note 2 N7100

คุณสมบัติทางเทคนิคของ Samsung รุ่น Galaxy Note 2 N7100	
Maximum	Full HD 1920 x 1080 Video At 30 Frames
Zoom:	4X digital zoom
Lens Type:	Polydimethylsiloxane (PDMS)
Lens zoom:	20x

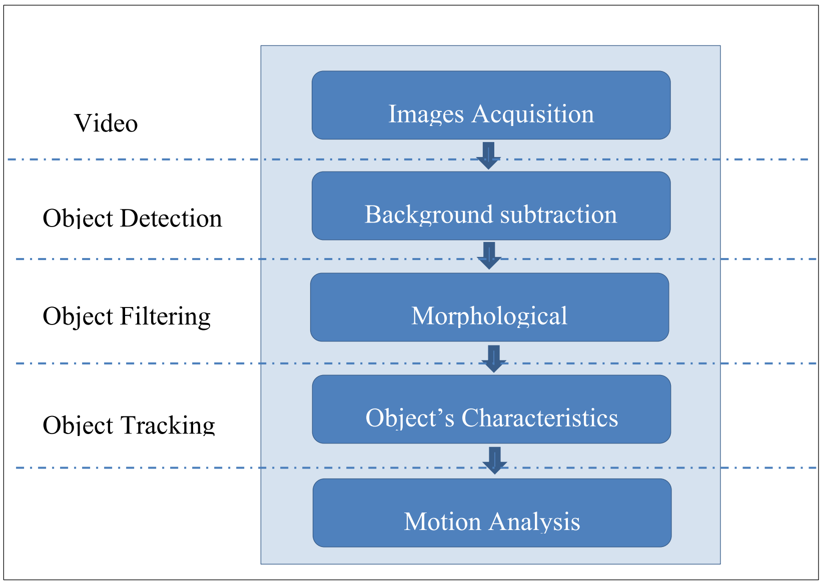
(1) กล้องถูกติดตั้งพร้อมด้วย (2) เลนส์ขยายแบบ 20x ซึ่งติดอยู่กับตัวกล้องวางอยู่ด้านบน (3) ฐานสำหรับวางกล้องมีขนาดกว้าง 12 เซนติเมตร × ยาว 8 เซนติเมตร × สูง 12 เซนติเมตรและมี (4) อุปกรณ์สำหรับใสตัวอ่อนปูแสมที่เป็นตัวแทนของตัวอ่อนปูแสมเพื่อประเมินความแข็งแรง (5) กล่องสำหรับวางอุปกรณ์สำหรับตรวจจับการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปู โดยมีขนาด กว้าง 14 เซนติเมตร × ยาว 9 เซนติเมตร × สูง 9 เซนติเมตร ตัวกล่องถูกปิดสี่ด้าน คือ ด้านบน ด้านใต้ และด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนด้านหน้าและด้านหลังของกล่องเป็นแบบเปิดและมีจุดกำเนิดแสงหนึ่งจุด ประกอบด้วย (6) Power back แบบปกพาทำหน้าที่ให้ไฟ และ (7) USB LED เป็นหลอดไฟแบบพกพาขนาดเล็กที่เสียบเข้ากับพอร์ต USB เพื่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลและลดปัญหาจากสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่จะทำให้สัญญาณภาพวิดีโอไม่ชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการเก็บข้อมูลและการประมวลผล รายละเอียดตาม ภาพประกอบที่ 1



ภาพที่ 1 กล่องเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสม

2. ขั้นตอนและวิธีการ

วิธีการและขั้นตอนรายละเอียดการทำงานของระบบการตรวจสอบคุณสมบัติของตัวอ่อนปูแสมเพื่อประเมินความแข็งแรงจากข้อมูลของภาพวิดีโอ ตามภาพประกอบที่ 2 ซึ่งแสดงกระบวนการของระบบโดยรวม ประกอบด้วย การรับข้อมูลภาพ (Images Acquisition) จากไฟล์ภาพวิดีโอแบบ 2-D การตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนไหวโดยการใช้เทคนิคการลบภาพพื้นหลัง (Background subtraction) การปรับปรุงวัตถุที่เคลื่อนไหวโดยกระบวนลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphological) การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของวัตถุ (Object's Characteristics) และการวิเคราะห์ภาพการเคลื่อนไหว (Motion Analysis System)



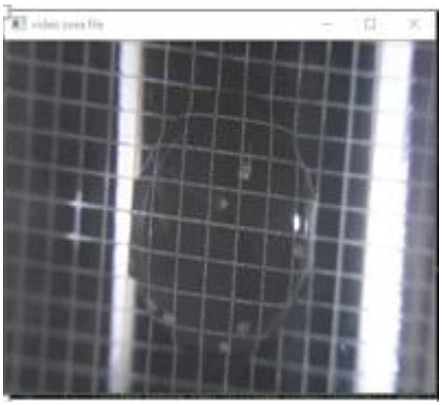
ภาพที่ 2 การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของวัตถุ

2.1 ภาพและการรับข้อมูลภาพ (Images Acquisition)

ภาพวิดีโอตัวอ่อนปูแสมที่เป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างสำหรับนำเข้าประมวลผลภาพในโปรแกรม OPEN CV ใช้วิธีการการคัดเลือกตัวแทนกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม โดยใช้ตัวแทนตัวอ่อนปูแสมระยะซูเอีย 1 (อายุ 1-3 วัน) จำนวน 282 ตัว ด้วยวิธีการตักสุ่มจำนวน 50 ครั้ง จากแม่พันธุ์ปูแสมจำนวน 5 ตัวและแต่ละตัวถูกอนุบาลเพื่อการเพาะฟักที่อยู่ในกระบะจำนวน 5 กระบะ / กระบะละ 1 ตัว และทำการตักสุ่มแต่ละกระบะจำนวน 10 ครั้ง หรือเรียกว่า 10 ซ้ำ ตามภาพประกอบที่ 3

ภาพที่ 3 กระบะอนุบาลแม่พันธุ์ปูแสมและตัวอ่อนปูแสมระยะซูเอีย 1

นำภาพวิดีโอการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมเข้าสู่โปรแกรม Open CV (Open Source Computer Vision) เพื่อเข้าสู่กระบวนการจับวัตถุที่เคลื่อนที่ภายในภาพ ตามภาพประกอบที่ 4



ภาพที่ 4 ภาพวิดีโอการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมเข้าสู่โปรแกรม Open CV

2.2 การตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนไหว (Motion detection by background subtraction)

การตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ภายในภาพใช้วิธีการลบภาพพื้นหลัง (Motion detection by background subtraction)โดยการหาความแตกต่างจากเฟรมที่ติดกัน (Frame Differencing) เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการตรวจสอบวัตถุที่เคลื่อนไหวของไฟล์วิดีโอ (Video) ซึ่งเหมาะสำหรับกล้องที่อยู่กับที่ไม่มีการเคลื่อนที่ โดยใช้วิธีการ (Singla, 2014) หาความต่างของเฟรมภาพของวัตถุที่ต้องการศึกษา (foreground) กับเฟรมพื้นหลัง (background) วิธีการคือ นำภาพสองเฟรมที่ต่อเนื่องกัน (Subsequent Frame) ในตำแหน่งบริเวณเดียวกันหรือใกล้เคียงกันและเวลาต่างกัน นำมาลบกับฉากหลังหักล้างระหว่างกันของเฟรมภาพสองภาพ คือ foreground - background หากวัตถุมีการเคลื่อนที่จะปรากฏผลต่างระหว่างเฟรมของภาพสองภาพและผลต่างที่เกิดขึ้น คือ การเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังสมการที่ 1 ซึ่งความแม่นยำขึ้นอยู่กับคุณภาพของพื้นหลังที่ไม่มีสัญญาณรบกวน เช่น ค่าความสว่างและค่าความคมชัด (Contrast) ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การกำหนดค่าว่าพิกเซลใดเป็นพื้นหลังหรือวัตถุ (ค่า Threshold)

$$O = I - B \qquad (1)$$

O = วัตถุ

I = ภาพ

B = ภาพพื้นหลัง

วิธีการคือ นำภาพการเคลื่อนไหวของตัวอ่อนปูแสมที่เป็นภาพสี (RGB) แปลงให้เป็นภาพในระดับเทา (Gray Scale) ซึ่งการแปลงภาพสี (RGB) ไปเป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale) เป็นกระบวนการที่จะทำให้ภาพที่รับเข้ามา (Image acquisition) สามารถนำมาประมวลผลได้ง่ายและมีความรวดเร็วกว่าภาพสี (RGB) เนื่องจากภาพระดับเทา (Gray Scale) ใช้หน่วยความจำแค่ 8 บิตเท่านั้น ซึ่งหากนำภาพสี (RGB) มาประมวลผลจะใช้หน่วยความจำและมีความล่าช้ามากกว่าภาพระดับเท่าเพราะภาพสี (RGB) 1 ภาพ จะประกอบไปด้วยโทนสี 3 สีที่ซ้อนทับกันอยู่ คือ โทนสีแดง (R) ภาพโทนสีเขียว (G) และภาพโทนสีน้ำเงิน (B) หลักการในการเปลี่ยนแปลงพิกเซล (Pixel) ของภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา (Gray Scale) ทำได้โดยการนำค่าภาพสีมาหาค่าเฉลี่ยตามสูตรการคิดคำนวณค่าสีในแต่ละจุดของพิกเซล (Pixel) โดยเริ่มจากค่าสีดำสนิท คือ (0,0,0) ขึ้นไปเป็น (1,1,1), (2,2,2)… (250,250,250) จนกระทั้งขาวสนิทที่ (255, 255, 255) เมื่อค่าสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินที่ค่าเท่ากันหมดแล้วจึงได้ภาพระดับเทา ดังสมการที่ 2

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11 \qquad (2)$$

$$Y = R + G + B / 3$$

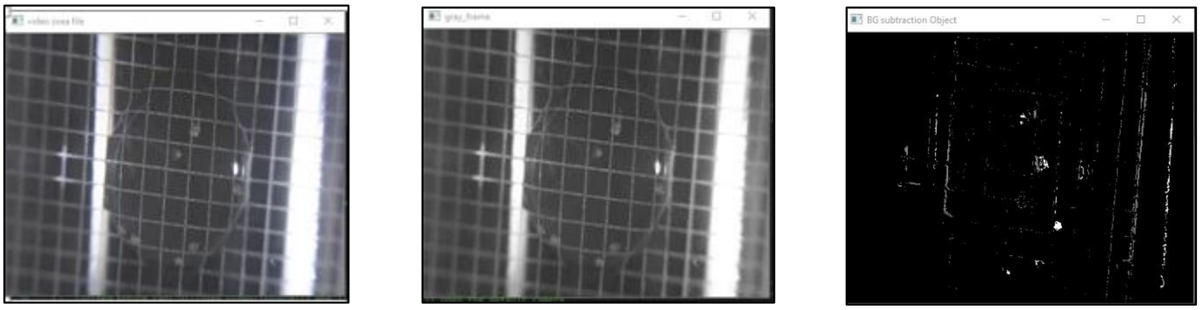
โดย Y แทน ค่าระดับสีเทา ณ จุดพิกเซล (Pixel) ที่เราต้องการหา

R แทน ค่าโทนสีแดง ณ จุด ที่ต้องการหา

G แทน ค่าโทนสีเขียว ณ จุด ที่ต้องการหา

หลังจากนั้นแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพขาวดำ (Binary) โดยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ 128ดังสมการที่ 3 กำหนดค่าระดับสี คือ หากค่าความเข้มของจุดภาพใดภายในภาพมากกว่า 128 ให้มีค่าเป็นสีขาว คือ วัตถุ และหากค่าความเข้มของจุดภาพใดภายในภาพน้อยกว่าหรือเท่ากับ 128 ให้มีค่าเป็นสีดำ คือ ภาพพื้นหลัง ตามภาพประกอบที่ 5

$$f_{thr}(x,y) = \begin{cases} 1, f_f(x,y) > Threshold \\ 0, f_f(x,y) \le Threshold \end{cases} \qquad (3)$$



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 5 ภาพสี (ก) (RGB) แปลงให้เป็นภาพในระดับเทา (ข) (Cray Scale) และแปลงให้เป็นภาพขาวดำ (ค) (Binary) โดยผ่านกระบวนการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)

2.3 การคัดกรองวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยกระบวนการทางสัณฐานวิทยา (Object filtering by Morphological)

นำภาพขาวดำ (Binary) (ค) มาปรับปรุงวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยกระบวนการทางสัณฐานวิทยา (Morphological) เพื่อลดสัญญาณรบกวน รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุวัตถุที่ต้องการตรวจจับให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ดังเช่น จากภาพขาวดำ (ค) ด้วยสาเหตุของสิ่งรบกวน (Noise) ที่เป็นฝุ่นหรือตะกอนขนาดเล็กที่อยู่ในน้ำและในภาพยังปรากฏส่วนของตัวอ่อนปูแสมขาดหายไปหรือแยกส่วนเป็นชิ้นเล็กๆ ออกไป ดังนั้นต้องทำการลบสิ่งรบกวน (Noise) ออกไปและเชื่อมวัตถุหรืออุดให้วัตถุที่แยกออกจากกันเชื่อมประสานการหรือพอกวัตถุ (Dilate)โดยใช้หลักการวิเคราะห์พื้นที่ส่วนที่เชื่อมต่อกัน ด้วย 2 ขั้นตอน คือ 1) การพอกวัตถุ (Dilate) โดยกำหนดขนาด mask เท่ากับ 5×5 เพื่อซ่อมแซมส่วนของวัตถุที่แยกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ที่แยกส่วนออกไป 2) ทำการ Opening คือ กัดเซาะ (Erosion) โดยกำหนดขนาด mask เท่ากับ 3×3 เพื่อกรองวัตถุขนาดเล็กๆ หรือลบสิ่งรบกวน (Noise) ขนาดเล็กออกไปก่อน หลังจากนั้นทำการพอกหรือขยาย (Dilation) อีกครั้ง เพื่อทำให้ขนาดของวัตถุให้มีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นทำการหาคอนทัวร์ของวัตถุ ซึ่งวัตถุจะถูกสร้างเส้นกรอบรูปหรือพื้นที่โดยประมาณเป็นรูปสีเหลี่ยมล้อมรอบวัตถุ ตามภาพประกอบที่ 6

(ง) ภาพ Binary (จ) ภาพ Dilate (ฉ) ภาพ Opening (ช) การหาคอนทัวร์ของวัตถุและเส้นกรอบรป

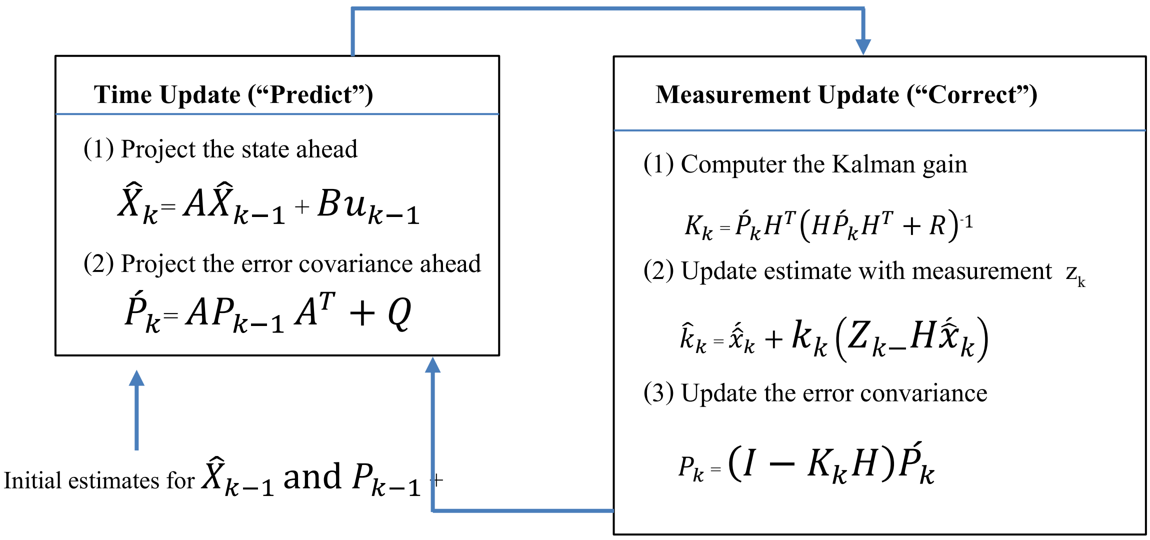
ภาพที่ 6 ภาพแสดงขั้นตอนการคัดกรองวัตถุเคลื่อนที่ด้วยกระบวนการทางสัณฐานวิทยา (Object filtering by Morphological)

2.4 การติดตามและวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุ (Object Tracking and Characterization)

หลังจากนั้นทำการติดตามและวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุ (Object Tracking and Characterization) เพื่อการค้นหาตำแหน่งของวัตถุที่ถูกต้องและให้ทราบว่าวัตถุที่ถูกตรวจจับในขั้นตอนที่ผ่านมาไปอยู่ ณ ตำแหน่งใดในภาพถัดไป ซึ่งการติดตามวัตถุที่ถูกต้องจะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของวัตถุว่า เคลื่อนที่อย่างไร ทิศทางใด โดยใช้คุณลักษณะเฉพาะของวัตถุด้านขนาดและทิศทางและบริเวณที่ตรวจพบวัตถุในการติดตามเท่านั้น ไม่รวมถึงรูปแบบลายและสีของวัตถุ

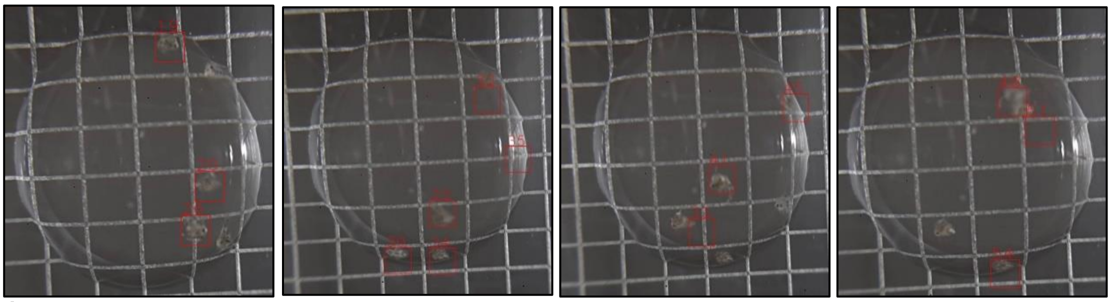
การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของวัตถุมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดความคลาดเคลื่อนในการติดตามวัตถุ เพิ่มเสถียรภาพให้แก่การตรวจจับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากสถานะของวัตถุก่อนหน้านี้ (ประวัติ) พิจารณาร่วมกับวัตถุ ณ ในเวลาปัจจุบันที่ตรวจจับได้ (Detected) มาทำการพยากรณ์และคำนวณด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามหลักการของตัวกรองคาลแมน (Kalman Filter) ตามภาพประกอบที่ 7

Kalman Filter เป็นตัวกรองที่จะติดตาม ลดความผิดพลาดและเพิ่มความถูกต้อง แม่นยำให้กับสิ่งที่ต้องการติดตาม โดยตัวกรอง Kalman เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการกรองและทำนาย ติดตามสถานะของระบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear Systems) หรือระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนที่ ที่ขึ้นอยู่กับเวลาและสามารถปรับแต่งการประมาณค่าได้ตลอดเวลา โดยให้ xk เป็นตัวแปรใดๆ ณ เวลา tk ที่เราไม่รู้ค่า แต่ต้องการประมาณค่า ณ เวลา t0, t1, … ไปเรื่อยๆ สมมุติว่า xk เปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ตามเวลา ดังสมการที่ 4



(4)

ตัวกรอง Kalman Filter จะทำหน้าที่ในการติดตามและประมาณค่าการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนของปูแสมเพื่อเพิ่มความถูกต้องและลดความผิดพลาดในการติดตาม



ภาพที่ 7 การใช้ตัวกรองคาลแมน (Kalman Filter) เพื่อติตามและวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุ (Object Tracking and Characterization)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ในการทดลองและทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม (Algorithm) ที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้บันทึกภาพการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมเป็นไฟล์ภาพวิดีโอ (Video) ความยาวจำนวน 1 นาที (60 วินาที)ใช้ตัวอ่อนปูแสมระยะซูเอียทั้งหมด 282 ตัว จากแม่พันธุ์จำนวน 5 ตัว ที่ถูกอนุบาลเพื่อการเพาะฟักอยู่ในกระบะ (ตามภาพที่ 3) จำนวน 5 กระบะ โดยแต่ละกระบะบรรจุแม่พันธุ์ปูแสมจำนวน 1 ตัว และทำการตักสุ่มแต่ละกระบะจำนวน 10 ครั้ง รวมทั้ง 5 กระบะจำนวนทั้งสิ้น 50 ครั้ง เพื่อนำมาตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ด้วยกล้องที่ถูกติดตั้งอยู่กับที่และใช้วิธีการลบภาพพื้นหลัง (Background Subtraction) ซึ่งผลของการตรวจจับวัตถุด้วยวิธีการนี้ ปรากฏว่า สามารถตรวจจับวัตถุได้ดี เนื่องจากวิธีการนี้เหมาะกับการตรวจจับวัตถุกรณีกล้องที่ไม่มีการเคลื่อนที่ซึ่งตรงกับ Piccardi (2004) และ Benezeth *et al*. (2008) ได้กล่าวไว้ว่าวิธีการลบภาพพื้นหลัง (Background Subtraction) เป็นวิธีการที่งานวิจัยด้านการประมวลผลภาพนำมาใช้ในการตรวจจับวัตถุกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเหมาะกับกล้องที่ถูกติดตั้งอยู่กับที่ (Static Camera) และสำหรับการติดตามวัตถุ (Object Tracking) ได้นำเอาคุณลักษณะเฉพาะด้านขนาดของวัตถุมาใช้เพื่อติดตามวัตถุ โดยไม่ได้นำคุณลักษณะของสีหรือรูปแบบลายมาใช้ในการติดตาม ซึ่งตรงกับ (Yilmaz, *et al*. (2006) ได้กล่าวไว้ว่า การติดตามวัตถุนั้นเป็นปรากฏการของการค้นหาเพื่อระบุตำแหน่ง หรือ รูปร่างของวัตถุในทุกๆเฟรม ซึ่งวิธีการนี้ปรากฏว่าสามารถติดตามวัตถุได้ดี สำหรับการคัดเลือกคุณภาพของตัวอ่อนปูแสมที่มีคุณภาพ มีพัฒนาการที่ดีเราสามารถอ้างอิงข้อมูลและพิจารณาข้อมูลจากตัวอ่อนที่มีการเคลื่อนที่หรือมีการว่ายน้ำ ซึ่งตรงกับ Sudtongkong *et al*. (2019) ได้กล่าวไว้ว่า ตัวอ่อนของปูแสมที่แข็งแรง คือ ตัวที่ว่ายน้ำ ดังนั้นการตรวจจับนับจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูแสมจึงเป็นข้อมูลอ้างอิงถึงคุณภาพหรือพัฒนาการของตัวอ่อนปูแสมที่ดีเหมาะที่จะนำไปอนุบาลต่อ โดยนำข้อมูลจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่รวมมาทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวอ่อนของปูแสมทั้ง 5 กระบะ เพื่อนำมาหาอัตราค่าเฉลี่ยในการเคลื่อนที่รวมทั้ง 5 กระบะ

จากผลการทดลอง ตามตารางที่ 2 ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ตัวอ่อนปูแสมที่มาจากแม่พันธุ์ 5 กระบะ/1 ตัว เพื่อพิจารณาตัวอ่อนปูแสมที่มีคุณภาพดีจากจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ที่ดีที่สุดเพื่อนำไปอนุบาลต่อ โดยตัวอ่อนปูแสมทั้งหมด 282 ตัว หลังจากนั้นนับจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่รวมของตัวอ่อนปูแสมในแต่ละกระบะจากอัลกอริทึม (Algorithm) ที่พัฒนาขึ้น พบว่า ในกระบะที่ 1 ตัวอ่อนปูแสม จำนวน 52 ตัว คิดเป็น 18.44% ตรวจพบการเคลื่อนที่ 150 ครั้ง คิดเป็น 27.66% ของอัตรา

ความเคลื่อนไหว กระบะที่ 2 ตัวอ่อนปูแสม จำนวน 55 ตัว คิดเป็น 19.51% ตรวจพบการเคลื่อนที่ 100 ครั้ง คิดเป็น 19.51% ของอัตราความเคลื่อนไหว กระบะที่ 3 ตัวอ่อนปูแสม จำนวน 56 ตัว คิดเป็น 21.98% ตรวจพบการเคลื่อนที่ 400 ครั้ง คิดเป็น 87.92% ของอัตราความเคลื่อนไหว กระบะที่ 4 ตัวอ่อนปูแสม จำนวน 57 ตัว คิดเป็น 20.22% ตรวจพบการเคลื่อนที่ 200 ครั้ง คิดเป็น 40.44% ของอัตราความเคลื่อนไหว และ กระบะที่ 5 ตัวอ่อนปูแสม จำนวน 56 ตัว คิดเป็น 19.85% ตรวจพบการเคลื่อนที่ 120 ครั้ง คิดเป็น 23.66% ของอัตราความเคลื่อนไหว

ตารางที่ 2 ผลการตรวจจับการเคลื่อนที่ตัวอ่อนปูแสม

กระบะที่	**จำนวนครั้งที่ (สุ่ม)**	**จำนวนตัวอ่อน (Zoea) รวม / ตัว**	**ค่าเฉลี่ยตัวอ่อนรวม (%)**	**รวมจำนวนครั้งการเคลื่อนไหวที่วิธีการประมวลผลภาพตรวจจับได้ / ภายใน 1 นาที**	**ค่าเฉลี่ยรวมอัตราการเคลื่อนไหว (%)**
กระบะ1	*10 ซ้ำ	52 ตัว	18.44%	150 ครั้ง	27.66%
กระบะ2	10 ซ้ำ	55 ตัว	19.51%	100 ครั้ง	19.51%
กระบะ3	10 ซ้ำ	62 ตัว	21.98%	400 ครั้ง	87.92%
กระบะ4	10 ซ้ำ	57 ตัว	20.22%	200 ครั้ง	40.44%
กระบะ5	10 ซ้ำ	56 ตัว	19.85%	120 ครั้ง	23.82%

หมายเหตุ *10 ซ้ำ หมายถึง จำนวนครั้งที่สุ่มในแต่ละกระบะเพื่อนำมาเป็นเป็นตัวแทนของประชากร

จากผลของอัตราการเคลื่อนไหวเฉลี่ยในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของตัวอ่อนปูแสมด้วยอัลกอริทึม (Algorithm) การประมวลผลด้วยภาพ จะพบว่า ตัวอ่อนปูแสมในกระบะที่ 3 ที่มีอัตราการเคลื่อนไหวเฉลี่ยในระดับมากที่สุด คือ 87.92% อาจกล่าวได้ว่ามีพัฒนาการที่ดีและมีความแข็งแรงที่สมบูรณ์มากที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยรวมจากจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 5 กระบะ เหมาะสมที่จะอนุบาลเพื่อการเพาะฟักหรือนำไปเลี้ยงต่อ ส่วนในกระบะที่ 2 เป็นตัวอ่อนที่มีความอ่อนแอไม่แข็งแรงมากที่สุด โดยอัตราค่าเฉลี่ยการเคลื่อนไหวรวมคิดเป็น 19.51% ไม่เหมาะสมที่จะนำไปอนุบาลต่อ

สรุป

ในบทความนี้ได้พัฒนาเทคนิคและการนำเสนออัลกอริทึม (Algorithm) ทางการประมวลผลภาพ โดยมุ่งเน้นวิธีการลบภาพพื้นหลังและเพิ่มขั้นตอนการกรอง (Filtering) สิ่งรบกวน (Nonie) ออกจากภาพรวมถึงเครื่องมือการติดตามที่มีคุณภาพซึ่งจะทำให้ผลการติดตาม (Tracking) และผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของตัวอ่อนปูแสมในระยะซูเอีย (Zoea) เพื่อการคัดกรองและประเมินความแข็งแรงของตัวอ่อนปูแสมจากการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งผลพบว่าอัลกอริทึม (Algorithm) สามารถวิเคราะห์ผลการเคลื่อนไหวได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ แต่อย่างไรก็ตามอัลกอริทึมยังสามารถปรับแต่งเพื่อแก้ปัญหาต่างๆ จาก

สภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของแสงแบบทันทีทันใด ทำให้ภาพที่ได้ขาดความคมชัด หรือตัวอ่อนปูเกิดทับซ้อน ทำให้ไม่สามารถแยกตัวอ่อนปูได้ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิคม สุวรรณวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชาญยุทธ สุดทองคง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง อาจารย์กฤดิกร แก้ววงศ์ศรี อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย รวมถึงอาจารย์ประจำหลักสูตรการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

Benezeth, Y., Jodoin, P.M., Emile, B., Laurent, H. and Rosenberger, C. 2008. Review and Evaluation of Commonly-Implemented Background Subtraction Algorithms, pp. 1-4. *In* **2008 19th International Conference on Pattern Recognition.** Tampa, FL, USA.

Boon, T.K. and Haidi, I. 2012. A Literature Survey on Animal Detection Methods in Digital Images. **International Journal of Future Computer and Communication** 1(1): 24-25.

Chitradevi, B. and Srimanthi, P. 2014. An Overview on Image Processing Techniques. **International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering** 11(2): 6466-6472.

Forward, R.B. 2009. Larval biology of the crab rhithropanopeus harrisii (Gould): A synthesis. **Biological Bulletin** 216(3): 243-256.

Genodepa, J., Zeng, C. and Southgate, P.C. 2004. Preliminary assessment of a microbound diet as an Artemia replacement for mud crab, Scylla serrata, megalopa. **Aquaculture** 236(1):497-509.

Jain, S. and Chadokar, S. 2015. A Object Detection in Image Processing: A Review. **International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering** 4(2): 26-29.

Jiang, Y., Li, Z., Fang, J., Yue, J. and Li, D. 2014. Automatic video tracking of Chinese mitten crabs based on the particle filter algorithm using a biologically constrained probe and resampling. **Computers and Electronics in Agriculture** 106: 111-119.

Koniar, D., Loncov, Z., Harga, L. and Be, P. 2015. Machine vision application in animal trajectory tracking. **Computer Methods and Programs in Biomedicine** 127: 258-272.

Pavlov, D.A. 2006. A method for the assessment of sperm quality in fish. **Journal of Ichthyology** 46(5): 391-398.

Piccardi, M. 2004. Background subtraction techniques: a review, pp. 3099-3104. *In* **IEEE International Conference on Systems,**

Man and Cybernetics Background The Hague, Netherlands.

Ren, X., Wang, Z., Gao, B., Liu, P. and Li, J. 2017. Toxic responses of swimming crab (*Portunus trituberculatus*) larvae exposed to environmentally realistic concentrations of oxytetracycline. **Chemosphere** 173: 563-571.

Schwager, M., Anderson, D.M., Butler, Z. and Rus, D. 2007. Robust classification of animal tracking data. **Computers and Electronics in Agriculture** 56(1): 46-59.

Singla, N. 2014. Motion Detection Based on Frame Difference Method. **International Journal of Information & Computation Technology** 15(4): 1559-1565

Sudtongkong, C., Wattanakul, W., Kong-oh, S., Danghnonghin, S. and Tunphiban, T. 2019. Survival and Growth of Juvenile Sesarmid Crab (*Episesarma singaporense*) Fed with Different Particle Size of Formulated Diets. **Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal** 11(1): 169-180.

Tekalp, A.M. and Salman, F.S. 2007. Automatic Vehicle Counting from Video for Traffic Flow Analysis, pp. 392-397. *In* **2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.** Istanbul, Turkey.

Tillett, R.D., Onyango, C.M. and Marchant, J.A. 1997. Using model-based image processing to track animal movements. **Computers and Electronics in Agriculture** 17(2): 249-261.

Yilmaz, A., Javed, O. and Shah, M. 2006. Object tracking: A survey. **ACM Computing Surveys** 38(4): 1-45.

Zion, B. 2012. The use of computer vision technologies in aquaculture - A review. **Computers and Electronics in Agriculture** 88: 125-132.

ความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดต่อการเข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา

Postnatal Mothers' Satisfaction toward Postpartum Care Project using Thai Traditional Medicine of Ranod Hospital, Songkhla Province

นัฐกานต์ นาวาเดช[1] วรพรรณ อินหมัน[1] งามศิริ สิงห์คำป้อง[2] สุจิตรา บุญราศรี[2] และ กุสุมาลย์ น้อยผา[1*]

Nattakan Navadach[1], Worapan Inman[1], Ngamsiri Singkhamphong[2], Suchitra Boonrasri[2] and Kusumarn Noipha[1*]

Received: 1 June 2018, Revised: 23 December 2019, Accepted: 29 April 2020

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาข้อมูลส่วนบุคคลของมารดาหลังคลอด เช่น อายุ การศึกษา การประกอบอาชีพ รายได้ของครอบครัว ลำดับการตั้งครรภ์ สถานที่ฝากครรภ์ และการดื่มนมของทารก 2) ประเมินระดับความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย และ 3) เปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการบริบาลมารดาหลังคลอดระหว่างมารดาหลังคลอดครรภ์ที่ 1 กับมารดาหลังคลอดครรภ์ที่ 2 ที่เพิ่งเคยรับบริการครั้งแรก กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ มารดาหลังคลอด จำนวน 26 คน ที่เข้ามารับบริการ ณ โรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และหาค่าความแตกต่างด้วยสถิติ paired t-test ผลการวิจัยพบว่า มารดาหลังคลอดส่วนใหญ่ มีอายุระหว่าง 21-25 ปี ร้อยละ 38.46 การศึกษาอยู่ในระดับ มัธยมศึกษาตอนต้น ร้อยละ 34.62 ประกอบอาชีพแม่บ้าน ร้อยละ 50.00 รายได้ มีเพียงพอและเหลือเก็บ ร้อยละ 57.69 ลำดับการตั้งครรภ์ ครรภ์ที่ 1 ร้อยละ 61.54 ฝากครรภ์ที่โรงพยาบาล ร้อยละ 73.08 ทารกดื่มนมมารดา ร้อยละ 69.23 การบริบาลมารดาหลังคลอดของโรงพยาบาลระโนด มีการให้บริการ 4 ด้าน ได้แก่ การนวดคลายกล้ามเนื้อ การประคบสมุนไพร การทับหม้อเกลือ และการอบไอน้ำสมุนไพร พบว่า มารดาหลังคลอดพึงพอใจในการให้บริการด้าน การประคบสมุนไพรมากที่สุด ร้อยละ 53.84

[1] หลักสูตรการแพทย์แผนไทยบัณฑิต คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดพัทลุง 93210

[1] Bachelor of Thai Traditional Medicine Program, Faculty of Health and sports Science, Thaksin University, Phatthalung 93210, Thailand.

[2] คลินิกแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก โรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา 90140

[2] Thai Traditional and Integrated Medicine Clinic, Ranod Hospital, Songkhla 90140, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): kusumarn.n@hotmail.com

รองลงมาคือ การทับหม้อเกลือ ร้อยละ 42.31 หลังการรับบริการ จากการสอบถามมารดาหลังคลอดพบว่าการบริบาลมารดาหลังคลอด ช่วยลดภาวะตึงเครียดภายในจิตใจ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

คำสำคัญ: ความพึงพอใจ, การบริบาลมารดาหลังคลอด, แพทย์แผนไทย, โรงพยาบาลระโนด, จังหวัดสงขลา

ABSTRACT

The purpose of this research aimed to 1) study personal information of postnatal mothers such as age, level of education, occupation, income, pregnancy order, antenatal care and breastfeeding, 2) evaluate satisfaction level of postnatal mothers who attended postpartum care project through the use of Thai traditional medicine, and 3) compare satisfaction level between first-child postnatal mothers and second-child postnatal mothers toward the postpartum care project. Twenty-six of postnatal mothers were enrolled in the postpartum care project at Ranod Hospital, Songkhla during June to July 2017. The data were collected by using questionnaires and the statistics used for analyzing data were percentage, means, standard deviation and paired t-test. The results revealed that most of the postnatal mothers aged between 21-25 years old (38.45%), completed junior high school (34.62%), were housewife (50.00%), earned enough income and saving (34.62%), experienced first-time pregnancy (61.54%), received antenatal care at the hospital (73.08%), and enabled breastfeeding (69.23%). The hospital provided four postpartum care services which were massage, herbal ball compression, hot salt pot compression and herbal steam. The participants had the highest satisfaction toward herbal ball compression (53.84%), followed by hot salt pot compression (42.30%). The results also indicated that the service significantly reduced mental stress in postnatal mothers (p<0.05) after they received postpartum care service.

Key words: satisfaction, postpartum mother care, Thai traditional medicine, Ranod hospital, Songkhla province

บทนำ

ในอดีตการอยู่ไฟ หรือ การอยู่เรือนไฟ มีความหมายครอบคลุมในทุกกิจกรรมของการดูแลมารดาหลังคลอด ไม่ว่าจะเป็นการนอนผิงไฟข้างกองไฟ ใช้อิฐเผาไฟให้ร้อนแล้วราดน้ำห่อด้วยผ้ามาประคบหน้าท้อง ดื่มน้ำต้มสมุนไพรอุ่นๆ การนวดหลังคลอด ประคบสมุนไพร ทับหม้อเกลือ เข้ากระโจม นั่งถ่าน การใช้ยาสมุนไพร และการดูแลเรื่องอาหารการกิน เป็นต้น (ศรีศักดิ์, 2555) การดูแลมารดาหลังคลอด เป็นระยะที่ต้องการดูแลมารดาเป็นพิเศษ เนื่องจากร่างกายของมารดายังคงมีความอ่อนเพลียอย่างมากจากการเบ่งคลอด โดยในแต่ละภูมิภาคก็จะมีวิธีการปฏิบัติที่แตกต่างกันออกไปตามความเชื่อ ขนบธรรมเนียม ประเพณี และศาสนา โดยเชื่อว่าการอยู่ไฟจะทำให้ร่างกายแข็งแรง และส่งผลดีต่อสุขภาพทุกอย่าง ช่วยให้ร่างกายผ่อนคลาย สบายตัว ช่วยกระตุ้นให้มดลูกเข้าอู่เร็วขึ้น เร่งการขับน้ำคาวปลาหลังคลอด ทำให้ผิวพรรณดีขึ้น และเป็นการฟื้นฟูสุขภาพมารดาให้กลับคืนสู่สภาวะปกติโดยเร็วที่สุด (สุภาพร, 2555) และที่สำคัญเป็นการ

ปรับร่างกายของมารดาหลังคลอดให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายนอกมากที่สุด (กอบกุล, 2554)

กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดให้สถานบริการสุขภาพของรัฐจะต้องจัดให้บริการทางแพทย์แผนไทยแก่ผู้มารับบริการโดยกำหนดให้โรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไปและโรงพยาบาลชุมชนต้องจัดให้บริการทางแพทย์แผนไทยทุกโรงพยาบาลและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลจัดให้บริการ ร้อยละ 30 เพื่อให้ประชาชนทุกคนได้รับบริการอย่างทั่วถึง นโยบายการสร้างหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้าของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.)ได้ขยายโอกาสการเข้าถึงบริการสุขภาพของประชาชนให้ครอบคลุมอย่างทั่วถึงมากขึ้น ทำ ให้ประชาชนมีหลักประกันสุขภาพและสามารถเข้ารับบริการตามสิทธิประโยชน์โดยไม่ต้องกังวลว่าจะถูกปฏิเสธการรักษาและไม่ต้องกังวลเรื่องค่ารักษา การแพทย์แผนไทย เป็นศาสตร์แห่งภูมิปัญญาสาขาใหญ่สาขาหนึ่ง อาจแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ เวชกรรมไทย หัตถเวชกรรมไทย เภสัชกรรมไทย และผดุงครรภ์ไทย การบริการด้านผดุงครรภ์ไทยนั้น รวมถึงการบริบาลมารดาหลังคลอด (การอยู่ไฟ) ด้วย ซึ่งการดูแลหลังคลอดด้วยวิธีการแพทย์แผนไทย ประกอบด้วยการประคบสมุนไพร การเข้ากระโจม การทับหม้อเกลือ การนวด และการใช้สมุนไพรต่างๆ (เกษร, 2557)

ในปัจจุบันยังพบว่ามารดาที่คลอดบุตรที่โรงพยาบาลมักจะไม่ได้อยู่ไฟหลังคลอดที่บ้านเหมือนในอดีต อาจเนื่องมาจากหมอพื้นบ้าน (หมอตำแย) มีจำนวนลดลงไม่สามารถให้บริการได้ หรือมารดายังไม่ตะหนักถึงการดูแลสุขภาพตนเองที่ต้องมีการฟื้นฟูหลังคลอด ถึงแม้ว่ากระทรวงสาธารณสุขมีนโยบายส่งเสริมให้โรงพยาบาลมีบริการและให้คำแนะนำกับหญิงหลังคลอด (คลอดปกติ) ที่มาคลอดที่โรงพยาบาล โดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดำเนินกิจกรรมจากการให้คำแนะนำ ลงสู่การปฏิบัติคือการให้บริการในห้องคลอด คลินิกแพทย์แผนไทยและการออกเยี่ยมบ้าน เพื่อทำให้หญิงหลังคลอดเข้าถึงการรับบริการการดูแลหญิงหลังคลอดด้วยวิธีการแพทย์แผนไทยได้ดีขึ้น (เกษร, 2557) แต่อย่างไรก็ดี มารดาหลังคลอดส่วนใหญ่ก็ยังไม่เข้ารับบริการมารดาหลังคลอด

โรงพยาบาลระโนดเป็นโรงพยาบาลชุมชนขนาด 60 เตียง จัดเป็นโรงพยาบาลทุติยภูมิ ตลอดจนการเป็นโรงพยาบาลแม่ข่ายให้กับโรงพยาบาลกระแสสินธุ์เพื่อทำหน้าที่ให้บริการทั้งผู้ป่วยนอกและผู้ป่วยใน บทบาทหน้าที่ครอบคลุมด้านการตรวจรักษา ส่งเสริมสุขภาพ ป้องกันโรค และฟื้นฟูสภาพ ให้บริการแพทย์ทางเลือกและกายภาพบำบัด โรงพยาบาลได้จัดให้มีงานแพทย์แผนไทยเพื่อตอบสนองนโยบายของกระทรวงสาธารณสุข โดยเปิดให้บริการการ ตรวจวินิจฉัย รักษาด้วยวิธีการทางแพทย์แผนไทย รวมถึงการให้บริการเกี่ยวกับการบริบาลมารดาหลังคลอด (การอยู่ไฟหลังคลอด) 4 ด้านด้วยกัน คือ การนวดหลังคลอด ประคบสมุนไพร ทับหม้อเกลือ และการอบสมุนไพร แต่อย่างไรก็ดีเพื่อพัฒนาการให้บริการอย่างมีคุณภาพ และทั่วถึง รวมทั้งส่งเสริมให้มารดาหลังคลอดเข้ารับบริการให้มากขึ้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดต่อการเข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาข้อมูลส่วนบุคคลของมารดาหลังคลอด เช่น อายุ การศึกษา การประกอบอาชีพ รายได้ของครอบครัว ลำดับการตั้งครรภ์ สถานที่ฝากครรภ์ และการดื่มนมของทารก 2) ประเมินระดับความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอด และ 3) เปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการบริบาลมารดาหลังคลอดระหว่างมารดาหลังคลอดครรภ์ที่ 1 กับ

มารดาหลังคลอดครรภ์ที่ 2 ที่เพิ่งเคยรับบริการครั้งแรก จากการเข้าร่วมโครงการบริบาลมารดาหลังคลอดของโรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา ทั้งนี้เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นแนวทางในการพัฒนาการให้บริการการบริบาลมารดาหลังคลอดของโรงพยาบาล รวมถึงการประชาสัมพันธ์ให้ความรู้และประโยชน์ของการอยู่ไฟหลังคลอดเพื่อส่งเสริมให้มารดาหลังคลอดได้ให้ความสำคัญต่อการอยู่ไฟหรือการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทยต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ดำเนินการวิจัยดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ประกอบด้วย มารดาหลังคลอดบุตร โดยไม่จำกัดอายุ ที่เข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยการผดุงครรภ์แผนไทย ในกลุ่มงานแพทย์แผนไทยโรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา ในเดือนมิถุนายน ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 รวมเป็นเวลา 2 เดือน โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า คัดออก และยุติการเข้าร่วมโครงการดังนี้

1. เป็นหญิงหลังคลอดในระยะ 3 เดือนแรกหลังคลอด
2. ต้องไม่มีข้อห้ามในการทำหัตถการอยู่ไฟหลังคลอด เช่น มีไข้เกิน 37.5 องศาเซลเซียส ความดันโลหิตต้องไม่เกิน 140/90 และต้องไม่มีภาวะแทรกซ้อนอื่นๆ เช่น อาการหน้ามืด วิงเวียนศีรษะ ภาวะตกเลือดหลังคลอด เป็นต้น
3. ยินยอมเข้าร่วมโครงการ
4. แพ้สมุนไพรที่ใช้ทำหัตถการ
5. ไม่สามารถเข้าร่วมโครงการตลอดระยะเวลาที่กำหนด

ขั้นตอนการบริบาลมารดาหลังคลอด โรงพยาบาลระโนดมีคลินิกการแพทย์แผนไทยให้บริการเกี่ยวกับหัตถการในการอยู่ไฟหลังคลอด 4 ด้าน คือ การนวด ประคบสมุนไพร ทับหม้อเกลือ และการอบสมุนไพร โดยการทำหัตถการต่างๆ ด้วยกรรมวิธีการแพทย์แผนไทยใช้มาตรฐานตามคู่มือแนวทางการผดุงครรภ์มารดาด้วยการแพทย์แผนไทย สถาบันการแพทย์แผนไทย (เกษร, 2557) โดยมีรายละเอียดดังนี้ ตรวจซักถามข้อมูลสุขภาพของมารดา รวมไปถึงสอบถามอาการ โรคประจำตัว จากนั้น จะวัดอุณหภูมิของร่างกาย วัดความดันโลหิต ชั่งน้ำหนัก วัดรอบเอว และวัดระดับยอดมดลูก ก่อนและหลังทำหัตถการทุกครั้ง และแจ้งให้มารดาทราบข้อมูลดังกล่าว การบริบาลมารดาหลังคลอดเริ่มจากการทำหัตถการในขั้นตอนแรกด้วยการนวด เป็นการนวดคลายเส้นกล้ามเนื้อตามจุดต่างๆ ทั่วร่างกาย เช่น ใบหน้า ศีรษะ ต้นแขน ต้นขา เป็นต้น เพื่อให้กล้ามเนื้อที่เมื่อยล้า เส้นเอ็นและเลือดลมต่างๆ คลายตัว กระตุ้นต่อมน้ำเหลืองและเลือดลมได้ดียิ่งขึ้น โดยใช้เวลานวดประมาณ 30 นาที ต่อมาขั้นตอนที่ 2 จึงใช้ลูกประคบสมุนไพรด้วยการนำลูกประคบร้อนที่ห่อด้วยสมุนไพรต่างๆ มากกว่า 10 ชนิด เช่น ขมิ้น ตะไคร้ ใบส้มป่อย เถาเอ็นอ่อน การบูร ฯลฯ มาคลึงตามบริเวณร่างกายและเต้านม ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที การทับหม้อเกลือ เป็นการทำหัตถการขั้นตอนที่ 3 โดยการนำเอาเกลือเม็ดใส่ในหม้อดินยกตั้งไฟจนเกลือสุก แล้วห่อด้วยใบพลับพลึงและผ้าขาว ยกมาประคบตามร่างกายเป็นเวลา 30 นาที ความร้อนจากหม้อเกลือจะช่วยให้รูขุมขนเปิด สมุนไพรซึมผ่านลงผิวหนังไปทีละชั้น ช่วยขับน้ำคาวปลาของเสียออกมาตามรูขุมขน ทั้งยังช่วยรัดมดลูกให้เข้าอู่เร็วขึ้นอีกด้วย และขั้นตอนสุดท้าย คือ การอบตัวด้วยกระโจมสมุนไพร ใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที การอบไอน้ำด้วยสมุนไพรนานาชนิดนี้จะช่วยให้รูขุมขนได้ขับ

ของเสียและทำความสะอาดผิวให้เปล่งปลั่งขึ้น โดยมารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการนี้ จะได้รับบริการ 4 ขั้นตอนต่อครั้ง เป็นเวลา 5 ครั้ง รวมเป็นเวลา 5 วัน โดยเว้นระยะต่อครั้ง ไม่เกิน 1-2 วัน หลังจากผู้เข้าร่วมโครงการได้รับบริการเสร็จสิ้นตามกิจกรรมที่โครงการกำหนดตลอดระยะเวลา ผู้เข้าร่วมโครงการจะต้องตอบแบบสอบถามทันทีหลังเสร็จสิ้นการได้รับบริการครั้งสุดท้าย (ครั้งที่ 5)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้ เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (วรรณา, 2558; วนิตา และคณะ, 2561) โดยแบบสอบถามดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลของหญิงหลังคลอด ได้แก่ อายุ การศึกษา การประกอบอาชีพ รายได้ของครอบครัว ลำดับการตั้งครรภ์ สถานที่ฝากครรภ์ และการเลี้ยงดูบุตร ลักษณะคำถามเป็นคำถามปลายปิดจำนวน 7 ข้อ ส่วนที่ 2 แบบประเมินความพึงพอใจของหญิงหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการบริบาลมารดาหลังคลอด เป็นแบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ประกอบด้วยข้อคำถามทั้งหมด 16 ข้อ ลักษณะคำถามเป็นคำถามปลายปิดแบบมาตรฐานส่วนประเมินค่า (Rating scale) 5 ระดับ ดังนี้

เป็นความจริงมากที่สุด หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

เป็นความจริงมาก หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

เป็นความจริงปานกลาง หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

เป็นความจริงน้อย หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

เป็นความจริงน้อยที่สุด หมายถึง ข้อความนั้นตรงกับระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

เกณฑ์ในการให้คะแนน ข้อความแสดงถึงความพึงพอใจของหญิงหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการบริบาลมารดาหลังคลอด จะให้คะแนน 5, 4, 3, 2 และ 1 สำหรับคำตอบเป็นความจริงมากที่สุด เป็นความจริงมาก เป็นความจริงปานกลาง เป็นความจริงน้อย และเป็นความจริงน้อยที่สุด ตามลำดับ

เกณฑ์ในการประเมินระดับความพึงพอใจของหญิงหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการบริบาลมารดาหลังคลอด ผู้วิจัยได้กำหนดการแปลความหมายคะแนนตามเกณฑ์ของเบสท์ (ปริย, 2545 อ้างถึง Best, 1981) ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง ความพึงพอใจของหญิงหลังคลอดอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง ความพึงพอใจของหญิงหลังคลอดอยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง ความพึงพอใจของหญิงหลังคลอดอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายถึง ความพึงพอใจของหญิงหลังคลอดอยู่ในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายถึง ความพึงพอใจของหญิงหลังคลอดอยู่ในระดับมากที่สุด

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ผู้วิจัยนำแบบสอบถามไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องด้านเนื้อหา โครงสร้าง และภาษาเพื่อให้ได้ข้อคำถามที่ครอบคลุม แล้วปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ โดยในการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงประจักษ์ ใช้ผู้เชี่ยวชาญจานวน 3 ท่าน แล้วนำมาหาค่า IOC (index of item objective congruence) ได้ค่า ระหว่าง 0.50-1.00 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.82

การพิทักษ์สิทธิ์ ผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์ในการศึกษาให้ผู้เข้าร่วมโครงการรับทราบ แล้วจึงขอความร่วมมือและความยินยอมในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย ซึ่งตัวอย่างสามารถปฏิเสธการเข้าร่วมในการวิจัยได้ตลอดเวลา โดยไม่มีผลต่อการให้บริการ

ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะถูกเก็บเป็นความลับ ผลการศึกษาจะไม่ระบุชื่อ-นามสกุล และไม่นำเสนอเพื่อก่อให้เกิดผลเสียต่อตัวอย่าง และหลังจากเสร็จสิ้นการวิจัยแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะถูกทำลายเพื่อเป็นการคุ้มครองสิทธิ์ของตัวอย่าง

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการ ขออนุมัติเก็บข้อมูลจากผู้บังคับบัญชา ภายหลังได้รับการอนุมัติได้เข้าพบกลุ่มตัวอย่าง โดยชี้แจงวัตถุประสงค์และขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งผู้วิจัยได้ให้บริการบริบาลมารดาหลังคลอด และสอบถามข้อมูลด้วยตนเอง เมื่อเก็บข้อมูลได้ครบแล้วจึงทำการตรวจสอบความถูกต้อง สมบูรณ์ และนำไปวิเคราะห์ข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ (%) ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และการทดสอบค่าที (pair t-test)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการวิจัยโครงการความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดต่อการเข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา แสดงข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อส่งเสริมให้มารดาหลังคลอดเห็นถึงความสำคัญของการอยู่ไฟหรือการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย รวมทั้งเป็นแนวทางในการพัฒนาการให้บริการการบริบาลมารดาหลังคลอดของโรงพยาบาลอื่นๆ ต่อไป ซึ่งสรุปผลการวิจัยดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลการตั้งครรภ์ของมารดาหลังคลอด มารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการ จำนวน 26 คน ส่วนใหญ่อยู่ช่วงอายุ 21-25 ปี จำนวน 10 ราย มีระดับการศึกษาอยู่ในช่วงมัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 9 ราย คิดเป็นร้อยละ 34.62 การประกอบอาชีพแม่บ้าน จำนวน 13 ราย คิดเป็นร้อยละ 50.00 รองลงมาคือ ค้าขาย และ รับจ้าง มีรายได้ต่อเดือนเพียงพอ จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 57.69 ลำดับการตั้งครรภ์ เป็นครรภ์ที่ 1 จำนวน 16 ราย คิดเป็นร้อยละ 61.54 รองลงมาคือ ครรภ์ที่ 2 ขึ้นไป จำนวน 10 ราย คิดเป็นร้อยละ 38.46 ส่วนใหญ่ฝากครรภ์ที่โรงพยาบาล จำนวน 19 ราย คิดเป็นร้อยละ 73.08 รองลงมาคือ สถานีอนามัย จำนวน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 15.38 และฝากครรภ์ที่คลินิก จำนวน 3 ราย คิดเป็น ร้อยละ 11.54 เลี้ยงดูบุตรด้วยนมแม่ จำนวน 18 ราย คิดเป็นร้อยละ 69.23 แสดงดังตารางที่ 1

2. การประเมินระดับความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการ สำหรับความ พึงพอใจของมารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอด จำแนกเป็นด้านขั้นตอนการให้บริการพบว่า มารดาหลังคลอดมีความพึงพอใจต่อขั้นตอนการประคบสมุนไพรมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.50±0.58 ขั้นตอนการนวดคลายกล้ามเนื้อ มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 4.04±0.77 และด้านความพึงพอใจของมารดาหลังคลอด หลังรับบริการ พบว่า การอยู่ไฟช่วยให้มดลูกเข้าอู่ได้ดี ช่วยขับน้ำคาวปลา มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.54±0.71 และช่วยลดอาการไข้หวัด ภูมิแพ้ หอบหืดที่ไม่รุนแรง มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 4.04±0.77 แสดงดังตารางที่ 2

จากการประเมินการเข้าร่วมโครงการบริบาลมารดาหลังคลอด พบว่า หญิงหลังคลอดพึงพอใจในการให้บริการด้านการประคบสมุนไพรมากที่สุด รองลงมาคือ การทับหม้อเกลือ การซักประวัติตรวจร่างกาย การอบสมุนไพร การให้คำแนะนำ/สุขศึกษา และการนวดคลายกล้ามเนื้อ จากผลการวิจัยครั้งนี้ มารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอด มีความพึงพอใจต่อการให้บริการด้านการประคบสมุนไพรมากที่สุด รองลงมาคือ ขั้นตอนการทับหม้อเกลือ และให้ผลประเมินหลังเข้าร่วมโครงการว่า การบริบาลมารดา

หลังคลอดนี้สามารถช่วยให้มดลูกเข้าอู่ได้ดี ช่วยขับน้ำคาวปลามากที่สุด รองลงมาคือ ช่วยลดอาการปวดเมื่อย ตามตัว ทำให้มารดาหลังคลอดมีสุขภาพแข็งแรง ฟื้นตัวเร็วขึ้น ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ กุสุมาลย์ และคณะ (2562) พบว่า มารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยผดุงครรภ์แผนไทยในชุมชนป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง มีความพึงพอใจต่อขั้นตอนการประคบสมุนไพรมากที่สุด และเห็นว่าการอยู่ไฟช่วยให้มดลูกเข้าอู่ได้ดี ช่วยขับน้ำคาวปลา นอกจากนี้พบความสอดคล้องกับการศึกษาของ อาภารัศมี (2556) จากการสัมภาษณ์เชิงลึกอาจารย์ประจำสาขาวิชาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พบว่า การประคบสมุนไพรช่วย กระตุ้นการขับน้ำคาวปลา กระตุ้นการไหลเวียนโลหิต กระชับผิวกาย คลายกล้ามเนื้อแก้ปวดเมื่อย ลดริ้วรอยใต้ผิวหนัง ลดอาการคัดตึงเต้านมการทับหม้อเกลือ ช่วยลดอาการปวดเมื่อย ทำให้มดลูกเข้าอู่เร็วขึ้น กระตุ้นการไหลเวียนโลหิต ลดไขมันหน้าท้อง ทำให้หน้าท้องยุบ และช่วยกระตุ้นการขับน้ำคาวปลา บรรเทาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อและเอ็น บำรุงผิวพรรณ บรรเทาอาการคันและรักษาผดผื่น ด้านการให้คำแนะนำของแพทย์แผนไทยเมื่อกลับไปพักฟื้น จะแนะนำให้มารดา ดื่มน้ำอุ่น รับประทานอาหารที่เพิ่มความอบอุ่นให้ร่างกายและบำรุงน้ำนม และการนวดคลายกล้ามเนื้อทำให้หญิงหลังคลอดรู้สึกผ่อนคลาย กระตุ้นการทำงานของอวัยวะต่างๆ ขับน้ำคาวปลา ป้องกันเหน็บชา ลดการคั่งของของเสียและไขมัน การไหลเวียนของโลหิตและการกระตุ้นให้ร่างกายขับถ่ายของเสีย

3. เปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการบริบาลมารดาหลังคลอด ระหว่างมารดาหลังคลอดครรภ์ที่ 1 กับมารดาหลังคลอดครรภ์ที่ 2 ขึ้นไป ที่เพิ่งเคยรับบริการครั้งแรก เมื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจของมารดาหลังคลอด 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 คือ มารดาที่เข้ารับบริการการบริบาลมารดาหลังคลอดครั้งนี้เป็นครั้งแรกสำหรับการคลอดครรภ์ที่ 1 จำนวน 16 ราย และกลุ่มที่ 2 คือ มารดาหลังคลอดครรภ์ที่ 2 ขึ้นไป ซึ่งไม่เคยเข้ารับบริการการบริบาลมารดาหลังคลอดก่อนหน้านี้ (ไม่เคยได้รับบริการบริบาลมารดาหลังคลอดก่อนหน้านี้ หมายถึง มารดาหลังคลอดที่คลอดบุตรคนที่ 2 ขึ้นไป ไม่เคยอยู่ไฟก่อนหน้านี้ แต่มารับรับบริการมารดาหลังคลอดครั้งนี้เป็นครั้งแรก (มารดาในกลุ่มตั้งครรภ์ที่ 2 ขึ้นไป จำนวน 7 ราย จากจำนวน 10 ราย (ตารางที่ 1)) พบว่า มารดาหลังคลอดที่เข้ารับบริการการบริบาลมารดาหลังคลอด (กลุ่มที่ 1) มีความพึงพอใจการประคบสมุนไพร มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.58±0.61 ส่วนการซักประวัติ ตรวจร่างกาย มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 4.11±0.88 และมารดาหลังคลอดที่ไม่เคยเข้ารับบริการการบริบาลมารดาหลังคลอด (กลุ่มที่ 2) มีความพึงพอใจในขั้นตอนการประคบสมุนไพรและการทับหม้อเกลือ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.29±0.49 ส่วนการให้คำแนะนำ/การให้สุขศึกษา มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 3.86±0.69 และมารดาหลังคลอดที่เคยรับบริการคิดว่าการอยู่ไฟช่วยให้ลดภาวะตึงเครียดภายในจิตใจ ช่วยให้รู้สึกผ่อนคลายจิตใจมากกว่ากลุ่มที่ไม่เคยได้รับบริการมาก่อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$ (คะแนนค่าเฉลี่ย 4.42±0.61 และ 3.71±0.76) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดที่เคยได้รับบริการบริบาลมารดาหลังคลอดและไม่เคยได้รับบริการบริบาลมารดา หลังคลอด พบว่า มารดาหลังคลอดที่เคยได้รับบริการบริบาลประเมินว่า การอยู่ไฟหลังคลอดช่วยลดภาวะตึงเครียดภายในจิตใจ และช่วยให้รู้สึกผ่อนคลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$ ดังนั้น การบริบาลมารดาหลังคลอดมีประโยชน์ต่อมารดาหลังคลอดรายใหม่ เพราะทำให้มารดารู้สึกผ่อนคลาย

และลดภาวะตึงเครียดในจิตใจได้มากกว่ามารดาที่ผ่านการคลอดบุตรมาแล้วแต่ไม่ได้รับบริการบริบาลมารดาหลังคลอด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ จุฑามาศ (2556) โดยเชื่อว่า การอยู่ไฟหลังคลอดจะมีประโยชน์สำหรับสตรีหลังคลอดรายใหม่ เพราะจะช่วยในเรื่องของการรักษาสุขภาพทั้งภายในและภายนอกได้เป็นอย่างดี อาทิเช่น ช่วยในเรื่องของการขับน้ำคาวปลาและกระตุ้นให้มดลูกเข้าอู่เร็ว ช่วยเพิ่มน้ำนม ทำให้ผิวพรรณสดใสขึ้น นอกจากนี้และยังช่วยลดภาวะตึงเครียดภายในจิตใจ

จากการศึกษาวิจัย เรื่อง ทัศนคติ การรับรู้ และความตั้งใจ ของหญิงตั้งครรภ์ต่อการใช้บริการส่งเสริมสุขภาพหลังคลอดด้วยการแพทย์แผนไทย จังหวัดลำปาง ชี้ให้เห็นว่า หญิงตั้งครรภ์มีความตั้งใจในการใช้บริการส่งเสริมสุขภาพหลังคลอดด้วยวิธีการทางการแพทย์แผนไทย เห็นได้จากหญิงตั้งครรภ์มีทัศนคติที่ดีต่อการใช้บริการ และสามารถควบคุมตนเองให้มีความตั้งใจที่จะใช้บริการถึงแม้จะพบอุปสรรค และการเพิ่มแรงสนับสนุนจากบุคคลรอบข้างสมาชิกในครอบครัว เพื่อน หรือเจ้าหน้าที่สาธารณสุข จะสร้างความมั่นใจต่อการใช้บริการดังกล่าว จึงควรสนับสนุนให้สถานบริการของรัฐที่มีบริการ ดูแลหลังคลอดโดย วิธีการทางการแพทย์แผนไทย (ทับหม้อเกลือ) ส่งเสริมให้หญิงตั้งครรภ์ได้รับรู้ข้อมูลการบริการประโยชน์ของการบริการ ความเป็นไปได้ในการใช้บริการ รวมทั้งข้อมูลด้านการจัดบริการ พร้อมทั้งควรส่งเสริมให้มีการนำวิธีการดูแลหลังคลอดด้วยวิธีการทางการแพทย์แผนไทยประยุกต์ใช้ในระบบบริการสาธารณสุขทุกระดับ ซึ่งนับว่าเป็นวิธีการส่งเสริมสุขภาพมารดาหลังคลอดที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพ ประชาชนสามารถเข้าถึงบริการได้ง่ายอีกด้วย (วรรณา, 2558)

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของมารดาหลังคลอด จำนวน 26 คน

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
อายุ		
ต่ำกว่า 20 ปี	7	26.92
21-25 ปี	10	38.46
26-30 ปี	8	30.77
31 ปี ขึ้นไป	1	3.85
การศึกษา		
ประถมศึกษา	3	11.54
มัธยมศึกษาตอนต้น	9	34.62
มัธยมศึกษาตอนปลาย	8	30.77
อนุปริญญา/เทียบเท่า	2	7.69
ปริญญาตรีหรือสูงกว่าปริญญาตรี	4	15.38
อาชีพ		
แม่บ้าน	13	50.00
ค้าขาย	4	15.38
รับจ้าง	4	15.38

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	**จำนวน (คน)**	**ร้อยละ**
เกษตรกรรม	1	3.85
รับราชการหรือรัฐวิสาหกิจ	3	11.54
อื่นๆ	1	3.85
ครอบครัวมีรายได้ต่อเดือน		
ไม่เพียงพอ	2	7.69
เพียงพอ	15	57.69
มีเพียงพอและเก็บเหลือเก็บ	9	34.62
ลำดับการตั้งครรภ์		
ครรภ์ที่ 1	16	61.54
ครรภ์ที่ 2 ขึ้นไป	10	38.46
สถานที่ฝากครรภ์		
โรงพยาบาล	19	73.08
คลินิก	3	11.54
สถานีอนามัย	4	15.38
อื่นๆ ระบุ	0	0.00
การเลี้ยงลูกด้วยน้ำนม		
นมมารดาอย่างเดียว	18	69.23
นมมารดาและนมผง	7	26.92
นมผง	1	3.85

ตารางที่ 2 ระดับความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดที่เข้าร่วมโครงการการบริบาลมารดาหลังคลอด จำนวน 26 คน (5 คะแนน = พึงพอใจมากที่สุด 4 คะแนน = พึงพอใจมาก 3 คะแนน = พึงพอใจปานกลาง 2 คะแนน = พึงพอใจน้อย และ 1 คะแนน = พึงพอใจน้อยที่สุด)

ความพึงพอใจด้านต่างๆ	**มากที่สุด (จำนวน, ร้อยละ)**	**มาก (จำนวน, ร้อยละ)**	**ปานกลาง (จำนวน, ร้อยละ)**	**น้อย (จำนวน, ร้อยละ)**	**น้อยที่สุด (จำนวน, ร้อยละ)**	**คะแนน (เฉลี่ย±SD)**	**ผลลัพธ์**
ขั้นตอนการให้บริการ							
1. การซักประวัติ ตรวจร่างกาย	10(38.46)	9(34.62)	7(26.92)	0(0)	0(0)	4.12±0.82	มาก
2. การนวดคลายกล้ามเนื้อ	8(30.77)	11(42.31)	7(26.92)	0(0)	0(0)	4.04±0.77	มาก
3. การประคบสมุนไพร	14(53.85)	11(42.31)	1(3.85)	0(0)	0(0)	4.50±0.58	มากที่สุด
4. การทับหม้อเกลือ	11(42.31)	12(46.15)	3(11.54)	0(0)	0(0)	4.31±0.68	มาก
5. การอบไอน้ำสมุนไพร	10(38.46)	13(50.00)	3(11.45)	0(0)	0(0)	4.27±0.63	มาก
6. คำแนะนำ/การให้สุขศึกษา	9(34.62)	13(50.00)	4(15.38)	0(0)	0(0)	4.19±0.69	มาก

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ความพึงพอใจด้านต่างๆ	มากที่สุด (จำนวน, ร้อยละ)	มาก (จำนวน, ร้อยละ)	ปานกลาง (จำนวน, ร้อยละ)	น้อย (จำนวน, ร้อยละ)	น้อยที่สุด (จำนวน, ร้อยละ)	คะแนน (เฉลี่ย±SD)	ผลลัพธ์
หลังรับบริการ							
7. ช่วยให้มดลูกเข้าอู่ได้ดี ช่วยขับน้ำคาวปลา	15(57.69)	10(38.46)	1(3.58)	0(0)	0(0)	4.54±0.71	มากที่สุด
8. ช่วยลดอาการท้องอืดจุกเสียดแน่นท้อง	10(38.46)	11(42.31)	5(19.31)	0(0)	0(0)	4.19±0.73	มาก
9. ช่วยลดไขมันหน้าท้อง	14(53.85)	10(38.46)	2(7.69)	0(0)	0(0)	4.46±0.75	มาก
10. ช่วยลดอาการไข้หวัด ภูมิแพ้ หอบหืด ที่ไม่รุนแรง	8(30.77)	11(42.31)	7(26.92)	0(0)	0(0)	4.04±0.77	มาก
11. ช่วยลดอาการปวดเมื่อย ตามตัว	16(61.54)	7(26.92)	3(11.54)	0(0)	0(0)	4.50±0.71	มากที่สุด
12. ทำให้ระบบไหลเวียนเลือดในร่างกายดี	14(53.85)	8(30.77)	4(15.38)	0(0)	0(0)	4.38±0.75	มาก
13. ขับของเสียออกทางผิวหนัง ดับกลิ่นคาวในร่างกาย	12(46.15)	6(23.08)	8(30.77)	0(0)	0(0)	4.15±0.88	มาก
14. ทำให้มารดาหลังคลอดมีสุขภาพแข็งแรง ฟื้นตัวเร็วขึ้น	15(57.69)	8(30.77)	3(11.54)	0(0)	0(0)	4.46±0.71	มาก
15. ลดภาวะตึงเครียดภายในจิตใจ ช่วยให้รู้สึกผ่อนคลายจิตใจ	12(46.15)	9(34.62)	5(19.23)	0(0)	0(0)	4.27±0.78	มาก
16. มารดาหลังคลอดได้รับการปฏิบัติตัวที่ถูกวิธี และสามารถนำไปปฏิบัติได้เอง	11(42.31)	11(42.31)	4(15.38)	0(0)	0(0)	4.27±0.72	มาก

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดครรภ์ที่ 1 (กลุ่มที่ 1, n=16) และมารดาหลังคลอด ครรภ์ที่ 2 ขึ้นไป ที่เพิ่งเคยรับบริการบริบาลมารดาหลังคลอดครั้งแรก (กลุ่มที่ 2, n=7)

ความพึงพอใจในด้านต่างๆ	คะแนนเฉลี่ย±SD		p value
	กลุ่มที่ 1 (n=16)	กลุ่มที่ 2 (n=7)	
1. การซักประวัติ ตรวจร่างกาย	4.11±0.88	4.14±0.69	0.91
2. การนวดคลายกล้ามเนื้อ	4.26±0.93	4.14±0.69	0.73
3. การประคบสมุนไพร	4.58±0.61	4.29±0.49	0.23
4. การทับหม้อเกลือ	4.37±0.76	4.29±0.49	0.75
5. การอบไอน้ำสมุนไพร	4.42±0.79	4.00±0.58	0.14
6. คำแนะนำ/การให้สุขศึกษา	4.15±0.73	3.86±0.69	0.22
7. ช่วยให้มดลูกเข้าอู่ได้ดี ช่วยขับน้ำคาวปลา	4.60±0.50	4.43±0.79	0.60
8. ช่วยลดอาการท้องอืดจุกเสียดแน่นท้อง	4.16±083	4.43±0.53	0.34
9. ช่วยลดไขมันหน้าท้อง	4.53±0.70	4.43±0.53	0.71

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ความพึงพอใจในด้านต่างๆ	คะแนนเฉลี่ย±SD		p value
	กลุ่มที่ 1 (n=16)	กลุ่มที่ 2 (n=7)	
10. ช่วยลดอาการไข้หวัด ภูมิแพ้ หอบหืด ที่ไม่รุนแรง	4.16±0.83	4.14±0.69	0.96
11. ช่วยลดอาการปวดเมื่อยตามตัว	4.53±0.70	4.43±0.79	0.79
12. ทำให้ระบบไหลเวียนเลือดในร่างกายดี	4.42±0.77	4.29±0.76	0.69
13. ขับของเสียออกทางผิวหนัง ดับกลิ่นคาวในร่างกาย	4.26±0.87	4.00±0.82	0.49
14. ทำให้มารดาหลังคลอดมีสุขภาพแข็งแรง ฟื้นตัวเร็วขึ้น	4.63±0.60	4.00±0.82	0.10
15. ลดภาวะตึงเครียดภายในจิตใจ ช่วยให้รู้สึกผ่อนคลายจิตใจ	4.42±0.61	3.71±0.76	0.05*
16. มารดาหลังคลอดได้รับการปฏิบัติตัวที่ถูกวิธีและสามารถในปฏิบัติได้เอง	4.42±0.69	4.41±0.90	0.90

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

สรุป

การบริบาลมารดาหลังคลอดของโรงพยาบาลระโนด มีการให้บริการ 4 ด้าน ได้แก่ การนวดคลายกล้ามเนื้อ การประคบสมุนไพร การทับหม้อเกลือ และการอบไอน้ำสมุนไพร พบว่า มารดาหลังคลอดพึงพอใจในการให้บริการด้าน การประคบสมุนไพรมากที่สุด ร้อยละ 53.84 รองลงมาคือ การทับหม้อเกลือ ร้อยละ 42.31 หลังการรับบริการ จากการสอบถามมารดาหลังคลอดพบว่า การบริบาลมารดาหลังคลอด ช่วยลดภาวะตึงเครียดภายในจิตใจ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งข้อมูลผลการวิจัยดังกล่าวมีประโยชน์สำหรับหน่วยงานบริการสาธารณะสุขและเป็นแนวทางสนับสนุนให้มีการบริการบริบาลมารดาหลังคลอดแก่มารดาหลังคลอด ดังนั้นคลินิกการแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา สามารถนำข้อมูลจากการวิจัยครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาด้านการให้บริการการบริบาลมารดาหลังคลอดในขั้นตอนต่างๆ ทั้ง 4 ขั้นตอน และสามารถเพิ่มขั้นตอนอื่นๆ ได้ หรือแนะนำให้มารดาหลังคลอดสามารถนำไปปฏิบัติได้เองที่บ้าน เช่น การอาบน้ำสมุนไพร โดยใช้สมุนไพรที่หาได้ง่าย เช่นไพล ขมิ้น ตะไคร้ มะกรูด ใบมะขาม ใบส้มป่อย ใบส้มเสี้ยวและสมุนไพรอื่นๆ มาต้มอาบพออุ่นๆ เพื่อให้สมุนไพรซึมผ่านผิวหนังเข้าไปบำรุงให้สดชื่นและขับน้ำคาวปลาได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ จากประโยชน์ที่มารดาหลังคลอดได้รับจากการบริการนั้น โรงพยาบาลจึงควรเร่งประชาสัมพันธ์ให้มารดาหลังคลอดทุกคนควรเข้ารับบริการการบริบาลมารดาหลังคลอด เพื่อสุขภาพที่ดีของมารดาต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรนำข้อมูลการวิจัยดังกล่าวไปเผยแพร่ให้มารดาหลังคลอดทราบและตระหนักถึงความสำคัญของการดูแลและฟื้นฟูสุขภาพหลังคลอดของตนเอง และ ควรประชาสัมพันธ์การให้บริการบริบาลมารดาหลังคลอดของคลินิกการแพทย์แผนไทย โรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลาให้ทั่วถึงประชาชนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คลินิกแพทย์แผนไทยโรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บ

รวบรวมข้อมูล รวมถึงเป็นแหล่งฝึกประสบการณ์วิชาชีพแพทย์แผนไทย และขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

เอกสารอ้างอิง

กุสุมาลย์ น้อยผา, วิทวัส หมาดอี, นัฐกานต์ นาวาเดช และ วรพรรณ อินหมัน. 2562. ความพึงพอใจของมารดาหลังคลอดต่อการบริบาลมารดาหลังคลอดด้วยผดุงครรภ์แผนไทย ในชุมชนป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง. **วารสารหมอยาไทยวิจัย** 5(1): 35-50.

กอบกุล พันธ์เจริญวรกุล. 2554. **การพยาบาลครอบครัวและการผดุงครรภ์.** มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

เกษร อังศุสิงห์. 2557. **คู่มือแนวทางการผดุงครรภ์มารดาด้วยการแพทย์แผนไทย สถาบันการแพทย์แผนไทย.** สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

จุฑามาศ แซ่ลิ่ม. 2556. การใช้การแพทย์แผนไทยร่วมกับการแพทย์แผนปัจจุบันในการดูแลครรภ์ กรณีศึกษา หมู่บ้านท่าโต้ อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา, น. 22-30. *ใน* **รายงานการประชุมหาดใหญ่วิชาการ ครั้งที่ 4**. มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา.

ปริย ญาณวารี. 2545. อิทธิพลของสัมพันธภาพในชีวิตสมรส ลักษณะการอบรมเลี้ยงดูที่ได้รับ และประวัติการแยกห่างจากบุคคลสำคัญในชีวิตที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการดูแลครรภ์และแนวโน้มของพฤติกรรมการเลี้ยงดูบุตรของมารดา. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร. อ้างถึง Best, J.W. 1981. Research in Education. Prentice – Hall.New, Jersey.

วนิตา เจ๊ะสัน, วริศรา สาระวารี, จักรเรศ สราญฤทธิชัย, วันวิสา สังวรนวล,วิทยา จิตรานนท์, ฐากูร สิงหาภ และ กุสุมาลย์ น้อยผา. 2561. ปัจจัยที่มีผลต่อการดูแลตนเองของหญิงหลังคลอดด้วยการแพทย์พื้นบ้าน: กรณีศึกษาโรงพยาบาลบางกล่ำ จังหวัดสงขลา, น. 339-352. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติด้านศิลปศาสตร์ ครั้งที่ 3 ประจำปี 2561.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, สงขลา.

วรรณา ดำเนินสวัสดิ์. 2558. ทัศนคติ การรับรู้ และความตั้งใจ ของหญิงตั้งครรภ์ต่อการใช้บริการส่งเสริมสุขภาพหลังคลอดด้วยการแพทย์แผนไทย จังหวัดลำปาง. สารนิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศรีศักดิ์ สุนทรไชย. 2555. **ผดุงครรภ์แผนไทยเล่ม 1.** มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

สุภาพร ผลจันทร์. 2555. **ผดุงครรภ์แผนไทยเล่ม2.** มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

อาภารัศมี ฉะมณี. 2556. การสร้างเสริมสุขภาพของมารดาและเด็ก: มุมมองจากศาสตร์ของการแพทย์แผนไทยและศาสตร์ของการแพทย์แผนปัจจุบัน. **ธรรมศาสตร์เวชสาร** 13(1): 79-88.

หมายเหตุ: บทความนี้มาจากงานประชุมวิชาการระดับชาติ สวนดุสิต 2018 ครั้งที่ 3 ปี พ.ศ. 2561

การใช้อิชิกาว่าไดอะแกรมวิเคราะห์สาเหตุการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ในเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่เป็นส่วนผสมของสูตรอาหารสำหรับการให้อาหารทางสายยาง: กรณีศึกษา โรงพยาบาลพัทลุง

Using Ishikawa Diagram to Analysis Causes of Survival of Microorganism in Steamed Ground Poultry Meat as Ingredient of the Blenderized Formula for Tube Feeding: A Case Study at Phatthalung Hospital

ผกามาส ปุรินทราภิบาล[1*] อทิตติยา ชูสุวรรณ์[1] สุภาพรรณ ศรีภักดี[2] สมสุข คงทองสังข์[2] ระวิวรรณ นวนทอง[3] สุภัสสรา ขุนศรี[4] ณัฏฐธิดา พัฒน์ช่วย[4] อภิสรา แก้วทอง[4] และ ภาสกร คงคานนท์[4]

Pakamart Purinthrapibal[1*], Atittiya Choosuwan[1], Supapan Sripakdee[2], Somsook Kongtongsang[2], Rawiwan Naunthong[3], Supatsara Khunsri[4], Natthatida Phatchuay[4], Apisara Kaewtong[4] and Phatsakorn Kongkanon[4]

Received: 8 July 2019, Revised: 7 December 2019, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

โรงพยาบาลพัทลุงเป็นโรงพยาบาลขนาด 445 เตียง มีผู้ป่วยที่ต้องได้รับอาหารทางสายให้อาหารร้อยละ 22 ของผู้ป่วยทั้งหมด ในแต่ละวันอาหารทางสายให้อาหารจะจัดเตรียมจากกลุ่มงานโภชนาศาสตร์ โดยมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ของอาหารดังกล่าวเป็นไปตามค่ามาตรฐาน แต่จากการตรวจติดตามภายในด้วยระบบงานคุ้มครองผู้บริโภคของโรงพยาบาลพัทลุง พบแบคทีเรีย *Eschericia coli* เกินค่ามาตรฐาน ในเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า ดังนั้นการวิจัยนี้เลือกใช้อิชิกาว่าไดอะแกรมวิเคราะห์สาเหตุ

---

[1] หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สาขานวัตกรรมอาหารและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

[1] Major of Food science and Technology, Department of Food Innovation and Management, Faculty of Agro-industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat Campus, Thungyai, Thungyai, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand.

[2] กลุ่มงานโภชนาศาสตร์ โรงพยาบาลพัทลุง อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง 93000

[2] Nutritional Section, Phatthalung Hospital, Mueang, Phatthalung 93000, Thailand.

[3] กลุ่มงานพยาธิ โรงพยาบาลพัทลุง อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง 93000

[3] Phathology Section, Phatthalung Hospital, Mueang, Phatthalung 93000, Thailand.

[4] หลักสูตรอาหารและโภชนาการ วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง 93000

[4] Major of Food and Nutrition, Phatthalung College, Mueang, Phatthalung 93000, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): pakamart.p@rmutsv.ac.th

ของปัญหาดังกล่าว ผลการวิเคราะห์พบ 4 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการคงเหลือของ แบคทีเรีย *Eschericia coli* ในเนื้อไก่บดนึ่งสุก การจัดลำดับความเสี่ยงของสาเหตุ พบว่า วิธีการเป็นสาเหตุที่มีความเสี่ยงสูงที่สุด รองลงมาเป็นสาเหตุจาก วัตถุดิบ พนักงานและ อุปกรณ์ ตามลำดับ การปรับปรุงวิธีการกระทำโดยลดปริมาณเนื้อไก่บดสดบรรจุต่อถาดนึ่ง และควบคุมเวลานึ่งให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของเนื้อไก่บดภายหลังการนึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส ความเสี่ยงจากสาเหตุวัตถุดิบป้องกันโดยใช้เฉพาะเนื้อไก่บดสดที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน Q mark การสุ่มตรวจพนักงานและอุปกรณ์ พบว่ามีคุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นไปตามค่ามาตรฐาน ดังนั้นอิชิกาว่าไดอะแกรม จึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการใช้เพื่อระบุสาเหตุของปัญหาที่นำไปสู่แนวทางปฏิบัติเพื่อแก้ไขปัญหาได้

คำสำคัญ: อาหารทางสายให้อาหาร, อิชิกาว่าไดอะแกรม, เนื้อไก่บดนึ่งสุก

ABSTRACT

Phattalung hospital with 445 patient beds had 22% of patients for tube feeding. The tube feeding products daily prepared from nutritional section had microbial quality within acceptable limits. But in September 2018, the internal audit by consumer protection section of Phatthalung hospital reported that *Eschericia coli* exceeded the acceptable limit in steamed ground poultry meat used as blenderized formula of breakfast tube feeding. Therefore, this research started to analyze and determine the cause of problems using Ishikawa diagrams. The analysis results showed four main factors that affected remaining *Eschericia coli* in steamed ground poultry meat. Risk identification stage showed that the method factor had the highest risk followed by raw material, staff and equipment, respectively. Improving the method by reducing the amount of fresh grounded poultry meat per steaming tray and controlling the steaming time that core temperature of steamed ground poultry should not be lower than 90 °C. Risk from raw material was prevented by only using Q mark fresh ground poultry meat. Sampling of staff and equipment showed microbial quality within acceptable limits. Therefore, Ishikawa diagram is an appropriate tool for identifying the root cause of a problem and leading to a guideline to solve the problem.

Key words: tube feeding, ishikawa diagram, steamed ground poultry meat

บทนำ

อาหารทางสายให้อาหาร (Tube Feeding) หมายถึง อาหารที่ให้แก่ผู้ป่วยที่ไม่สามารถรับประทานอาหารทางปากได้เอง แต่ระบบทางเดินอาหารยังสามารถทำงานได้ปกติเช่น ผู้ป่วยที่หมดสติไม่รู้สึกตัว ผู้ป่วยที่มีปัญหาการกลืน ต้องให้อาหารเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารโดยผ่านสายยางให้อาหาร ลักษณะอาหารเป็นอาหารเหลว สามารถไหลผ่านสายให้อาหารเข้าสู่ร่างกายผู้ป่วยได้ มีคุณค่าทางอาหารเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายผู้ป่วย ตามเกณฑ์กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาอาหารและภาชนะสัมผัส

อาหาร ฉบับที่ 3 อาหารปรุงสุกทั่วไป เช่น อาหารปรุงสำเร็จ (ประเภทข้าวแกง ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน) ยำ ไส้กรอก หมูยอ ปูอัด ปลาหมึกปรุงรส ซูชิ กำหนดให้ของจำนวน จุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 10^6 CFU/กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) ดังนั้น จัดเป็นความเสี่ยงต่อผู้ป่วยที่ได้รับอาหารทางสายยาง มักจะเป็นทารกแรกเกิด ผู้ป่วยเด็กและผู้ป่วยผู้ใหญ่ที่มีความผิดปกติในการกลืนอาหาร หรือมีร่างกายและภูมิคุ้มกันอ่อนแอกว่าผู้ป่วยเด็กและผู้ป่วยผู้ใหญ่ที่ได้รับอาหารปกติทั่วไป อีกทั้งผู้ป่วยไม่สามารถที่จะรับรู้หรือไม่ได้ลิ้มรสเอง ทำให้ไม่มีกลไกทางธรรมชาติที่จะปฏิเสธอาหารที่มีรสชาติผิดปกติที่เกิดจากการปนเปื้อนแบคทีเรีย (สุขุมา, 2544) โรงพยาบาลพัทลุง มีผู้ป่วยที่ต้องได้รับอาหารทางสายให้อาหารร้อยละ 22 ของผู้ป่วยทั้งหมด 445 เตียง ประกอบด้วย อาหารมื้อเช้า กลางวัน เย็น และก่อนนอน ซึ่ง มีคุณภาพทางจุลินทรีย์อยู่ในค่ามาตรฐาน แต่ผลการตรวจภายในโดยงานคุ้มครองผู้บริโภคของระบบโรงพยาบาลพัทลุง พบว่าไก่บดนึ่งสุกที่ใช้ในการผลิตอาหารมื้อเช้ามี MPN *Eschericia coli* 3.6 (เกินค่ามาตรฐานที่ต้องน้อยกว่า 3) ดังนั้น จึงเป็นปัญหาที่จะต้องแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงของผู้ป่วยจากแบคทีเรียดังกล่าว

แนวทางแก้ไขปัญหาที่นิยมใช้มีหลายวิธี เช่น DMAIC ประกอบด้วย การกำหนดหัวข้อของปัญหา (Define stage) การเก็บข้อมูลและสถานการณ์ตัวแปรต่างๆ (Measure stage) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis stage) การกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา (Improve stage) และการควบคุมเมื่อนำไปปฏิบัติจริง (Control stage) (Berger, 2004) โดยวิธีการนี้จะนิยมใช้กับข้อมูลปริมาณมากและประมวลผลด้วยหลักทางสถิติ Why-Why Analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ หาปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอน อย่างละเอียดซึ่งไม่ใช่การคิดแบบคาดเดา ทำให้ทราบถึงปัญหาที่แท้จริงและแนวทางแก้ไข ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขด้วยหลักการ Why-Why Analysis จะประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย การกำหนดเรื่องที่ต้องการนำมาปรับปรุงการสำรวจสภาพของปัญหาทั้งสำรวจพื้นที่จริง และใช้หลักการทางสถิติ การตั้งเป้าหมายที่จะลดปัญหา และการกำหนดแผนกิจกรรม ตามลำดับ (ฮิโตชิ และคณะ, 2545) วิธีนี้หากขอบเขตของปัญหามากเกินไป จะทำให้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากเกินไป มาตรการที่ตามมาจะมีมากเกินกว่าที่จะนำมาปฏิบัติได้ และอิชิกาว่าไดอะแกรมคือแผนภูมิที่ศาสตราจารย์อิชิกาว่าพัฒนาขึ้นเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ (causes) และผล (effects) โดยผล (ปัญหา) ที่เกิดขึ้นจะแสดงที่หัว (ขวาสุดของแผนภูมิ) ส่วนแต่ละแกนจะแสดงให้เห็นสาเหตุหลัก ที่อาจเป็นต้นตอของปัญหา ในแต่ละแกนหลักจะมีแกนเล็กแยกรายประเด็นย่อย การแยกแยะเหตุหลักและเหตุย่อยนี้จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์สามารถทราบถึงสาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางแก้ไขได้ สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้นิยามความหมายของแผนภาพ สาเหตุและผลไว้ว่าเป็น แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์อย่างมีระบบระหว่าง ผลที่แน่นอนประการหนึ่ง กับสาเหตุต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง (ผกามาส, 2561) อิชิกาว่าไดอะแกรม เป็นเครื่องมือในกลุ่ม 7 QC Tools ที่นิยมนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า งานผลิตอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้ามีปัญหาความเสี่ยงจากแบคทีเรีย *Eschericia coli* ที่เกินค่ามาตรฐานในเนื้อไก่บดนึ่งสุก ดังนั้นในการศึกษานี้เลือกใช้ อิชิกาว่าไดอะแกรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้อิชิกาว่าไดอะแกรมวิเคราะห์สาเหตุของการคงเหลือของแบคทีเรีย *Eschericia coli* เกินค่ามาตรฐานในเนื้อไก่

บดนึ่งสุกที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า และนำแนวทางที่วิเคราะห์ได้ไปปรับวิธีการปฏิบัติในการลดจุลินทรีย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสภาพปัจจุบันของการผลิตอาหารทางสายให้อาหารของกลุ่มงานโภชนศาสตร์ โรงพยาบาลพัทลุง

ผู้วิจัยศึกษาสภาพปัจจุบันของการผลิตอาหารทางสายให้อาหารของกลุ่มงานโภชนาศาสตร์ โรงพยาบาลพัทลุง โดยใช้ การศึกษาเอกสารคู่มือและการติดตามการปฏิบัติงาน ระหว่าง 15 สิงหาคม -30 กันยายน พ.ศ. 2561

2. การใช้อิชิกาว่าไดอะแกรมวิเคราะห์สาเหตุการคงเหลือของแบคทีเรีย *Eschericia coli* ในเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้าและกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา

กำหนดสาเหตุหลัก คือ คน เครื่องจักร วิธีการ และวัตถุดิบ ใช้การวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จัดระดับความเสี่ยงจากผลคูณของโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวกับผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหาย โดยกำหนดโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวที่ 5 ระดับ คือ ระดับ 5 มีโอกาสเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวได้มากที่สุดและ ระดับ 1 มีโอกาสเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวได้น้อยที่สุด กำหนดผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายที่ 5 ระดับเช่นกัน คือระดับ 5 มีผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายมากที่สุดและ ระดับ 1 มีผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด (สำนักงานตรวจสอบภายใน, 2552) คัดเลือกสาเหตุหลักที่มีความเสี่ยงสูงสุดและกำหนดแนวทางแก้ไข ศึกษาข้อมูลก่อนการปรับปรุง (15 สิงหาคม -30 กันยายน 2561) และข้อมูลภายหลังการปรับปรุง (1 ตุลาคม -30 มิถุนายน 2562) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับมาตรฐานกำหนดตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2

3. การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ ใช้การส่งตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ที่กลุ่มงานตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่โรงพยาบาลพัทลุง โดยตัวอย่างอาหารตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด MPN *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholera* และ *Vibrio parahaemolyticus* (Downes and Ito, 2001) ภาชนะสัมผัสอาหาร ตรวจจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* spp. และมือผู้สัมผัสอาหารตรวจ MPN *Escherichia coli, Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* spp. (ISO, 2004; กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ (Product Description) และวัตถุประสงค์ในการใช้ (Intended Use)

ผลิตภัณฑ์อาหารทางสายให้อาหารที่ผลิตโดยกลุ่มงานโภชนศาสตร์มีรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ดังนี้ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 1)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ (Product Description) และวัตถุประสงค์ในการใช้ (Intended use)

1. Product name **ชื่อผลิตภัณฑ์, กลุ่มผลิตภัณฑ์**	อาหารทางสายให้อาหาร : มื้อเช้า
2. Important characteristics of end product **ลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์สุดท้าย** **ส่วนผสมและวัตถุดิบที่สำคัญ**	- ลักษณะเป็นของเหลวไหลได้ บรรจุในถุงสภาพปลอดเชื้อ - สูตรมาตรฐานอาหารมื้อเช้า จะให้พลังงาน 1,040 กิโลแคลอรี่ โปรตีน 55.8 กรัม ไขมัน 42.4 กรัม และคาร์โบไฮเดรต 108.8 กรัม - ส่วนผสม (ร้อยละ) ดังนี้ ไข่ไก่ 16.13 เนื้อไก่สดส่วนอกบด 32.26 ผักกาดขาว 32.26 น้ำตาลทราย 16.13น้ำมันพืช 2.42 และเกลือป่น 0.81
3. How the product is to be used? **วิธีบริโภคผลิตภัณฑ์**	อาหารเหลวไหลผ่านสายยางให้กับผู้ป่วย
4. Packaging **ภาชนะบรรจุ**	- บรรจุถุงพลาสติกปิดผนึกเรียบ - น้ำหนัก บรรจุ (กรัมต่อถุง) ขึ้นกับปริมาณที่แพทย์สั่ง
5. Shelf - life **อายุการเก็บและสภาวะการเก็บ**	- ใช้งานทันทีที่อาหารส่งถึงผู้ป่วย - สภาพอาหารที่อุณหภูมิปกติ
6. Where the product will be used? **สถานที่ใช้ผลิตภัณฑ์**	ภายในโรงพยาบาล สำหรับผู้ป่วยที่ระบบทางเดินอาหารปกติ แต่ไม่สามารถกินอาหารทางปากได้ หรือกินได้ไม่เพียงพอ
7. Labeling instructions **ข้อแนะนำที่ระบุบนฉลาก**	ไม่มี
8. Special distribution control **การควบคุมเฉพาะระหว่างกระจายสินค้า**	- ขนส่งที่สภาวะอุณหภูมิห้อง
9. Target Consumer group **กลุ่มผู้บริโภค**	สำหรับผู้ป่วยที่ระบบทางเดินอาหารปกติ แต่ไม่สามารถกินอาหารทางปากได้ หรือกินได้ไม่เพียงพอ

ภาพที่ 1 อาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า

2. ศึกษาสภาพปัจจุบันของการผลิตอาหารทางสายให้อาหารของกลุ่มงานโภชนศาสตร์ โรงพยาบาลพัทลุง

การศึกษาสภาพปัจจุบันของการผลิตอาหารทางสายให้อาหารมีดังนี้

2.1 โรงพยาบาลพัทลุงมีการผลิตอาหารทางสายให้อาหารสำหรับผู้ป่วยที่ต้องได้รับอาหารทางสายให้อาหาร โดยผลิต 4 มื้อต่อวัน การประกอบอาหารมื้อกลางวัน เย็นและก่อนนอนของแต่ละวันจะใช้วัตถุดิบที่ได้รับมาในช่วงเช้า วัตถุดิบดังกล่าวบางส่วนนำมาปรุงสุกและเก็บรักษาในตู้เย็นสำหรับการผสมเป็นอาหารมื้อเช้าของวันถัดไป งานคุ้มครองผู้บริโภคได้มีการสุ่มตรวจคุณภาพทางจุลินทรีย์ของอาหาร วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด MPN *Eschericia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp*., *Vibrio cholera* และ *Vibrio parahaemolyticus* จุลินทรีย์ที่มีบทบาทบ่งชี้สุขลักษณะของการผลิต คือ *Escherichia coli* บ่งชี้การไม่ถูกสุขลักษณะของผู้ปฏิบัติงาน *Staphylococcus aureus* จะพบปนเปื้อนได้จากการ ไอ จาม และ สิว และ *Salmonella* spp. เป็นแบคทีเรียที่ไม่ทนต่อความร้อน สามารถถูกทำลายได้ที่ 60 องศาเซลเซียส เวลา 15-20 นาที หรือ 62 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที หากปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายจะ ก่อให้เกิดโรคไทฟอยด์ (พงษ์เทพ, 2558) ผลตรวจของเดือนกันยายน 2561 พบว่า คุณภาพจุลินทรีย์ไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่ในเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารมื้อเช้าพบ *Escherichia coli*/กรัม เกินค่ามาตรฐาน

2.2 การผลิตอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้าตามขั้นตอนมาตรฐานที่กำหนดในคู่มือการผลิตอาหารทางสายให้อาหาร ของงานผลิตอาหารทางสายให้อาหารที่จัดทำมาแล้วไม่น้อยกว่า 5 ปี มีขั้นตอนการผลิตในคู่มือ ดังนี้ เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติการผลิตอาหารทางสายให้อาหาร จะต้องผลิตสวมเสื้อคลุม สวมหมวก หน้ากากอนามัย และสวมรองเท้าเฉพาะห้องผลิต โดยก่อนเข้าไปในห้องผลิตจะต้องทำการล้างมือ 7 ขั้นตอน โดยอาหารทางสายให้อาหารสูตรมาตรฐานมื้อเช้า ให้พลังงาน 1,040 กิโลแคลอรี่ โปรตีน 55.8 กรัม ไขมัน 42.4 กรัม และคาร์โบไฮเดรต 108.8 กรัม มีส่วนผสมดังตารางที่ 1 ทั้งนี้อาหารมื้อเช้าเป็นการใช้ส่วนผสมที่มีการเตรียมไว้ล่วงหน้า เช่น ไข่ไก่ต้ม เนื้อไก่ส่วนอกบดนึ่งสุก เป็นต้น โดยวัตถุดิบไข่ไก่สดนำมาล้างเปลือกให้สะอาดและต้มจนสุก ปอกแยกเฉพาะเนื้อของไข่ไก่ สำหรับเนื้อไก่บดสดนำมานึ่งให้สุกในเวลา 14.00 น. ของแต่ละวัน และบรรจุแยกส่วนในภาชนะปิด นำไปเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ช่วงเวลาของการเก็บรักษา 14 ชั่วโมง) จากนั้นเวลา 04.00 น. ของเช้าของวันถัดไปจะนำออกจากตู้เย็น ให้ความร้อนด้วยการนึ่งซ้ำ ก่อนนำมาใช้เตรียมอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า โดยชั่งผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ ได้แก่ ผักกาดขาวต้มสุก ระหว่างปั่น เติม น้ำตาลทราย น้ำมันพืช และเกลือ ปรับปริมาณด้วยน้ำต้มสุก กรองด้วยกระชอน และนำไปบรรจุในขวดหรือถุงที่ผ่านการฆ่าเชื้อ จัดส่งไปยังอาคารผู้ป่วยเวลา 7.00 น.

3. การใช้อิชิกาว่าไดอะแกรมวิเคราะห์สาเหตุการคงเหลือของแบคทีเรีย *Eschericia coli* ในเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่ใช้เป็นวัตถุดิบของอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้าและกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา

ปัญหาคุณภาพของจุลินทรีย์ของเนื้อไก่บดนึ่งสุก ที่มีค่า MPN *Eschericia coli*/กรัม 3.6 เกินค่ามาตรฐาน จัดว่าเป็นส่วนผสมที่ความเสี่ยงต่อผู้บริโภคจัดว่าเป็นส่วนผสมที่ความเสี่ยงต่อผู้บริโภค แม้ว่าอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้าจะผ่านค่ามาตรฐานทางด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด

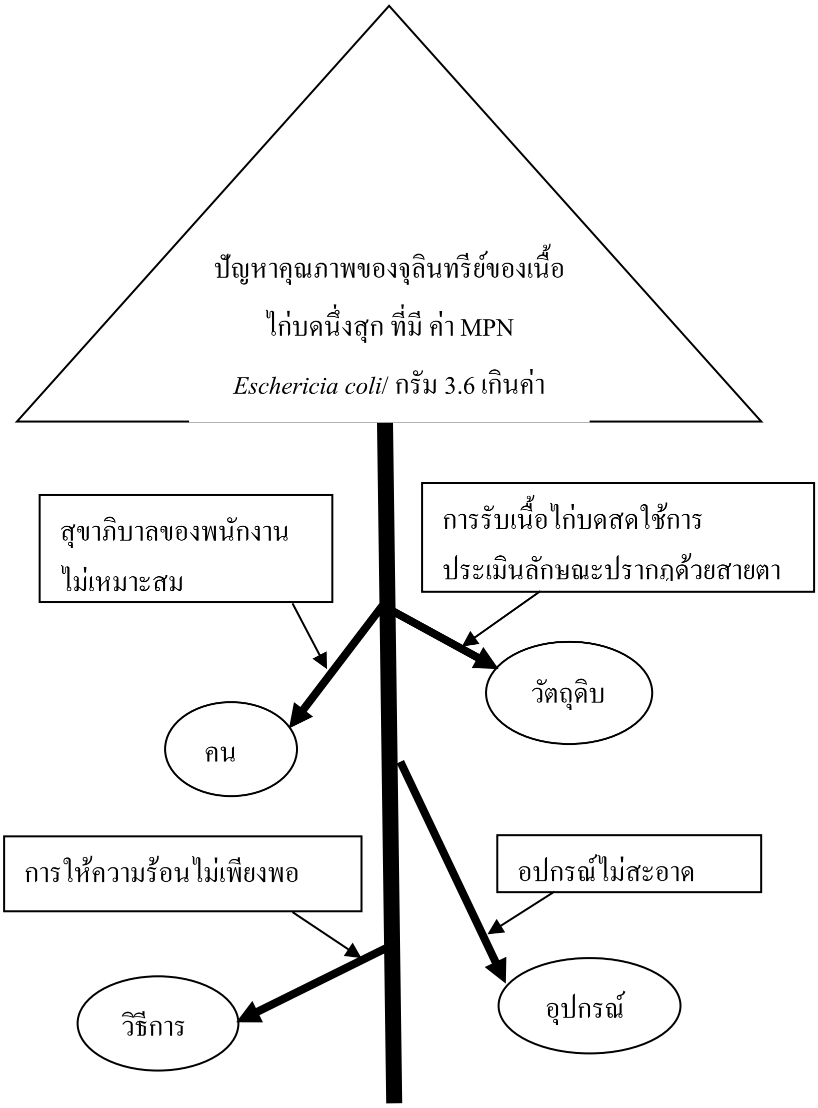
ตารางที่ 2 ผลตรวจช่วงกันยายน 2561 (ก่อนการปรับปรุง) คุณภาพทางจุลินทรีย์ *ของเนื้อไก่บดนึ่งสุกและอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า

รายการ	เนื้อไก่บดนึ่งสุก	อาหารมื้อเช้า	มาตรฐาน
จุลินทรีย์ทั้งหมด CFU/กรัม	3×10^4	2.5×10^4	น้อยกว่า 1×10^6
MPN *Eschericia coli*/กรัม	3.6	น้อยกว่า 3	น้อยกว่า 3
Staphylococcus aureus/กรัม	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10
Salmonella spp./25 กรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Vibrio cholera/25 กรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Vibrio Parahaemolyticus/25 กรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ *ผลการวิเคราะห์จากกลุ่มงานพยาธิของโรงพยาบาลพัทลุง

การใช้อิชิกาว่าไดอะแกรมวิเคราะห์สาเหตุของการคงเหลือของ *Eschericia coli* ในเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า ระบุจาก 4 สาเหตุ คือ คน วิธีการ วัตถุดิบ และ อุปกรณ์ (ภาพที่ 2) ดังนี้ สาเหตุของคน มาจากสุขาภิบาลของพนักงานไม่เหมาะสม สาเหตุของอุปกรณ์ในการผลิตอาหาร ที่ทำความสะอาดไม่เพียงพอ สาเหตุของวัตถุดิบ มีปริมาณจุลินทรีย์สูงเพราะข้อกำหนดในการตรวจรับยังไม่รัดกุม เป็นการสั่งซื้อโดยพิจารณาในเกณฑ์ของราคาเป็นหลัก (พิจารณาจากผู้ที่เสนอราคาต่ำสุด จัดส่งตรงเวลา คุณภาพประเมินตามลักษณะปรากฏที่ประเมินด้วยสายตา) และ สาเหตุของวิธีการ คือการให้ความร้อนไม่เพียงพอในระดับที่ทำลายจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์หลงเหลืออยู่ในระดับที่เกินค่ามาตรฐาน จากการนำสาเหตุดังกล่าวไปวิเคราะห์โอกาสและผลกระทบได้ความเสี่ยงดังตารางที่ 3 การจัดลำดับความเสี่ยงจะเห็นได้ว่า สาเหตุจากวิธีการ คือการให้ความร้อนไม่เพียงพอ ทำให้มีจุลินทรีย์คงเหลือเกินค่ามาตรฐาน มีลำดับความเสี่ยงสูงสุดจัดเป็นความเสี่ยงลำดับที่ 1 ซึ่งส่วนผสมที่นำมาใช้ในสูตรอาหารคือ เนื้อไก่บดนึ่งสุก พิจารณาจากองค์ประกอบแล้วเห็นว่าเนื้อไก่มีโปรตีนเป็นหลักที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้น เนื้อไก่บดสดหากได้รับความร้อนไม่เพียงพอ จะมีโอกาสคงเหลือของจุลินทรีย์และก่อให้เกิดอันตรายได้มากที่สุด การแก้ไขโดยติดตามการปฏิบัติงาน พบว่า เนื้อไก่บดสดบรรจุในถาดสเตนเลส ที่ความสูง 6 เซนติเมตร จากระดับฐานของภาชนะที่ใช้ใส่เนื้อไก่บดสด และใช้เวลาในการนึ่งสุก 1 ชั่วโมง การให้ความร้อนมีผลทำให้โปรตีนของเนื้อไก่บดเปลี่ยนสภาพเป็นสุกแต่ไม่เพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ เนื้อออกไก่ประกอบด้วยโปรตีน

ไมโอฟิล่าจะเสียสภาพ ที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส และโปรตีนซาโคพลาสมิกจะเสียสภาพอุณหภูมิ 70-79 องศาเซลเซียส ดังนั้นการปรุงสุกเนื้อไก่อุณหภูมิสูงสุดที่ควรใช้คือ 77-82 องศาเซลเซียส (Singh and Deshpande, 2018) กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture, USDA) กำหนดว่า จะต้องไม่พบ *Eschericia coli* O157 : H7 ในเนื้อบด และกำหนดให้ชิ้นเนื้อวัวแผ่นที่ได้รับความร้อนจะต้องมีอุณหภูมิกึ่งกลาง 71.1 องศาเซลเซียส (U.S. Department of Agriculture, 1998) ซึ่งในการประกอบอาหารประเภทชิ้นเนื้อวัวแผ่นได้แบ่งระดับของการให้ความร้อนที่ 4 ระดับ คือ สุกเพียงเล็กน้อย (Rare, 60 องศาเซลเซียส) กึ่งสุกกึ่งดิบ (Medium rare, 65 องศาเซลเซียส) สุกปานกลาง (Medium, 71 องศาเซลเซียส) และ สุกทั่วทั้งชิ้น (Well done, 77 องศาเซลเซียส) การย่างเนื้อวัวบดที่ 71 องศาเซลเซียส เวลา 2.7 นาที ทำให้ *Eschericia coli* O157 : H7 เสียสภาพได้ โดยการให้ความร้อนแบบย่างหากมีอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้สีผิวของชิ้นเนื้อคล้ำที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Rhree *et al*., 2003)



ภาพที่ 2 อิชิกาว่าไดอะแกรมวิเคราะห์สาเหตุการคงเหลือของ *Eschericia coli* ในเนื้อไก่บดนึ่งสุกเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 3 การจัดลำดับความเสี่ยงจากโอกาสและผลกระทบของแต่ละสาเหตุที่วิเคราะห์ได้จากอิชิกาว่าไดอะแกรม

รายการ	โอกาส	ผลกระทบ	ผลรวม	ลำดับความเสี่ยง
สุขาภิบาลพนักงานไม่เหมาะสม	3	5	15	2
เนื้อไก่บดสดมีจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน	2	5	10	3
การให้ความร้อนไม่เพียงพอทำให้จุลินทรีย์คงเหลือเกินค่ามาตรฐาน	5	5	25	1
อุปกรณ์ไม่สะอาด	1	5	5	4

การสังเกตด้วยสายตา เมื่อโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อได้รับความร้อนจะแปลงสภาพ (Denature) และจับเป็นก้อน (Coagulate) ซึ่งจะทำให้โปรตีนแข็งตัว (Protein hardening) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสโปรตีนจะไม่หดตัว แต่ความร้อนดังกล่าวไม่สามารถทำลายแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้ ดังนั้นการแก้ไขได้โดยปรับลดความสูงของเนื้อไก่บดสดในถาดสเตนเลสที่นำไปนึ่งจากเดิม 6 เซนติเมตร เป็น 3 เซนติเมตร และควบคุมความสุกของเนื้อไก่บดด้วยการเริ่มบันทึกเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อน้ำในหม้อนึ่งเดือด (จากวิธีปฏิบัติเดิมคือจับเวลาของการนึ่ง 1 ชั่วโมง ภายหลังการวางเนื้อไก่บดสดในหม้อนึ่ง) การตรวจติดตามอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของถาดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ผ่านการทำความสะอาดเข็มวัดด้วยสารละลายเอทธิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 70 พบว่า การนึ่งครั้งแรก อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเนื้อไก่บดนึ่งสุก มีค่าเฉลี่ย 93.17 ± 1.07 องศาเซลเซียส ภายหลังการนึ่งครั้งแรกจะเก็บถาดของเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในสภาพปิดสนิท และ การนึ่งครั้งที่สอง (เป็นการนึ่งภายหลังจากการนำถาดของเนื้อไก่บดนึ่งสุกออกจากอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก่อนจะนำเนื้อไก่บดนึ่งสุกไปใช้สำหรับเตรียมเป็นอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า) มีค่าเฉลี่ย 70.67 ± 6.25 องศาเซลเซียส ดังนั้นได้แก้ไขโดยเพิ่มเวลาของการนึ่งครั้งที่สองและตรวจวัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของถาด ได้ค่าเฉลี่ย 92.70 ±2.50 องศาเซลเซียส ซึ่งผ่านข้อกำหนดเพราะมีค่าสูงกว่า 71.1 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3) จากนั้นได้แยกชิ้นเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิออกจากถาดนึ่งก่อนนำเนื้อไก่บดนึ่งสุกในถาดไปประกอบอาหารทางสายให้อาหาร

ภาพที่ 3 แสดงการวัดอุณหภูมิของเนื้อไก่บดนึ่งสุก

การตรวจจุลินทรีย์ของเนื้อไก่บดนึ่งสุกภายหลังการปรับปรุง ได้สุ่มตัวอย่างในช่วง ธันวาคม 2561 กุมภาพันธ์และมีนาคม 2562 ได้ผลดังตารางที่ 4 พบว่า จุลินทรีย์ไม่เกินค่ามาตรฐาน การแก้ไขสาเหตุจากวัตถุดิบเนื้อไก่บดสดที่มีความเสี่ยงอันดับ

รอง ได้แก้ไขรายละเอียดข้อกำหนดการตรวจรับของโรงพยาบาล โดยกำหนดให้ผู้จัดส่งวัตถุดิบเกษตรต้องผ่านการรับรองมาตรฐาน Q mark จากระบบเดิมใช้การประเมินด้วยสายตา

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลตรวจทางจุลินทรีย์ * (ภายหลังการปรับปรุง) ของเนื้อไก่บดนึ่งสุก

รายการ	ธันวาคม -2561	มีนาคม -2562	เมษายน -2562	มาตรฐาน
จุลินทรีย์ทั้งหมด CFU/กรัม	3.0×10^{4}	6.8×10^{2}	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 1×10^{6}
MPN *Eschericia coli*/กรัม	น้อยกว่า 3	น้อยกว่า 3	น้อยกว่า 3	น้อยกว่า 3
Staphylococcus aureus/กรัม	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10	น้อยกว่า 10
Salmonella spp./25 กรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Vibrio Cholera/25 กรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Vibrio Parahaemolyticus/25 กรัม	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ *ผลการวิเคราะห์จากกลุ่มงานพยาธิโรงพยาบาลพัทลุง

การแก้ไขสาเหตุจากพนักงาน จากรายงานสรุปผลการตรวจจุลินทรีย์ของมือของพนักงานที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง ช่วงกุมภาพันธ์-มิถุนายน 2562 พบว่า พนักงานทุกคนผ่านเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่พบ *Eschericia coli*/มือ *Staphylococcus aureus*/มือ และ *Salmonella* spp./มือ

การแก้ไขสาเหตุจากอุปกรณ์ จากรายงานสรุปผลการตรวจภาชนะอาหารช่วงกุมภาพันธ์-มิถุนายน 2562 พบว่าผ่านทุกข้อกำหนดดังนี้ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1.0×10^{3} CFU/ชิ้นภาชนะ ไม่พบ *Staphylococcus aureus*/ชิ้นภาชนะ และ *Salmonella* spp./ชิ้นภาชนะ

การสุ่มตรวจคุณภาพทางจุลินทรีย์ในอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า ช่วงมีนาคมและเมษายน 2562 พบว่ามีคุณภาพไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานทางจุลินทรีย์ โดย มีนาคม - 2562 จุลินทรีย์ทั้งหมด 6.1×10^{2} CFU/กรัม และ เมษายน -2562 จุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 CFU/กรัม MPN *Eschericia coli* น้อยกว่า 3/กรัม ไม่พบ *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholera* และ *Vibrio parahaemolyticus* ในตัวอย่าง 25 กรัม

สรุป

การใช้อิชิกาว่าไดอะแกรมสามารถระบุสาเหตุของปัญหาการคงเหลือของแบคทีเรีย MPN *Eschericia coli* ในเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารทางสายให้อาหารมื้อเช้า โดยพบว่าสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงสุด คือวิธีการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบไม่เพียงพอ ในการศึกษานี้สามารถแก้ไขวิธีการปฏิบัติของการให้ความร้อนต่อเนื้อไก่บดนึ่งสุกที่ส่งผลให้ค่าของจุลินทรีย์ของเนื้อไก่บดนึ่งสุก มีคุณภาพตามมาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณโรงพยาบาลพัทลุงและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนงบประมาณและเครื่องมือวิจัย และ รศ.ดร.ศุภศิลป์ มณีรัตน์ ได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขบทความนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2560. **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3.** สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี.

ผกามาส ปุรินทราภิบาล. 2561. **การควบคุมคุณภาพอาหาร.** เอกสารประกอบการสอน. คณะอุตสาหกรรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, นครศรีธรรมราช.

พงษ์เทพ วิไลพันธ์. 2558. **จุลินทรีย์ก่อโรคความสำคัญต่อการปนเปื้อนในมิติต่าง ๆ.** แหล่งที่มา: http://WWW.fish.ku.ac.th/Fish Pro/ pdf /3M-2558.pdf., 31 มกราคม 2563.

สุขุมา กลั่นแก้ว. 2544. การประยุกต์ใช้เตาไมโครเวฟสำหรับทำลายเชื้อในนมผสมและอาหารทางสายให้อาหารในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานตรวจสอบภายใน. 2552. **คู่มือการบริหารความเสี่ยงทั่วทั้งองค์กร.** พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฮิโตชิ โอกุระ, วิเชียร เบญจวัฒนาผล และ สมชัย อัครทิวา. 2545. **Why-Why Analysis เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่นเพื่อปรับปรุงสถานะประกอบการ.** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

Berger, A. 2004. **Smart Things to Know about Six Sigma.** Capstone Publishing Ltd., United Kingdom.

Downes, P.W. and Ito, K. 2001. **Compendium of methods for the Microbiological examination of foods 4^{th} ed.** American Public Health Association (APHA), Washington, D.C.

ISO. 2004. **Microbiology of food and animals feeding stuffs-Horizontal methods for sampling techniques from surfaces using contact plates and swabs.** ISO Norm 18593: 2004. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Rhree, M.S., Lee, S.Y., Hillers, V.N., McCurdy, S.M. and Kang, D.H. 2003. Evaluation of consumer-style cooking methods for reduction of *Escherichia coli* O157: H7 in ground beef. **Journal of Food Production** 66(6): 1030-1034.

Singh, R.K. and Deshpande, D. 2018. Thermally induced changes in quality of chicken breast meat protein fractions. **Journal of Nutrition and Food Science** 8(4): 1-5.

U.S. Department of Agriculture. 1998. **Final Report: Focus Groups on Barriers that Limit Consumers' Use of Thermometers when cooking Meat and Poultry Products.** United States Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service, Washington, D.C.

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะสำหรับศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร

Development of Waste Management Information System for One-stop Waste Management Learning Center

นัฐพงศ์ ส่งเนียม*

Nattapong Songneam*

Received: 17 April 2019, Revised: 1 October 2019, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

ปริมาณขยะที่เพิ่มมากขึ้นในทุกวันส่งผลกระทบต่อธรรมชาติก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ศึกษาและจัดทำงานวิจัยนี้ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษารูปแบบการจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร 2) ออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ อาจารย์จำนวน 15 คน และนักเรียนจำนวน 30 คน ของโรงเรียนสังกัดเขตกรุงเทพมหานครทั้งหมด 6 โรงเรียน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการข้อมูลขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร เป็นโปรแกรมประยุกต์บนเดกส์ท็อปพัฒนาโดยใช้หลักการเชิงวัตถุ ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาคือ ไมโครซอฟท์วิชวลเบสิก และฐานข้อมูลคือ ไมโครซอฟท์แอคเซส 2) แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการศึกษารูปแบบการจัดการขยะโดยวิธีการคัดแยกขยะเป็นการสร้างจิตสำนึกที่ดีในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะของนักเรียนในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร 2) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.59, S.D. = 0.70)

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ, ศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร, การจัดการขยะ

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10220

Computer Science Program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Anusawari, Bangkhen, Bangkok 10220, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): xnattapong@hotmail.com

ABSTRACT

The increasing volumes of everyday waste affects the nature causing carbon dioxide which is the cause of greenhouse effect. According to this problem, the purposes of the research were to: 1) study the waste management model at the One-stop Waste Management Learning Center, 2) design and develop information systems for waste management at the One-stop Waste Management Learning Center, and 3) evaluate the user satisfaction. The sample group consisted of 15 teachers and 30 students from six schools in Bangkok. They were selected by using a specific sampling method. The research tools were: 1) integrated waste management information system at the learning center which was a desktop application developed by Object-oriented method, Microsoft Visual Basic and Microsoft Access, and 2) user satisfaction questionnaire. The statistics used in data analysis were mean and standard deviation. The results of this research were as follows. 1) The study of waste management by using waste separation method raises good awareness on environmental conservation and waste management of students in Bangkok schools.2) The results of user satisfaction showed overall satisfaction at the highest level ($\bar{x}$ = 4.59, S.D. = 0.70).

Key words: management information system, one-stop waste management learning center, waste management

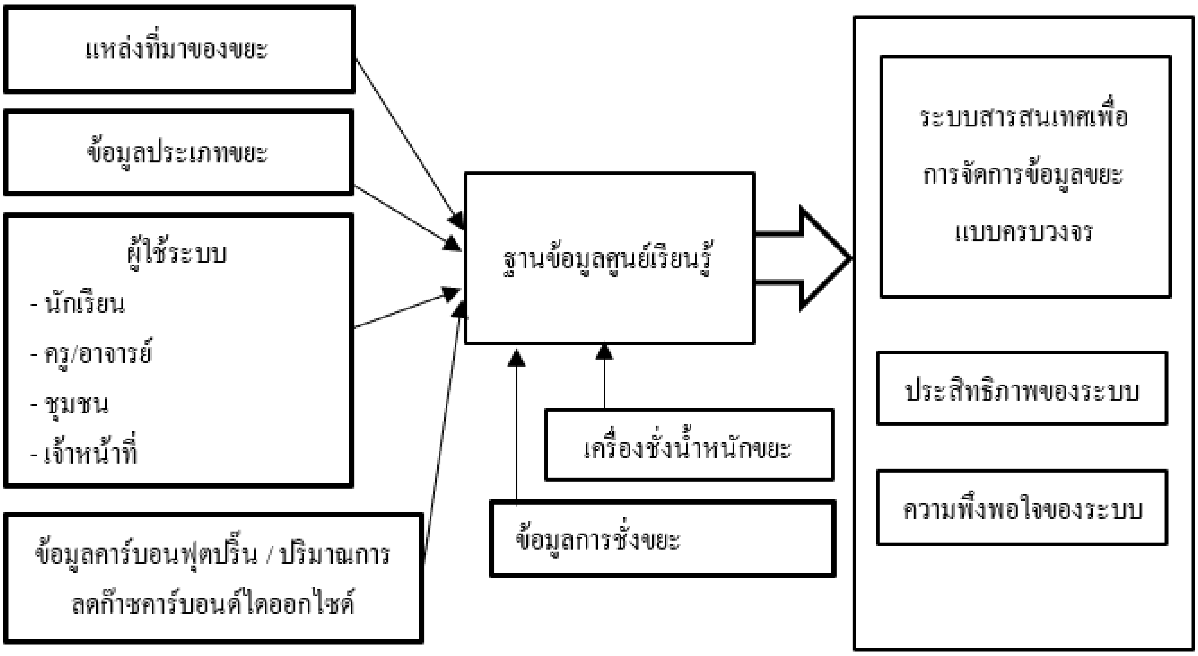
บทนำ

ประเทศไทยมีปริมาณขยะสูงขึ้นต่อเนื่องขึ้นทุกปี จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี 2559 พบว่ามีปริมาณการเกิดขยะรวมกันทั้งประเทศ 27.06 ล้านตันต่อปี เทียบเท่าตึกใบหยก 2 จำนวน 140 ตึก คิดเป็นประมาณ 74,130 ตันต่อวัน เฉลี่ยเป็นปริมาณขยะ 1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ยังไม่รวมขยะตกค้างสะสมที่เพิ่มขึ้นทุกปีไม่ต่ำกว่าปีละ 10 ล้านตัน ซึ่งถือเป็นปัญหาใหญ่ระดับชาติที่ทุกภาคส่วนต้องร่วมมือกันแก้ไขให้ได้โดยเร็ว จากรายงานข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษแห่งประเทศไทยในปี 2560 มีปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนเกิดขึ้นทั่วประเทศ จำนวน 27.37 ล้านตันต่อปี หรือประมาณ 74,998 ตันต่อวัน พบว่าคนไทยสร้างขยะ 1.13 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน และขยะทั้งหมดที่เกิดขึ้น มีการนำไปใช้ประโยชน์เพียง 8.51 ล้านตัน หรือคิดเป็น 31% ส่วนที่เหลือต้องนำไปกำจัดต่อ โดย 41% หรือ 11.69 ล้านตัน ที่กำจัดอย่างถูกต้อง ส่วนอีก 26% หรือ 7.17 ล้านตัน ยังกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง และมีขยะสะสมประมาณ 10 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดสะท้อนให้เห็นว่าต้นเหตุของปัญหาขยะนั้น คือ “คน” การจะแก้ไขปัญหาในระยะยาวจึงต้องแก้ที่คนเป็นหลัก ต้องสร้างวินัยให้เกิดขึ้นกับคนในชาติ เพื่อนำไปสู่การจัดการขยะที่ยั่งยืน (วิภาณี, 2561) โดยรัฐบาลได้กำหนดแผนที่นำทาง (Road Map) การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย (ปิยชาติ, 2557) ให้มีความสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ประกอบด้วย 4 กิจกรรมหลัก คือ 1) เร่งจัดการขยะมูลฝอยสะสมในสถานที่กำจัดขยะพื้นที่วิกฤติ 2) ให้มีรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อจัดการกับขยะที่เข้ามาใหม่ โดยเน้นการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง และแปรรูปพลังงานจากขยะ การทำปุ๋ยหมัก นำขยะมูลฝอยที่มีศักยภาพกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด 3) จัดระเบียบ

มาตรการบริหารจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย ลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะต้องนำไปกำจัดให้เหลือน้อยที่สุด 4) การสร้างวินัยของคนในชาติมุ่งสู่การจัดการที่แหล่งกำเนิด ดังนั้นปัญหาขยะจึงเป็นวิกฤตปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เมืองใหญ่ทั่วโลกกำลังเผชิญอยู่ สำหรับในกรุงเทพมหานครปัจจุบันมีจำนวนปริมาณขยะมากที่สุดในประเทศไทยถึงวันละ 14,000 ตันต่อวัน ทางสำนักงานสิ่งแวดกรุงเทพมหานครจึงได้น้อมนำหลักการพัฒนาแนวทางพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชฯ รัชกาลที่ 9 ในเรื่อง การเข้าใจ เข้าถึง พัฒนา มาใช้เป็นต้นแบบการบริหารจัดการขยะเริ่มจากเข้าใจ โดยการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการปัญหาขยะอย่างเหมาะสมในทุกมิตินำไปสู่การเข้าถึง (ปิยชาติ, 2557) โดยมุ่งการพัฒนากระบวนการสื่อสารเพื่อสร้างความเข้าใจและการมีส่วนร่วมในทุกกลุ่มเป้าหมาย และพัฒนาโดยการต่อยอดให้เกิดกระบวนการนำองค์ความรู้ที่ได้รับไปสู่การปฏิบัติจริงชีวิตประจำ โดยมีสำนักสิ่งแวดล้อมเป็นพี่เลี้ยงสนับสนุน ให้คำแนะนำติดตามพร้อมทั้งขยายผลให้เกิดเครือข่ายด้านสิ่งแวดล้อมทั้งในพื้นที่โรงเรียนและชุมชน ซึ่งโครงการศูนย์เรียนรู้ด้านการจัดการขยะแบบครบวงจรเป็นโครงการสำคัญที่เล็งเห็นว่าเยาวชนคือรากฐานสำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยให้ความสำคัญในการสร้างความเข้าใจการลดคัดแยกและใช้ประโยชน์จากขยะตั้งแต่แหล่งกำเนิด จนถึงการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของตนเองเพื่อถ่ายทอดแนวคิดดังกล่าวไปสู่ครอบครัวและชุมชนต่อไป โครงการจัดตั้งศูนย์เรียนรู้จัดการขยะแบบครบวงจรของกรุงเทพมหานคร (สำนักสิ่งแวดล้อม, 2551) มีโครงการนำร่องในพื้นที่โรงเรียน 6 แห่งใน 6 กลุ่มโซนของกรุงเทพมหานคร โดยมีตัวแทนครู นักเรียนร่วมกิจกรรมหลายร้อยคน แนวคิดสำคัญของโครงการมีอยู่ 3 ประการ ประกอบด้วย 1) ปลูกจิตสำนึกในการลดและคัดแยกขยะเป็นสิ่งที่ทุกคนทำได้ 2) สร้างนิสัยทิ้งถูกวิธี ถูกที่ ถูกเวลา 3) ใส่ใจสิ่งแวดล้อมโดยการตัดคิดเปลี่ยนใช้เริ่มที่ตัวเราผ่านกิจกรรมหลักสำคัญของโครงการ ซึ่งการดำเนินการที่ผ่านมาและสิ่งที่จะดำเนินการต่อไปสำนักสิ่งแวดล้อมได้รับความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ให้เป็นกำลังในการรักษาสิ่งแวดล้อม ไม่แต่เฉพาะในพื้นที่กรุงเทพมหานคร แต่รวมถึงประเทศชาติโดยส่วนรวม โดยจะมีการขยายไปสู่โรงเรียนนอกสังกัดอื่นต่อไป กรุงเทพมหานครได้เปิดตัวโครงการศูนย์การเรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร เพื่อเป็นศูนย์เรียนรู้ต้นแบบ รวม 6 ศูนย์ ได้แก่ 1) กลุ่มเขตกรุงธนใต้ ได้แก่ โรงเรียนราชมนตรี (ปลื้ม-เชื่อมนุกูล) เขตบางขุนเทียน 2) กลุ่มเขตกรุงธนเหนือ ได้แก่ โรงเรียนคลองบางพรหม เขตทวีวัฒนา 3) กลุ่มเขตกรุงเทพใต้ ได้แก่ โรงเรียนศรีเอี่ยมอนุสรณ์ เขตบางนา 4) กลุ่มเขตกรุงเทพกลาง ได้แก่ โรงเรียนพระราม 9 กาญจนาภิเษก เขตห้วยขวาง 5) กลุ่มเขตกรุงเทพเหนือ ได้แก่ โรงเรียนคลองทรงกระเทียม เขตลาดพร้าว 6) กลุ่มเขตกรุงเทพตะวันออก ได้แก่ โรงเรียนมัธยมสุวิทย์เสรีอนุสรณ์ เขตประเวศ

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยเห็นว่านำการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ในการจัดการข้อมูลขยะมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นจึงได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในการจัดเก็บ บันทึกข้อมูล คำนวณและประมวลผลข้อมูลขยะ รวมถึงการคำนวณการลดปริมาณขยะและก๊าซคาร์บอนด์ไดออกไซด์ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทิ้งขยะ ตลอดจนสามารถแสดงผลรายงานแบบต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณขยะที่มาจากแหล่งกำหเนิดในแต่ละวัน แต่ละเดือน (ธเรศ, 2549) เพื่อให้นักเรียนสามารถเข้าใจและตระหนักถึงปัญหาของการจัดการขยะและสามารถคัดแยกขยะได้อย่างถูกต้องในส่วนของครูอาจารย์

สามารถที่จะนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากระบบไปต่อยอดสู่การทำวิจัยต่อไปได้ นอกจากนี้หน่วยงานหรือชุมชนอื่นๆ ที่สนใจ สามารถนำรูปแบบการบริหารจัดการ ภายในศูนย์ต้นแบบไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชนได้เช่นกัน รวมถึงการร่วมกันพัฒนาให้เกิดการบริหารจัดการขยะอย่างยั่งยืนต่อไป



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจรซึ่งต้องรวบรวมข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการจัดการขยะทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ ขยะอินทรีย์ ขยะทั่วไป ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย โดยจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งแหล่งที่มาของขยะ วิธีการคัดแยก กระบวนการกำจัดขยะ และจนการจัดการขยะทั้ง 4 ประเภท ดังนี้

1) ขยะอินทรีย์ นำไปที่ปุ๋ยหมัก อาหารสัตว์

2) ขยะทั่วไป นำมาเก็บรวบรวมเพื่อทิ้ง และเจ้าหน้าที่กรุงเทพมหานครจะเข้ามารับ

3) ขยะรีไซเคิล นำกลับมาใช้ใหม่ และมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

4) ขยะอันตราย นำรวบรวมไว้ในพื้นที่เฉพาะ เพื่อส่งให้เจ้าหน้าที่กรุงเทพมหานครเข้ามารับ

ตลอดการคำนวณการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นการคำนวณหลังจากการฝังกลบผลิตภัณฑ์ โดยการนำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยจากกองขยะ 2.32 tCO_2e / ตันมูลฝอย แต่บางวัสดุที่ไม่มีคาร์บอนจะคิดเป็น 0 และนำข้อมูลข้างต้นมาใช้ในการจัดทำฐานข้อมูล และพัฒนาระบบการจัดการขยะของโรงเรียนและชุมชนทั้ง 6 ศูนย์เรียนรู้ โดยออกแบบและพัฒนาระบบเป็นโปรแกรมประยุกต์บนเดสก์ท็อป (Desktop Application) มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ระยะที่ 1: สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ รวบรวมข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามและการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ อาจารย์จำนวน 15 คน และนักเรียนจำนวน 30 คน ของโรงเรียนสังกัดเขตกรุงเทพมหานครทั้งหมด 6 โรงเรียน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง เพื่อเก็บข้อมูลแหล่งที่มาของขยะมูลฝอย องค์ประกอบและอัตราการเกิดขยะในโรงเรียนและชุมชน วิธีการคัดแยก และวิธีการกำจัดขยะ เป็นต้น

2. ข้อมูลทุติยภูมิ รวบรวมข้อมูลจากเอกสารต่างๆ ได้แก่ งานวิจัย สถิติ รายงาน จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเว็บไซต์ และงานวิจัย ถึงแหล่งที่มาของขยะมูลฝอย องค์ประกอบและอัตราการเกิดของขยะมูลฝอยชุมชน วิธีการคัดแยก วิธีการกำจัดขยะมูลฝอย และการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนของไทยและต่างประเทศในปัจจุบัน

ระยะที่ 2: ศึกษาวิธีการจัดการขยะชุมชน

ระยะที่ 2 ศึกษาวิธีการจัดการขยะชุมชนและนำมาทำการออกแบบและจัดทำฐานข้อมูลจากข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยนำข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งพัฒนาโดยใช้โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล

ระยะที่ 3: ออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร

ในระยะที่ 3 นี้เป็นการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนที่เหมาะสมกับศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจรทั้ง 6 ศูนย์ของกรุงเทพมหานครในลักษณะโปรแกรมประยุกต์บนเดสก์ท็อป (Desktop Application) โดยได้ออกแบบตามหลักการออกแบบหน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ได้อย่างสะดวกและง่าย (Gunawan, 2017) เพื่อเชื่อมโยงกับระบบฐานข้อมูล แหล่งที่มาของขยะ องค์ประกอบและอัตราการเกิดของขยะของโรงเรียนและชุมชน วิธีการคัดแยก และกระบวนการกำจัดขยะ ตลอดจนการจัดการขยะของโรงเรียนและชุมชน โดยสามารถทำงานได้

ระยะที่ 4: ประเมินความพึงพอใจของระบบ

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ โดยการประเมินความพึงพอใจของระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจรจากผู้ใช้งานระบบได้แก่ อาจารย์จำนวน 15 คน และนักเรียนจำนวน 30 คน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร ประชากรหมายถึงกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้ใช้ระบบสารสนเทศในศูนย์การเรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจรที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น ได้แก่ คณาจารย์ และนักเรียนในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานครจำนวน 6 โรงเรียน

2. กลุ่มตัวอย่าง ในการเลือกกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 45 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 ประเภท คือ อาจารย์จำนวน 15 คน และนักเรียนจำนวน 30 คน ในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานครจำนวน 6 โรงเรียน โดยมีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเจาะจง

เครื่องมือการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีเครื่องมือการวิจัยดังนี้

1) สถิติเชิงพรรณนา

2) แบบสอบถามผู้ใช้ระบบสารสนเทศ

3) ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการข้อมูลขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร

4) แบบประเมินความพึงพอใจ

ภาษาคอมพิวเตอร์และฐานข้อมูล

1) ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนา คือ ไมโครซอฟท์วิชวลเบสิก (Microsoft Visual Basic)

2) ฐานข้อมูล คือ ไมโครซอฟท์แอคเซส (Microsoft Access)

สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics)

ในการดำเนินการวิจัยได้สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และสถิติวัดการแจกแจงข้อมูล คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีเกณฑ์ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 - 5.00 หมายความว่า อยู่ในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 - 4.49 หมายความว่า อยู่ในระดับมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 - 3.49 หมายความว่า อยู่ในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 - 2.49 หมายความว่า อยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 - 1.49 หมายความว่า อยู่ในระดับน้อยมาก

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวมรวมข้อมูลในงานวิจัยชิ้นนี้ได้จากการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ และการสัมภาษณ์ผู้ใช้ระบบสารสนเทศ และผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย โดยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลประเภทขยะ ปริมาณขยะ แหล่งกำเนิดขยะ และปริมาณการลดก๊าซคาร์บอนด์ไดออกไซด์ จากนี้ยังมีการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้ของระบบอีกด้วย

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ ได้ใช้เครื่องมือของการวิเคราะห์และออกแบบระบบเชิงวัตถุ และแผนภาพยูเอ็มแอล ในการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาตามหลักการเชิงวัตถุ (น้ำฝน, 2558) ซึ่งได้ใช้แบบจำลองกระบวนการพัฒนาระบบแบบแบบยูนิฟายด์ (Unified Process) โดยแบ่งงานออกเป็น 4 ระยะดังนี้

Phase I. Inception	Phase II. Collaboration	Phase III. Construction	Phase IV. Transition
วิเคราะห์ วางแผนโครงการ เตรียมการ กำหนด ผู้รับผิดชอบ รวบรวมข้อมูล (ม.ค. 2560 - ก.พ. 2560)	วิเคราะห์ความต้องการของระบบ ออกแบบ ระบบออกแบบหน้าจอ ออกแบบฐานข้อมูล ออกแบบอัลกอริทึม จัดทำข้อกำหนดความ ต้องการ (Requirement Specifications) (มี.ค. 2560 - มิ.ย. 2560)	พัฒนาระบบ เลือกภาษา และ เครื่องมือที่ใช้ เขียนคำสั่ง (Programming) (ก.ค. 2560 - ต.ค. 2560)	ถ่ายโอน ติดตั้ง การใช้งาน และอบรม (พ.ย. 2560 - ธ.ค. 2560)

ภาพที่ 2 ยูนิฟายด์โพรเซส

การวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศสำหรับบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร การวิเคราะห์ความต้องการด้วยแผนภาพยูสเคส

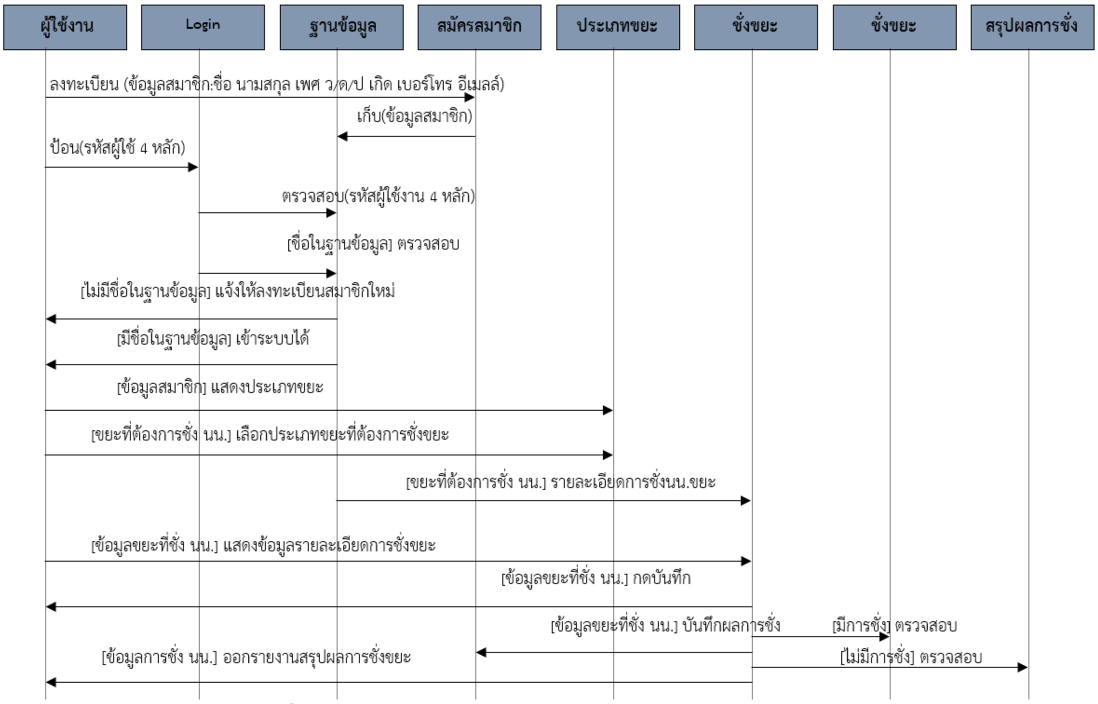
แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) สำหรับระบบสารสนเทศสำหรับบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร มีรายละเอียดดังนี้

ภาพที่ 3 แผนภาพยูสเคสแสดงฟังก์ชันของระบบและการทำงานของระบบการจัดการขยะแบบครบวงจร

จากภาพที่ 3 เป็นแผนภาพยูสเคสแสดงฟังก์ชันของระบบและการทำงานของระบบการจัดการขยะแบบครบวงจร โดยแอคเตอร์ในระบบประกอบด้วย นักเรียน อาจารย์ ชุมชน เจ้าหน้าที่ และผู้ดูแลระบบ ยูสเคสประกอบไปด้วย ยูสเคสการเข้าระบบ (Login use case) ยูสเคสการสมัครสมาชิก (Regis use case) ยูสเคสการชั่งน้ำหนัก (Weighting use case) ยูสเคสการเลือกประเภทขยะ (Categorize use case) ยูสเคสการจัดการข้อมูลขยะ (Waste Management use case) ยูสเคสการจัดการข้อมูลสมาชิก (Member Management use case) ยูสเคสการจัดการข้อมูลศูนย์เรียนรู้ (Learning Center Management use case) ยูสเคสการคำนวณการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนด์ไดออกไซด์ (Carbon Foot-Print use case) ยูสเคสออกรายงาน (Report use case)

แผนภาพลำดับ

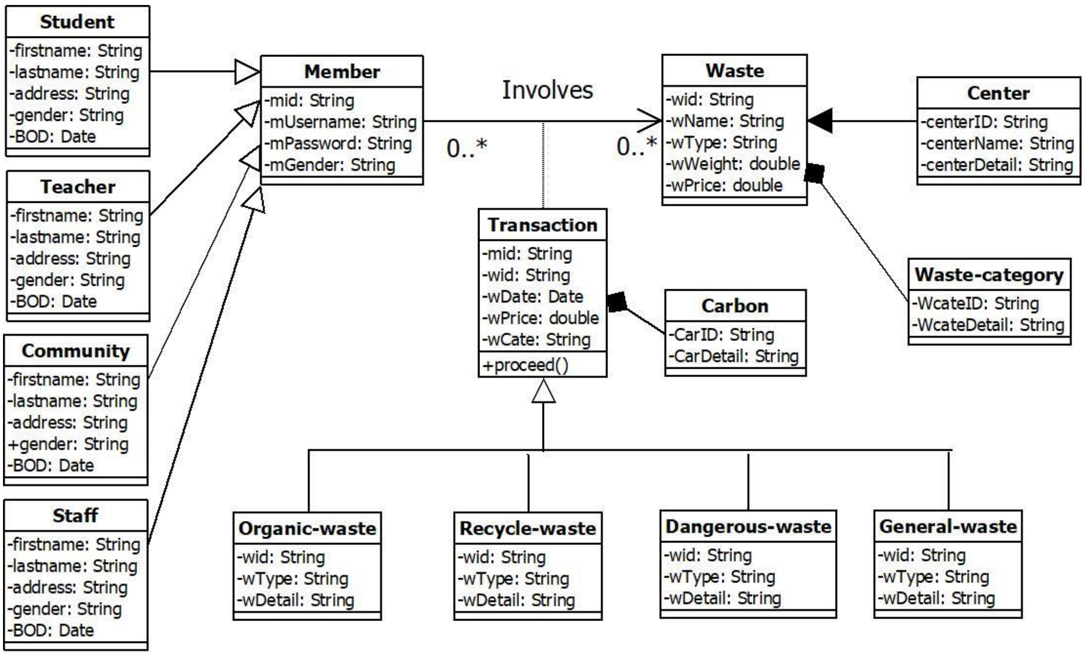
แผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) ของระบบนี้จะเป็นจะประกอบไปด้วย 7 คลาส ได้แก่ 1) ผู้ใช้งาน 2) Login 3) ฐานข้อมูล 4) สมัครสมาชิก 5) ประเภทขยะ 6) ชั่งขยะ 7) สรุปผลการชั่ง ดังรายละเอียดในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) ของการชั่งขยะ

แผนภาพคลาส

แผนภาพคลาส (Class Diagram) ทำหน้าที่ในการแสดงความสัมพันธ์ของคลาสต่างๆ ในระบบ โดยมีจำนวนของคลาสทั้งหมด 13 คลาส โดยมีรายละเอียดดังนี้

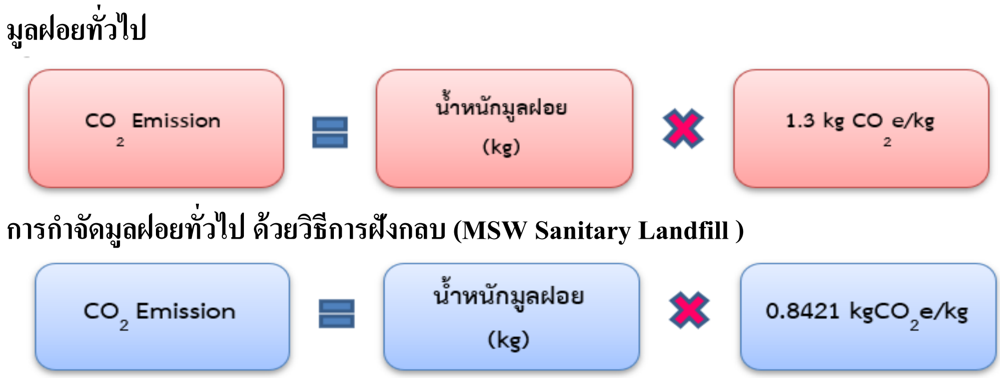


ภาพที่ 5 แผนภาพคลาสของระบบ

การคำนวณการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนด์ไดออกไซด์

การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการกำจัดผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานแบบการฝังกลบ (Landfill) โดยใช้ตามข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกจากกองขยะแบบตื้น (tCO_2e ตันต่อมูลฝอย) ของ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 5: Waste (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ดังตารางที่ 2 สำหรับวัสดุอื่นๆ ที่นอกเหนือจากตารางที่ 2 และมีองค์ประกอบของคาร์บอนให้ใช้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 2.32 tCO_2e /ตันมูลฝอย (คำนวณจากข้อมูลที่เก็บโดย JGSEE) หากเป็นวัสดุที่ไม่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบให้คิดเป็นศูนย์

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ 1. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมนุษย์ (Carbon Footprint of Human) 2. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Products) 3. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint of Organizations)



ภาพที่ 6 การคำนวณการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนด์ไดออกไซด์

ตารางที่ 1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกจากการกองขยะแบบตื้น

องค์ประกอบของมูลฝอย	**ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกจากการกองขยะแบบตื้น (tCO_2e ต่อตันมูลฝอย)**
กระดาษ / กระดาษกล่อง	2.93
ผ้า	2.00
เศษอาหาร	2.53
เศษไม้	3.33
กิ่งไม้ ต้นหญ้า จากสวน	3.27
ผ้าอ้อมเด็กทำด้วยกระดาษ	4.00
ยางและหนัง	3.13

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2554)

จากตารางที่ 1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกจากการกองขยะแบบตื้น พบว่า 1) กระดาษ หรือกระดาษกล่อง มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 2.93 2) ผ้า มีปริมาณก๊าซเรือนกระจก

เท่ากับ 2.00 3) เศษอาหาร มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 2.53 4) เศษไม้ มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 3.33 5) กิ่งไม้ ต้นหญ้า มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 3.27 6) ผ้าอ้อมเด็กทำด้วยกระดาษ มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 4.00 และ 7) บางและหนัง มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 3.13

การทดสอบโปรแกรม

การทดสอบการทำงานของโปรมแกรม โดยการติดตั้งโปรมแกรมระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจรลงในคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์เรียนรู้ทั้ง 6 แห่ง เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมว่ามีความสามารถอยู่ในขอบเขตของการทำงานที่กำหนดไว้ แล้วเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงงานหรือไม่ โดยทดสอบดังนี้

1. การลงทะเบียน (Register) ของผู้ใช้งานระบบ อาจารย์ เจ้าหน้าที่ นักเรียน และผู้ดูแลระบบ

2. การเข้าสู่ระบบ (Login) ของผู้ใช้งาน ทำการตรวจสอบว่ามีชื่อในฐานข้อมูลผู้ใช้งานหรือไม่

3. การแสดงประเภทขยะและข้อมูลขยะตามลำดับหน้าที่กำหนดให้หรือไม่

4. การเลือกประเภทขยะและการชั่งน้ำหนักขยะ โดยการกำหนดการเลือกประเภทขยะทั้ง 4 ประเภท

5. การชั่งขยะ โดยการเลือกประเภทขยะก่อนแล้วเลือกชนิดขยะจากนั้นโปรแกรมจะแสดงราคาต่อหน่วย และกดปุ่มชั่งขยะ จะแสดงค่าน้ำหนักขยะได้ถูกต้องหรือไม่

6. การแสดงข้อมูลรายงานสรุปการชั่งขยะเมื่อออกจากหน้าจอชั่งขยะ และมีการย้อนกลับไปหน้าล็อกอินถูกต้องหรือไม่

7. การย้อนกลับไปแสดงหน้าล็อกอินเมื่อผู้ใช้งานไม่ต้องการชั่งขยะต่อ มีการย้อนกลับไปหน้าล็อกอินถูกต้องหรือไม่

8. การออกรายงานต่างๆ เช่น ข้อมูลสรุปการชั่งน้ำหนักขยะรายวันและรายเดือน

9. การกำหนดค่าต่างๆ เช่น กำหนดราคาขยะ และกำหนดชนิดของขยะ และการค้นหาข้อมูลผู้ใช้งาน

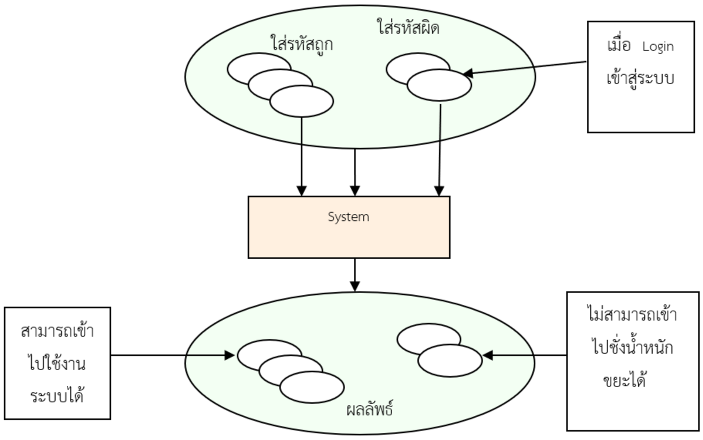
10. การย้อนกลับหน้าล็อกอิน

การทดลองใช้ระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร จำแนกออกเป็น ขั้นตอน 2 ขั้นตอน

ขั้นแอลฟา เป็นการทดลองใช้ในขั้นต้นกับคณะของผู้พัฒนาก่อน จำนวน 5 คน เพื่อหาความถูกต้อง และความสมบูรณ์ในการทำงานของระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร หลังจากนั้นจึงทำการปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น

ขั้นเบต้า นำระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจรที่พัฒนาไปทดลองใช้กับกลุ่มครู/อาจารย์ เจ้าหน้าที่ และผู้ดูแลระบบ กลุ่มเป้าหมาย จำนวน 60 คน ในศูนย์เรียนรู้ทั้ง 6 แห่ง เพื่อทดลองใช้ขั้นต้น หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลไปปรับเปลี่ยนอีกครั้งเพื่อนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงในขั้นต่อไป

การทดสอบระบบ (Black Box Testing)



ภาพที่ 7 แผนภาพการทดสอบระบบด้วย Black-Box Testing

การทดสอบความถูกต้อง

1. การทดสอบความถูกต้องของระบบการบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร ทำโดยตรวจสอบความถูกต้องของระบบจากทีมผู้งานใช้ โดยสร้างแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านข้อมูลของระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร จำนวน 3 คน และจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิควิธี จำนวน 3 คน เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพของระบบประกอบด้วยด้านต่างๆ ดังนี้

1.1 Unit Test เป็นการทดสอบระบบเป็นส่วนๆ ทีละหน้าจอว่าระบบแสดงเนื้อหาได้ถูกต้องหรือไม่

1.2 Integration Test เป็นการทดสอบระบบโดยรวม

1.3 Usability Test เป็นการทดสอบระบบว่าสามารถใช้งานได้ง่ายหรือไม่

1.4 Performance Test เป็นการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ เช่น ระยะเวลาแสดงเนื้อหาในแต่ละหน้าและการชั่งน้ำหนักขยะของแต่ละคน เป็นต้น

1.5 Security Test เป็นการทดสอบระบบรักษาความปลอดภัย

2. นำแบบประเมินผู้ใช้งานและผู้เชี่ยวชาญไปประเมินหาระดับความคิดเห็นที่มีต่อระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร

3. สรุปผลจากการประเมิน

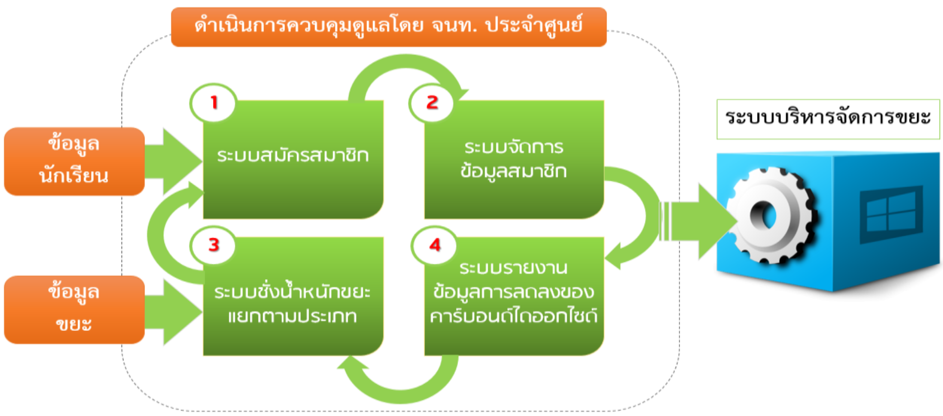
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการวิจัย เรื่อง การพัฒนาระบบสารสนเทศในการจัดการขยะและบำบัดน้ำเสียแบบครบวงจร พบว่าระบบสามารถทำการจัดเก็บข้อมูลของชนิดขยะต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปใช้งานภายในระบบ และศึกษาประเภทของขยะได้อย่างถูกต้องในรูปแบบ โดยมีผลตอบแทนหากผู้ใช้งานนำขยะมาทิ้งได้อย่างถูกต้อง เพื่อเป็นการปลูกจิตสำนึกของทุกคนให้รู้คุณค่าของขยะ ซึ่งสอดคล้องกับ (ธนกฤต, 2553) ที่ได้ทำการศึกษารูปแบบการจัดการการจัดเก็บขยะชุมชน กรณีศึกษา:องค์การบริหารส่วนตำบลโนนเมืองพัฒนา อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา

ผลการศึกษาพบว่าสาเหตุของการทิ้งขยะไม่ถูกวิธีนั้นมาจากประชาชนในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลโนนเมืองพัฒนายังขาดความรู้ความเข้าใจในรูปแบบของการจัดการการเก็บขยะมูลฝอยและการคัดแยกการทิ้งขยะให้ถูกวิธี รวมทั้งยังขาดการประชาสัมพันธ์และการให้ความรู้เกี่ยวกับรูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน

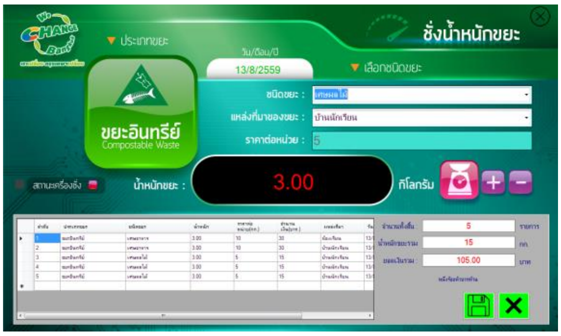
ในส่วนของระบบการออกรายงานผู้ใช้สามารถขอดูรายงานข้อมูลประวัติการใช้งานของตนเองผ่านระบบได้อย่างถูกต้องแม่นยำและสะดวกสบายยิ่งขึ้น จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งานจริงตามท้องถิ่นหรือชุมชนต่าง ๆ เพื่อช่วยเหลือทางด้านการจัดการขยะและลดปัญหาของการจัดเก็บข้อมูลสอดคล้องกับ (ดาวรถา, 2561) ได้พัฒนาระบบสารสนเทศจัดการข้อมลูสุขภาพของบุคลากรและนักศึกษา ด้วยเทคโนโลยีบาร์โค้ด ผลการวิจัยพบว่าความพึงพอใจของผู้ใช้งานในภาพรวมอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 ดังนั้น ระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปใช้งานในองค์กร หรือชุมชนอื่นๆ ได้ในการพัฒนาเพื่อต่อยอด ควรพัฒนาเป็นโปรแกรมแกรมประยุกต์บนเว็บหรือเว็บแอปพลิเคชันเพื่อรองรับการทำงานกับผู้ใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น (Labib, 2017) เนื่องจากระบบปัจจุบันยังเป็นแบบผู้ใช้เครื่องเดียวและในอนาคตควรพัฒนาให้สามารถใช้งานผ่านสมาร์ตโฟนหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายของผู้ใช้งานที่จะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา ซึ่งสอดคล้องกับ (ธีรชัย, 2556) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนบนระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) เพื่อให้นักศึกษาคณะวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร หรือบุคคลภายนอกทั่วไปได้รับข้อมูลข่าวสารที่รวดเร็วและสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยภาพรวมแสดงการทำงานของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการขยะสำหรับศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะแบบครบวงจร ดังนี้



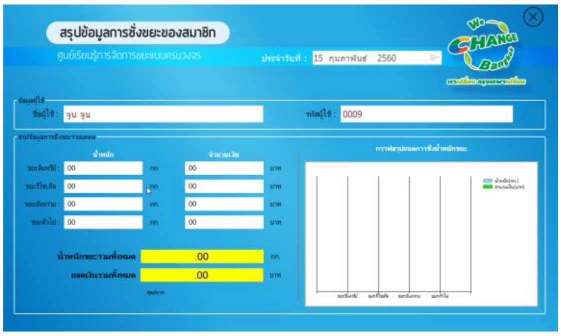
ภาพที่ 8 แสดงฟังก์ชันการทำงานของระบบ

(ก)

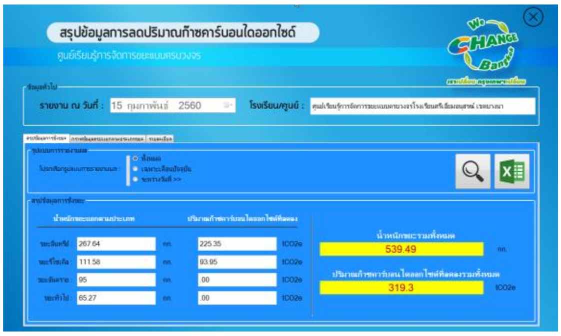


(ข)

ภาพที่ 9 (ก) หน้าจอการเลือกประเภทขยะ (ข) หน้าจอการชั่งขยะอินทรีย์

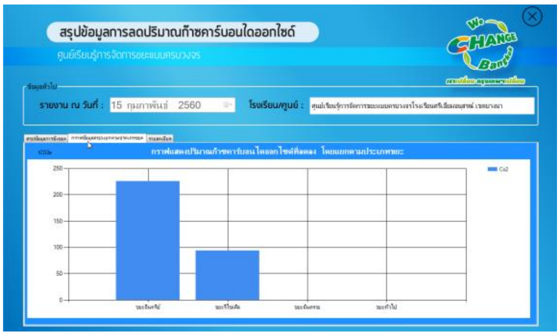


(ก)

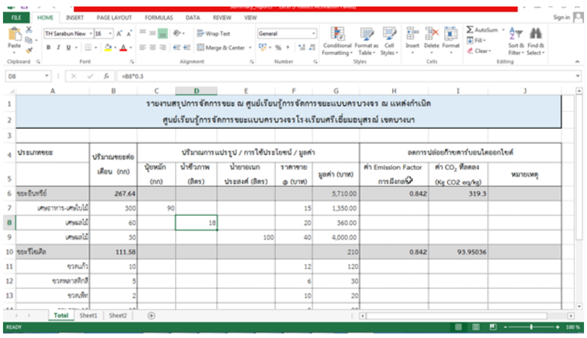


(ข)

ภาพที่ 10 (ก) การสรุปผลข้อมูลการชั่งน้ำหนักขยะ (ข) การสรุปผลข้อมูลลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 11 (ก) แผนภูมิสรุปผลข้อมูลลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ข) การส่งออกเป็นไฟล์ Excel ข้อมูลลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ภาพที่ 12 ภาพกิจกรรมของนักเรียนในการเข้าใช้ระบบการจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้ฯ

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลการชั่งน้ำหนักขยะเฉลี่ยต่อเดือน

ศูนย์เรียนรู้	ขยะอินทรีย์ (กก.)	ขยะ ทั่วไป(กก.)	ขยะ อันตราย(กก.)	ขยะ รีไซเคิล(กก.)	รวมทั้งหมด (กก.)
โรงเรียนราชมนตรี (ปลื้ม-เชื่อมนุกูล) เขตบางขุนเทียน	563.56	54.27	33	61.64	**712.47**
โรงเรียนคลองบางพรหม เขตทวีวัฒนา	450.30	50.30	50.24	70.34	**621.18**
โรงเรียนศรีเอี่ยมอนุสรณ์ เขตบางนา	489.23	69.50	56.45	79.30	**694.48**
โรงเรียนพระราม 9 กาญจนาภิเษก เขตห้วยขวาง	678.45	70.35	73.24	98.45	**930.49**
โรงเรียนคลองทรงกระเทียม เขตลาดพร้าว	879.28	89.30	40.20	105.35	**1,114.13**
โรงเรียนมัธยมสุวิทย์เสรีอนุสรณ์ เขตประเวศ	825.24	78.39	45.24	130.20	**1,079.07**

ตารางที่ 3 สรุปข้อมูลการลดปริมาณคาร์บอนด์ไออกไซด์

ศูนย์เรียนรู้	ขยะ อินทรีย์ (tCO_2e)	ขยะ ทั่วไป(tCO_2e)	ขยะ อันตราย (tCO_2e)	ขยะ รีไซเคิล (tCO_2e)	รวมทั้งหมด (tCO_2e)
โรงเรียนราชมนตรี (ปลื้ม-เชื่อมนุกูล) เขตบางขุนเทียน	474.52	45.70	27.79	51.90	**599.90**
โรงเรียนคลองบางพรหม เขตทวีวัฒนา	379.15	42.35	42.30	59.23	**523.03**
โรงเรียนศรีเอี่ยมอนุสรณ์ เขตบางนา	411.93	58.52	47.53	66.77	**584.75**
โรงเรียนพระราม 9 กาญจนาภิเษก เขตห้วยขวาง	571.25	59.23	61.67	82.89	**775.05**
โรงเรียนคลองทรงกระเทียม เขตลาดพร้าว	740.35	75.19	33.85	88.70	**938.10**
โรงเรียนมัธยมสุวิทย์เสรีอนุสรณ์ เขตประเวศ	694.85	66.00	38.09	109.63	**908.58**

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

หัวข้อ	$\bar{x}$	S.D.	หมายเหตุ
1. ความพึงพอใจในภาพรวม ต่อระบบสารสนเทศที่สร้างขึ้น	4.63	0.69	มากที่สุด
2. ความพึงพอใจต่อการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ	4.65	0.69	มากที่สุด
3. ความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งาน	4.60	0.72	มากที่สุด
4. ความพึงพอใจด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.49	0.71	มาก
รวม	**4.59**	**0.70**	**มากที่สุด**

สรุป

จากการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการขยะในศูนย์เรียนรู้ พบว่าระบบสามารถดำเนินการได้ดีในทุกฟังก์ชันของระบบ และบรรลุตามวัตถุประสงค์ ที่ตั้งไว้ โดยผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการศึกษารูปแบบการจัดการขยะโดยวิธีการคัดแยกขยะเป็นการช่วยปลูกจิตสำนักในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะของนักเรียนในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานครได้เป็นอย่างดี 2) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ แบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ พบว่า 1) ความพึงพอใจในภาพรวม ต่อระบบสารสนเทศที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.63, S.D. = 0.69) 2) ความพึงพอใจต่อการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.65, S.D. = 0.69) 3) ความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งานอยู่ในระดับมาก

ที่สุด ($\bar{x}$ = 4.60, S.D. = 0.72) และ 4) ความพึงพอใจด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.49, S.D. = 0.71) ภาพรวมผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.59, S.D. = 0.70)

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากหลายภาคส่วนได้แก่ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร สำนักงานสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร และ บริษัท เบสท์แคร์ อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2550. **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2550.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา: http://infofile.pcd.go.th/mgt/report50.pdf?CFID=134197&CFTOKEN=82229956, 22 มีนาคม 2561.

กรมควบคุมมลพิษ. 2554. **คู่มือการจัดการขยะมูลฝอยและเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงานสำหรับท้องถิ่น.** สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 15 (ภูเก็ต). แหล่งที่มา: https://www.reo15.go.th/news_document/detail/91/data.html, 22 มีนาคม 2561.

ดาวรถา วีระพันธ์. 2561. ระบบสารสนเทศจัดการสุขภาพของบุคลากรและนักศึกษาด้วยเทคโนโลยีบาร์โค้ด. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์** 13(2): 126-136.

ธนกฤต บวกขุนทด. 2553. การศึกษารูปแบบการจัดการการจัดเก็บขยะชุมชน กรณีศึกษา: องค์การบริหารส่วนตำบลโนนเมืองพัฒนา อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ธเรศ ศรีสถิตย์. 2549. **รายงานการวิจัย อัตราการเกิดและองค์ประกอบของมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ธีรชัย ศิริเมธากุล. 2556. MSIT แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

น้ำฝน อัศวเมฆิน. 2558. **หลักการพื้นฐานของวิศวกรรมซอฟต์แวร์.** วี.พริ้นท์ 1991 จำกัด, กรุงเทพฯ.

ปิยชาติ ศิลปสุวรรณ. 2557. **ขยะมูลฝอยชุมชนปัญหาใหญ่ที่ประเทศกำลังเผชิญ.** สถาบันทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา: http://nrei.rmutsv.ac.th/sites/default/files/poprosal/บทความวิชาการขยะมูลฝอยชุมชนปัญหาใหญ่ที่ประเทศกำลังเผชิญ.PDF, 22 มีนาคม 2561.

วิภาณี อุชุปัจ. 2561. ความรู้ พฤติกรรมในการจัดการขยะของประชาชน และคุณภาพการบริการในการจัดการขยะขององค์การบริหารส่วนตำบลเหล่ายาว อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. 2551. **รายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อม 2549-2550.** พิมพ์

ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์อักษรไทย (น.ส.พ. ฟ้าเมืองไทย), กรุงเทพฯ.

Gunawan, E.S. 2017. The Need of Rhetorical Design on Global Brands'Websites, pp. 1-6. *In* **2017 International Conference on Computing, Engineering, and Design (ICCED).** International Islamic University, Malaysia.

Labib, S.M. 2017. Volunteer GIS (VGIS) based waste management: A conceptual design and use of web 2.0 for smart waste management in Dhaka City, pp. 137-141. *In* **2017 Third International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN).** University of Manchester, United Kingdom.

นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน

Innovation in Electric Reinforcing for Household

กมลวรรณ บุญเจริญ* ปัญญา เลิศไกร และ หัสชัย สิทธิรักษ์

Kamonwan Booncharoen*, Punya Lertgrai and Hussachai Sittirak

Received: 6 June 2019, Revised: 15 July 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องนวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนมีจุดประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของครัวเรือน 2) พัฒนานวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน และ 3) ศึกษาประสิทธิผลของการใช้นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน โดยเลือกครัวเรือนที่มีความพร้อมสำหรับการวิจัยคือ บ้านเลขที่ 69/1 หมู่ 11 ตำบลขนอม อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นครัวเรือนตัวอย่าง ซึ่งเก็บข้อมูลด้วยมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนการใช้นวัตกรรม ส่วนประสิทธิผลเป็นการเปรียบเทียบสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการใช้นวัตกรรมคือ ปี 2555 เปรียบเทียบกับปี 2559 โดยสามารถสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์คือ 1) สภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของครัวเรือนตัวอย่าง มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยวันละ 13.9 หน่วย สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2555 เป็นเงิน 19,386.9 บาท 2) นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน ประกอบด้วยการใช้หลอดแอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแทนเครื่องปรับอากาศ และพัฒนาโรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 3,000 วัตต์ และ 3) ประสิทธิผลของการใช้นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนประเมินจากค่าไฟฟ้าในปี 2559 ซึ่งคงเหลือ 1,544.6 บาท เท่ากับประหยัดค่าไฟฟ้าได้ร้อยละ 91.9 และมีระยะคืนทุนในเวลา 7 ปี

คำสำคัญ: ระบบหมุนเวียนอากาศ, โรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด, นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เลขที่ 1 หมู่ 4 ตำบลท่างิ้ว อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280

Graduate School, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 1 Moo 4, Thangew, Mueang, Nakhon Si Thammarat 80280, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): kbgasgoggag@gmail.com

ABSTRACT

The study of Innovation in Electric Reinforcing for Household aimed to: 1) study electrical energy consumption state of household, 2) develop innovation in electric reinforcing for household, and 3) study the effectiveness of using the innovation in electric reinforcing for household. The sample house is 69/1 Moo 11, Khanom sub-district, Khanom district, Nakhon Si Thammarat. The data were collected from the electrical energy meter for electrical appliances and statistics on the electrical energy consumption before using the innovation. Additionally, the effectiveness was compared between the statistical electrical energy consumption prior and after the innovation which were in year 2012 and year 2016. The result of the study according to the objectives were as follows. 1) The electrical energy consumption state of household sample requires daily average usage of 13.9 kWh of electrical energy consumption, and the statistical electrical energy consumption in 2012 is 19,386.9 baht. 2) The Innovation in Electric Reinforcing for Household is consisted of the use of LEDs instead of fluorescent tubes, the use of air circulation instead of air conditioning, and the development of Smart Hybrid power plant producing 3,000 watts from solar cells. 3) The effectiveness of the Innovation in Electric Reinforcing for Household is estimated from the electricity cost in 2016, which is 1,544.6 baht. The electricity cost is 91.9% less than the regular costs, and the payback period is 7 years.

Key words: air circulation system, smart hybrid power plant, innovation of electric reinforcing

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับอำนวยความสะดวกในการสื่อสาร ที่อยู่อาศัย และภาคธุรกิจ ดังนั้นการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยปี 2560 เพิ่มขึ้นจากปี 2559 ร้อยละ 3.36 และปี 2561 เพิ่มขึ้นจากปี 2560 ร้อยละ 2.92 (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2562) ทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศจำนวนมากสำหรับจัดหาเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้า และยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนและสิ่งแวดล้อมในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และกรณีไฟฟ้าขัดข้องทั่วภาคใต้ วันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 นั้นสะท้อนถึงความไม่มั่นคงจากการพึ่งพากระแสไฟฟ้าจากระบบใหญ่

การพัฒนาให้เกิดเป็นรูปธรรมของการอนุรักษ์พลังงานในภาคครัวเรือนไม่ได้มีเฉพาะการพัฒนาส่วนของอุปกรณ์ หรือพลังงานทางเลือกเท่านั้น เพราะสำคัญเหนือสิ่งอื่นใดก็คือพฤติกรรมของมนุษย์ ที่ปัจจุบันมีการสนใจอย่างจริงจัง ทั้งในระดับนักวิจัย ผู้กำหนดนโยบาย ผู้ปฏิบัติ และผู้บริโภคทั่วไป ที่กังวลถึงการขาดแคลนพลังงานจากปัญหาการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลกมากกว่าผลกระทบของภาวะเรือนกระจก มีการให้ความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น และส่วนใหญ่จะมีความรู้เพียงพอเกี่ยวกับวิธีการประหยัดพลังงาน มีการยอมรับและต้องการที่จะประหยัด แต่ผู้บริโภคจำนวนมากก็ยังคงล้มเหลวที่จะปฏิบัติตามมาตรการต่างๆ (Frederiks *et al.*, 2015) ดังนั้นการ

ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานต้องมีการกระจายตัวไปยังชุมชน ให้เกิดความตระหนักในคุณค่าพลังงาน เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวิถีชีวิตและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2561)

กระทรวงพลังงาน (2554) ได้กำหนดแผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ในอาคารธุรกิจขนาดเล็กและบ้านที่อยู่อาศัย ซึ่งเป็นแผนปี 2554-2573 มีการคาดการณ์จำนวนอุปกรณ์ที่จะมีการใช้จนถึงปี 2573 สำหรับเครื่องปรับอากาศรวมทั้งหมดในกลุ่มธุรกิจขนาดเล็กและครัวเรือนใช้มากถึง 25,901 พันล้านหน่วย และสำหรับแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 5,222 พันล้านหน่วย ซึ่งจะเห็นว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูงมาก จึงมีการพยายามผลักดันให้มีการใช้อุปกรณ์และเครื่องใช้ที่ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นหลัก เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้แสงสว่างจากหลอดแอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ตลอดจนถึงผลักดันให้มีการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือก โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) หรือพีวี (PV, Photovoltaic) มีชื่อเรียกได้หลายอย่าง เช่น โซลาร์เซลล์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์โฟโตโวลตาอิค ปัจจุบันนิยมแพร่หลายชนิดที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Silicon) ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ทำจากซิลิกอนที่เจือด้วยสารฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ และมีส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Silicon) ทำจากซิลิกอนที่เจือด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (ทำให้เกิดโฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Hersch and Zweibel, 1982) เมื่อนำซิลิกอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันเป็นรอยต่อพีเอ็น (P-N Junction) จึงทำให้ได้ "เซลล์แสงอาทิตย์" ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย และมีแถบโลหะเรียกว่าขั้วนำไฟฟ้าด้านหน้า ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพีซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์โครงสร้างเป็นโฮล แต่ยังมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย และมีแถบโลหะเรียกว่าขั้วนำไฟฟ้าด้านหลังทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหากันเพื่อจับคู่ อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและโฮลจะวิ่งไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดพี อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ขั้วนำไฟฟ้าด้านหน้าและโฮลวิ่งไปรวมกันที่ขั้วนำไฟฟ้าด้านหลัง เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจากขั้วนำไฟฟ้าด้านหน้าไปยังขั้วนำไฟฟ้าด้านหลังให้ครบวงจร จะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งออกขั้วนำไฟฟ้าด้านหน้าผ่านวงจรไปยังขั้วนำไฟฟ้าด้านหลัง และเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในทิศตรงกันข้าม

การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือนและองค์กรจะมีสองรูปแบบ (Karthikeyan *et al*., 2017) คือ ระบบไม่เชื่อมต่อสายส่ง (Off-grid system) และระบบเชื่อมต่อสายส่ง (Grid connected system หรือ Grid-tied system หรือ On-grid System) โดยทั้งสองระบบมีรายละเอียด คือ

1. ระบบไม่เชื่อมต่อสายส่ง ระบบนี้ค่อนข้างยุ่งยากกว่าระบบเชื่อมต่อสายส่ง เพราะนอกจากจะมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์และออฟกริดอินเวอร์เตอร์ (Off-grid inverter) แล้วยังต้องมีแบตเตอรี่และเครื่องควบคุมการประจุ (Charge controller) ด้วย โดยไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกประจุลง

แบตเตอรี่ จากนั้นอินเวอร์เตอร์จึงแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยระบบนี้มีข้อดีคือหากไฟฟ้าจากการไฟฟ้าขัดข้อง ระบบก็ยังทำงานได้อยู่ตราบที่ยังมีประจุไฟฟ้าในแบตเตอรี่ ดังนั้นระบบนี้นอกจากเหมาะสำหรับติดตั้งเพื่อความเสถียรของไฟฟ้าในบ้านแล้วยังเหมาะสำหรับพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีไฟฟ้าจากการไฟฟ้าด้วย แต่ข้อด้อยของระบบนี้คือมีข้อจำกัดของการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับขนาดของอินเวอร์เตอร์ และมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นมาสำหรับค่าแบตเตอรี่ เพราะอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่นิยมใช้คือชนิดตะกั่ว-กรดที่ปกติแล้วมักจะมีอายุการใช้งานไม่เกิน 4 ปี ส่วนแบตเตอรี่ลิเธียมไอร่อนฟอสเฟต ($LiFePO_4$) และลิเธียมไอออน (Li-ion) มีประสิทธิภาพสูงกว่ามากแต่ก็มีราคาแพงกว่ามากเช่นกัน ในขณะที่แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบดีปไซเคิล (Deep cycle) นั้นมีประสิทธิภาพถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (บริษัท เมเชอร์โทรนิกส์ จำกัด, 2559) หรือประมาณสองเท่าของตะกั่ว-กรดธรรมดา โดยมีราคาสูงกว่าอยู่ประมาณร้อยละ 20 แบตเตอรี่แบบดีปไซเคิลนี้จึงเหมาะในการใช้งานในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามด้วยต้นทุนที่ต้องมีแบตเตอรี่ของระบบนี้จึงทำให้ระบบไม่เชื่อมต่อสายส่งจะมีต้นทุนสูงกว่าระบบเชื่อมต่อสายส่งอยู่ประมาณร้อยละ 63 ต่อหน่วย (kWh) (Seldon *et al.*, 2016) ซึ่งระบบไม่เชื่อมต่อสายส่งมีการคำนวณกำลังผลิตรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากสมการ (วรนุช, 2553)

$$\boldsymbol{P} = \frac{\boldsymbol{P_L xD}}{\boldsymbol{QxAxBxC}} \qquad \text{..............................(1)}$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้ง (วัตต์)

P_L = ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน (วัตต์ – ชั่วโมงต่อวัน)

Q = พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบในหนึ่งวันสำหรับประเทศไทยมีค่า 4 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร

A = ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์แสงอาทิตย์

B = ค่าชดเชยการสูญเสียเชิงความร้อน

C = ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงแรงดัน

D = ความเข้มแสงปกติมีค่า 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

2. ระบบเชื่อมต่อสายส่ง อุปกรณ์หลักจะประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกริดไทอินเวอร์เตอร์ (Grid tied inverter) เท่านั้น โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงก็จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงมาให้ กริดไทอินเวอร์เตอร์แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยคอนโทรลเลอร์ในอินเวอร์เตอร์จะเรียนรู้รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าจากการไฟฟ้าก่อนแล้วจึงผลิตไฟฟ้าให้มีรูปคลื่นตรงกัน (Synchronize) และเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มีแอมปลิจูดเท่ากันหรือมากกว่าต้นฉบับที่ทุกๆ จุดบนลูกคลื่น จึงทำให้ถ้าไม่มีการใช้กระแสไฟฟ้าในบ้าน กระแสไฟฟ้าก็จะไหลออกจากบ้านไปสู่สายส่งของการไฟฟ้า ทำให้มาตรวัดแบบแอนาล็อกหมุนถอยหลังซึ่งถือว่าผิดระเบียบการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้า และหากไฟฟ้าจากการไฟฟ้าขัดข้อง กริดไทอินเวอร์เตอร์ก็จะหยุดทำงานทันที บ้านเรือนที่ติดตั้งระบบนี้ก็จะไม่มีกระแสไฟฟ้าให้ใช้แม้ว่าจะมีแสงแดดอยู่ก็ตาม

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่าการแก้ปัญหาพลังงานไฟฟ้านั้นต้องกระทำพร้อมๆ กันทั้งส่วนของการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบหมุนเวียนอากาศแทนการใช้เครื่องปรับอากาศและเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างเป็นหลอดแอลอีดี

แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ตลอดจนถึงมีการใช้ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ร่วมด้วย แต่เนื่องด้วยระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ทั้งระบบออฟกริดและออนกริดต่างก็มีข้อดีและข้อด้อย งานวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบที่นำเอาข้อดีของทั้ง 2 ระบบมาไว้ด้วยกันแล้วเรียกว่าระบบสมาร์ทไฮบริด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีขั้นตอนดำเนินการ 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ศึกษาสภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของครัวเรือน ระยะที่ 2 พัฒนานวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน และระยะที่ 3 ศึกษาประสิทธิผลของการใช้นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน โดยใช้เครื่องมือเก็บข้อมูลตลอดการวิจัยนี้คือมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าแบบกิโลวัตต์-ชั่วโมง (หน่วย) ทั้งแบบแอนาล็อกและแบบดิจิตอล โดยอ้างอิงมาตรวัดของการไฟฟ้า และเลือกครัวเรือนตัวอย่างคือ บ้านเลขที่ 69/1 ม.11 ต.ขนอม อ.ขนอม จ.นครศรีธรรมราช มีผู้อยู่อาศัย 5 คน ตลอดกระบวนการวิจัย ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการประยุกต์ใช้สำหรับครัวเรือนอื่นๆ ที่สมาชิกมากหรือน้อยกว่านี้ได้โดยง่าย

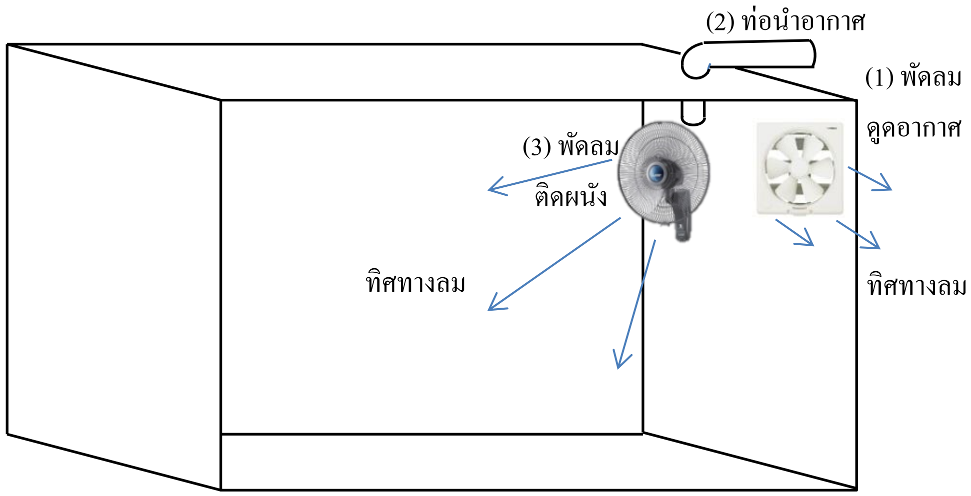
ระยะที่ 1 การศึกษาสภาพการใช้ไฟฟ้าของครัวเรือน

ศึกษาข้อมูลสถิติการใช้ไฟฟ้า จากฐานข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นเวลา 1 ปี ก่อนการพัฒนานวัตกรรม และศึกษาความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในสภาพปัจจุบันของบ้านตัวอย่างจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานเป็นประจำ และแบ่งช่วงเวลาการใช้งาน โดยกำหนดช่วงเวลาหลัง 8:00 นาฬิกา ถึง 17:00 นาฬิกา เป็นช่วงที่มีแสงแดด และหลัง 17:00 นาฬิกา จนถึง 8:00 นาฬิกา เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดด เพื่อสรุปข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด ความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันและต่อเดือน สำหรับเป็นข้อมูลในการออกแบบนวัตกรรม และเป็นข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการพัฒนานวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน

ระยะที่ 2 การพัฒนานวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน มีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง โดยใช้หลอดแอลอีดี (Light emitting diode : LED) แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีวัสดุคือ หลอดแอลอีดีขนาด 9 วัตต์ จำนวน 20 หลอด และขนาด 20 วัตต์ จำนวน 1 หลอด

ส่วนที่ 2 การพัฒนาระบบหมุนเวียนอากาศทดแทนการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ (1) พัดลมขนาด 50 วัตต์ สำหรับดูดอากาศร้อนออกจากห้อง (2) ท่อนำอากาศเย็นจากภายนอกเข้าภายในห้อง และ (3) พัดลมติดผนังขนาด 50 วัตต์ สำหรับส่ายอากาศในห้อง ซึ่งระบบหมุนเวียนอากาศแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของระบบหมุนเวียนอากาศ

แผนผังการติดตั้งระบบหมุนเวียนอากาศ โดยท่อนำอากาศใช้ท่อเกษตร (สีเทา) ขนาด 4 นิ้วยาว 4 เมตรราคาเส้นละ 280 บาท มีหลักการสำคัญคือ ปลายท่อนำอากาศด้านในจะต้องอยู่ด้านหลังของพัดลมติดผนัง ส่วนปลายท่อด้านนอกติดตั้งนอกบ้านในจุดที่มีอากาศเย็นในเวลากลางคืน และเป็นจุดที่มีความปลอดภัยมีตะแกรงป้องกันสัตว์เข้าไปในห้อง

ส่วนที่ 3 การพัฒนาโรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด การพัฒนาในส่วนนี้มีการปรับเปลี่ยนวัสดุอุปกรณ์ทั้งการทดลองระบบไม่เชื่อมต่อสายส่ง และระบบเชื่อมต่อสายส่ง ตลอดระยะเวลา 3 ปี จนได้ระบบสุดท้ายที่รวมเอาข้อดีของทั้ง 2 ระบบเข้าด้วยกันแล้วเรียกว่าระบบสมาร์ทไฮบริด มีการปรับปรุงเพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมที่สุดและมีค่าใช้จ่ายไม่สูง โดยพบว่าวัสดุที่สำคัญสำหรับสร้างระบบสมาร์ทไฮบริด (ไม่รวมตัวอาคาร) มีรายการดังตารางที่ 1 ซึ่งรวมงบประมาณที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 110,000 บาท

ระยะที่ 3 การศึกษาประสิทธิผลของการใช้นวัตกรรม

พิจารณาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการจ่ายค่าไฟฟ้า ตั้งแต่ก่อนดำเนินการวิจัย (ก่อนการใช้นวัตกรรม) เป็นเวลา 1 ปี เปรียบเทียบกับช่วงเวลาอีก 1 ปีหลังใช้นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน

ตารางที่ 1 วัสดุและอุปกรณ์สำคัญที่ใช้สำหรับการสร้างโรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด

ลำดับ	รายการ	จำนวน	*ราคา (บาท)
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม ขนาด 300 วัตต์	10 แผง	44,000
2	สายไฟ THW แกนทองแดงขนาด 10 ตารางมิลลิเมตร	100 เมตร	3,200
3	เครื่องควบคุมการประจุ 60 แอมแปร์	2 เครื่อง	4,200
4	แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ขนาด 100 แอมแปร์-ชั่วโมง	8 ลูก	24,800
5	ออฟกริดอินเวอร์เตอร์ขดลวดทองแดง 3,000 วัตต์	1 เครื่อง	14,500
6	กริดไทอินเวอร์เตอร์ ขนาด 1,000 วัตต์	2 เครื่อง	7,000
7	อุปกรณ์สำหรับระบบสลับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัติ	1 ชุด	750
8	มาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	4 ชุด	600

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	*ราคา (บาท)
9	มาตรวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ	4 ชุด	2,000
10	พัดลมระบายความร้อน	2 ชุด	1,100
11	แผงวงจร ESP8266 NodeMCU V2 พร้อมรีเลย์ 4 ตัว	1 ชุด	400
12	กล้องวงจรปิดชนิด IP Camera	1 ชุด	1,400
13	เครื่องควบคุมการประจุ 10 แอมแปร์	1 เครื่อง	350
14	อุปกรณ์อื่นๆ เช่น รางสายไฟ สะพานไฟ และรีเลย์ เป็นต้น	1 ชุด	5,700
	รวม		**110,000**

*ราคา ณ เดือนพฤษภาคม 2562

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ระยะที่ 1 ผลการศึกษาสภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของครัวเรือน

การศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการขอความอนุเคราะห์จากฐานข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช ในช่วงปี 2555 มาพิจารณา ซึ่งเป็นช่วงก่อนการพัฒนานวัตกรรม มีข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2 และพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับฤดูกาล นั่นคือเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม ที่เป็นฤดูร้อนจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก ในขณะที่เดือนกันยายนอากาศหนาวมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าปี 2555 ของครัวเรือนตัวอย่าง

เดือนที่	เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)	ค่าไฟฟ้า(บาท)
1	มกราคม	468	1,770.17
2	กุมภาพันธ์	381	1,407.82
3	มีนาคม	458	1,728.04
4	เมษายน	517	1,976.54
5	พฤษภาคม	518	1,980.75
6	มิถุนายน	466	1,911.33
7	กรกฎาคม	470	1,929.47
8	สิงหาคม	348	1,387.60
9	กันยายน	250	1,012.51
10	ตุลาคม	323	1,341.83
11	พฤศจิกายน	365	1,531.31
12	ธันวาคม	338	1,409.50
	รวม	**4,902**	**19,386.87**

โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งปี 4,902 หน่วย สูงสุดเดือนพฤษภาคม 518 หน่วย ใช้น้อยที่สุดในเดือนกันยายน 250 หน่วย หรือเฉลี่ยในรอบปีใช้ไฟฟ้าวันละ 13.40 หน่วย สูงสุดวันละ 16.70 หน่วย และใช้ไฟฟ้าต่ำสุดวันละ 8.33 หน่วย และมีค่าไฟฟ้ารวมทั้งปี 19,386.87 บาท ซึ่งจากค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดเมื่อนำไปคำนวณหากำลังผลิตรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสมการ (1) พบว่ามีความต้องการกำลังผลิตที่ 4,067 วัตต์ หรือต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ อย่างน้อย 14 แผง โดยงานวิจัยนี้จะสร้างนวัตกรรมที่ลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าลง และลดจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้น้อยกว่าที่คำนวณโดยทฤษฎีนี้ด้วย

นอกจากนี้การศึกษาสภาพปัจจุบันของครัวเรือนตัวอย่าง ด้วยการเก็บข้อมูลด้วยมาตรวัด พบว่ามีค่าเฉลี่ยการใช้งานวันละ 13.906 หน่วย ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากสถิติปี 2555 และได้ข้อมูลการใช้งานในเวลาที่ไม่มีแสงแดด 10.982 หน่วย หรือร้อยละ 78.97 ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือหลอดฟลูออเรสเซนต์มีการใช้งานรวมเฉลี่ยวันละ 2.05 หน่วย และเครื่องปรับอากาศเฉลี่ยวันละ 6.18 หน่วย

ระยะที่ 2 นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน

ในการพัฒนานวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนใช้เวลาพัฒนาทดลองแก้ไข และปรับปรุงตั้งแต่ปี 2556 จนเสร็จสมบูรณ์ในปี 2559 ได้องค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การใช้หลอดไฟฟ้าแสงสว่างเป็นหลอดแอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยใช้หลอดแอลอีดีขนาด 9 วัตต์ จำนวน 20 หลอด และขนาด 20 วัตต์ จำนวน 1 หลอด งบประมาณรวม 2,000 บาท ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 5 หลอดและขนาด 36 วัตต์ จำนวน 10 หลอด โดยมีการเพิ่มความสว่างด้วยการถอดฝาครอบออกทุกหลอด

ภาพที่ 2 การเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด แอลอีดี

ส่วนที่ 2 ระบบหมุนเวียนอากาศทดแทนการใช้เครื่องปรับอากาศ เนื่องจากอุณหภูมิอากาศในห้องนอนมีผลโดยตรงกับความสบายในการนอนหลับ โดยไม่ควรเกิน 26 องศาเซลเซียส (Lan *et al.*, 2017) ทั้งนี้สถิติข้อมูลอากาศของจังหวัดนครศรีธรรมราชมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดในช่วงกลางคืนของแต่ละวันเฉลี่ยเท่ากับ 23.1 องศาเซลเซียส (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560) จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมุนเวียนอากาศดังกล่าวเข้าไปในห้องนอนบ้านตัวอย่างทดลองกับห้องนอนขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 2.8 เมตร ในช่วงเวลา 20:00 นาฬิกา ถึง 6:00 นาฬิกา เป็นเวลา 1 ปี พบว่าระบบหมุนเวียนอากาศสามารถถ่ายเทอุณหภูมิภายในห้องให้เท่ากับภายนอกห้องได้ภายในเวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมงนับตั้งแต่เริ่มเปิด โดยแสดงอุปกรณ์ที่ติดตั้งระบบหมุนเวียน

อากาศ งบประมาณรวม 1,000 บาท (ไม่รวมค่าพัดลมดูดอากาศ) ภายในห้องและภายนอกห้อง ดังภาพที่ 3 และ 4

ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้อง

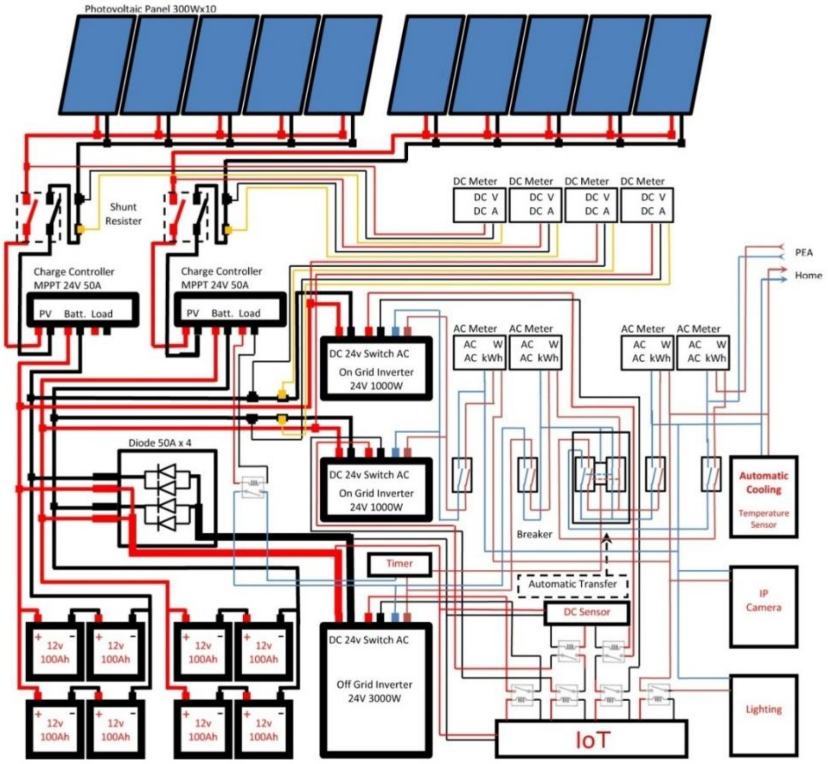
ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของระบบหมุนเวียนอากาศภายนอกห้อง

ส่วนที่ 3 การพัฒนาโรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด ใช้ระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลท์ มีผังวงจรตามภาพที่ 5 และมีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วนคือ

1. ส่วนการผลิตและเก็บประจุไฟฟ้ากระแสตรง ตามผังวงจรในภาพได้แก่ Photovoltaic Panel 300 วัตต์ 10 แผง Charge Controller 50 แอมแปร์ 2 เครื่อง และแบตเตอรี่ 12 โวลท์ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง 8 ลูก ต่ออนุกรมกัน 2 ลูก ขนานกัน 4 ชุด

2. ส่วน Automatic Transfer มีหน้าที่สลับแหล่งจ่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยรับไฟฟ้ากระแสสลับเข้า มาจาก 2 แหล่ง จ่ายออก 1 ทาง (มีเงื่อนไขการทำงานตามรายละเอียดในส่วนที่ 3)

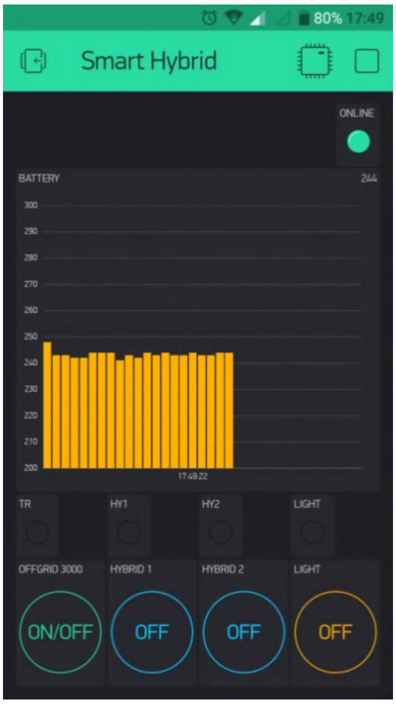
3. ส่วนแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ตามผังวงจรในภาพได้แก่ กริดไทอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 ตัว และออฟกริดอินเวอร์เตอร์ ขนาด 3,000 วัตต์ จำนวน 1 ตัว ซึ่งถูกควบคุมการทำงานด้วย IoT (Internet of things) และตัวควบคุมการประจุขนาด 50 แอมแปร์ ในขณะที่กริดไทอินเวอร์เตอร์จะถูกควบคุมการทำงานด้วย IoT และ DC Sensor ซึ่ง DC Sensor ประยุกต์จากเครื่องควบคุมการประจุขนาด 10 แอมแปร์ ทำหน้าที่ตรวจจับระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ หากมีระดับต่ำกว่า 23 โวลท์ จะตัดการทำงานของกริดไทอินเวอร์เตอร์ในทุกๆ กรณี ซึ่งในสภาวะปกติระบบจะทำงานเฉพาะออฟกริดอินเวอร์เตอร์เท่านั้น แต่หากไม่มีไฟฟ้ากระแสตรงระบบจะสลับไปใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ที่ควบคุมด้วยส่วนสลับแหล่งจ่ายไฟอัตโนมัติ หรือกรณีมีการใช้ไฟฟ้าเกินกำลังของออฟกริดอินเวอร์เตอร์ ระบบจะสลับไปใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทนและเปิดให้กริดไทอินเวอร์เตอร์ทำงานเสริมเข้ามา ดังนั้นถ้าใช้ไฟฟ้า 3,100 วัตต์ จะใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าเพียง 1,100 วัตต์ เท่านั้น



ภาพที่ 5 ผังวงจรโรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด

4. ส่วนของ IoT ทำงานร่วมกับกล้องวงจรปิด (IP camera) ที่สามารถปรับมุมกล้องระยะไกลได้ เพื่อให้สามารถติดตามการทำงานของอุปกรณ์ได้ตลอดเวลา ดังตัวอย่างภาพที่ 6 หน้าที่หลักของส่วน IoT นี้ คือการตรวจวัดสถานะแรงดันไฟฟ้าที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ควบคุมการติดต่อสื่อสาร ตลอดจนถึงแสดงสถานะผ่านระบบอินเตอร์เน็ต โดยประยุกต์ใช้แผงวงจร ESP8266 NodeMCU V2 ทำงานร่วมกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้งานโทรศัพท์ระบบแอนดรอยด์ และพัฒนาชุดแอพพลิเคชั่นควบคุมด้วยเครื่องมือ Blynk มีหน้าจอดังภาพที่ 7

ภาพที่ 6 การแสดงสถานะด้วยกล้องวงจรปิด



ภาพที่ 7 หน้าต่างควบคุมบนจอโทรศัพท์เคลื่อนที่

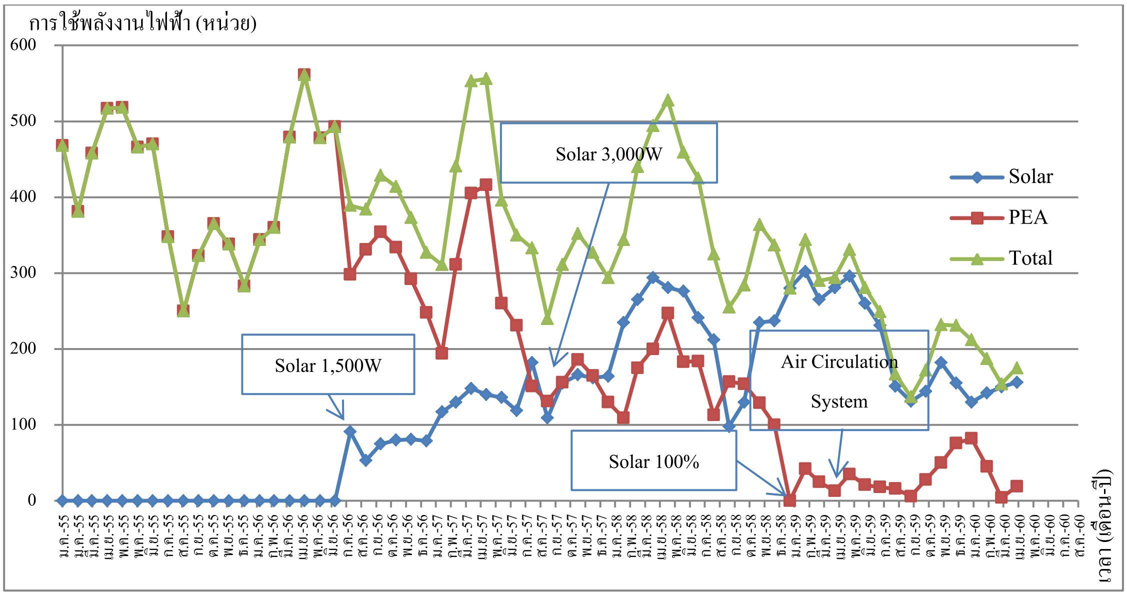
5. ส่วนบันทึกพลังงานไฟฟ้า และการระบายความร้อนอัตโนมัติ ทำหน้าที่ระบายความร้อนแบบอัตโนมัติให้กับอุปกรณ์ทั้งหมดในอาคารโรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด ตั้งอุณหภูมิให้ระบายความร้อนเมื่ออุณหภูมิถึง 33 องศาเซลเซียส และหยุดเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ส่วนมาตรวัดและบันทึกพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับสำหรับแสดงผลสถานะต่างๆ

ซึ่งอุปกรณ์ของส่วนประกอบหลักทั้ง 5 ส่วน ได้ติดตั้งไว้ในโรงเรือนขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 1 เมตร มีประตูเปิดด้านหน้า และเรียกทั้งหมดนี้ว่าโรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด ดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 ลักษณะภายในโรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด

ระยะที่ 3 ประสิทธิผลของการใช้นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน

พิจารณาจากการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการจ่ายค่าไฟฟ้าก่อนการใช้นวัตกรรม คือปี 2555 กับช่วงที่ใช้นวัตกรรม คือปี 2556 จนถึงปี 2560 ในภาพที่ 9 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนเมษายน 2560 พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1,500 วัตต์สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าได้ แต่ยังคงต้องใช้จากการไฟฟ้ามากกว่าที่ผลิตได้เอง จึงติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเป็น 3,000 วัตต์ และติดตั้งระบบหมุนเวียนอากาศพร้อมทั้งยกเลิกการใช้เครื่องปรับอากาศในเดือนมีนาคม 2559



ภาพที่ 9 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าระหว่างเดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนเมษายน 2560

จากการเลิกใช้เครื่องปรับอากาศในเดือนมีนาคม 2559 ทำให้กราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าเดือนเมษายน และพฤษภาคม ไม่ขึ้นไปสูงเหมือนช่วงเดียวกันในปีก่อนหน้า ในที่นี้จึงได้ข้อสรุปที่ชัดเจนว่า เครื่องปรับอากาศมีความสัมพันธ์กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงมาก สอดคล้องกับข้อมูลจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของการวิจัยในระยะที่ 1 ที่เครื่องปรับอากาศใช้เฉลี่ยถึงวันละ 6.18 หน่วย ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 13.906 หน่วย หรือร้อยละ 44.44 ในขณะที่ระบบหมุนเวียนอากาศมีการใช้พัดลม 2 ตัวรวมกันเป็น 100 วัตต์ จากพฤติกรรมการใช้งานเหมือนเดิมวันละ 10 ชั่วโมง เหลือใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงวันละ 1 หน่วย ลดลงจากการใช้เครื่องปรับอากาศร้อยละ 83.82 ทำให้เฉลี่ยต่อวันเสียค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศในห้องนอนเหลือเพียงร้อยละ 7.19 เท่านั้น

นอกจากนี้กราฟในภาพที่ 9 พบด้วยว่า บ้านตัวอย่างมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในเดือนพฤษภาคมของทุกๆ ปี และมีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดในเดือนกันยายนของทุกๆ ปี เช่นกัน นอกจากนี้เนื่องจากการบันทึกค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช จะบันทึกในระหว่างวันที่ 19 ถึง 22 ของทุกๆ เดือน (ยกเว้นปี 2555 ที่บันทึกระหว่างวันที่ 21-27) ดังนั้นข้อมูลค่าไฟฟ้าของเดือนพฤษภาคมจึงมีช่วงของเดือนเมษายนอยู่ด้วย ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากจากเครื่องปรับอากาศและพัดลม แต่อย่างไรก็ตามแม้ฤดูร้อนจะมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก แต่ก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากเช่นกัน และในทางกลับกันพบว่าในเดือนกันยายนที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยนั้น จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้น้อยเช่นกัน ดังนั้นทำให้เส้นกราฟปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เอง (Solar) จะสัมพันธ์กับฤดูกาล และสัมพันธ์กับความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปี

ตั้งแต่เดือนมกราคม 2559 มีความชัดเจนว่าการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าถึงจุดเพียงพอต่อความต้องการ แม้ยังต้องใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าอยู่เล็กน้อยก็ตาม ซึ่งพบว่าค่าไฟฟ้าที่ยังต้องใช้ของการไฟฟ้านั้นเกิดจากการหุงข้าวในเวลาหกโมงเช้า ซึ่งประจุไฟฟ้าในแบตเตอรี่ใกล้หมดจึงไม่เพียงพอที่จะจ่ายประจุให้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงๆ ซึ่งหากจะทำให้พอใช้เพื่อไม่ต้องใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าก็สามารถทำ

ได้ด้วยการเพิ่มแบตเตอรี่หรือไม่หุงข้าวในตอนเช้า คือ หุงตอนเย็นของวันก่อนหน้านั้นไว้ แล้วค่อยอุ่นตอนเช้าของอีกวัน แต่งานวิจัยนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ที่จะยกเลิกการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า นั่นคือ ออกแบบให้ยังคงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าในบางส่วน จึงไม่มีการทดลองเพิ่มแบตเตอรี่ และยังคงมีการหุงข้าวในตอนเช้าเป็นปกติ แต่อย่างไรก็ตามหากเกิดวิกฤติพลังงานไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าขัดข้องในพื้นที่ ไม่ว่าจะชั่วคราว รายชั่วโมง ตลอดทั้งวัน หรือหลายๆ วัน บ้านตัวอย่างนี้จะไม่ได้รับผลกระทบใดๆ ด้วยการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการหุงข้าวให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีแสงแดดเท่านั้น

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายปีระหว่างปี 2555 ถึงปี 2559

ปี (พ.ศ.)	เซลล์แสงอาทิตย์ (หน่วย)	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (หน่วย)	รวม (หน่วย)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
2555	0	4,902	4,902	19,386.87
2556	380	4,607	4,987	19,614.20
2557	1,643	2,854	4,497	12,033.18
2558	2,668	1,881	4,549	7,350.53
2559	2,678	330	3,008	1,544.61

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารวมรายปีตั้งแต่ปี 2555 ถึงปี 2559 พบว่าในปี 2555 และ 2556 มีการใช้ไฟฟ้าปีละประมาณ 5,000 หน่วย แม้ปี 2556 จะมีการผลิตไฟฟ้าใช้เองบ้างแล้วก็ตาม แต่เมื่อถึงปี 2557 และ 2558 มีการใช้ไฟฟ้าจากการผลิตเองมากขึ้น การใช้ไฟฟ้ารวมลดลง และมีการใช้จากการไฟฟ้าลดลงด้วยเช่นกัน จนถึงปี 2559 การใช้ไฟฟ้ารวมเหลือเพียง 3,008 หน่วย โดยเป็นการผลิตเองถึง 2,678 หน่วยและใช้ของการไฟฟ้าเพียง 330 หน่วยเท่านั้น ซึ่งเท่ากับผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 89.03 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นในปี 2559 ที่ผลิตได้ 2,678 หน่วยนั้น เมื่อคำนวณโดยอ้างอิงค่าไฟฟ้ารวมภาษีมูลค่าเพิ่มของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในเดือนพฤษภาคม 2560 หน่วยละ 3.476 บาท พบว่าช่วยลดค่าไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้าได้ 9,308.73 บาทต่อปี หากคำนวณต้นทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ อ้างอิงราคาในท้องตลาดเมื่อพฤษภาคม 2562 มีราคารวมที่ 110,000 บาท พบว่าจะใช้เวลาประมาณ 11 ปีจึงจะคืนทุน แต่ระหว่างนั้นจะมีค่าแบตเตอรี่ที่เสื่อมเมื่อใช้งานถึงสามปีครึ่ง ทำให้ระยะคืนทุนยืดออกไปอีกเป็นประมาณ 13 ปี ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าแบตเตอรี่ โดยเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี

งานวิจัยนวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนนี้ นอกจากพัฒนาในส่วนของระบบสมาร์ทไฮบริดแล้วยังมีในส่วนของการประหยัดไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนใช้หลอดไฟแสงสว่างเป็นหลอดแอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ และใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแทนเครื่องปรับอากาศด้วย ดังนั้นการประเมินประสิทธิผลของนวัตกรรมจึงใช้ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาก่อนที่มีการพัฒนานวัตกรรม นั่นก็คือ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในปี 2555 ที่มีค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้การไฟฟ้า 19,386.87 บาท กับช่วงหลังจากมีการพัฒนานวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนที่ค่าไฟฟ้า

ลดลงทุกปี จนถึงปี 2559 ซึ่งเป็นช่วงที่นวัตกรรมมีความสมบูรณ์ พบว่าค่าไฟฟ้าเหลือเพียง 1,544.61 บาท นั่นคือเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าปี 2559 กับปี 2555 จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 17,824.26 บาทต่อปี เท่ากับประหยัดค่าไฟฟ้าได้ร้อยละ 91.94 ต่อปี และเมื่อคำนวณจากงบประมาณทั้ง 3 ส่วนรวมเป็น 113,000 บาท ทำให้ระยะเวลาคืนทุนเมื่อรวมงบค่าเปลี่ยนแบตเตอรี่ 1 ครั้ง ลดลงเหลือเพียงประมาณ 7 ปี เท่านั้น

อย่างไรก็ตามนวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนนี้ไม่ได้มีประสิทธิผลเพียงเพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังช่วยรักษาความเสถียรของไฟฟ้าในครัวเรือน และสร้างความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย ดังคำกล่าวของสุวิทย์ ธรณินทร์พานิช เลขาธิการกลุ่มอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน (กลุ่มอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน, 2558) ที่ได้กล่าวไว้ว่า "การพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ต้องมีการกระจายตัวไปยังชุมชน ผลิตจุดไหนใช้ตรงนั้นจะลดการสูญเสียและเกิดความตระหนักในคุณค่าพลังงาน" นั่นเอง

สรุป

ในช่วงปี 2555 ถึงปี 2558 ครัวเรือนตัวอย่างมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 4,902, 4,987, 4,497 และ 4,549 หน่วย ตามลำดับ ใช้สูงสุดในเดือนพฤษภาคมของทุกๆ ปี และต่ำสุดในเดือนกันยายนของทุกๆ ปีเช่นกัน สอดคล้องกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศ ในขณะที่ปลายปี 2556 มีการเปลี่ยนหลอดไฟแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแอลอีดีจึงทำให้ในปี 2557 จนถึงปี 2558 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจากปี 2556 เฉลี่ยร้อยละ 8.52 ต่อปี ซึ่งมีการลดลงไม่มากแต่จะคุ้มทุนในเวลาเพียง 1 ปี 1 เดือนเท่านั้น นอกจากนี้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในบ้านตัวอย่างที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ เครื่องปรับอากาศในห้องนอนที่เปิดใช้งานช่วงเวลากลางคืน ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยถึงร้อยละ 44.44 ของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และปี 2559 มีการเริ่มใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแทนเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศในห้องนอนในเวลากลางคืนลดลงเหลือเพียงร้อยละ 7.19 ของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด จึงทำให้ปี 2559 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเหลือเพียง 3,008 หน่วย หรือลดลงจากปี 2556 ร้อยละ 33.11

นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือนใช้เวลาในการพัฒนา 3 ปี จนได้ส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน โดยมีส่วนที่ 1 คือการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างชนิดแอลอีดีทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ส่วนที่ 2 คือใช้ระบบหมุนเวียนอากาศทดแทนเครื่องปรับอากาศ ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศในห้องนอนในเวลากลางคืนได้ถึงร้อยละ 37.25 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และส่วนที่ 3 คือ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เรียกว่า "โรงไฟฟ้าสมาร์ทไฮบริด" ซึ่งพัฒนาโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมขนาด 3,000 วัตต์ กริดไทอินเวอร์เตอร์ขนาด 2,000 วัตต์ และออฟกริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 3,000 วัตต์

ประสิทธิผลของการใช้นวัตกรรมการเสริมสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน ประเมินด้วยข้อมูลสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้า เปรียบเทียบระหว่างปี 2555 กับปี 2559 พบว่าประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 17,824.26 บาทต่อปี หรือร้อยละ 91.94 ต่อปี และมีระยะคืนทุนที่ 7 ปี ทำให้เห็นได้ว่าภาคครัวเรือนสามารถพึ่งพาตนเองในด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยตัวเองได้ เปรียบเสมือนต้นไม้ทุกต้นในป่าที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องพึ่งพาต้นไม้ใหญ่ แม้พายุจะพัดต้นไม้น้อย

ใหญ่ในป่าล้มลง ต้นไม้ที่เหลือรอดก็ยังอยู่ต่อไปได้ด้วยตัวเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณสุนีย์ สมสิ้น ที่ให้ความอนุเคราะห์บ้านเลขที่ 69/1 ม.11 ต.ขนอม อ.ขนอม จ.นครศรีธรรมราช เป็นครัวเรือนตัวอย่างสำหรับการทดลองตลอดกระบวนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. 2554. **แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573).** เอกสารเผยแพร่, กระทรวงพลังงาน.

กลุ่มอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน. 2558. **การดำเนินการด้านธุรกิจพลังงานทดแทน หลักสูตพลังงานสำหรับผู้บริหาร.** เอกสารเผยแพร่, สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.

บริษัท เมเชอร์โทรนิกส์ จำกัด. 2559. เครื่องทดสอบและวิเคราะห์แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle. **วารสาร Semiconductor Electronics** (432): 43-51.

วรนุช แจ้งสว่าง. 2553. **พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy).** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2562. **สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้า ในช่วง 2 เดือนแรกของปี 2562.** สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้า. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation -oil-electric?orders[publishUp]=publishUp& issearch=1, 29 พฤษภาคม 2562.

ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา. 2560. **ภูมิอากาศจังหวัดนครศรีธรรมราช.** แหล่งที่มา: http://climate.tmd.go.th/data/province/ใต้ ฝั่งตะวันออก/ภูมิอากาศนครศรีธรรมราช.pdf, 20 พฤศจิกายน 2560.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2561. **คู่มือแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan: PDP).** เอกสารเผยแพร่, กระทรวงพลังงาน.

Frederiks, E.R., Stenner, K. and Hobman, E.V. 2015. Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making and behaviour. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 41: 1385-1394.

Hersch, P. and Zweibel, K. 1982. **Basic Photovoltaic Principles and Methods.** U.S. Government Printing Office, Washington DC.

Karthikeyan, V., Rajasekar, S., Das, V., Karuppanan, P. and Singh, A.K. 2017. Grid-Connected and Off-Grid Solar Photovoltaic System. **Green Energy and Technology** : 125-157.

Lan, L., Tsuzuki, K., Liu, Y.F. and Lian, Z.W. 2017. Thermal environment and sleep quality. **Energy and Buildings** 149: 101-113.

Seldon, Y., Penjor, U., Puri, K.R. and Lhendup, T. 2016. Performance Analysis of an Off-Grid and Grid-Tied Solar Photo Voltaic System in Bhutan. **International Journal of Electronics, Electrical and Computational System** 5(5): 172-177.

ตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์

Forecasting Model for Export Value of Squid and Products

วรางคณา เรียนสุทธิ์*

Warangkhana Riansut*

Received:10 June 2019, Revised: 15 July 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้คือ การสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2561 จำนวน 95 ค่า ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 84 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม ชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2561 จำนวน 11 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ วิธีการพยากรณ์รวม (MAPE = 8.9626, RMSE = 109,522,371) ซึ่งมีสมการพยากรณ์เป็น

$$\hat{Y}_t = 155,724,048 + 0.1144\hat{Y}_{1t} + 0.82902\hat{Y}_{2t} - 0.09094\hat{Y}_{3t}$$

เมื่อ $\hat{Y}_{1t}$, $\hat{Y}_{2t}$ และ $\hat{Y}_{3t}$ แทนค่าพยากรณ์เดี่ยว ณ เวลา t จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปลาหมึกและผลิตภัณฑ์, บ็อกซ์-เจนกินส์, การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก, การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ, การพยากรณ์รวม

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung Campus, Ban Prao, Papayom, Phattalung 93210, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): warang27@gmail.com Tel: 08 8790 8476

ABSTRACT

The objective of this study was to construct the appropriate forecasting model for the export value of squid and products. The data was gathered from the website of the Office of Agricultural Economics from January 2011 to November 2018. It consisted of 95 values and was divided into 2 sets. The first set had 84 values from January 2011 to December 2017 for constructing the forecasting model by Box-Jenkins method, Winters' additive exponential smoothing method, Winters' multiplicative exponential smoothing method, and combined forecasting method. The second set had 11 values from January to November 2018 for comparing forecast accuracy via the criteria of the lowest mean absolute percentage error (MAPE) and root mean squared error (RMSE). Research findings indicated that the most accurate method is the combined forecasting method (MAPE = 8.9626, RMSE = 109,522,371) and the forecasting equation is

$$\hat{Y}_t = 155,724,048 + 0.1144\hat{Y}_{1t} + 0.82902\hat{Y}_{2t} - 0.09094\hat{Y}_{3t}$$

where $\hat{Y}_{1t}$, $\hat{Y}_{2t}$ and $\hat{Y}_{3t}$ represent the single forecasts at time t from Box-Jenkins method, Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method, respectively.

Key words: squid and products, Box-Jenkins, Winters' additive exponential smoothing, Winters' multiplicative exponential smoothing, combined forecasting

บทนำ

ปัจจุบันอาหารทะเลนับเป็นส่วนสำคัญของอาหารของมนุษย์และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากยิ่งขึ้น โดย 10 ประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารทะเลจำนวนมาก รวมทั้งปลา กุ้ง เปลือกหอย และอื่นๆ ได้แก่ ประเทศจีน นอร์เวย์ เวียดนาม สหรัฐอเมริกา อินเดีย แคนาดา ชิลี สวีเดน เนเธอร์แลนด์ และอินโดนีเซีย ตามลำดับ (Shanghai Yangqi อุตสาหกรรมและการค้า Corp., ม.ป.ป.) ปลาหมึกเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยรองลงมาจากกุ้ง และมีความสำคัญในระบบนิเวศวิทยา โดยถูกจัดเป็นผู้ล่า (Active Predator) ในวงจรห่วงโซ่อาหาร สำหรับการส่งออกปลาหมึกผ่านทางด่านตรวจสัตว์ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิในปี 2560 ส่วนใหญ่มีการส่งออกปลาหมึกสดแช่เย็นมากที่สุด คิดเป็นปริมาณรวม 1,353,038.04 กิโลกรัม มูลค่ารวม 295,372,069.14 บาท และส่งออกไปยังประเทศเกาหลีใต้มากที่สุด คิดเป็นปริมาณ 1,314,296.50 กิโลกรัม มูลค่า 278,903,717.09 บาท (กรมประมง, ม.ป.ป.) จากการศึกษามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์เฉลี่ยต่อเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรย้อนหลังตั้งแต่ปี 2554 ถึงปัจจุบันพบว่ามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงและมีความผันผวนสูง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) อุตสาหกรรมการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์จะยังคงมีมูลค่าการส่งออกลดลงและมีความผันผวนสูงเช่นนี้ตลอดไปหรือไม่ การพยากรณ์ทางสถิตินับเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยตอบคำถามนี้ได้ เนื่องจากการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ในอนาคตจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ประกอบการเรือประมงในการเพิ่มศักยภาพและขีด

ความสามารถของการส่งออก ทำให้ประเทศไทยสามารถแข่งขันกับประเทศอื่นๆ ได้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ภาครัฐสามารถออกนโยบายในการสนับสนุนการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะนำรายได้มาสู่ประเทศไทยมากยิ่งขึ้น และทำให้เกิดการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ส่วนผู้ที่เกี่ยวข้องกับการประมงก็สามารถนำผลการพยากรณ์ไปใช้ในการบริหารจัดการได้ การพยากรณ์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้นำข้อมูลมาใช้ตัดสินใจสำหรับสถานการณ์ต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยถ้าค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนสูงอาจส่งผลกระทบต่อหลายๆ ฝ่ายได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจที่ควรมีการศึกษาการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตโดยใช้วิธีการทางสถิติ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจะให้ความสนใจกับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ จึงเริ่มต้นที่การทบทวนวรรณกรรม ซึ่งพบว่า ยังไม่เคยมีนักวิจัยท่านใดได้ทำการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธีการทางสถิติ แต่พบการศึกษาที่ใกล้เคียง ได้แก่ การศึกษาของสุกัญญา และ พรธิภา (2553) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการนำเข้ากุ้งขาวแช่แข็งของประเทศสหรัฐอเมริกาด้วยเทคนิควิเคราะห์อนุกรมเวลา ผลการศึกษาพบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ (Winters' Multiplicative Exponential Smoothing Method) โดยใช้ข้อมูลรายไตรมาสมีความเหมาะสมมากที่สุด และการศึกษาของสุภาภรณ์ (2558) ได้ศึกษาการส่งออกปลาหมึกแห้งไปยังสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ใช้วิธีการพยากรณ์ทางสถิติในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ แต่เป็นเพียงการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการทางสถิติ ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก (Winters' Additive Exponential Smoothing Method) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม (Combined Forecasting Method) เนื่องจากได้พิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดที่ 1 และผลการตรวจสอบส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาลแล้วพบว่า วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากกว่าวิธีการพยากรณ์อื่นๆ เช่น วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ (Holt's Exponential Smoothing Method) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ (Brown's Exponential Smoothing Method) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม (Damped Trend Exponential Smoothing Method) และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย (Simple Seasonal Exponential Smoothing Method) อีกทั้งยังมีหลายงานวิจัยที่ยืนยันผลว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมกับการพยากรณ์อนุกรมเวลาต่างๆ (วรางคณา, 2561ก; วรางคณา, 2561ข) หลังจากที่ได้ตัวแบบพยากรณ์แล้ว ผู้วิจัยจะคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 1 ตัวแบบ ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์สำหรับใช้ในการพยากรณ์

มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยโปรแกรม SPSS Version 17 ที่มีลิขสิทธิ์ของโปรแกรมจากสาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (2552) สำหรับอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ (บาท) ที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2561 จำนวน 95 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 84 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม ชุดที่ 2 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2561 จำนวน 11 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด

1. การตรวจสอบส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล

การตรวจสอบว่าอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของแนวโน้มหรือไม่ ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้ (สมเกียรติ, 2548; วรางคณา, 2561ข)

1. ตรวจสอบข้อสมมุติ (Assumption) คือ อนุกรมเวลาในแต่ละปีมีการแจกแจงปรกติโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมีร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) และตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนโดยใช้การทดสอบของเลวีนภายใต้การใช้มัธยฐาน (Levene’s Test Based on Median)

2. คัดเลือกสถิติสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยหรือมัธยฐานของอนุกรมเวลาในแต่ละปี โดยถ้าอนุกรมเวลาในแต่ละปีมีการแจกแจงปรกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ให้ทดสอบค่าเฉลี่ยโดยใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric Statistics) ซึ่งคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance: ANOVA) แต่ถ้าอนุกรมเวลาในแต่ละปีไม่มีการแจกแจงปรกติหรือมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ให้ทดสอบมัธยฐานโดยใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric Statistics) ซึ่งคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอล-วอลลิส (Kruskal-Wallis’s One-Way Analysis of Variance by Rank) ถ้าผลการทดสอบค่าเฉลี่ยหรือมัธยฐานของอนุกรมเวลาในแต่ละปีมีนัยสำคัญ หมายความว่า ในแต่ละปีอนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยหรือมัธยฐานแตกต่างกัน นั่นคือ อนุกรมเวลามีส่วนประกอบของแนวโน้ม ซึ่งอาจเป็นแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้

การตรวจสอบว่าอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลหรือไม่ ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้ (สมเกียรติ, 2548; วรางคณา, 2561ข)

1. พิจารณาว่าอนุกรมเวลามีส่วนประกอบของแนวโน้มหรือไม่ ถ้ามีต้องกำจัดแนวโน้มออกก่อนที่จะทดสอบค่าเฉลี่ยหรือมัธยฐานของอนุกรมเวลาในแต่ละเดือน ซึ่งวิธีการกำจัดแนวโน้มมี 2 วิธี คือ ถ้าพิจารณาที่กราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาแล้วพบว่า อนุกรมเวลามีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่ค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบบวก ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการลบ แต่ถ้าอนุกรมเวลามีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่

เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร

2. ตรวจสอบข้อสมมุติ คือ อนุกรมเวลาในแต่ละเดือนหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วมีการแจกแจงปรกติและมีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่ เช่นเดียวกับข้อ 1 ของการตรวจสอบแนวโน้ม

3. คัดเลือกสถิติสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยหรือมัธยฐานของอนุกรมเวลาในแต่ละเดือนหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วเช่นเดียวกับข้อ 2 ของการตรวจสอบแนวโน้ม โดยถ้าผลการทดสอบค่าเฉลี่ยหรือมัธยฐานของอนุกรมเวลาในแต่ละเดือนหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วมีนัยสำคัญ หมายความว่า ในแต่ละเดือนอนุกรมเวลาที่ไม่มีแนวโน้มมีค่าเฉลี่ยหรือมัธยฐานแตกต่างกัน นั่นคือ อนุกรมเวลามีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล

2. การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์

สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ในหัวข้อที่ 2.1 - 2.4 แสดงดังนี้

Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปรกติและเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา

$\hat{Y}_t$ และ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t และเวลา t + m ตามลำดับ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

a_t, b_t และ $\hat{S}_t$ แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y, ความชันของแนวโน้ม และความผันแปรตามฤดูกาล ตามลำดับ

α, γ และ δ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่ $0<\alpha<1$, $0<\gamma<1$ และ $0<\delta<1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 เมื่อ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

2.1 การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล มีตัวแบบในรูปทั่วไป (General Model) คือ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)$_s$ แสดงดังสมการที่ (1) (Box *et al.*, 1994)

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)\varepsilon_t \tag{1}$$

เมื่อ $\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_P(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

$\phi_p(B) = 1-\phi_1 B-\phi_2 B^2-\ldots-\phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p: AR(p))

$\Phi_P(B^s) = 1-\Phi_1 B^s-\Phi_2 B^{2s}-\ldots-\Phi_P B^{Ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P: SAR(P))

$\theta_q(B) = 1-\theta_1 B-\theta_2 B^2-\ldots-\theta_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q: MA(q))

$\Theta_Q(B^s) = 1-\Theta_1 B^s-\Theta_2 B^{2s}-\ldots-\Theta_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมี

ฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q: SMA(Q))

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ แสดงดังนี้

1) พิจารณาอนุกรมเวลาว่ามีลักษณะคงที่หรือไม่จากกราฟของอนุกรมเวลา Y_t เทียบกับเวลา ถ้า อนุกรมเวลามีแนวโน้มหรือมีความผันแปรตามฤดูกาล หมายความว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ (Non-Stationary) หรือพิจารณาจากกราฟสหสัมพันธ์ในตัวของตัวอย่าง (Sample Autocorrelation Function: SACF) และกราฟสหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนของตัวอย่าง (Sample Partial Autocorrelation Function: SPACF) ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวจากกราฟ SACF และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนจากกราฟ SPACF ตกอยู่นอกขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n_1}$ หมายความว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ ดังนั้นต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป เช่น การแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่าง (Difference: d = 1, 2, …) หรือการหาผลต่างฤดูกาล (Seasonal Difference: D = 1, 2, …)

2) กำหนดค่าพารามิเตอร์ p, q, P และ Q จากกราฟ SACF และ SPACF ของอนุกรมเวลาที่คงที่ พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

3) ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว จากนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4) คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมจากการพิจารณาที่ค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (Bayesian Information Criterion: BIC) ต่ำสุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปรกติ ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมีร์นอฟ มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบรันส์ (Runs Test) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที (t-Test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวีนภายใต้การใช้มัธยฐาน

2.2 การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก (Winters' Additive Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงและมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยที่อัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าคงที่ กล่าวคือ อัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าไม่เพิ่มขึ้นและไม่ลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (2) (สมเกียรติ, 2548) เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ เช่นเดียวกับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) + \hat{S}_t \qquad (2)$$

เมื่อ $a_t = \alpha\left(Y_t - \hat{S}_{t-s}\right) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$, $\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$

2.3 การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ (Winters' Multiplicative Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงและมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยที่อัตราส่วนของความผันแปรตามฤดูกาลต่อค่าแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (3) (สมเกียรติ, 2548) เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบเช่นเดียวกับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m)\hat{S}_t \tag{3}$$

เมื่อ $a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$, $\hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$

2.4 การพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์รวม (Combined Forecasting Method)

การพยากรณ์รวมเป็นวิธีการประยุกต์ที่มีการรวมค่าพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์เดี่ยวตั้งแต่ 2 วิธีขึ้นไป เพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ใหม่ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด สามารถใช้ได้ดีในกรณีที่วิธีการพยากรณ์เดี่ยวมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลามากกว่า 1 วิธี (มุกดา, 2549) ณ ที่นี้ได้พิจารณาวิธีการพยากรณ์เดี่ยว 3 วิธี คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์รวมโดยกำหนดให้ค่าพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีเป็นตัวแปรอิสระ และใช้ข้อมูลมูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 84 ค่าเป็นตัวแปรตาม ตัวแบบของวิธีการพยากรณ์รวมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แสดงดังสมการที่ (4) เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบเช่นเดียวกับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1\hat{Y}_{1t} + b_2\hat{Y}_{2t} + b_3\hat{Y}_{3t} \tag{4}$$

เมื่อ $\hat{Y}_{1t}$, $\hat{Y}_{2t}$ และ $\hat{Y}_{3t}$ แทนค่าพยากรณ์เดี่ยว ณ เวลา t จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ตามลำดับ

b_0, b_1, b_2 และ b_3 แทนค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) (Montgomery *et al*., 2006)

3. การเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ โดยการเปรียบเทียบค่าจริงของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2561 กับค่าพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม จากนั้นนำค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์มาคำนวณค่า MAPE และ RMSE ซึ่งวิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุดจัดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เกณฑ์ MAPE และ

RMSE แสดงดังสมการที่ (5) (สมเกียรติ, 2548) อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีวิธีการพยากรณ์หนึ่งให้ค่า MAPE ต่ำ แต่อีกวิธีพยากรณ์หนึ่งให้ค่า RMSE ต่ำ ผู้วิจัยแนะนำให้พิจารณาเกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบเพียงเกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งเท่านั้น

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n_2}\sum_{t=1}^{n_2}\left|\frac{e_t}{Y_t}\right| \text{ และ } \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n_2}\sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} \quad (5)$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

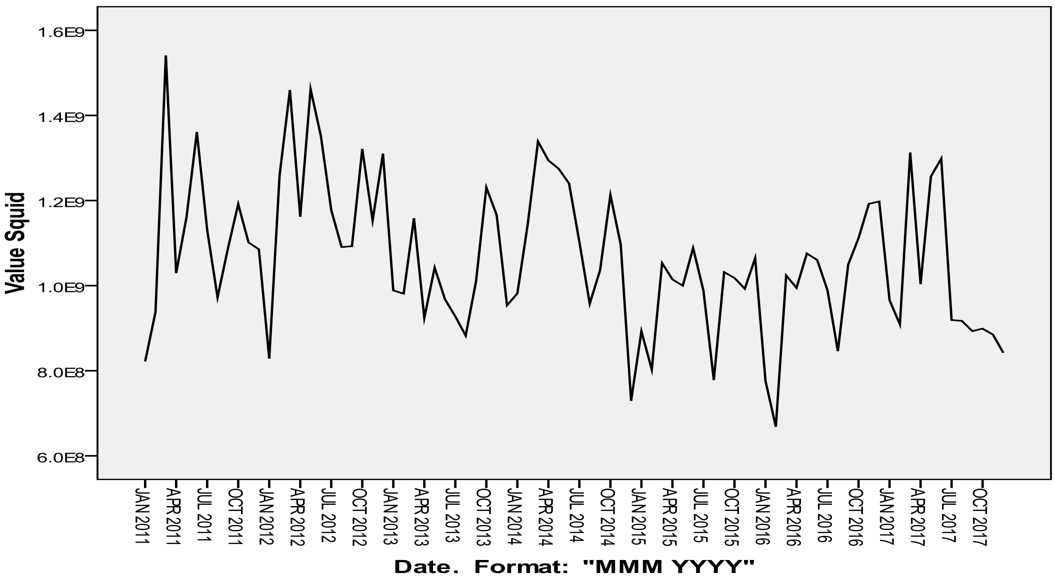
Y_t และ $\hat{Y}_t$ แทนอนุกรมเวลาและค่าพยากรณ์ ณ เวลา t ตามลำดับ

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลตรวจสอบส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ซึ่งคือ มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 84 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า มูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อพิจารณามูลค่าการส่งออกในช่วงเดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2559 พบว่า มูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มลดลง หลังจากนั้นแนวโน้มเป็นไปในลักษณะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมูลค่าการส่งออกยังมีความผันแปรตามฤดูกาลรวมอยู่ด้วย นอกเหนือจากการพิจารณากราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาแล้ว ผู้วิจัยยังได้ตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาลจริงหรือไม่ ดังนี้



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2560

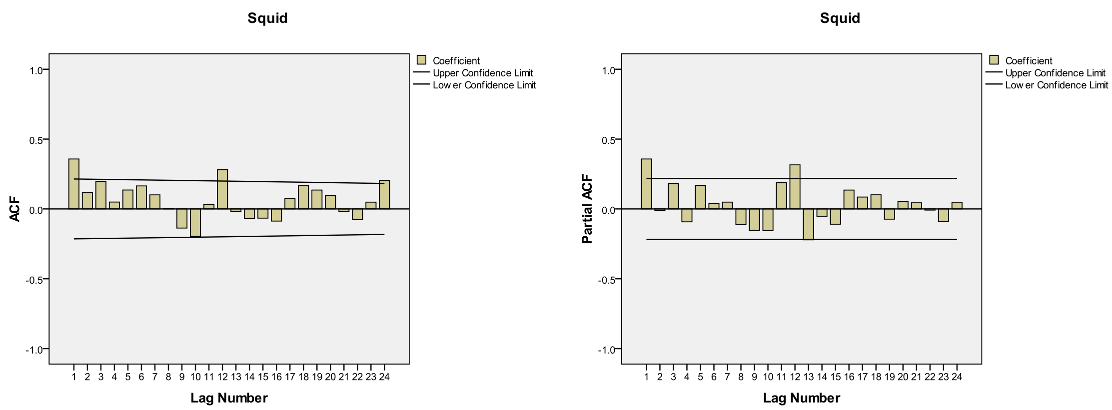
มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ในแต่ละปีไม่มีการแจกแจงปรกติ แต่มีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงทดสอบมัธยฐานในแต่ละปีโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอล-วอลลิส พบว่า มูลค่าการส่งออกในแต่ละปีมีมัธยฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Kruskal-Wallis: χ^2 = 19.288, *p-value* = 0.004) หมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม ซึ่งอาจเป็นแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้

มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือนเมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหารมีการแจกแจงปรกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงทดสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบว่า มูลค่าการส่งออกในแต่ละเดือนเมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการหารมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (ANOVA: F = 5.439, *p-value* < 0.0001) หมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล

2. ผลการพัฒนาตัวแบบพยากรณ์

2.1 ผลการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

จากกราฟ SACF และกราฟ SPACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 2 พบว่า อนุกรมเวลายังไม่คงที่ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวจากกราฟ SACF และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนจากกราฟ SPACF ตกอยู่นอกขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n_1}$ ใน lag ที่ 1 และ lag ของฤดูกาลสอดคล้องกับผลการตรวจสอบส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาลด้วยการทดสอบสมมุติฐานที่พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล



ภาพที่ 2 SACF และ SPACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์

เนื่องจากอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มและความผันแปรตามฤดูกาล ผู้วิจัยจึงกำจัดแนวโน้มออกโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 (d = 1) และกำจัดความผันแปรตามฤดูกาลออกโดยการผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 (D = 1) ได้กราฟ SACF และกราฟ SPACF หลังจากการแปลงข้อมูลแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 3)(1, 1, 0)$_{12}$ พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์

ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 มีค่า BIC ต่ำที่สุด (BIC = 37.814) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 11.801, *p-value* = 0.622) คือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 1)(1, 1, 0)$_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.674, *p-value* = 0.754) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -1.074, *p-value* = 0.283) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t = -0.419, *p-value* = 0.677) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 2.418, *p-value* = 0.015) ดังนั้นตัวแบบ SARIMA(2, 1, 1)(1, 1, 0)$_{12}$ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบได้ดังนี้

$$\left(1-\phi_1 B-\phi_2 B^2\right)\left(1-\Phi_1 B^{12}\right)(1-B)\left(1-B^{12}\right)Y_t = (1-\theta_1 B)\varepsilon_t$$

$$\left(1-\Phi_1 B^{12}-\phi_1 B+\phi_1\Phi_1 B^{13}-\phi_2 B^2+\phi_2\Phi_1 B^{14}\right)\left(1-B^{12}-B+B^{13}\right)Y_t = \varepsilon_t-\theta_1\varepsilon_{t-1}$$

$$\begin{aligned}&\left(1-B^{12}-B+B^{13}-\Phi_1 B^{12}+\Phi_1 B^{24}+\Phi_1 B^{13}-\Phi_1 B^{25}-\phi_1 B+\phi_1 B^{13}\right.\\&+\phi_1 B^2-\phi_1 B^{14}+\phi_1\Phi_1 B^{13}-\phi_1\Phi_1 B^{25}-\phi_1\Phi_1 B^{14}+\phi_1\Phi_1 B^{26}-\phi_2 B^2\\&\left.+\phi_2 B^{14}+\phi_2 B^3-\phi_2 B^{15}+\phi_2\Phi_1 B^{14}-\phi_2\Phi_1 B^{26}-\phi_2\Phi_1 B^{15}+\phi_2\Phi_1 B^{27}\right)Y_t = \varepsilon_t-\theta_1\varepsilon_{t-1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_t =\ &(1+\phi_1)Y_{t-1}-(\phi_1-\phi_2)Y_{t-2}-\phi_2 Y_{t-3}+(1+\Phi_1)Y_{t-12}-(1+\phi_1)(1+\Phi_1)Y_{t-13}\\&+(\phi_1-\phi_2)(1+\Phi_1)Y_{t-14}+\phi_2(1+\Phi_1)Y_{t-15}-\Phi_1 Y_{t-24}+(1+\phi_1)\Phi_1 Y_{t-25}-(\phi_1-\phi_2)\Phi_1 Y_{t-26}\\&-\phi_2\Phi_1 Y_{t-27}+\varepsilon_t-\theta_1\varepsilon_{t-1}\end{aligned}$$

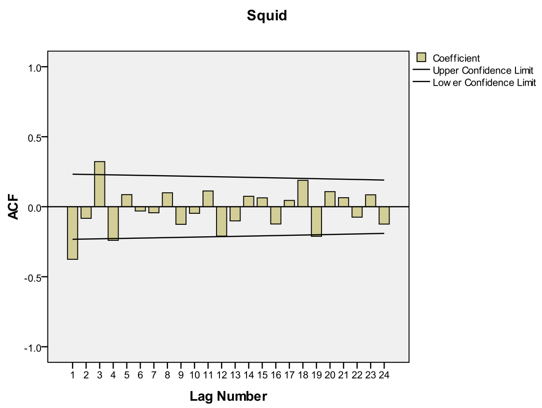
จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

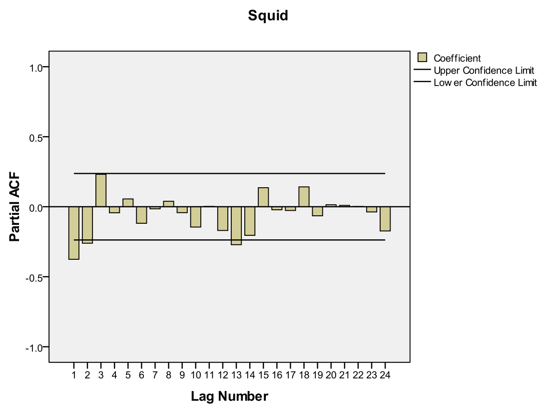
$$\begin{aligned}\hat{Y}_t =\ &-0.092Y_{t-1}+0.51034Y_{t-2}+0.58166Y_{t-3}+0.59276Y_{t-12}+0.05453Y_{t-13}-0.30251Y_{t-14}\\&-0.34478Y_{t-15}+0.40724Y_{t-24}+0.03747Y_{t-25}-0.20783Y_{t-26}-0.23688Y_{t-27}+0.64313e_{t-1}\quad(6)\end{aligned}$$

เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$

e_{t-j} แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$





ภาพที่ 3 SACF และ SPACF ของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยผลต่างลำดับที่ 1 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1

2.2 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 37.237 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 29.112, *p-value* = 0.016) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.575, *p-value* = 0.896) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -0.439, *p-value* = 0.661) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t = -0.010, *p-value* = 0.992) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.184, *p-value* = 0.318) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = \left(883{,}576{,}067.41946 - 2{,}438{,}887.21174\,m\right) + \hat{S}_t \qquad (7)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t + m โดยที่ m = 1 แทนเดือนมกราคม 2561

$\hat{S}_t$ แทนค่าดัชนีฤดูกาล รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ของเดือนมีนาคม พฤษภาคม มิถุนายน ตุลาคม และพฤศจิกายนของทุกปี มีค่ามากกว่าเดือนอื่นๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 0

ตารางที่ 1 ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ จากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล
มกราคม	-185,698,018	พฤษภาคม	111,964,915	กันยายน	-31,323,786
กุมภาพันธ์	-119,542,317	มิถุนายน	128,166,395	ตุลาคม	83,330,085
มีนาคม	195,101,779	กรกฎาคม	-31,187,838	พฤศจิกายน	28,826,594
เมษายน	-11,499,063	สิงหาคม	-141,708,631	ธันวาคม	-26,429,338

2.3 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ พบว่า BIC มีค่าเท่ากับ 37.318 และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 23.725, *p-value* = 0.070) เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.690, *p-value* = 0.728) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = 0.659, *p-value* = 0.510) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t = -0.116, *p-value* = 0.908) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.167, *p-value* = 0.329) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = (875{,}005{,}755.47190 - 2{,}465{,}998.36033m)\hat{S}_t \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+m$ โดยที่ m = 1 แทนเดือนมกราคม 2561

$\hat{S}_t$ แทนค่าดัชนีฤดูกาล รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ของเดือนมีนาคม พฤษภาคม มิถุนายน ตุลาคม และพฤศจิกายนของทุกปี มีค่ามากกว่าเดือนอื่นๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลมากกว่า 1

ตารางที่ 2 ดัชนีฤดูกาลของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ จากวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล	เดือน	ดัชนีฤดูกาล
มกราคม	0.80600	พฤษภาคม	1.08710	กันยายน	0.96959
กุมภาพันธ์	0.87597	มิถุนายน	1.10323	ตุลาคม	1.08630
มีนาคม	1.18633	กรกฎาคม	0.96556	พฤศจิกายน	1.02905
เมษายน	0.98051	สิงหาคม	0.86554	ธันวาคม	0.96467

2.4 ผลการพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์รวม

จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยกำหนดให้ค่าพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ในสมการที่ (6) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก ในสมการที่ (7) และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ในสมการที่ (8) เป็นตัวแปรอิสระ และใช้ข้อมูลมูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 84 ค่า เป็นตัวแปรตาม จะได้ตัวแบบพยากรณ์รวมดังนี้

$$\hat{Y}_t = 155{,}724{,}048 + 0.1144\hat{Y}_{1t} + 0.82902\hat{Y}_{2t} - 0.09094\hat{Y}_{3t} \quad (9)$$

เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์รวม ณ เวลา t

$\hat{Y}_{1t}$, $\hat{Y}_{2t}$ และ $\hat{Y}_{3t}$ แทนค่าพยากรณ์เดี่ยว ณ เวลา t จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ในสมการที่ (6) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก ในสมการที่ (7) และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ในสมการที่ (8) ตามลำดับ

เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.571, *p-value* = 0.900) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (Runs Test: Z = -0.596, *p-value* = 0.551) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t \approx 0$, *p-value* ≈ 1) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.327, *p-value* = 0.233) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์รวมที่ได้มีความเหมาะสม

3. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์

จากการใช้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ในสมการที่ (6) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก ในสมการที่ (7)

วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ในสมการที่ (8) และวิธีการพยากรณ์รวม ในสมการที่ (9) ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาชุดที่ 2 ซึ่งคือ มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2561 พบว่า ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ได้ว่าวิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากมีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด หรือให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3 โดยวิธีการพยากรณ์รวมมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ร้อยละ 8.9626 (MAPE = 8.9626) หรือมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ 109,522,371 บาท (RMSE = 109,522,371) ซึ่งทั้ง 2 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงทำให้น่าเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้นว่าวิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

ตารางที่ 3 MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2

เกณฑ์	**วิธีการพยากรณ์**			
	บ็อกซ์-เจนกินส์	**วินเทอร์แบบบวก**	**วินเทอร์แบบคูณ**	**พยากรณ์รวม**
MAPE	19.4055	10.4818	10.8047	**8.9626**
RMSE	212,628,517	129,169,343	128,951,916	**109,522,371**

สำหรับผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า วิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด อาจเนื่องมาจากวิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่รวมค่าพยากรณ์เดี่ยวตั้งแต่ 2 วิธีขึ้นไป เพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ใหม่ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งจะสามารถใช้ได้ดีในกรณีที่วิธีการพยากรณ์เดี่ยวมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลามากกว่า 1 วิธี (มุกดา, 2549) สอดคล้องกับการศึกษาของวรางคณา และ เกศรินทร์ (2560) ที่ศึกษาการพยากรณ์ราคาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทยด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม และวิธีการพยากรณ์รวม ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบพยากรณ์รวมมีความถูกต้องในการพยากรณ์มากที่สุด

สรุป

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีตัวแบบพยากรณ์ดังนี้

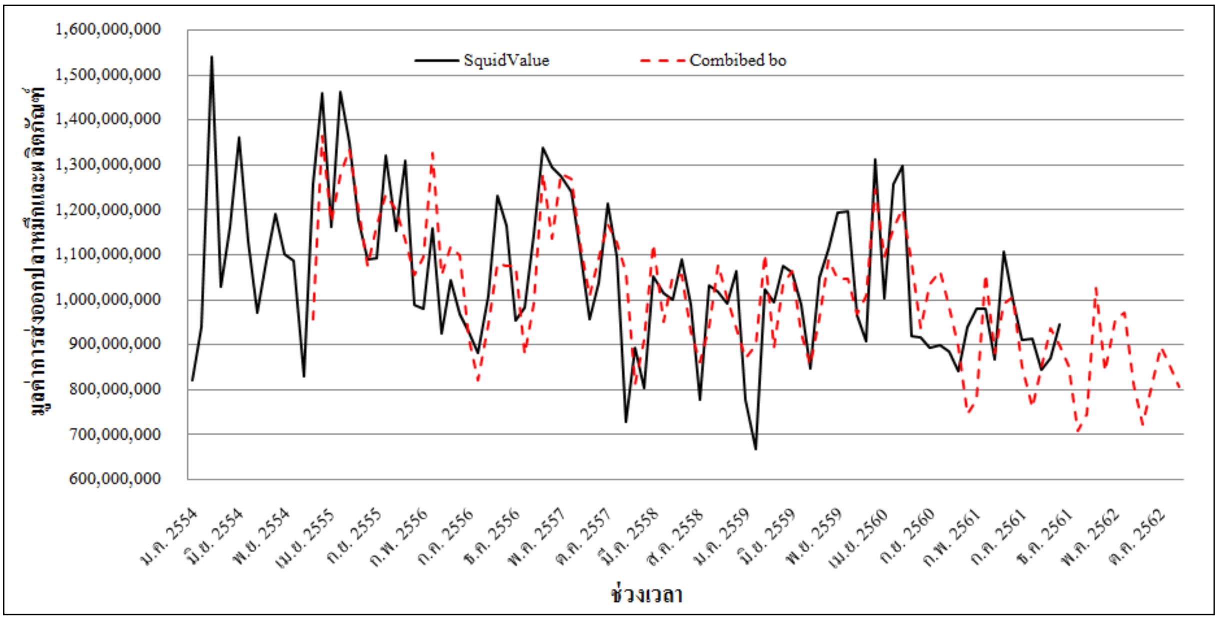
$$\hat{Y}_t = 155,724,048 + 0.1144\hat{Y}_{1t} + 0.82902\hat{Y}_{2t} - 0.09094\hat{Y}_{3t}$$

เมื่อ $\hat{Y}_{1t}$, $\hat{Y}_{2t}$ และ $\hat{Y}_{3t}$ แทนค่าพยากรณ์เดี่ยว ณ เวลา t จากวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ตามลำดับ

เมื่อใช้วิธีการพยากรณ์รวมในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนธันวาคม 2562 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 4 ซึ่งพบว่า มูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ยังคงมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น สถานการณ์ตลาด ปริมาณความต้องการบริโภคภายในและต่างประเทศ สภาวะเศรษฐกิจ การนำเข้าและส่งออกระหว่างประเทศ หรือปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงควรพิจารณาตัวแปรเหล่านี้เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเมื่อมีมูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ที่เป็นปัจจุบันมากยิ่งขึ้นหรือมูลค่าการส่งออกมีความผันผวนเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยควรนำข้อมูลมาปรับปรุงตัวแบบ เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ค่าในอนาคตต่อไป

ตารางที่ 4 ค่าพยากรณ์ของมูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนธันวาคม 2562 จากวิธีการพยากรณ์รวม

ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์	ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์	ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์
ธ.ค. 2561	852,452,865	พ.ค. 2562	956,646,243	ต.ค. 2562	894,823,964
ม.ค. 2562	708,678,965	มิ.ย. 2562	971,618,207	พ.ย. 2562	853,255,691
ก.พ. 2562	744,674,467	ก.ค. 2562	812,954,849	ธ.ค. 2562	807,017,761
มี.ค. 2562	1,025,484,249	ส.ค. 2562	722,428,803		
เม.ย. 2562	842,037,851	ก.ย. 2562	808,532,340		



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบมูลค่าการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์และค่าพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์รวม

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. ม.ป.ป. **การวิเคราะห์เส้นทางการส่งออกปลาหมึกสดแช่เย็นไปยังประเทศเกาหลีใต้.** แหล่งที่มา : https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20180226115600_1_file.pdf, 4 มกราคม 2562.

มุกดา แม้นมินทร์. 2549. **อนุกรมเวลาและการพยากรณ์.** โฟร์พริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ.

วรางคณา เรียนสุทธิ์ และ เกศรินทร์ ทองฤทธิ์. 2560. การพยากรณ์ราคาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร** 11(1): 1-14.

วรางคณา เรียนสุทธิ์. 2561ก. การเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับราคาข้าวเปลือกเหนียวเมล็ดยาว. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา** 23(3): 1779-1792.

วรางคณา เรียนสุทธิ์. 2561ข. การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาส้มเขียวหวาน โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง. **Thai Journal of Science and Technology** 7(5): 460-470.

สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. 2548. **เทคนิคการพยากรณ์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา.

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. 2552. **SPSS Version 17.** โปรแกรมคอมพิวเตอร์. บริษัท เอสพีเอสเอส (ไทยแลนด์) จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

สุกัญญา ยองประยูร และ พรธิภา องค์คุณารักษ์. 2553. **การพยากรณ์ปริมาณการนำเข้ากุ้งขาวแช่แข็งของประเทศสหรัฐอเมริกาด้วยเทคนิควิเคราะห์อนุกรมเวลา.** แหล่งที่มา: https://kukr.lib.ku.ac.th/proceedings/index.php?/KUCON/search_detail/result/12182, 12 พฤษภาคม 2562.

สุภาภรณ์ กอสูงเนิน. 2558. การส่งออกปลาหมึกแห้งไปยังสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. **สถิติการส่งออกปลาหมึกและผลิตภัณฑ์ (รวม) ตั้งแต่ปี 2554 ถึง 2561.** แหล่งที่มา : http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2554&E_YEAR=2561&PRODUCT_GROUP=5368&PRODUCT_ID=&wf_search=&WF_SEARCH=Y, 4 มกราคม 2562.

Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. 1994. **Time Series Analysis: Forecasting and Control: 3rd ed.** Prentice Hall, New Jersey.

Montgomery, D.C., Peck, E.A. and Vining, G.G. 2006. **Introduction to linear regression analysis: 4th ed.** John Wiley and Sons, New York.

Shanghai Yangqi อุตสาหกรรมและการค้า Corp. ม.ป.ป. 10 ประเทศที่มีชื่อเสียงในการส่งออกอาหารทะเล. แหล่งที่มา: http://th.fishroe.net/news/10-famous-seafood-exporting-countries-11005161.html, 4 มกราคม 2562.

ผลของเชื้อราต่อคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน

Effect of Fungi on Physical and Nutrient of Compost from Oil Palm Frond (*Elaeis guineensis* Jacq.)

พรศิลป์ สีเผือก[1*] พิมพ์ชนา วงศ์พิศาล[2] ชัยสิทธิ์ ปรีชา[3] และ วุฒิชัย สีเผือก[1]

Pornsil Seephueak[1*], Pimchana Wongpisal[2], Chaisit Preecha[3] and Wuttichai Seephueak[1]

Received: 2 March 2020, Revised: 31 March 2020, Accepted: 20 April 2020

บทคัดย่อ

เชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากเศษซากพืชหลายชนิดมีคุณสมบัติในการผลิตเอนไซม์ เพื่อย่อยสลายซากพืชถูกนำมาประยุกต์ใช้ทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้ได้นำเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Trichoderma harzianum* และ *Aspergillus niger* ที่แยกได้จากซากทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งผ่านการทดสอบในสภาพห้องปฏิบัติการว่ามีประสิทธิภาพสูงในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนส มาใช้ผลิตปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ให้ทราบผลของเชื้อราต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักที่ได้จากทางใบปาล์มน้ำมัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) *T. harzianum* 2) *A. niger* 3) *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* 4) สารเร่งซุปเปอร์ พด. 1 และ 5) น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) นำสปอร์แขวนลอยเชื้อรา 1×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ผสมกับทางใบปาล์มน้ำมัน : มูลโค : ยูเรีย อัตรา 5 : 1 : 0.01 กิโลกรัมต่อถุง หมักในถุงพลาสติกสีดำเป็นระยะเวลา 60 วัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีที่สุด ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ และค่าการนำไฟฟ้าในปุ๋ยหมัก เท่ากับ 14.44 : 1, 7.10, 27.53 องศาเซลเซียส และ 3.91 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.15, 0.36 และ 2.49 เปอร์เซ็นต์

---

[1] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

[1] Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Yai, Thung Yai, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand.

[2] คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

[2] Faculty of Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Yai, Thung Yai, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand.

[3] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลถ้ำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

[3] Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Tham Yai, Thung Song, Nakhon Si Thammarat 80110, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): spornsil@gmail.com

ตามลำดับ จัดเป็นปุ๋ยหมักคุณภาพดี ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการผลิตปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร สามารถส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมัก, เชื้อรา, การย่อยสลาย, ทางใบปาล์มน้ำมัน

ABSTRACT

Microorganisms isolated from plant debris having properties to produce enzymes for plant degradation were applied in several agriculture. In this research, 2 fungal species of *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus niger* which had previously been tested to efficiently yield cellulase and xylanase enzymes on the laboratory scale were used to produce the compost product. The objective of this research was to investigate the effect of fungi on the physical and nutrient of compost from oil palm frond. The experimental design using completely randomized design (CRD) with 4 replications and 5 treatments consisted of 1) *T. harzianum* 2) *A. niger* 3) *T. harzianum* with *A. niger* 4) microbial activators PD1 and 5) distilled water (control). Spore suspension of fungi adjusted to 1×10^8 spore/ml about 500 ml and combined with compost components was made up of oil palm frond : cow dung : urea at the ratio of 5 : 1 : 0.01 kilogram/bag. Then, they were left in the black plastic bag for 60 days. The results showed that use of *T. harzianum* mixed with *A. niger* gave the completed degradation and the best quality. The C/N ratio, pH, temperature and conductivity in compost were 14.44 : 1, 7.10, 27.53 ^{o}C and 3.91 dS/m, respectively while total nitrogen, phosphorus and potassium content in the compost were 2.15, 0.36 and 2.49 %, respectively. This compost being considered of good quality and standard and accredited by the Department of Agriculture should be promoted for further use.

Key words: compost, fungi, degradation, oil palm frond

บทนำ

ปุ๋ยหมัก (compost) คือปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากวัสดุอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการหมักโดยสมบูรณ์ ทั้งนี้วัสดุอินทรีย์ ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร หรือวัชพืช เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด พืชตระกูลถั่ว หญ้าแห้ง ผักตบชวา หรืออาจใช้มูลสัตว์ ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือน เป็นต้น สำหรับในกระบวนการทำปุ๋ยหมักอาจอาศัยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หรือมีการเติมจุลินทรีย์ที่คัดเลือกจากธรรมชาติลงไป เพื่อช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบซับซ้อนให้มีขนาดเล็กลง ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เชื้อราหลายชนิดที่แยกได้จากซากพืชถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในขั้นตอนของการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายจำเป็นต้องอาศัยเชื้อราที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย ซึ่งมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase activity) หรือสามารถสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายได้ เช่น เชื้อ *Aspergillus* spp., *Mucor ellipsiodeus*, *Rhizopus oryzae* และ

Trichoderma harzianum เป็นต้น (Srimongkol, 2009; Khuna *et al*., 2016) เป็นต้น สำหรับวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก ส่วนใหญ่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งจะพบอินทรียสารมากที่สุดประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ของสารอินทรีย์ทั้งหมดในธรรมชาติ พบสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงทุกชนิด โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักของเกษตรกรนิยมใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเศษพืช เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการแสง และอากาศ เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย เชื้อราและแอคติโนมัยซิส ที่ย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในพืช ช่วยให้ระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมักสั้นลง (Meunchang, 2015)

สำหรับทางใบปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอีกชนิดหนึ่ง ที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ทั้งนี้ปัจจุบันพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในภาคใต้กำลังขยายตัวมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน ประมาณ 5,878,000 ไร่ (Office of Agricultural Economics, 2020) โดย 86.22 เปอร์เซ็นต์ (ประมาณ 5,068,000 ไร่) ของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมดอยู่ในภาคใต้ โดยปลูกมากในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และนครศรีธรรมราช เป็นต้น ปกติเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันทุกๆ 15 - 20 วัน เฉลี่ยแล้วทุกเดือนจะมีการตัดทางใบปาล์มน้ำมันอย่างน้อย 2 ทางใบต่อต้นหรือคิดเป็น 44 ทางใบต่อไร่ (อัตราปลูก 22 ต้นต่อไร่) ในหนึ่งปีเกษตรกรจะตัดทางใบปาล์มน้ำมันประมาณ 18 ครั้ง โดยทางปาล์มน้ำมัน 1 ทาง จะมีน้ำหนักประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักสดของทางปาล์มน้ำมันได้ประมาณ 3,960 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี หรือโดยเฉลี่ยแล้วผลผลิตทางใบปาล์มน้ำมันสดได้ 10.80 กิโลกรัมต่อไร่ต่อวัน (FAO, 2011)

การผลิตปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเชื้อราที่นำมาใช้ทดสอบพบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายซากทางใบปาล์มน้ำมันในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของเชื้อราต่อคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตปุ๋ยหมักให้มีคุณภาพ ประหยัดเวลา ลดต้นทุนการผลิต และเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. นำเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Trichoderma harzianum* ซึ่งผ่านการทดสอบแล้วว่ามีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนสระดับสูง และสามารถย่อยสลายซากใบปาล์มน้ำมันได้ดี ในสภาพห้องปฏิบัติการ มาเลี้ยงบนอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน นำมาเตรียมสปอร์แขวนลอย (spore suspension) โดยใช้แท่งแก้วสามเหลี่ยมขูดบริเวณผิวหน้าอาหาร เพื่อให้สปอร์หลุดออกจากบริเวณผิวหน้าของอาหาร จากนั้นปรับปริมาณสปอร์โดย haemacytometer ให้ได้ความเข้มข้นของสปอร์ 1×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

2. เก็บซากทางใบปาล์มน้ำมัน เพื่อนำมาสับด้วยเครื่องสับให้มีขนาดเล็ก (3-5 เซนติเมตร) ล้างฆ่าเชื้อบริเวณผิวใบด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (sodium hypochloride) 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3-5 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำทางใบของปาล์มน้ำมันที่เตรียมเสร็จแล้วมาหมักตามสูตร ทางใบปาล์มน้ำมัน 5 กิโลกรัม มูลโค 1 กิโลกรัม และปุ๋ยยูเรีย 0.01 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ราดน้ำสปอร์แขวนลอยเชื้อราที่เตรียมไว้ ปริมาตร 500

มิลลิลิตร ลงบนกองปุ๋ยหมัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน เปรียบเทียบกับการใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด. 1 และน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) รดน้ำให้มีความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ บรรจุลงในถุงดำขนาด 30 × 40 นิ้ว เจาะรูระบายอากาศรอบถุง จำนวน 48 รู (Vijuksungsith *et al*., 2016) กลับกองปุ๋ยหมักโดยใช้พลั่วมือคลุกเคล้าให้เข้ากันภายในถุง ทุก 7 วัน วัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และค่าการนำไฟฟ้า (สัดส่วนต่อน้ำ 1:1) จนสิ้นสุดการย่อยสลาย 60 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ แบ่งการทดลอง ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum* ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 2 สปอร์แขวนลอย เชื้อ *A. niger* ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 3 สปอร์แขวนลอย เชื้อ *T. harzianum* + *A. niger* ปริมาตรละ 250 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 4 สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 5 น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

3. เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างของปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การร่วนซุย สี และกลิ่นของปุ๋ยหมัก วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร (% received weight) ได้แก่ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ด้วยวิธีการของ Walkley and Black (1947) ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Micro-Kjeldahal วิเคราะห์ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยใช้ spectrophotometer และปริมาณธาตุโพแทสเซียมทั้งหมด โดยใช้วิธี flame photometry ซึ่งย่อยด้วยกรดไนตริก (HNO_3) และ เปอร์คลอริก ($HClO_4$) อัตรา 4:1 โดยปริมาตร (AOAC, 2000) ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก เมื่อครบระยะเวลาการหมัก 60 วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยที่ช่วง 14 วันแรกของการหมัก ชุดทดลองที่ใช้เชื้อราและสารเร่งซุปเปอร์ พด.1 อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นอยู่ในช่วง 33.52 - 33.97 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) หลังจากนั้นอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงวันที่ 49 ของการหมักอุณหภูมิจะคงที่ (29.14 - 29.45 องศาเซลเซียส) เมื่อครบกำหนดระยะเวลาหมัก 60 วัน อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักในชุดทดลองที่หมักด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* มีอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 27.53 องศาเซลเซียส ในขณะที่การหมักด้วยสปอร์แขวนลอยเชื้อ *A. niger*, สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 และ เชื้อ *T. harzianum* กองปุ๋ยมีอุณหภูมิ เท่ากับ 27.79, 28.10 และ 28.15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่การใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตลอดระยะการหมักอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.20 - 28.82 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 1) จากการศึกษาอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก พบว่า ในช่วงเริ่มต้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาหลังจากการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุอินทรีย์ ทำให้ความร้อนยังคงอยู่ไม่แพร่กระจายออกจากกองปุ๋ย ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของกระบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kaewmorrakot (2014) รายงานว่า อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสัมพันธ์กับกิจกรรมการย่อยสลาย และปริมาณความชื้นภายใน

กองปุ๋ยหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมัก กองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิลดลง และเป็นที่น่าสังเกตว่าทุกกรรมวิธีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง (ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้เนื่องจากถุงดำที่บรรจุปุ๋ยหมัก มีช่องระบายสามารถทำให้อากาศเข้าและออกได้ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงถูกระบายออกได้ง่ายส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยลดต่ำลง (Bernal *et al.*, 2009)

2. การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในกองปุ๋ยหมัก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของกองปุ๋ยหมักทุกกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น และลดลงสลับกันไป และเมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq$ 0.01) โดยกรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) ปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.42 ซึ่งสภาพเป็นเบสอ่อน ในขณะที่ชุดทดลองที่หมักด้วยเชื้อ *T. harzianum*, สารเร่งซุปเปอร์ พด.1, เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* และ *A. niger* มีสภาพเป็นกลาง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.22, 7.11, 7.10 และ 7.05 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) โดยทั่วไปในช่วงแรกของการย่อยสลายปุ๋ยหมักจุลินทรีย์จะผลิตกรดสำหรับการเจริญเติบโต และปุ๋ยหมักที่ไม่ย่อยสลายจะมีสภาพที่เป็นกรด เมื่อมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ปริมาณของกรดจะสลายตัว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hartz (2007) พบว่ากระบวนการของการทำปุ๋ยหมักในขั้นเริ่มต้นของการหมัก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะต่ำกว่า 7.0 และเพิ่มขึ้นไปเกือบ 8.0 หรือมากกว่า ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมของวัสดุปุ๋ยหมัก อยู่ในช่วง 6.0-8.0 ดังนั้น เมื่อวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักจึงพบว่า ปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นจากเมื่อเริ่มหมักปุ๋ย จากการศึกษานี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในปุ๋ยทางใบปาล์มน้ำมันของทุกกรรมวิธี อยู่ในเกณฑ์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ โดยได้กำหนดไว้ว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของปุ๋ยหมัก อยู่ในช่วง 5.5-8.5 (Land Development Department, 2020a)

3. การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมัก มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่หมัก และเมื่อครบระยะเวลาหมัก 60 วัน พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) โดยค่าการนำไฟฟ้าในกรรมวิธีที่หมักด้วยสารเร่งซุปเปอร์ พด.1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.30 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร รองลงมาคือ การหมักด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* และ *T. harzianum* มีค่าเท่ากับ 3.91 และ 3.88 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การหมักปุ๋ยด้วยเชื้อ *A. niger* มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกับชุดทดลองที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) เท่ากับ 3.68 และ 3.62 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับ Paekum *et al.* (2014) ซึ่งศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา รายงานว่า ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักผักตบชวา มีค่าอยู่ในช่วง 4.00-7.90 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักมีความเหมาะสม เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลาย จะมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปของไอออนซึ่งพืชนำไปใช้ได้

4. ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของปุ๋ยหมัก

ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า กรรมวิธีที่หมักทางใบปาล์มน้ำมันด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ปุ๋ยหมักที่ได้มีลักษณะเป็นสีดำคล้ำ ร่วนซุยคล้ายดินมากที่สุด ในขณะที่การใช้ เชื้อ *T. harzianum*, *A. niger* และ สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 ปุ๋ยหมักมีลักษณะสีดำคล้ำ แต่มีความร่วนซุยน้อยกว่า

การใช้ เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ส่วนกรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) พบว่า ปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลอ่อน และลักษณะค่อนข้างหยาบ (ภาพที่ 1) จากการศึกษาโครงสร้างของทางใบปาล์มน้ำมันหมักในครั้งนี้ สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้อย่างชัดเจน โดยพบว่าปุ๋ยหมักที่มีการใช้เชื้อรา ปุ๋ยมีสีน้ำตาลเข้ม อ่อนนุ่ม ไม่จับกันเป็นก้อน ไม่มีลักษณะเดิมของวัสดุที่นำมาใช้หมัก (ทางใบปาล์มน้ำมัน) ซึ่งมีคุณภาพดีกว่าชุดทดลองที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) เนื่องจากในกรรมวิธีที่ไม่ใช้เชื้อรา พบการเปลี่ยนสีของทางใบปาล์มน้ำมันจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล แต่ยังคงสภาพของวัสดุที่นำมาใช้ คือทางใบปาล์มน้ำมันอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการศึกษาของ Sawangpanyangkura (2012) รายงานว่า ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารจะมีสีดำคล้ำ มีขนาดเล็กลง เปื่อยและยุ่ย มีน้ำหนักเบา ที่สำคัญคือไม่มีกลิ่นเหม็น และการศึกษาของ Paekum *et al.* (2014) รายงานว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ผ่านการหมักในระยะ 33 วัน เนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ย ขาดง่าย มีกลิ่นคล้ายดินและสีของวัสดุหมัก มีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งปุ๋ยหมักจากการศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของสำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน รายงานว่า ปุ๋ยหมักที่ดีต้องมีสีเข้มจนเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงดำ เศษวัสดุที่ใช้หมักจะยุ่ยและขาดออกได้ง่าย ไม่แข็งกระด้าง เช่นเดียวกับการใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 (Land Development Department, 2020a,b) ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ได้จากการใช้เชื้อราย่อยสลายในครั้งนี้ จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสม ทั้งปริมาณธาตุอาหาร ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ และสามารถนำไปใช้ในการทำปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมันได้เป็นอย่างดี

ภาพที่ 1 ลักษณะของปุ๋ยหมักแต่ละกรรมวิธี เมื่อครบระยะเวลาหมัก 60 วัน

ก. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum*
ข. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *A. niger*
ค. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*
ง. สารเร่งซุปเปอร์ พด.1
จ. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)

5. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด

จากผลการศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า การใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงสุด เท่ากับ 18.08 รองลงมาคือ น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม), การใช้เชื้อรา *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*, *A. niger* และ *T. harzianum* เท่ากับ 16.05, 14.44, 13.78 และ 9.75 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) สำหรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก จากการศึกษาในครั้งนี้ มีอยู่ระหว่าง 9.75-18.08 ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้กับพืช เนื่องจากมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้เร็ว การลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนประกอบกับการลดลงของอินทรีย์คาร์บอนของวัสดุหมัก ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายและสูญเสียไปในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ เช่นเดียวกับการศึกษาการหมักปุ๋ยขี้เลื่อยผสมกับมูลสุกร (Huang *et al*., 2004) การย่อยสลายปุ๋ยหมักจากขี้หม้อกรอง (Meunchang *et al*., 2005) และการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (Kananum, 2009)

สำหรับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ในกองปุ๋ยหมัก เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกชุดทดลอง ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อเริ่มทดลองเท่ากับ 1.38 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า การใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 2.20 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือการหมักด้วยเชื้อ *A. niger*, *T. harzianum* และการใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 2.18, 2.16 และ 2.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่การใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 1.87 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก 60 วัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทุกกรรมวิธีมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยการใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* ฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.36 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การหมักด้วยสารเร่งซุปเปอร์ พด.1, *T. harzianum* และ *A. niger* มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 0.35, 0.34 และ 0.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 0.29 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากมวลที่มีปริมาณที่ลดลง

ในขณะที่โพแทสเซียมทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก 60 วัน พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ซึ่งโพแทสเซียมทั้งหมดมีปริมาณเริ่มต้น เท่ากับ 0.75 เปอร์เซ็นต์ โดยกรรมวิธีที่หมักด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* มีค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 2.49 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การหมักด้วยเชื้อ *A. niger*, *T. harzianum* และสารเร่งซุปเปอร์ พด.1 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.44, 2.14 และ 2.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม) มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดน้อยสุด เท่ากับ 1.74 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ของปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์ม

น้ำมันมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ 5) พบว่าไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด จากปุ๋ยหมักทางใบปาล์มน้ำมัน มีค่าใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (Land Development Department, 2020a,b)

Gunnarsson and Marstorp (2002) รายงานว่าปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) และ โพแทสเซียม (K_2O) ของปุ๋ยหมักที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก เนื่องจากการเกิดกระบวนการตรึง (immobilization) และการปลดปล่อย (mineralization) ของธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก (การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารจากอินทรีย์เป็นอนินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้พืชสามารถดูดไปใช้ได้) ในกรณีที่อัตราการตรึงสูงกว่าการปลดปล่อยปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักจะลดลง แต่ถ้าอัตราการเกิดการตรึงต่ำกว่าการปลดปล่อยปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในกรรมวิธีที่ใช้เชื้อราพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อเริ่มทดลอง เท่ากับ 1.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อครบ 60 วัน ไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 2.15-2.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเชื้อราสามารถตรึงไนโตรเจนได้จึงทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อซากพืชย่อยสลายนานขึ้น เนื่องจากมวลของวัสดุเพาะลดลง (Seephueak, 2012) ในกรณีของฟอสฟอรัส เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกชุดทดลองเช่นเดียวกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยกรรมวิธีที่ใช้เชื้อรา ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 0.33-0.36 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 มีค่าเท่ากับ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างกระบวนการหมัก ฟอสฟอรัสจะไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่จะสูญเสียฟอสฟอรัสปริมาณเล็กน้อยในการละลายน้ำ ซึ่งปกติฟอสฟอรัสจะสามารถตกตะกอนให้กลายเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ฟอสฟอรัสมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น หรือน้ำหนักของกองปุ๋ยหมักลดลง ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น (Yamada and Kawase, 2005)

นอกจากนี้ ในกระบวนการหมักปุ๋ยจะมีเอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatases) (Dickman and Yarden, 1999) ซึ่งแอซิดฟอสฟาเทส (acid phosphatase) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้สารอินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนรูปเป็น สารอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ โดยกระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ซึ่งเอนไซม์นี้สามารถทำงานได้ทั้งในเซลล์พืช (Duff *et al*., 1994) และในจุลินทรีย์ (Palacios *et al*., 2005) โดยกลุ่มของเชื้อราที่สามารถผลิตเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสได้ เช่น *Aspergillus*, *Humicola* และ *Penicillium* (Boyce and Walsh, 2007) และ *T. harzianum* (Souza *et al*., 2016) เมื่อปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของทุกชุดทดลองในการศึกษาครั้งนี้เพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการหมัก ส่งผลให้น้ำหนักของกองปุ๋ยหมักลดลง เนื่องจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลาย และมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Yamada and Kawase, 2005) เมื่อสิ้นสุดการหมัก พบว่า ปุ๋ยทุกสูตรมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger* มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายปุ๋ยหมักดีที่สุด ปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิเท่ากับ 27.53 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.10 ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 3.91 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และปริมาณธาตุอาหารตามสัดส่วนของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.15 : 0.36 : 2.49

ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wattanajira *et al*. (2003) ซึ่งศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้แห้งและขยะอินทรีย์ ด้วยวิธีการหมักแบบใช้ออกซิเจน พบว่า ค่าอุณหภูมิกองปุ๋ยอยู่ระหว่าง 21.0-38.0 องศาเซลเซียส มีความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6.0-8.0 มีธาตุอาหารตามสัดส่วนของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.69 : 0.41 : 1.20 นอกจากนี้ การศึกษาของ Wongpankamol (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักที่ทำจากเศษผักและเศษใบไม้แห้ง พบว่า การหมักด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ DMO (development micro-organisms) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการย่อยสลาย โดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 21.7-22.2 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 7.7-8.0 สำหรับธาตุไนโตรเจนทั้งหมด : ฟอสฟอรัสทั้งหมด : โพแทสเซียมทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1.26 : 0.19 : 3.30 อย่างไรก็ตามสำหรับการทดลองนี้ การทำปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมันร่วมกับเชื้อรา พบว่า ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (เมื่อเปรียบเทียบในหน่วยเดียวกัน) อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากในทางใบปาล์มน้ำมันมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสอยู่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ถ้าต้องการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน จำเป็นต้องเติมหินฟอสเฟตลงไปในปุ๋ยหมัก เพื่อปรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดให้เหมาะสมและเพียงพอต่อการนำไปใช้กับพืช

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ในระยะเวลาการหมัก 60 วัน

กรรมวิธี	**อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก (องศาเซลเซียส)**									
	เริ่มต้น	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**	**28 วัน**	**35 วัน**	**42 วัน**	**49 วัน**	**56 วัน**	**60 วัน**
1. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum*	27.11	28.57^{b}	33.97^{a}	33.55^{a}	33.05^{a}	33.05^{a}	30.24^{a}	29.14^{a}	28.60^{a}	28.15^{a}
2. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *A. niger*	27.12	28.60^{b}	33.55^{a}	31.08^{b}	33.23^{ab}	33.00^{a}	31.30^{a}	29.45^{a}	28.29^{a}	27.79^{cb}
3. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*	27.12	29.70^{a}	33.80^{a}	30.42^{b}	33.60^{a}	32.96^{a}	31.09a	29.16^{a}	27.90^{ab}	27.53^{dc}
4. สารเร่งซุปเปอร์ พด.1	27.11	29.75^{a}	33.52^{a}	31.00^{b}	32.14^{b}	32.87^{a}	30.11^{ab}	29.35^{a}	28.00^{ab}	28.10^{ab}
5. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)	27.12	26.20^{c}	26.77^{b}	28.82^{c}	28.70^{c}	28.76^{b}	28.48^{b}	27.25^{b}	27.63^{b}	27.41^{d}
C.V. (%)	0.02	1.64	1.49	2.15	2.13	2.97	3.60	3.41	3.04	0.73
F-test	ns	**	*	**	**	*	*	*	*	**

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

** ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของปุ๋ยหมักในระยะการย่อยสลาย 60 วัน

กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)									
	เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน	56 วัน	60 วัน
1. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum*	7.15	7.44	7.06[b]	7.49	7.34	7.22	6.90	6.76	7.45[a]	7.22[b]
2. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *A. niger*	7.13	7.46	7.39[b]	7.51	7.31	7.16	7.16	6.83	6.89[b]	7.05[c]
3. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*	7.14	7.18	7.60[a]	7.81	7.21	6.82	7.23	6.61	6.75[b]	7.10[c]
4. สารเร่งซุปเปอร์ พด.1	7.15	7.05	7.43[b]	7.71	7.30	6.80	7.03	6.61	6.93[b]	7.11[c]
5. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)	7.15	7.16	7.41[b]	7.47	7.31	7.04	6.99	6.57	7.37[a]	7.42[a]
C.V. (%)	2.79	2.81	3.25	3.35	2.55	4.09	3.51	4.51	4.13	0.72
F-test	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	**

หมายเหตุ: ** ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)
ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมักในระยะเวลาหมักปุ๋ย 60 วัน

กรรมวิธี	ค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมัก (เดซิซีเมนส์ต่อเมตร)									
	เริ่มต้น	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	42 วัน	49 วัน	56 วัน	60 วัน
1. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum*	0.12	1.20[ab]	1.46[a]	1.77[a]	2.65[a]	2.90[a]	3.05[a]	3.28[a]	3.89[a]	3.88[b]
2. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *A. niger*	0.13	1.30[ab]	1.59[a]	1.86[a]	2.42[b]	2.79[b]	3.07[a]	3.24[a]	3.63[b]	3.68[c]
3. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*	0.12	1.40[a]	1.54[a]	1.70[a]	2.66[a]	2.95[a]	3.09[a]	3.16[ab]	3.90[a]	3.91[b]
4. สารเร่งซุปเปอร์ พด.1	0.12	1.58[a]	1.61[a]	1.74[a]	2.64[a]	2.85[ab]	3.02[a]	3.25[a]	3.99[a]	4.30[a]
5. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)	0.12	0.86[b]	1.11[b]	1.26[b]	2.16[c]	2.32[c]	2.79[b]	3.06[b]	3.65[b]	3.62[c]
C.V. (%)	4.45	24.43	15.11	8.16	2.87	3.23	4.24	3.15	3.44	1.69
F-test	ns	**	*	*	**	**	*	**	*	**

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
** ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 4 ค่า C/N ratio ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดการหมักในระยะเวลา 60 วัน

กรรมวิธี	C/N ratio	ปริมาณธาตุอาหาร (% received weight)		
		ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	โพแทสเซียมทั้งหมด
1. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum*	9.75[c]	2.16	0.34	2.14[ab]
2. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *A. niger*	13.78[b]	2.18	0.33	2.44[a]
3. สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*	14.44[ab]	2.15	0.36	2.49[a]
4. สารเร่งซุปเปอร์ พด.1	18.08[a]	2.20	0.35	2.03[ab]
5. น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)	16.05[a]	1.87	0.29	1.74[b]
C.V. (%)	1.71	14.88	10.41	19.09
F-test	**	ns	ns	**

หมายเหตุ: ** ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 5 ความเป็นกรดเป็นด่าง การนำไฟฟ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ที่ได้จากปุ๋ยหมักจากทางใบปาล์มน้ำมัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่รับรองโดยกรมวิชาการเกษตร

คุณสมบัติของปุ๋ย	มาตรฐานปุ๋ยหมัก	กรรมวิธี				
		1	2	3	4	5
ความเป็นกรดเป็นด่าง	5.5 - 8.5	7.22	7.05	7.10	7.11	7.42
การนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร	3.88	3.68	3.91	4.30	3.62
คาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20 : 1	9.45	13.78	14.44	18.08	16.05
ไนโตรเจนทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์	2.16	2.18	2.15	2.20	1.87
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์	0.34	0.33	0.36	0.35	0.29
โพแทสเซียมทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์	2.14	2.44	2.49	2.03	1.74

หมายเหตุ: กรรมวิธีที่ 1 สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 2 สปอร์แขวนลอยเชื้อ *A. niger*

กรรมวิธีที่ 3 สปอร์แขวนลอยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับ *A. niger*

กรรมวิธีที่ 4 สารเร่งซุปเปอร์ พด.1

กรรมวิธีที่ 5 น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ (ชุดควบคุม)

สรุป

ปุ๋ยหมักทางใบปาล์มน้ำมันที่หมักด้วยเชื้อ *T. harzianum* ร่วมกับเชื้อ *A. niger* มีประสิทธิภาพดีที่สุด ทำให้ปุ๋ยหมักมีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพและปริมาณธาตุอาหารดีที่สุด อัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 14.44 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.15, 0.36 และ 2.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International (17th ed).** The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.

Bernal, M.P., Alburqueruqe, J.A. and Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment a review. **Bioresource Technology** 100(22): 5444-5453.

Boyce, A. and Walsh, G. 2007. Purification and characterization of an acid phosphatase with phytase activity from mucorhiemalis. **Journal Biotechnology** 132(1): 82-87.

Dickman, M.B. and Yarden, O. 1999. Serine/threonine protein kinase and phosphatasees in filamentous fungi. **Fungal Genetic and Biology** 26(2): 99-117.

Duff, S.M.G., Sarath, G. and Plaxton, W.C. 1994. The role of acid phosphatase in plant phosphorus metabolism. **Physiology Plant** 90(4): 791-800.

FAO. 2011. **Oil palm fronds and oil palm crop residues.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available Source: http://WWW.feedipedia.org/node.6916, February 28, 2020.

Gunnarsson, S. and Marstorp, H. 2002. Carbohydrate composition of plant materials determines N mineralization. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 62(1): 175-183.

Hartz, T.K. 2007. **Assessing compost maturity and suitability for agricultural uses.** Available Source: http://WWW.p2pay.org/ref /11/10513.html, February 28, 2020.

Huang, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T. and Nagar, B.B. 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. **Waste Management** 24(8): 805-813.

Kaewmorrakot, T. 2014. Production of Compost from Shallot Waste, Bone Meal and Goat Dung. Master Thesis of Soil resource management, Prince of Songkla University.

Kananum, W. 2009. Effect of Chicken Manure, Decanter sludge and Red Soil on the Oil palm Empty Fruit Bunches Composting. Master Thesis of Environmental management, Prince of Songkla University.

Khuna, S., Thongkled, K. Khitka, B. and Nuangmek, W. 2016. Effect of biodegrading fungal strains and composting time period on quality of water hyacinth compost. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 3(suppl. 3): 1-7.

Land Development Department. 2020a. **Soil managements data.** Available Source: http://www1.ldd.go.th/ldd/Fertilizer/Organic_Fertilizer.pdf, February 29, 2020.

Land Development Department. 2020b. **Soil Biotechnology.** Available Source: http://WWW.ldd.go.th/ldd_en/en-US/mi crobial-activator-super-ldd-1/, February 28, 2020.

Meunchang, P. 2015. **Research and development on biofertilizer, compost, organo-chemical fertilizer and agriculture decomposers production technology and analysis.** Available Source: http://WWW.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2214, March 1, 2020.

Meunchang, S., Panichsakpatana, S. and Weaver, R.W. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. **Bioresource Technology** 96(4): 437-442.

Office of Agricultural Economics. 2020. **Oil palm.** Available Source: http://WWW.oae_report/production result.php, February 28, 2020.

Paekum, C., Khitka, B., Titayavan, M. and Nuangmek, W. 2014. Investigation of plant nutrient from water hyacinth compost by biodegradation with *Trichoderma* sp. isolate UPPY 19. **Khon Kaen Agricultural Journal** 42(Suppl.1): 671-676.

Palacios, M.C., Haros, M., Rosell, C.M. and Sanz, Y. 2005. Characterization of an acid phosphatase from *Lactobacillus pentosus*: regulation and biochemical properties. **Journal Applied Microbiology** 98(1): 229-237.

Sawangpanyangkura, T. 2012. **Production of Compost.** Wanida Printing, Chiang Mai.

Seephueak, P. 2012. Fungi Associated with Degradation of Rubber Wood Logs and Leaf Litter. Ph.D. Dissertation in Tropical Agricultural Resource Management, Prince of Songkla University.

Souza, A.A., Leitão, V.O., Ramada, M.H., Mehdad, A., Georg, R.D.C. and Ulhôa, C.J. 2016. *Trichoderma harzianum* produces a new thermally stable acid phosphatase, with potential for biotechnological application. **Public Library of Science** 11(3): 1-18.

Srimongkol, P. 2009. Screening of Microorganisms for Cellulase and Xylanase Production. Master Thesis of Science in Biotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

Vijuksungsith, P., Verasan, J., Kaewsuwan, U., Benjawan, L. and Boonprasert, R. 2016. Use of black plastic bags as container in composting process. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 3(1): 56-62.

Walkley, A. and Black, I.A. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. **Soil Science Society of America Proceedings** 63(1): 251-255.

Wattanajira, L., Khamkong, K., Yudi, S. and Sanohiti, S. 2003. Aerobic composting from dry leaves and solid wastes. **Thai**

Science and Technology Journal 11(1): 71-76.

Wongpankamol, P. 2006. **Alternative: the efficiency of organic decomposition from residual vegetable and dry leaves by microbial activators for composting.** Available Source: http://newtdc.thailis.or.th/docview.aspx?tdcid=41050, February 28, 2020.

Yamada, Y. and Kawase, Y. 2005. Aerobic composting of waste activated sludge: kinetic analysis for microbiological reaction and oxygen consumption. **Waste Management** 26(1): 49-61.

หมายเหตุ: บทความนี้มาจากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 10 ปี พ.ศ. 2561