

The Effect of Mechanical Vibration Combined with Static Orthodontic Force on Tooth Movement in Intra and Contralateral Side of Maxillary Arch in Rat Models

Porntip Tangtanawat¹, Assoc.Prof.Dr.Chidchanok Leethanakul², Assoc.Prof.Dr.Srisurang Suttapreyasri³

¹Department of Preventive Dentistry Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University
Songkhla, Thailand; porntip.tangtanawat@gmail.com

²Department of Preventive Dentistry Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University Songkhla, Thailand;
chidchanok.l@psu.ac.th

³Department of Oral and Maxillofacial Surgery Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University Songkhla, Thailand;
srisurang.s@psu.ac.th

Abstract

Mechanical vibration is one of the several methods to accelerate the orthodontic tooth movement, which provides the advantages, such as non - invasive, painless, and less complications. Also, this technique can be home used appliance. Nevertheless, the result of this method is still controversial because there is no standard protocol in the clinical application of mechanical vibration. Many experiments have been used the split-mouth model to investigate the effect of vibration. However, the effect of local mechanical vibration on the contralateral side has not been studied. The aim of this study was to investigate the effect of high-frequency (125 Hz) vibration on accelerating tooth movement in intra and contralateral sides of the same maxillary arch. Nine adult Wistar rats, age 10-12 weeks allocated to control (C), tooth movement (TM), and tooth movement combine with high-frequency (125 Hz) vibration (TMV) groups in the split-mouth experiment design study. The maxillary first molars were moved mesially by using the Nickel-Titanium (NiTi) close coil spring for 14 days (TM group). Additional vibration was applied on the occlusal surface of the first molars for 5 minutes per day (TMV group). The amount of tooth movement was measured by Microcomputed tomography (Micro-CT). The result showed that by applying high-frequency (125 Hz) vibration for 5 minutes per day, the intra-arch molar (TMV group) moved 2-fold faster than the TM group. However, the high-frequency vibration did not affect the tooth movement on the contralateral side of the maxilla.

Keywords : accelerate tooth movement, cross-arch effect, mechanical vibration, orthodontic force, Wistar rat.

I. INTRODUCTION

Prolonged orthodontic treatment time methods can be categorized into biological, associates with risks of dental caries [1], gingivitis surgical, and physical approaches. [2], pulpitis [3], and patient burn out [4]. The Mechanical vibration is one of the physical accelerated tooth movement methods were approaches that provide interesting advantages,

introduced to reduce treatment time. The

such as non-invasive, painless, and less complications. Since lack of evidence supports the effect of vibration on accelerating tooth movement. Therefore, mechanical vibration still is not a technique being used in routine orthodontic treatment. In several animal studies found that the high-frequency vibration effect accelerated orthodontic tooth movement [5-7]. In addition, there is no previous study in the cross-arch effect of mechanical high-frequency vibration on tooth movement.

The optimal orthodontic force is the force level that has a certain magnitude and characteristic leading to the maximum rate of tooth movement without patient discomfort and periodontal tissue damage [8]. In animal research, 10 grams of force demonstrated the maximum rate of tooth movement, while increasing the magnitude of force did not benefit the rate of tooth movement [9]. Moreover, histomorphometry in the rat after received 10 grams of force for 14 days presented a very limited area of hyalinization, the root resorption was seen only in the cementum layer[10]. Then, 10 grams of force is the optimal force in orthodontic tooth movement in the rat, and was used in the present study.

The purpose of this study was to investigate the effect of high-frequency vibration on accelerating tooth movement in intra and contralateral sides of the same dental arch.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Animals and study protocol

This study was approved by the Institutional Animal Care and Use Committee, Prince of Songkla University (MOE 6800.11/234). The care and

handling of animals were performed following the institutional animal care and use committee (IACUC) guideline. Nine adult male Wistar rats (Nomura Siam International, Thailand), aged 10-12 weeks and weighing 300 to 400 grams, were included in this randomized split-mouth experimental study. The intervention groups (C, TM, and TMV groups) were circular systematic sampling into eighteen sides of the maxilla (n=18) of nine Wistar rats. Therefore, the nine rats have received three types of matching interventions. Type I of experiment design: Control (C; no force) on one side and tooth movement (TM) on another side; Type II, Tooth movement combined with high-frequency vibration (TMV) on one side and the C on another side; Type III, the TM on one side and the TMV on another side.

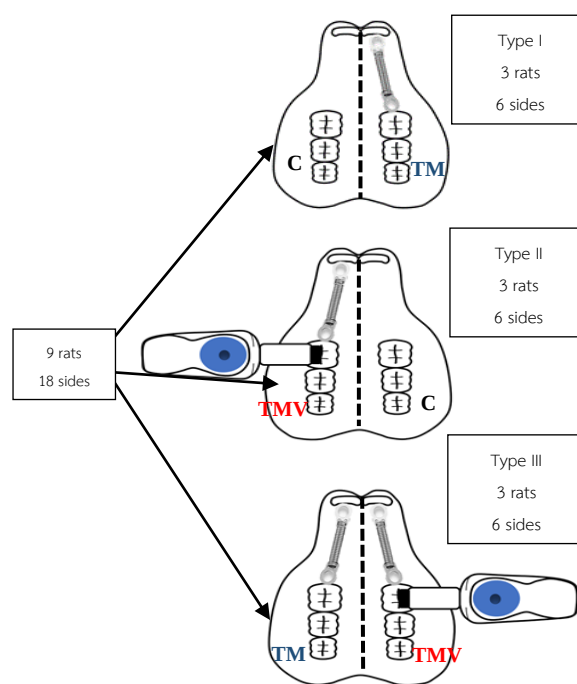


Fig. 1. Experimental model. A schema of study design in circular systematic sampling intervention groups (control, TM, and TMV groups) into eighteen sides of the maxilla of nine Wistar rats.

The animals were intraperitoneally anesthetized by the mixture of 90 mg/ kg of Ketamine (Calypsol, Gedeon Richter Ltd., Hungary) and 10 mg/ kg of Xylazine (Xylayet, Thai Meiji Pharmaceutical Ltd., Thailand). After the TM and TMV groups were anesthetized, the ultra-light (Green) Nickel-Titanium (NiTi) close coil spring (Dentos, Dentaplex, USA) was installed between the incisor and the first molar for 14 days. The force loaded of NiTi spring to molar was directly measured by tension gauge.

For applying high-frequency vibration, the rats were anesthetized with 2% isoflurane. A high-frequency (125 Hz) vibration was generated by an adapted electrical toothbrush (Oral-B®). The toothbrush tip without bristle brush was placed on the occlusal surface of the upper first molar in the perpendicular direction to the occlusal surface, which using a central groove as a reference landmark. The high-frequency vibration was applied 5 minutes per day for 14 days.

After 14 days, animals were euthanasia by an overdose of pentobarbital sodium (800 mg/ kg). The maxillae were collected within 1 hr., and fixation in 4% paraformaldehyde.

B. Measurement of tooth movement

The maxillae were scanned and reconstructed with Micro-CT (Scanco μ CT 35 system; Scanco Medical, Bassersdorf, Switzerland) with the condition of 70 kVP and 114 μ A with an exposure time of 256 milliseconds and voxel size of 10 μ m. From the sagittal view, the reference level of height of contour of maxillary 1st and 2nd molar were registered. The amount of tooth movement was measured from the distance between the 1st

and 2nd molar at the midpoint of buccal-lingual of the maxillary 1st molar in transverse dimension.

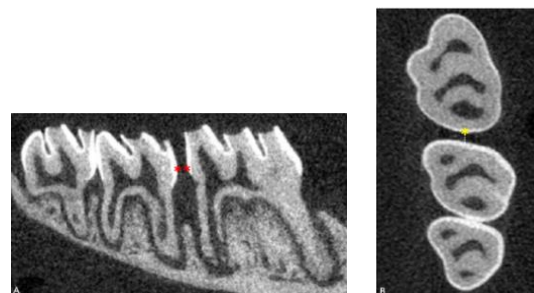


Fig. 2. The reference point in measurement distance between the 1st and 2nd a maxillary molar. (A) Sagittal section of a maxillary molar with reference at height of contour (* in red color) (B) Transverse sections of maxilla with a reference point at the most distal point of 1st molar (* in yellow color)

C. Statistics

The data were analyzed by IBM SPSS Statistics 16 programs. The results showed as mean and standard deviations. All data was normally distributed, which was tested by the Shapiro-Wilk test. The t-test was used to test significantly differences between experimental groups. The level of significance was established at 95% ($p = 0.05$).

All the samples remeasured with the interval of 4 weeks and intra-observer reliability was done by using the intra-class correlation coefficient.

III. RESULTS

The weight of rats were observed every day to monitor the animal's health after orthodontic appliance attachment. In the early period of the attached appliance, the animal's weight was slightly reduced; afterward, weights were gradually

increased throughout the observation period. Therefore, these data showed the animals were healthy in all experiment periods.

During the experiment period, all the NiTi close coil springs remained intact and gave accurate constant force.

The intraclass correlation coefficients was 0.99 which indicated great reliability.

A. Amount of tooth movement

Overall data, the amount of tooth movement of the TMV showed significantly greater than the TM (0.36 ± 0.03 mm vs 0.17 ± 0.043 mm, $p < 0.05$). The high-frequency vibration increased a 2.0-fold amount of tooth movement.

To evaluate the effect of local vibration on contralateral side, in type III of the experimental model (the TMV vs the TM groups), the amount of tooth movement of the TMV showed significantly greater than that of the TM on the contralateral side (0.36 ± 0.07 mm vs 0.17 ± 0.06 mm, $p < 0.05$). The high-frequency vibration increased a 2.0-fold amount of tooth movement consistent with the overall experimental models.

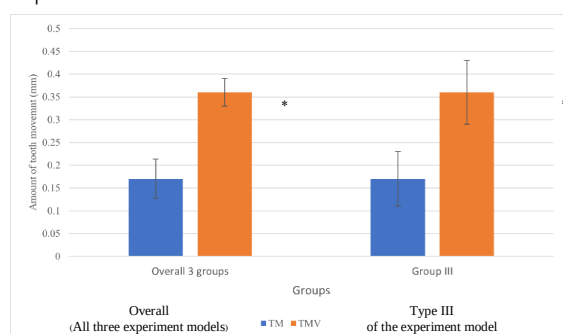


Fig. 3. The amount of tooth movement of the TMV group showed significantly greater than the TM group on both overall of experimental models and in type III of experimental model. ($p < 0.05$)

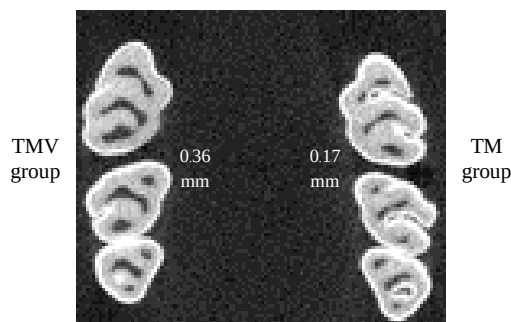


Fig. 4. The high-frequency vibration did not accelerate tooth movement on the 1st molar of the contralateral maxillary arch. Transverse section of a maxillary arch in Type III of the experimental model.

IV. DISCUSSIONS

Utilizing, the mechanical vibration on accelerating orthodontic tooth movement was controversial since there was no standard protocol for the clinical application of mechanical vibration in orthodontic treatment. However, previous animal studies that used high-frequency vibration (60, 70, 120 Hz) found high-frequency vibration caused the effect of accelerating tooth movement [5-7]. This study confirming that high-frequency vibration accelerated tooth movement. In addition, the position of applying high-frequency vibration is the one of an important factors since the vibration affected tooth movement only on the same side of the dental arch.

A. Accelerating tooth movement

High-frequency (125 Hz) vibration combined with orthodontic force accelerated tooth movement about a 2-fold in this research conforming with Takano-Yamamoto et al[6], and Alikhani et al[7].

Alikhani et al.[7] showed that applying high-frequency vibration (120 Hz) for 14 days increased

the rate of tooth movement 2.4-fold. Takano-Yamamoto et al.[6] applying high-frequency vibration (70 Hz) once a week increase, a 2-fold amount of tooth movement on day 21.

B. The cross-arch effect

The high-frequency (125 Hz) vibration caused accelerating tooth movement on the TMV group significantly greater than the TM group in type III of experimental models, which using the split-mouth design between the TM and TMV groups. Therefore, it represented the effect of high-frequency vibration affected the 1st molar that applied the vibration directly but not affected the contralateral side of the maxilla.

The result of this present study was consistent with the evidence that periodontal ligament (PDL) is the source of inflammatory markers during orthodontic treatment[11, 12]. In addition, the mechanical vibration combined with compressive force synergistically enhanced human PDL cells to increase secreted inflammatory cytokines[13]. Since bone remodeling in tooth movement is the process of aseptic inflammation then, PDL is an important part of orthodontic tooth movement. As seen in clinical observation that in absence of PDL cells such as ankylosed tooth there is no orthodontic tooth movement. Therefore, the high-frequency vibration on the first molar went through the PDL. In consequence, the vibration stimulated PDL cells to enhance bone remodeling on the same side of the maxilla. In contrast, the high-frequency was unable to accelerated tooth movement of the first molar tooth on the contralateral side in

this study. As a result of the attenuating vibrations that, passes through the palate, maxillary suture including the PDL of the first molar on the contralateral side. This result is consistent with Alikhani et al[7]., showed the indirect application of high-frequency vibration on the adjacent tooth did not accelerated the tooth movement.

There are some dissimilarities in physiology and morphology between humans and rats but the rat model is a suitable model for orthodontic tooth movement experiments. Because of rats had a cost-effective and, a short bone remodeling cycle. Therefore, the rat models showed the result of intervention outcomes shortly[14, 15]. Moreover, we controlled the confounding factor of physiologic tooth movement such as age, weight, and sex.

Due to the difference between rats and humans (for example bone remodeling rate, orthodontic mechanics, and appliance), the cross-arch effect of high-frequency vibration may affect differently. However, further investigation in clinical research should be confirmed this effect.

V. CONCLUSION

The high-frequency (125 Hz) vibration in combination with static orthodontic force locally enhanced tooth movement and had no cross-arch effect.

Acknowledgment

This work was supported by a grant from the Graduate School and Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University. Lastly, I acknowledge those

Wistar rats for my study. They are not only samples but also great teachers.

REFERENCES

- [1] A. E. Richter, A. O. Arruda, M. C. Peters, and W. Sohn, (2011). "Incidence of caries lesions among patients treated with comprehensive orthodontics," *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(5), 657-664.
- [2] S. A. Alexander, (1991). "Effects of orthodontic attachments on the gingival health of permanent second molars," *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 100(4), 337-340.
- [3] T. Grünheid, B. A. Morbach, and A. Zentner, (2007). "Pulpal cellular reactions to experimental tooth movement in rats," *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 104(3), 434-441.
- [4] A. Royko, Z. Denes, and G. Razouk, (1999). "The relationship between the length of orthodontic treatment and patient compliance," *Fogorvosi szemle*, 92(3), 79-86.
- [5] M. Nishimura *et al.*, (2008). "Periodontal tissue activation by vibration: intermittent stimulation by resonance vibration accelerates experimental tooth movement in rats," *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(4), 572-583.
- [6] T. Takano-Yamamoto *et al.*, (2017). "Synergistic acceleration of experimental tooth movement by supplementary high-frequency vibration applied with a static force in rats," *Scientific reports*, 7(1), 1-14.
- [7] M. Alikhani *et al.*, (2018). "Vibration paradox in orthodontics: Anabolic and catabolic effects," *PLoS One*, 13(5), e0196540.
- [8] W. R. Proffit, H. W. Fields, B. Larson, and D. M. Sarver, *Contemporary orthodontics-e-book*. Elsevier Health Sciences.
- [9] M. Alikhani *et al.*, (2015). "Saturation of the biological response to orthodontic forces and its effect on the rate of tooth movement," *Orthodontics & craniofacial research*, 18, 8-17.
- [10] T. Kohno, Y. Matsumoto, Z. Kanno, H. Warita, and K. Soma, (2014). "Experimental tooth movement under light orthodontic forces: rates of tooth movement and changes of the periodontium," *Journal of orthodontics*,
- [11] H. Kitaura *et al.*, (2014). "Effect of cytokines on osteoclast formation and bone resorption during mechanical force loading of the periodontal membrane," *The Scientific World Journal*,
- [12] C. Teixeira *et al.*, (2010). "Cytokine expression and accelerated tooth movement," *Journal of dental research*, 89(10), 1135-1141.
- [13] P. Phusuntornsakul, S. Jitpukdeeboontra, P. Pavasant, and C. Leethanakul, (2018). "Vibration enhances PGE2, IL-6, and IL-8 expression in compressed hPDL cells via cyclooxygenase pathway," *Journal of periodontology*, 89(9), 1131-1141.
- [14] K. REITAN and E. KVAM, (1971). "Comparative behavior of human and animal tissue during experimental tooth movement," *The Angle orthodontist*, 41(1), 1-14.

- [15] Y. Ren, J. C. Maltha, and A. M. Kuijpers-Jagtman, (2004). "The rat as a model for orthodontic tooth movement—a critical review and a proposed solution," *The European Journal of Orthodontics*, vol. 26(5), 483-490.

การศึกษาและปรับปรุงระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ภายในอาคารกรณีศึกษา: อาคาร 8 ชั้น

A Study and Improvement for Fire Alarm System:

Case Study of Eight-storied Building

เชษฐ ตั้งทรงจิตรากุล และศุภลักษณ์ ใจเรือง

Chet Tungsongjitakul and SupaluxJairuang

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

chet.g123@pnru.ac.th, j.supalux@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้เพื่อออกแบบระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ภายในอาคาร 2 ระบบประกอบด้วยระบบเดิมเพิ่มเติมอุปกรณ์ส่งสัญญาณและระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุตำแหน่งแบบไร้สาย (Wireless addressable fire alarm system) เพื่อปรับปรุงอาคารให้เป็นไปตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ผลการศึกษาพบว่า การแก้ไขและเพิ่มเติมอุปกรณ์ให้เป็นระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ของระบบเดิมประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke detector) 130 ตัวคิดเป็น 57% และเพิ่มอุปกรณ์กระดิ่งเตือนภัย (Alarm bell) 15 ตัวและระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุตำแหน่งแบบไร้สายแบบใหม่ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับควันแบบไร้สายจำนวน 130 ตัว, อุปกรณ์แจ้งเตือนสัญญาณแบบมือกด (Wireless manual call point) จำนวน 12 ตัวอุปกรณ์แจ้งสัญญาณเตือน (Audible alarm) จำนวน 8 ตัวและกระดิ่งเตือนภัยจำนวน 15 ตัวซึ่งทั้ง 2 แบบเป็นไปตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานฯ และมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเหตุเพลิงไหม้ต้นทุนของระบบเดิมเพิ่มเติมอุปกรณ์ส่งสัญญาณใช้ต้นทุนทั้งสิ้นจำนวน 648,700 บาทในขณะที่ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุตำแหน่งแบบไร้สายแบบใหม่ใช้ต้นทุนทั้งสิ้นจำนวน 919,600 บาทถึงแม้ว่าระบบใหม่จะมีราคาที่สูงกว่าระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุตำแหน่งแบบไร้สายสามารถระบุตำแหน่งที่เกิดเพลิงไหม้ทำให้ลดการสูญเสียที่จะเกิดขึ้นและการเข้าระงับเหตุได้รวดเร็ว

คำสำคัญ : ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุตำแหน่งแบบไร้สาย, อุปกรณ์ตรวจจับควัน

Abstract

The objective of this study was to develop two new fire alarm systems which include integrated wireless fire alarm system and addressable fire alarm system. Both developments followed the national standard of the Engineering Institute. The integrated fire alarm system was installed with 130 smoke detectors and 15 alarm bells. The wireless addressable fire alarm system was installed with same amount of wireless smoke detectors and alarm bells with addition of 12 wireless call points and 8 audibles. The designs of both systems were met the national standard and able to identify fire's location precisely. The cost of former system integrated wireless was 648,700 Baht, while cost of latter system was increased to 919,600 Baht. Despite of higher cost, the wireless addressable fire alarm system was able to identify the fire location faster.

Keywords : Wireless Addressable Fire Alarm System, Smoke Detector

1. บทนำ

ด้วยปัจจุบันจำนวนอาคารสูงในกรุงเทพมหานครมีประมาณ 2,810 อาคารแบ่งเป็นอาคารที่สร้างก่อนการประกาศใช้ พ.ร.บ.ควบคุมอาคารชุดจำนวน 1,033 อาคารและอาคารที่สร้างภายหลังประกาศใช้ พ.ร.บ.ควบคุมอาคารจำนวน 1,777 อาคาร (ที่มา: สำนักงานสถิติแห่งชาติ) ซึ่งจากพ.ร.บ.ควบคุมอาคารพ.ศ.2522 ระบุไว้ว่าอาคารสูงทุกอาคารจะต้องมีระบบป้องกันอัคคีภัยครบวงจรทั้งนี้จากสถิติการเกิดเหตุเพลิงไหม้อาคารในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี 2560 เกิดเหตุเพลิงไหม้อาคาร 359 ครั้ง เสียชีวิต 19 ราย ปี 2561 เกิดเหตุเพลิงไหม้อาคาร 292 ครั้ง เสียชีวิต 15 ราย ปี 2562 เกิดเหตุเพลิงไหม้อาคาร 88 ครั้ง เสียชีวิต 1 ราย และปี 2563 เกิดเหตุเพลิงไหม้อาคาร 121 ครั้ง เสียชีวิต 7 ราย (ที่มา: ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย) ถือเป็นเหตุที่มีความเสียหายอย่างมากดังนั้นการป้องกันการเกิดอัคคีภัยในอาคารจึงเป็นเรื่องสำคัญ

ระบบการแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ดีจะต้องตรวจจับและแจ้งเหตุได้อย่างถูกต้องรวดเร็วมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือได้สูงสุดเพื่อให้ผู้พักอาศัยหรือผู้ที่เข้ามาใช้พื้นที่ภายในอาคารมีโอกาสดับไฟในระยะลุกลามเริ่มต้นได้มากขึ้นและมีโอกาสที่จะอพยพหนีไฟออกจากอาคารไปยังที่ปลอดภัยได้มากที่สุดซึ่งจะเป็นการลดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินได้มากดังนั้นการพัฒนาระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อาคารจึงเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการและความสำคัญของระบบดับเพลิงและระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อยู่ภายในอาคาร
2. เพื่อนำเสนอแนวคิดพัฒนาระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อาคาร และ เปรียบเทียบการลงทุน

3. วิธีดำเนินการศึกษา

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาและปรับปรุงระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ซึ่งมีอยู่เดิมแล้วของอาคารกรณีศึกษา

อาคารเรียน 8 ชั้นให้เป็นไปตามระเบียบของกฎกระทรวงและมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ผู้ศึกษาได้ทำการปรับปรุงระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยีแบบใหม่คือระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุตำแหน่งแบบไร้สายพร้อมทั้งเปรียบเทียบต้นทุนในการเปลี่ยนระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้และปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการดำเนินการ

3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษา

อาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารเรียนสูง 8 ชั้น ชั้นละ 587.5 ตารางเมตร รวมมีพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 4,700 ตารางเมตร โดยลักษณะการแบ่งสัดส่วนของอาคารนี้ประกอบไปด้วย ห้องสำนักงานของคณะห้องเรียนห้องประชุมฝึกอบรมห้องคอมพิวเตอร์และห้องพักอาจารย์เป็นต้นตัวอาคารมีการติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ตั้งแต่ปี 2540 สร้างภายหลังกฎกระทรวงฉบับที่ 39 ปี พ.ศ. 2537 บังคับใช้ในอาคารสูง



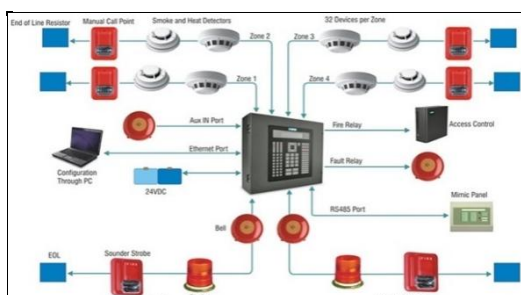
ภาพที่ 1 อาคารกรณีศึกษา

ตารางที่ 1 ลักษณะพื้นที่ใช้สอยอาคาร

ชั้นของตึก	ลักษณะการใช้พื้นที่
1	สำนักงานคณะ
2	ห้องอบรมสัมมนา
3	ห้องคอมพิวเตอร์
4	ห้องปฏิบัติการภาคการจัดการอุตสาหกรรม
5	ห้องปฏิบัติการภาคอิเล็กทรอนิกส์
6	ห้องเขียนแบบ
7	ห้องเรียน
8	ดาดฟ้า

จากข้อมูลตารางที่ 1 อาคารกรณีศึกษามีการติดตั้งระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้แบบระบบการแจ้งเหตุ

เป็นโซน (Conventional fire alarm system) ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ค่อยมีความยืดหยุ่นจำนวนโซนที่รองรับสูงสุดจะตายตัวตามขนาดของตู้ควบคุมซึ่งมี 2 ขนาดขนาด 8 โซน และ 16 โซน ให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมซึ่งระบบนี้จะเหมาะกับสถานที่ที่มีขนาดไม่เยอะมากนักเนื่องจากการแจ้งเตือนจะเป็นโซนหรือเป็นบริเวณหากขนาดพื้นที่ของโซนนั้นมีบริเวณกว้างจะทำให้เกิดความล่าช้าในการเข้าถึงจุดเกิดเหตุ



ภาพที่ 2 ระบบการแจ้งเหตุเป็นโซน (Conventional fire alarm system)(ที่มา: www.newtype.co.th)

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

จากการศึกษาปัญหาระบบป้องกันและแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติในอาคารกรณีศึกษาได้พบว่าระบบการแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติที่ใช้ในอาคารกรณีศึกษาปัจจุบันนั้นเป็นระบบการแจ้งเหตุเป็นโซนมีการติดตั้งและเริ่มใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 จากการสำรวจสภาพพบว่าตู้ควบคุมและอุปกรณ์เริ่มเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานและปัญหาที่พบบ่อยคือ ตัวระบบมีการแจ้งเตือนเองโดยไม่พบสาเหตุที่แท้จริงอีกทั้งยังเกิดจากระบบมีการขัดข้องไม่เสถียรและประเด็นดังกล่าวเป็นสิ่งที่มีความเสี่ยงมากเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้

ตารางที่ 2 รายการและอุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ติดตั้งบนอาคารกรณีศึกษา

ชั้น	สถานที่	HEAT DETECTO	MANUAL STATION	ALARM BELL
1	สำนักงานคณะ	4	1	1
2	ห้องอบรมสัมมนา	12	1	1
3	ห้องคอมพิวเตอร์	14	2	2

ชั้น	สถานที่	HEAT DETECTO	MANUAL STATION	ALARM BELL
4	ห้องปฏิบัติการภาคการจัดการ อุตสาหกรรม	12	1	1
5	ห้องปฏิบัติการภาคอิเล็กทรอนิกส์	14	2	2
6	ห้องเขียนแบบ	12	1	1
7	ห้องเรียน	12	1	1
8	คาเฟ่	3	0	1
รวมอุปกรณ์ทั้งหมด		83	9	10

จากตารางที่ 2 สรุปรายการอุปกรณ์ของอาคารกรณีศึกษาซึ่งจำแนกเป็น 2 ประเภทได้ดังนี้

1. อุปกรณ์รับสัญญาณ (Initiating device) จากการตรวจสอบอาคารกรณีศึกษาพบว่ามีการติดตั้งอุปกรณ์อยู่ 3 ชนิดได้แก่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat detector) จำนวน 83 ตัวอุปกรณ์ตรวจจับควันและอุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ (Manual station) จำนวน 9 ตัว

2. อุปกรณ์ส่งสัญญาณเตือนเมื่อเกิดเหตุ (Indication device) พบว่ามีการติดตั้งกริ่งส่งสัญญาณเตือนอยู่บริเวณบันไดขึ้นลงอาคารในทุกชั้นจำนวน 10 ตัว

การเปรียบเทียบระบบการแจ้งเหตุเพลิงไหม้ของอาคารกรณีศึกษาให้สอดคล้องกับมาตรฐานวิศวกรรมสถานฯ

ตามหลักมาตรฐานของวิศวกรรมสถานฯ การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat detector) ควรมีระยะห่างกันไม่เกิน 7.2 เมตร และไม่อยู่ใกล้กันเกิน 5 เมตร อุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke detector) ควรมีระยะห่างกันไม่เกิน 9 เมตร และไม่อยู่ใกล้กันเกิน 6.3 เมตร อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ (Manual station) ต้องมีความสูงจากพื้นระหว่าง 1.20 เมตร ถึง 1.30 เมตรโดยระยะห่างในแต่ละตัวไม่ควรเกิน 60 เมตร ต้องมีหมายเลขบอกโซนอย่างชัดเจนและตำแหน่งที่ติดตั้งควรอยู่ใกล้กับทางหนีไฟมากที่สุด, อุปกรณ์ส่งสัญญาณเตือนเมื่อเกิดเหตุ (Alarm bell) โดยระดับความดังของเสียงสัญญาณต้องดังมากกว่าเสียงโดยรอบ 15 เดซิเบล เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 1 นาที และในแต่ละจุดที่ติดตั้งต้องดังไม่น้อยกว่า 70 ถึง 120 เดซิเบล

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ตารางที่ 4 การติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้โดยใช้เทคโนโลยีไร้สายแบบใหม่

ชั้น	สถานที่	WIRELESS SMOKE DETECTOR	WIRELESS MANUAL CALL POINT	AUDIBLE ALARM	ALARM BELL
1	สำนักงานคณะ	12	1	1	2
2	ห้องอบรมสัมมนา	17	1	1	2
3	ห้องคอมพิวเตอร์	19	2	1	2
4	ห้องปฏิบัติการภาค การจัดการอุตสาหกรรม	19	2	1	2
5	ห้องปฏิบัติการ ภาคอิเล็กทรอนิกส์	19	2	1	2
6	ห้องเขียนแบบ	19	2	1	2
7	ห้องเรียน	17	1	1	2
8	คาเฟ่	8	1	1	1
รวมอุปกรณ์ทั้งหมด		130	12	8	15

จากตารางที่ 4 ผลรวมของการติดตั้งอุปกรณ์ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้แบบใหม่ ได้แก่ Wireless smoke detector จำนวน 130 ตัว, Wireless manual call point จำนวน 12 ตัว, Audible Alarm จำนวน 8 ตัวและ Alarm bell จำนวน 15 ตัว

เปรียบเทียบการลงทุนในการปรับเปลี่ยนระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานฯ

ในการปรับปรุงระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ให้เป็นไปตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานฯ มีทั้งการปรับปรุงตามมาตรฐานที่ทางวิศวกรรมสถานฯ แจ้งให้ทำการเพิ่มเติมและการปรับปรุงระบบโดยใช้เทคโนโลยีแบบใหม่ แต่ต้องอยู่ในหลักมาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 5 ข้อมูลงบประมาณในการปรับปรุงระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่เพิ่มเติมจากวิศวกรรมสถานฯ

NO.	DESCRIPTION	COST (BAHT)			
		UNIT PRICE	QTY	UNITE	TOTAL
1	Fire alarm control panel(4 Zone)	110,500	1	Pc.	110,500
2	Smoke detector	1,900	130	Pcs.	24,7000
3	Alarm bell	1,700	15	Pcs.	25,500
4	Conduit pipe	50	600	meters	30,000
5	Zone cable 1.5 sq.mm.	25	1,500	meters	37,500
6	Signal cable 2.5 sq.mm.	32	100	meters	3,200

NO.	DESCRIPTION	COST (BAHT)			
		UNIT PRICE	QTY	UNITE	TOTAL
7	Other Installation equipment	25,000	1	Pc.	25,000
8	Installationcost	230,000	1	job	170,000
TOTAL COST					648,700

ในตารางที่ 5 เป็นการสรุปงบประมาณในการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้แบบเดิมที่ต้องเพิ่มเติมตัวอุปกรณ์ตามข้อกำหนดมาตรฐานของวิศวกรรมสถานฯ ซึ่งค่าใช้จ่ายในด้านอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้งเป็นจำนวน 648,700 บาท

ตารางที่ 6 ข้อมูลงบประมาณในการปรับปรุงระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้โดยใช้เทคโนโลยีระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุตำแหน่งแบบไร้สาย

NO.	DESCRIPTION	COST (BAHT)			
		UNIT PRICE	QTY	UNIT	TOTAL
1	Fire alarm control Panel (6 Loop)	260,000	1	Pc.	260,000
2	Alarm control module	12,000	8	Pcs.	96,000
3	Wireless node	2,800	8	Pcs.	22,400
4	Wireless smoke detector	2,200	130	Pcs.	286,000
5	Wireless manual call point	1,900	12	Pcs.	22,800
6	Audible bell	1,100	8	Pcs.	8,800
7	Alarm bell	1,700	15	Pcs.	25,500
8	Conduit pipe	50	450	meters	22,500
9	Signal cable 2.5 sq.mm.	32	300	meters	9,600
10	Other Installation equipment	16,000	1	Pc.	16,000
11	Installationcost	150,000	1	job	150,000
TOTAL COST					919,600

ตารางที่ 6 เป็นการสรุปงบประมาณในการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้แบบใหม่ชนิดระบุตำแหน่งแบบไร้สายตามข้อกำหนดมาตรฐานของวิศวกรรมสถานฯ ซึ่งค่าใช้จ่ายในด้านอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้งเป็นจำนวน 919,600 บาท

5. สรุปและอภิปราย

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติและงบประมาณ การลงทุนของระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อาคารเรียนสูง 8 ชั้น โดยผู้ศึกษาได้พิจารณาหาระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ แบบแจ้งเหตุเป็นโซนที่ปรับปรุงตามมาตรฐานของ วิศวกรรมสถานฯ ใช้งบประมาณในการปรับปรุงเป็นจำนวน 648,700 บาท และระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุ ตำแหน่งแบบไร้สายที่ได้ถูกต้องตามหลักมาตรฐานของ วิศวกรรมสถานฯ ใช้งบประมาณในการติดตั้งจำนวน 919,600 บาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 70 ของงบการติดตั้ง ระบบแบบเดิมจากการเปรียบเทียบงบประมาณและ รูปแบบการใช้งานของระบบทั้งสองแบบซึ่งผู้ศึกษาได้ เลือกใช้เทคโนโลยีระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ชนิดระบุตำแหน่ง แบบไร้สายไปติดตั้งกับอาคารกรณีศึกษาโดยผลที่ได้ นั้น สามารถลดความเสี่ยงและสร้างความมั่นใจต่อการใช้ระบบ ให้กับผู้ใช้อาคารอีกทั้งสามารถเชื่อมต่อกับระบบควบคุม อาคารอัตโนมัติและทราบจุดที่เกิดเพลิงไหม้ได้

การวิจัยในอนาคต

จากการข้างต้นสามารถนำไปพัฒนาระบบแจ้งเหตุ เพลิงไหม้ ผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้ผู้ใช้ พื้นที่ในอาคารสามารถรับทราบข้อมูลการแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ได้อย่างทันท่วงที

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. (2551). *มาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้*. วิศวกรรมสถาน แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์กรุงเทพ.
- [2] นิเทศ นิมประเสริฐ. (2555). *การตรวจสอบและ ปรับปรุงระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้อัตโนมัติ : กรณีศึกษา อาคารสนั่น เกตุทัต*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์.
- [3] มุกระวี มะตะเรส. (2018). *ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ในอาคาร*. คณะวิทยาการและเทคโนโลยี สารสนเทศมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [4] ลือชัย ทองนิล. (2561). *การออกแบบและติดตั้งระบบ แจ้งเหตุเพลิงไหม้*. กรุงเทพฯ: บริษัทส. เอเชียเพรส จำกัด.
- [5] ศุภชัย สมพานิช. (2016). *คู่มือพัฒนาแอปพลิเคชัน ด้วย Android Studio ฉบับโปรแกรมเมอร์*. นนทบุรี: บริษัทไอทีซีพีริเมียร์ จำกัด.
- [6] Ebubekir Erdem, Karwan M. Muheden Jabbar. (2017). *Design and Implementation of the Mobile Fire Alarm System Using Wireless Sensor Networks*. Erbil-polytechnic-university.
- [7] Gupta, Sarita, Ajay Mudgil, Prashant Bhardwaj, and Mahendra Gupta. (2016). "Design and Development of Automatic Fire Alert System." In *2016 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*, 632-36. IEEE.
- [8] McSheffrey Sr, John J, John J McSheffrey Jr, and Brendan T McSheffrey. (2011). "Remote inspection of emergency equipment stations." In.: *Google Patents*.
- [9] Steven T. Bushby. (2008). *Integrating Fire Alarm Systems with Building Automation and Control Systems*, National. Institute of Standards and Technology.

คุณสมบัติทางวิศวกรรมและโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตปรับปรุงด้วยน้ำยางพารา

Engineering Properties and Microstructure of Para-Rubber

Latex Modified Concrete

พัชรา วงศ์ทอง¹, ศาสตราจารย์ ดร.สุกสันต์ หอพิบูลสุข²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและการบริหารงานก่อสร้าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; patchara.wong@ku.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; suksun@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของน้ำยางพาราที่มีผลต่อกำลังอัดและกำลังดัดกับร้อยละของปริมาณเนื้อยางแห้งต่อปูนซีเมนต์ (r/c) รวมถึงการศึกษาอิทธิพลของน้ำยางพาราที่มีผลต่อความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟตของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราโดยใช้คอนกรีตที่มีปริมาณ r/c ร้อยละ 0 ถึง 5 โดยน้ำหนักใช้อัตราส่วนน้ำต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยางพารามีค่าลดลงเมื่อ w/c และ r/c เพิ่มขึ้นและในอัตราส่วนเดียวกันพบว่าค่ากำลังดัดของคอนกรีตผสมน้ำยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นตาม r/c จนกระทั่งถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้กำลังดัดมีค่าสูงสุดจากนั้นค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ r/c และ w/c ทั้งนี้ในส่วนของการศึกษาอิทธิพลของน้ำยางพาราที่มีผลต่อความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟตของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราพบว่าการนำน้ำยางพารามาผสมในคอนกรีตทำให้เกิดแผ่นฟิล์มเคลือบผิวของมวลรวมและเติมเต็มในช่องว่างระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงส่งผลให้คอนกรีตที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพาราสามารถรับกำลังอัดและกำลังดัดได้สูงกว่าคอนกรีตธรรมดาภายใต้สภาวะการกัดกร่อนจากโซเดียมซัลเฟต

คำสำคัญ : คอนกรีต, น้ำยางพารา, โครงสร้างจุลภาค, กำลังอัด, กำลังดัด

Abstract

This research studies the influence of rubber which affects compressive, flexural strength, and the percentage of dry rubber content on cement(r/c) plus porosity and sodium sulfate tolerance of para-rubber latex modified concrete. The study shows that the compressive strength of modified concrete is reduced when w/c and r/c ratio was increased. Moreover, the longer curing is, the more compressive has gone high. And in the same ratio, we found that the bending strength of modified concrete is also increased while pushing r/c ratio up until reaching the proper ratio that provides the maximum strength. After that, Furthermore, the later study also shows that mixing of latex in concrete that makes the film coating of the aggregate and increase the free space in the hydration reaction process helps reducing the porosity and prevents the infiltration of sodium sulfate into the concrete which leads to the conclusion that concrete that was modified by para-rubber latex can withstand higher compression more than regular concrete under the corrosion from sodium sulfate.

Keywords : Concrete, Para-rubber, Microstructure, Compressive strength, Flexural strength

1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในการสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศไทยเป็นพืชที่มีการส่งออกมากเป็นอันดับสองรองจากการส่งออกข้าวและมีปริมาณในการส่งออกทางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกแต่ในปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราในประเทศไทยมีปัญหาในส่วนของราคายางพาราในประเทศไทยที่ตกต่ำลงอย่างน่าเป็นห่วงหลังเกิดจากอุปทานยางพาราในโลกเพิ่มสูงขึ้นประเทศจีนซึ่งเป็นผู้บริโภคน้ำยางพาราอันดับ 1 ของโลกและเป็นผู้นำเข้ายางพาราอันดับ 1 ของไทยได้มีแนวโน้มที่จะขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราทั้งในและต่างประเทศอาทิกับพม่า ลาว เมียนมาร์ และเวียดนามอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองต่อความต้องการในการใช้ยางพาราในประเทศของตัวเองทำให้มียางพารารอออกมาสู่ตลาดอย่างมากมายบอบบาทของการส่งออกยางพาราจากประเทศไทยในตลาดยางพาราโลกจึงลดลง

น้ำยางพาราที่กรี๊ดได้จากต้นยางจะเรียกว่าน้ำยางสดซึ่งเป็นน้ำยางพาราที่ได้จากต้นยางลักษณะเป็นเม็ดยางเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำมีลักษณะของน้ำยางพาราไว้วางมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวมีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 pH 6.5-7 โดยน้ำยางพาราจะมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร[1]

ส่วนประกอบในน้ำยางสดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่เป็นน้ำยางสดซึ่งน้ำยางสดจะสามารถคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมงเนื่องจากแบคทีเรียในอากาศและจากเปลือกของต้นยางขณะกรี๊ดยางจะลงไปปนน้ำยางพาราและกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยางพารา เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหารคือจะเกิดการย่อยสลายได้เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน เกิดการบูดเน่าและส่งผลเหม็น การที่มีกรดที่ระเหยง่ายในน้ำยางพาราที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางพาราเปลี่ยนแปลงมีค่าที่ลดลง ดังนั้น

เพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางพาราจึงต้องมีการใส่สารเคมีลงไปเพื่อเก็บรักษาน้ำยางพาราให้คงสภาพเป็นของเหลวโดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางพาราเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนียโซเดียมซัลไฟด์ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้นเพื่อที่รักษาน้ำยางพาราไม่ให้เสียสูญเสียสภาพ [4]

ในงานด้านวิศวกรรมการนำน้ำยางพาราหรือน้ำยางธรรมชาติมาประยุกต์ใช้กับงานคอนกรีตถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับยางพาราของประเทศไทยได้ซึ่งน้ำยางธรรมชาติจะมีความยืดหยุ่นและความเหนียวคล้ายกับซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) ดังนั้นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการก่อสร้างก็จะสามารถพัฒนาเป็นคอนกรีตผสมยางพาราโดยใช้สำหรับงานชั้นพื้นทางการทำถนนการซ่อมแซมถนนเป็นต้นชี้ให้เห็นว่าการใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณยางแห้ง (Dry rubber content) ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์เพิ่มความเหนียว (Ductility) ของคอนกรีตได้โดยไม่ทำให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมน้ำยางพาราซึ่งการนำน้ำยางพารามาผสมกับคอนกรีตก็จะสามารถชี้ให้เห็นถึงการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราที่มีส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับคอนกรีตได้จากผลการวิจัยที่ผ่านมาได้การศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราและการพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่งน้ำชลประทานผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำยางพาราผสมคอนกรีต (Concrete) หรือมอร์ต้า (Mortar) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้มีการป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดีและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตและมอร์ต้ามีค่าสูงกว่ามาตรฐาน [2]

[3] ได้ศึกษาหาเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตผสมน้ำยางพาราจะมีกำลังอัดลดลงประมาณร้อยละ 60 และเมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้นการรับกำลังอัดของคอนกรีต

มีแนวโน้มลดลงสำหรับค่ากำลังตัดพบว่าลดลงประมาณร้อยละ 10 เมื่อสัดส่วนยางพาราต่อซีเมนต์ (P/C) ที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตผสมน้ำยางพาราจะมีค่ากำลังตัดสูงกว่าคอนกรีตปกติเนื่องจากอนุภาคน้ำยางพาราเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์มที่แข็งแรงขึ้นการใช้งานของคอนกรีตผสมน้ำยางยังไมเหมาะกับการใช้งานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมากแต่อาจเหมาะกับงานซ่อมแซมหรือเหมาะกับงานคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อนับที่มีการรับแรงอัดไม่มาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาคูณสมบัติทางวิศวกรรมและโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตปรับปรุงด้วยน้ำยางพาราเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกำลังตัดความพรุนและความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟตของคอนกรีตผสมยางพารากับร้อยละของน้ำยางพารา โดยตัวอย่างคอนกรีตที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ซึ่งใช้ปริมาณน้ำยางชั้นในปริมาณร้อยละที่กำหนดของน้ำหนักปูนซีเมนต์และกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) รวมถึงระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตทั้งนี้จะทำการศึกษาโครงสร้างภายในของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราด้วยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบจุลภาค (Microstructure analysis) แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดสอบ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังตัดกับร้อยละของน้ำยางพารา
2. เพื่อศึกษาความพรุนและความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟตของคอนกรีตผสมยางพาราด้วยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบจุลภาค

3. วิธีดำเนินการวิจัย

แนวทางการศึกษาวิจัย

ส่วนที่ 1 การศึกษาคูณสมบัติทางวิศวกรรม โดยการนำตัวอย่างคอนกรีตผสมน้ำยางพารามาทดสอบกำลังอัดและทดสอบกำลังรับแรงดัด

ส่วนที่ 2 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตปรับปรุงด้วยน้ำยางพารา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy: SEM)
2. เครื่องวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer: EDS)
3. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffract meter:XRD) โดยการนำรังสีเอ็กซ์ (X-ray) มาใช้วิเคราะห์โครงสร้างผลึกและระบุชนิดสารประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่างทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative)
4. เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและความพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzer)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การทดสอบคูณสมบัติทางวิศวกรรมและการทดสอบคูณสมบัติทางเคมีเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกำลังตัดความพรุนและความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟตของคอนกรีตผสมยางพารากับร้อยละของน้ำยางพารา โดยตัวอย่างคอนกรีตที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ซึ่งใช้ปริมาณน้ำยางชั้นในปริมาณร้อยละที่กำหนดของน้ำหนักปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 การทดสอบคูณสมบัติทางวิศวกรรม และส่วนที่ 2 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1 การทดสอบคูณสมบัติทางวิศวกรรมและความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟล เป็นการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตผสมน้ำยางพารา ที่มีปริมาณ DRC = 60 ร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0 และ 5.0 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์และ w/c เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน ตามระยะเวลาของอายุบ่ม คือ ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน (ส่วนที่ 1) และที่อายุบ่ม 28, 60, 80, และ 90 วัน (ส่วนที่2)
2. ทดสอบกำลังรับแรงอัด
3. ทดสอบกำลังรับแรงดัด

4. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังดัดกับร้อยละของน้ำยางพารา

5. การทดสอบความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)

ส่วนที่ 2 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค
ด้วยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบจุลภาค (Microstructure analysis) โดยมีเครื่องมือดังนี้

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy: SEM)

2. การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer: EDS)

3. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffract meter: XRD)

4. เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและความพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzer)

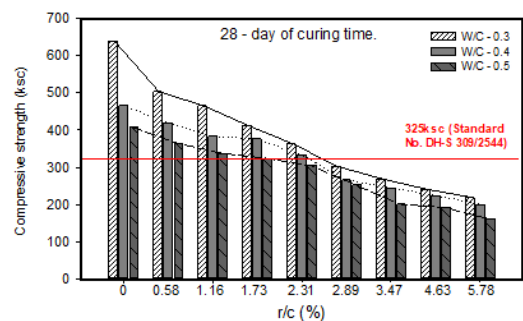
4. ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษาวิจัยสามารถรายงานผลได้โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามขั้นตอนการดำเนินการงานวิจัย

4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมและความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟต กำหนดสัดส่วนในปริมาตร 1:2:3 (ซีเมนต์: ทราย: หิน) โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 สำหรับวัสดุมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจะกำหนดให้ใช้ในสถานะอิมัลชันแห้ง (SSD) และเตรียมตัวอย่างโดยใช้ปริมาณน้ำยาง Preblend ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (r/c) ร้อยละ 0, 0.58, 1.16, 1.73, 2.31, 2.89, 3.47, 4.63 และ 5.78 และอัตราส่วนน้ำต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 ซึ่งใช้วิธีการบ่มโดยการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 28 วันมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

1) **ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา** จากผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดสูงสุดของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุบ่ม 28 วัน อยู่ที่อัตราส่วน r/c ร้อยละ 0 โดยมีกำลังอัดเท่ากับ 639.46, 466.72 และ 407.67 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรสำหรับอัตราส่วน w/c

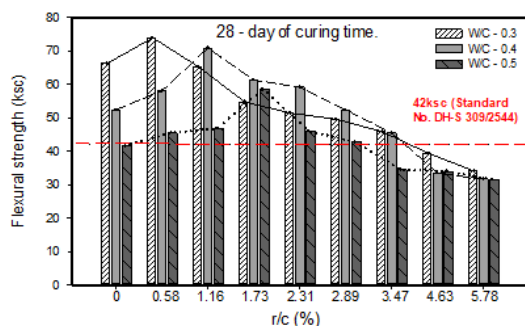
เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับและกำลังอัดต่ำสุดที่อัตราส่วน r/c ร้อยละ 5.78 โดยที่กำลังอัดเท่ากับ 322.15, 209.97 และ 179.07 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรสำหรับอัตราส่วน w/c เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่ากำลังอัดลดลงเมื่ออัตราส่วน w/c และ r/c เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุบ่ม 7 และ 14 วันและเมื่อพิจารณาอิทธิพลของอายุการบ่มที่ใช้สำหรับการทดสอบต่อกำลังอัดของคอนกรีตพบว่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่มที่เพิ่มมากขึ้นการลดลงของกำลังอัดเมื่ออัตราส่วน r/c เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] ซึ่งได้ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติคอนกรีตด้วยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พบว่าเมื่อผสม PVA กับคอนกรีตจะส่งผลให้เกิดแผ่นฟิล์มแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเนื่องจากการกระจายตัวของ PVA ซึ่งขัดขวางการดูดซึมน้ำสำหรับกระบวนการไฮเดรชันของคอนกรีตดังนั้นอัตราส่วน PVA ต่อปูนซีเมนต์ที่สูงขึ้นจะมีผลต่อการก่อตัวระยะต้นและการก่อตัวระยะปลายของคอนกรีตล่าช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสม PVA จึงส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสม PVA ลดลง



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive strength กับ r/c ที่อายุการบ่ม 28 วัน

2) **ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา** จากผลการทดสอบเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วน w/c เดียวกันพบว่ากำลังดัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน r/c จนกระทั่งถึงอัตราส่วน r/c เหมาะสมที่ทำให้กำลังดัดมีค่าสูงสุดจากนั้นกำลังดัดมีค่า

ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน r/c สำหรับอัตราส่วน w/c เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 จะมีค่ากำลังดัดสูงสุดที่อัตราส่วน r/c ร้อยละ 0.58, 1.16 และ 1.73 ตามลำดับ จะเห็นว่าอัตราส่วน r/c ที่เหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน w/c ที่สูงขึ้นและพบว่าการใช้ยางชันที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์สามารถเพิ่มกำลังดัดของคอนกรีตได้



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Flexural strength กับ r/c ที่อายุการบ่ม 28 วัน

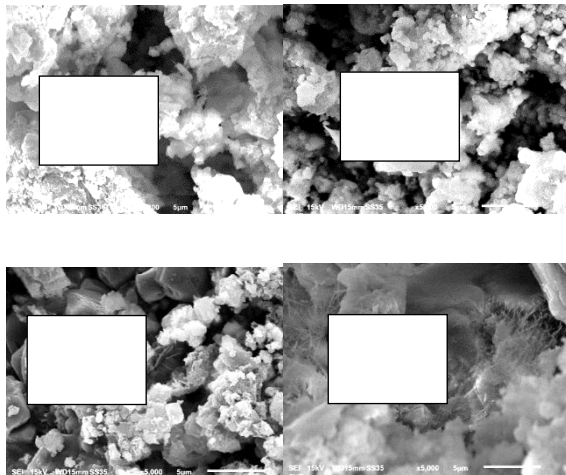
3) การทดสอบความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) การทดสอบความทนทานต่อโซเดียมซัลเฟตของตัวอย่างคอนกรีตผสมน้ำยาง preblend โดยการบ่มตัวอย่างคอนกรีตในน้ำธรรมชาติเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นบ่มตัวอย่างในสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักน้ำแล้วจึงทำการทดสอบกำลังอัดและกำลังดัดหลังจากบ่มตัวอย่างในสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่ระยะเวลา 7, 30, 60 และ 120 วันผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างที่บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟตเปรียบเทียบกับผลทดสอบตัวอย่างที่บ่มในน้ำธรรมชาติที่ระยะเวลา 28 วันที่มีอัตราส่วน w/c เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 แสดงดังรูปที่ 4.12(a) ถึง 4.12(c) ตามลำดับจากผลการทดสอบพบว่าที่อัตราส่วน w/c เดียวกันเมื่อพิจารณาที่อายุบ่มเดียวกันค่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วน r/c ที่เพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามที่อัตราส่วน r/c ร้อยละ 1.73, 2.31, 2.89 3.41, 4.73 และ 5.78 ที่อายุบ่มในโซเดียมซัลเฟต 7 และ 30 วัน ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและ

ลดต่ำลงที่อายุบ่ม 60 และ 120 วัน ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากโซเดียมซัลเฟตได้เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน r/c ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับ [5] การศึกษากำลังอัดคอนกรีตผสมน้ำยางพาราในสภาวะที่บ่มด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 5.0 ของน้ำหนักน้ำ ณ ระยะเวลาการบ่มในโซเดียมซัลเฟต 7, 28 และ 56 วันซึ่งพบว่าการผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตทำให้เกิดแผ่นฟิล์มเคลือบผิวของมวลรวมและเติมเต็มในช่องว่างระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งแผ่นฟิล์มดังกล่าวสามารถป้องกันการแทรกซึมของโซเดียมซัลเฟตเข้าสู่โครงสร้างภายในคอนกรีตส่งผลให้คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าคอนกรีตธรรมดาภายใต้สภาวะการกัดกร่อนเนื่องจากโซเดียมซัลเฟต

นอกจากนี้ยังพบว่าการสูญเสียกำลังอัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วน w/c สูงขึ้นหรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราส่วน w/c และอัตราส่วน r/c มีผลโดยตรงต่อความทนทานต่อการกัดกร่อนของโซเดียมซัลเฟตโดยที่คอนกรีตที่มีอัตราส่วน r/c สูงและอัตราส่วน w/c ต่ำสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากโซเดียมซัลเฟตได้ดี

4.2 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค ด้วยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบจุลภาค (Microstructure analysis) โดยมีเครื่องมือดังนี้

1) การวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากผลการวิเคราะห์ SEM สามารถสังเกตเห็นได้ว่ายางพาราทำหน้าที่อุดช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุส่งผลให้ปริมาณช่องว่างลดลงและพบว่าการร้อยละการลดลงของกำลังอัดและกำลังดัดเนื่องจากผลของสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่อนุภาคของยางพาราไปอุดช่องว่างที่ต่อเนื่องกันในเนื้อของวัสดุส่งผลให้ความสามารถในการไหลซึมผ่านลดลง



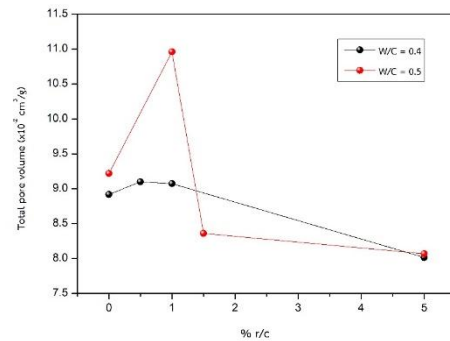
ภาพที่ 3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของคอนกรีตที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพารา (r/c ratio) (a) 0% (b) 1% (c) 1.5% และ (d) 5% (w/c = 0.5)

2) การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) พบว่าองค์ประกอบของคาร์บอนซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของยางพารา ณ ตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์ EDS มีค่าใกล้เคียงกันทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุภาคของยางพารามีขนาดเล็กมากและไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แน่ชัดในการวิเคราะห์ EDS ได้เพื่อเข้าใจถึงกลไกของอนุภาคยางพาราปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตมากขึ้นผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และปริมาณความพรุนจะรายงานในหัวข้อถัดไป

3) การวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffract meter: XRD) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์สังเกตได้จากรูปแบบของสารประกอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากการทดสอบ XRD สามารถสรุปได้ว่าอนุภาคยางพาราทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่ง (Filler Material) ซึ่งมีหน้าที่หน่วงการแพร่กระจายของอนุภาคของซีเมนต์เพสต์

4) การวิเคราะห์ความพรุน (Pore Size Analyzer) ผลการวิเคราะห์ความพรุนของตัวอย่าง พบว่าปริมาณช่องว่างของวัสดุมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วน r/c เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่แสดงในรูปที่ 4.31

จากผลการวิเคราะห์ทางโครงสร้างจุลภาคสามารถสรุปได้ว่าอนุภาคยางพาราเป็นสารเติมแต่งทำหน้าที่อุดช่องว่างระหว่างอนุภาคของซีเมนต์ส่งผลให้วัสดุมีความทึบน้ำและสามารถต้านทานซัลเฟตได้ดีขึ้น



ภาพที่ 4 ปริมาตรของรูพรุน (total pore volume) ของคอนกรีตที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางพารา

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษากำลัลดัดและกำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราบ่มในน้ำและสารละลายโซเดียมซัลเฟต การทดสอบกำลังอัดและกำลังดัดทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างคอนกรีตผสมน้ำยางพาราเพื่อศึกษาและอธิบายกลไกและหน้าที่ของอนุภาคยางพาราในโครงสร้างของคอนกรีตจากผลการทดสอบและวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ที่อัตราส่วน w/c และอายุบ่มเดียวกันค่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลงตาม r/c ที่เพิ่มขึ้นสำหรับอิทธิพลของ w/c ต่อกำลังอัดพบว่ากำลังอัดมีค่าลดลงเมื่อ w/c เพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาอิทธิพลของอายุการบ่มที่ใช้สำหรับการทดสอบต่อกำลังอัดของคอนกรีตพบว่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่มที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งการลดลงของกำลังอัดเมื่อ r/c เพิ่มขึ้นเนื่องจากการผสมยางพาราอนุภาคยางทำให้เกิดแผ่นฟิล์มแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตและขัดขวางการดูดซึมน้ำสำหรับกระบวนการไฮเดรชันของคอนกรีต

(2) พิจารณาที่อัตราส่วน w/c เดียวกันพบว่ากำลังดัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน r/c จนกระทั่งถึงอัตราส่วน r/c เหมาะสมที่ทำให้กำลังดัดมีค่าสูงสุดจากนั้น

กำลังตัดมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน r/c สำหรับอัตราส่วน w/c เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 จะมีค่ากำลังตัดสูงสุดที่อัตราส่วน r/c ร้อยละ 0.58, 1.16 และ 1.73 ตามลำดับจะเห็นว่า r/c ที่เหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้นตาม w/c ที่สูงขึ้น

(3) คอนกรีตผสมน้ำยางพาราสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนจากโซเดียมซัลเฟตได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดาเมื่ออัตราส่วน r/c เพิ่มขึ้นความสามารถในการต้านซัลเฟตเพิ่มขึ้น

(4) ทางจุลภาคสามารถสรุปได้ว่าอนุภาคยางไม่ได้มีกลไกที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งอนุภาคยางทำหน้าที่เติมเต็มช่องว่างที่อยู่ภายในคอนกรีตทำให้คอนกรีตผสมน้ำยางพารามีความแข็งแรงมากขึ้นและสามารถต้านทานซัลเฟตได้ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาในอนาคตควรศึกษาประเภทของน้ำยางพาราที่นอกเหนือจากน้ำยางธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพศึกษาโครงสร้างจุลภาคของน้ำยางพารารวมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดเช่นการหาสารผสมเพิ่มเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างน้ำยางพารากับคอนกรีตหรืออิทธิพลของการเพิ่มอุณหภูมิในการบ่มที่มีผลกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศ.ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข, ดร. อภิชาติ สุดดีพงษ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐชัย โปรงมณี, ดร.ฤทัยทิพย์ วิเศษศรี ที่ให้การช่วยเหลืองานวิจัยคล่องไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์ธร แซ่อูย. (2547). ยาง : ชนิดสมบัติและการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

- [2] พีรวัฒน์ ปลาเงิน, ชวน จันทวาลย์, สมพร พิบูลย์ และฐกมลพัศ เจนจิวัฒนกุล. (2559). รายงานกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยการถ่ายทอดเทคโนโลยีประยุกต์ใช้น้ำยางพาราในงานบำรุงรักษาระบบชลประทาน. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- [3] สิทธิชัย ศิริพันธุ์, พัทธ์ชัย บุญนุ่น. (2548). กิจการโลหะและอนุรักษ์กำเนิดว่า การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต. (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [4] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. (2547). การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- [5] Ismail M., Bala M., Nur Aiza M. (2009). "Durability performance of natural rubber latex modified concrete", *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 21(2), 195-203.
- [6] Yaowarat, T., Horpibulsuk, S., Arulrajah, A., Mirzababaei, M., and A Rashid, A. S. (2018). Compressive and flexural strength of polyvinyl alcohol-modified pavement concrete using recycled concrete aggregates, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(4), 04018046.

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

The Design and Develop of Electric Towing for Wheelchair

อรุณรักษ์ ตันพานิช^{1*}, พัชรินทร์ บุญนุ่น² และทักษิณสุริยา หมาดสะ³

Aroonrak Tunpanit^{1*}, Patcharin Bunnoon² and Taksuriya Madsa³

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาลัยรัตนภูมิ

aronrak.t@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่องการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงรถเข็นสำหรับผู้สูงอายุ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ 2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างคือ ผู้ทดลองใช้อุปกรณ์ วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบด้วยทฤษฎีแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นและสร้างนวัตกรรม การออกแบบด้วยโปรแกรมพาเวอร์พอยท์และอโดบี โฟโตชอป สามมิติ เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ จากนั้นไปประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน และแบบประเมินความพึงพอใจต่อผู้ที่ได้ทดลองใช้อุปกรณ์ จำนวน 20 คน สถิติที่ใช้ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลพัฒนาอุปกรณ์พบว่า ด้านโครงสร้าง มีประสิทธิภาพในระดับมาก ($\bar{X} = 4.12$, S.D. = 0.09) และด้านการออกแบบมีความเหมาะสม ประสิทธิภาพในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$, S.D. = 0.55) ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ทดลองใช้อุปกรณ์ด้านการนำอุปกรณ์ไปใช้ประโยชน์อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.07$, S.D. = 0.11)

คำสำคัญ : การออกแบบและพัฒนา, รถนั่งคนพิการ, ระบบไฟฟ้า

Abstract

This article is part of a research paper on the design and development of wheelchair towing equipment for the elderly. The purpose of this research was to 1. To design and develop electric towing equipment for disabled vehicles 2. To assess the efficiency and satisfaction of electric towing equipment for wheelchair. In which the sample group is the people who test the equipment Simple sampling method Tool used in design theory, problem solving, invention and creation of innovation. The designing with Power point and Adobe Photoshop 3D Programs to Develop Electric Vehicle Towing Devices for People with Disabilities The efficiency was assessed by 5 experts and a satisfaction assessment of 20 people who tested the device. The statistics used were mean, percentage and standard deviation. The development of the device was found that Structural aspect It was effective at a high level ($\bar{X} = 4.12$, SD = 0.09), and the design was suitable, at a high level of efficiency ($\bar{X} = 4.44$, SD = 0.55). To be utilized at a high level ($\bar{X} = 4.07$, SD = 0.11)

Keywords : Design and development, Wheelchair, Electric system

1. บทนำ

ผู้สูงอายุและผู้พิการเป็นกลุ่มที่ต้องดูแลสุขภาพอย่างใกล้ชิด เนื่องจากปัจจัยทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้การเคลื่อนไหวไม่คล่องตัว รวมถึงการควบคุมระบบประสาทและกล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากไม่ได้รับการดูแลอาจส่งผลให้สมรรถนะการเคลื่อนไหวบกพร่องทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถช่วยให้ผู้สูงอายุหรือผู้พิการสามารถเคลื่อนไหวเพื่อให้ดำรงชีวิตประจำวันได้ด้วยตนเอง ซึ่งอุปกรณ์รถนั่งคนพิการเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยสามารถฟื้นฟูร่างกายและจิตใจกับคนในครอบครัวได้ โดยสามารถแบ่งเป็นประเภทรถนั่งคนพิการแบบไฟฟ้าและรถนั่งคนพิการที่ขับเคลื่อนด้วยกำลังแขน [8] ซึ่งองค์การสหประชาชาติได้กำหนดกฎ Standard Rules on the Equalization of Opportunities for Persons with Disabilities, the Convention on the Rights of Persons with Disabilities and World Health Assembly resolution WHA58.23 ซึ่งเกี่ยวข้องกับผู้สูงอายุและผู้พิการด้านการป้องกันและฟื้นฟูสมรรถภาพให้มีความสำคัญของรถนั่งคนพิการและอุปกรณ์ช่วยต่าง ๆ เพื่อให้เคลื่อนไหวได้ตามความสามารถในการช่วยเหลือตนเอง [6] และสอดคล้องกับอนุสัญญาว่าด้วยสิทธิของคนพิการ หมวด 20 เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของบุคคลเพื่อให้คนพิการสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างเป็นอิสระมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ คนพิการสามารถเคลื่อนย้ายตัวเข้าและออกด้วยตนเองหรือสมาชิกครอบครัวช่วยเหลือส่งเสริมให้ผู้ใช้อุปกรณ์คนพิการมีสถานที่อำนวยความสะดวกจัดเตรียมสำหรับคนพิการและใช้ชีวิตในสังคมได้อย่างปกติ [5]

จากสถิติของกรมส่งเสริมพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ ปีพุทธศักราช 2560 ได้สรุปจำนวนสถิติ คนพิการที่ได้รับการออกบัตรประจำตัวจำนวน 1,756,849 คน คิดเป็นร้อยละ 2.66 ของประชากรทั้งประเทศแบ่งเป็น เพศชายจำนวน 928,594 คน คิดเป็นร้อยละ 52.86 และเพศหญิงจำนวน 828,255 คน คิดเป็น ร้อยละ 47.14 รวมถึงผลการสำรวจของสถาบัน สิริธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติพบว่าคนพิการที่ใช้อุปกรณ์นั่งมีจำนวน

61,944 คน เมื่อรวมประชากรผู้สูงอายุที่มีปัญหาด้านสุขภาพที่ส่งผลให้เคลื่อนไหวร่างกายไม่สะดวกและต้องใช้รถนั่งคนพิการเพื่อช่วยในการเคลื่อนไหวร่างกาย จึงทำให้จำนวนผู้ใช้อุปกรณ์คนพิการมีจำนวนเพิ่มขึ้น [1] ซึ่งผู้พิการจะต้องมีผู้ดูแลในการเข็นเพื่อเคลื่อนที่ หากอยู่เพียงลำพังและเป็นผู้พิการที่กำลังแขนไม่ดีจึงยากต่อการเคลื่อนที่ [4] จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีจัดตั้งเป็น ศูนย์ผลิตกายอุปกรณ์ เครื่องช่วยความพิการ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา ซึ่งได้ทำความร่วมมือสำหรับบูรณาการกับสมาคมคนพิการจังหวัดสงขลาในการผลิตกายอุปกรณ์เครื่องช่วยความพิการตอบสนองต่อนโยบายของจังหวัดสงขลาที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [3] สามารถเข้าถึงอุปกรณ์สำหรับการฟื้นฟูสมรรถภาพผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงสามารถเพิ่มหรือคงระดับความสามารถในการดำรงชีวิตประจำวันหรือเข้าร่วมกิจกรรมทางสังคมได้อย่างปกติ

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงด้วยระบบไฟฟ้าสำหรับรถดประกอบกับรถนั่งคนพิการ โดยการนำทฤษฎีแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นและสร้างนวัตกรรม (TRIZ) [2] สำหรับคัดเลือกคุณสมบัติที่มีประโยชน์และลดความเสี่ยงที่เปลี่ยนที่เป็นโทษรวมถึงสังเคราะห์วิธีการพัฒนาที่ต้นทุนต่ำโดยคำนึงความปลอดภัยและตอบสนองต่อศูนย์ผลิตกายอุปกรณ์ เครื่องช่วยความพิการ สำหรับพัฒนาเป็นอุปกรณ์ลากจูงรถนั่งคนพิการโดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเป็นอุปกรณ์ทางเลือกสำหรับผู้พิการสามารถขับเคลื่อนรถนั่งคนพิการด้วยระบบระบบไฟฟ้า

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรคือ ผู้เข้าร่วมทดลองใช้อุปกรณ์นั่งคนพิการ กลุ่มตัวอย่างคือ ผู้สูงอายุที่ใช้รถนั่งคนพิการที่ได้ทดลองใช้ จากการสุ่มแบบไม่ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Non-probability Sampling) โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Convenience Sampling) จำนวน 20 คน

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น คือ อุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

ตัวแปรตาม คือ ผลประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม (TRIZ) สำหรับออกแบบด้วยโปรแกรม Power Point และโปรแกรม Adobe Photoshop 3D สำหรับประเมินผลความรู้หลังการอบรม

2. แบบประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และแบบประเมินความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ จากผู้สูงอายุจากศูนย์ผลิตกายอุปกรณ์เครื่องช่วยความพิการ จังหวัดสงขลาจำนวน 20 คน

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ประกอบด้วย ระยะที่ 1 ด้านการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการและระยะที่ 2 ด้านการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อ

อุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ตอนที่ 1 ด้านการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษารูปแบบรถนั่งคนพิการและอุปกรณ์เสริม

2. ใช้หลักแนวคิดทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม (TRIZ)

จากการวิเคราะห์ความขัดแย้งกัน (Contradiction) ผู้วิจัยใช้ทฤษฎี TRIZ ของ Altshuller [2] สำหรับการค้นหาวิธีแก้ปัญหา โดยอาศัย 40 หลักการพื้นฐานและ (40 Fundamental inventive principles) เพื่อลดความขัดแย้งกัน (Contradiction) สำหรับการออกแบบและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ เพื่อกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ตรงกันข้ามกัน โดยอาศัย 39 ตัวแปร (39 Engineering Parameters) ดังตารางที่ 1

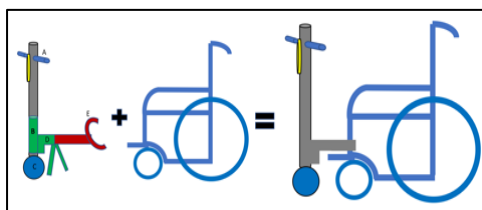
ตารางที่ 1 การแก้ไขความขัดแย้งทางเทคนิค

ผลกระทบที่ไม่ต้องการ	รูปแบบที่ ต้องการ เปลี่ยนแปลง	1. น้ำหนักของวัตถุเคลื่อนที่	**	4. พื้นที่ของวัตถุเคลื่อนที่	**	40. ผลผลิต
1. น้ำหนักของวัตถุเคลื่อนที่						
**						
19. พลังงานกับวัตถุที่เคลื่อนที่				4 19		
**						
39. ผลผลิต						

จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยจึงกำหนดคุณลักษณะที่เป็นประโยชน์และคุณลักษณะที่ต้องการเปลี่ยนแปลง โดยแสดงเป็นตารางสำหรับแก้ไขปัญหาคัดแย้งทางเทคนิค โดยกำหนดคุณลักษณะที่เป็นประโยชน์กำหนดตัวแปรเสริมของ Altshuller ข้อที่ 4 พื้นที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่และคุณลักษณะที่ต้องการเปลี่ยน (ความขัดแย้ง) ข้อที่ 19 พลังงานกับวัตถุที่เคลื่อนที่

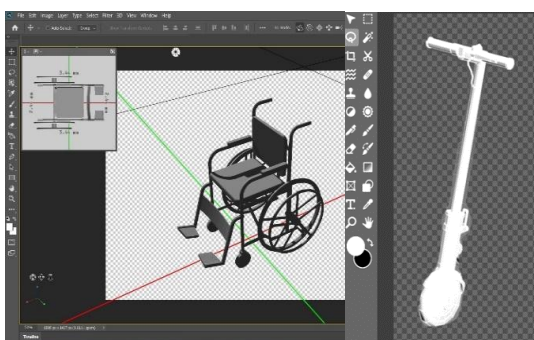
3. ออกแบบพัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Power Point และโปรแกรม Photoshop

ผู้วิจัยได้ออกแบบโดยใช้ภาพวาดเพื่อให้สะดวกต่อการกำหนดรูปแบบที่สอดคล้องกัน



ภาพที่ 1 การออกแบบอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการด้วยโปรแกรม Power Point

เมื่อได้รูปแบบที่ชัดเจน จึงได้กำหนดขนาดของอุปกรณ์โดยเขียนภาพจำลองด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop เป็นภาพ 3 มิติเพื่อสะดวกต่อการแก้ไขผ่านแบบจำลอง



ภาพที่ 2 การสร้างแบบจำลอง 3 มิติอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

4. พัฒนาอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

การพัฒนาอุปกรณ์ประกอบด้วยรถนั่งคนพิการและตัวเครื่องสเกเตอร์โดยมีอุปกรณ์เพิ่มเติมดังรายการต่อไปนี้

4.1 แกนเหล็กกลมขนาด 2 นิ้ว เพื่อเป็นแกนกลาง

4.2 เหล็กแผ่นประกบด้านข้างเพื่อป้องกัน

การโยกขณะขับเคลื่อน

4.3 แกนปลดเร็วสำหรับประกอบตัวสเกเตอร์

กับรถนั่งคนพิการ

4.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากำลัง 250 วัตต์และอุปกรณ์ขับเคลื่อนพร้อมระบบเบรกไฟฟ้า

4.5 แบตเตอรี่ไฟฟ้าแบบลิเทียมไอออน 18650 แบบกลมจำนวน 6 ก้อน กำลังไฟ 10.4AH

5. ทดสอบอุปกรณ์

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบกับผู้สูงอายุที่มาใช้บริการ ณ ศูนย์ผลิตกายอุปกรณ์เครื่องช่วยความพิการ จังหวัดสงขลา ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป โดยคำนึงถึงความสะดวกในด้านการใช้งานสำหรับถอด-ประกอบอุปกรณ์ลากจูงรถนั่งคนพิการ และผู้ที่มีน้ำหนักมากกว่า 100 กิโลกรัม เพื่อทดสอบแรงดึง-แรงดันของอุปกรณ์



ภาพที่ 3 การประกอบและทดลองขับอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

6. การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ ต่ออุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

สำหรับเครื่องมือวิจัยได้ผ่านการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านโดยได้รับข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงเกี่ยวกับแรงกดเพื่อให้ขับเคลื่อนได้ง่ายยิ่งขึ้น จากนั้นจึงนำไปประเมินความพึงพอใจจากผู้ให้บริการ ณ ศูนย์ผลิตกายอุปกรณ์เครื่องช่วยความพิการ จังหวัดสงขลา จำนวน 20 คน

ตอนที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ ที่ต่ออุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ

ส่วนที่ 2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพ โดยแบบประเมินแบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ 1. ข้อมูลทั่วไป 2. แบบประเมินประสิทธิภาพ และ 3. ข้อเสนอแนะ โดยสถิติที่ใช้คือค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมินประสิทธิภาพ

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน(คน)	ร้อยละ
เพศชาย	5	100
อาชีพ อาจารย์	5	100
ตำแหน่งทางวิชาการ		
ผู้ช่วยศาสตราจารย์	3	60
อาจารย์	2	40

จากตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมินประสิทธิภาพ เป็นเพศชาย และเป็นอาจารย์ จำนวน 5 คน โดยดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 60 และเป็นอาจารย์ จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 40

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพ

ผลประเมินรายด้าน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
ด้านโครงสร้าง	4.12	0.09	มาก
ด้านการใช้งาน	4.20	0.20	มาก

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพภาพรวม ด้านโครงสร้าง มีประสิทธิภาพในระดับมาก ($\bar{X} = 4.12$, S.D. = 0.09) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า วัสดุอุปกรณ์

ที่ใช้มีความเหมาะสมประสิทธิภาพในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.60$, S.D. = 0.55) รองลงมาคือ ด้านการออกแบบ มีความเหมาะสมประสิทธิภาพในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$, S.D. = 0.55) ส่วนภาพรวมด้านการใช้งาน มีประสิทธิภาพในระดับมาก ($\bar{X} = 4.20$, S.D. = 0.20) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า สามารถถอดประกอบอุปกรณ์ได้อย่างง่ายดายประสิทธิภาพในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.80$, S.D.=0.45) รองรับน้ำหนักผู้ใช้ได้จำนวนมากประสิทธิภาพในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.45)

ส่วนที่ 2.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ที่ทดลองใช้อุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินความพึงพอใจ โดยนำแบบประเมินเพื่อหาความสอดคล้องของข้อคำถาม โดยผู้วิจัยจะเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC มากกว่าหรือเท่ากับ 0.6 และปรับปรุงตามคำถามตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน สำหรับสถิติที่ใช้คือค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษาความพึงพอใจจากผู้ที่ได้ทดลองใช้ จำนวน 20 คน แบบประเมินความพึงพอใจแบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ 1. ข้อมูลทั่วไป 2. แบบประเมินความพึงพอใจ และ 3. ข้อเสนอแนะ โดยแปรผลประเมินความพึงพอใจตามตารางที่ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ที่ได้ทดลองใช้อุปกรณ์ฯ

ข้อมูล	จำนวน(คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	13	65
หญิง	7	35
อายุ		
45-50 ปี	4	20
51-60 ปี	9	45
มากกว่า 60 ปี	7	35
สถานะ		
ผู้สูงอายุ	7	35
ผู้พิการ	10	50
อื่น ๆ	3	15

จากตารางที่ 3 ผู้ทดลองใช้อุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ จำนวน 20 คน เป็นเพศชาย 13 คน หญิง 7 คน โดยช่วงอายุของผู้ใช้ 51-60 ปี มีจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 45 และผู้ทดลองใช้เป็นกลุ่มผู้พิการที่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 50 รองลงมาคือผู้สูงอายุ จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 35 และบุคคลทั่วไปที่ร่วมทดลองจำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 15 ตามลำดับ

โดยผู้วิจัยได้กำหนดแบบประเมินความพึงพอใจ มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ และแบ่งแบบประเมินจำนวน 3 ด้าน ดังผลการประเมินจากตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลประเมินความพึงพอใจผู้ที่ได้ทดลองใช้อุปกรณ์

ผลประเมินความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1.ด้านโครงสร้าง			
1. อุปกรณ์น้ำหนักเบาและมีความเหมาะสม	4.25	0.72	มาก
2. อุปกรณ์มีความแข็งแรง	4.10	0.97	มาก
3. การออกแบบมีความเหมาะสม	4.00	0.73	มาก
4. จัดวางแบตเตอรี่และระบบไฟฟ้ามีความเหมาะสม	3.40	0.75	ปานกลาง
5. วัสดุยึดหยุ่นต่อการใช้งานกับรถนั่งคนพิการที่หลากหลาย	4.60	0.68	มากที่สุด
รวม	4.07	0.11	มาก
2. ด้านการใช้งาน			
6. การถอดประกอบอุปกรณ์สามารถทำได้ง่ายตาย	4.70	0.47	มากที่สุด
7. สามารถรองรับน้ำหนักผู้ใช้ได้จำนวนมาก	3.95	0.69	มาก
8. อุปกรณ์มีความปลอดภัยสำหรับใช้งาน	4.00	0.73	มาก

ผลประเมินความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
9. ง่ายต่อการบำรุงรักษา	3.75	0.55	มาก
10. ความสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายเพื่อใช้งาน	4.00	0.82	มาก
รวม	4.08	0.14	มาก
3. ด้านการนำอุปกรณ์ไปใช้ประโยชน์			
11. อุปกรณ์มีความเหมาะสมต่อการเรียนรู้และบำรุงรักษาด้วยตนเอง	3.97	0.76	มาก
12. อุปกรณ์สามารถนำไปใช้งานได้จริง	4.45	0.60	มาก
รวม	4.04	0.13	มาก

จากตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อผู้ที่ได้ทดลองใช้อุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการพบว่า ด้านโครงสร้าง ในภาพรวมแสดงให้เห็นว่าผู้เข้าทดลองใช้อุปกรณ์มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.07$, S.D. = 0.11) โดยผลประเมินที่มีคะแนนสูงสุดคือ วัสดุยึดหยุ่นต่อการใช้งานกับรถนั่งคนพิการที่หลากหลาย มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.60$, S.D. = 0.68) ด้านการใช้งาน ในภาพรวมมีระดับความพึงพอใจ โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.04$, S.D. = 0.13) โดยผลประเมินที่มีคะแนนสูงสุดคือ การถอดประกอบอุปกรณ์สามารถทำได้ง่ายตายมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.70$, S.D. = 0.47) และด้านการนำอุปกรณ์ไปใช้ประโยชน์ ในภาพรวมมีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.07$, S.D. = 0.11) โดยผลประเมินที่มีคะแนนสูงสุดคือ อุปกรณ์สามารถนำไปใช้งานได้จริง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.45$, S.D. = 0.60)

แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ลากจูงระบบไฟฟ้าสำหรับรถนั่งคนพิการ สามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์เสริมสำหรับรถนั่งคนพิการ เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับผู้ที่สามารถช่วยเหลือตนเองเพื่อเดินทางได้ด้วยตนเองในระยะทางสั้น ๆ สามารถเป็นอุปกรณ์เพื่อช่วยเหลือเมื่อมีกำลังแขนอ่อนล้าจากการเข็นรถนั่งคนพิการด้วยตนเอง และประหยัดลด

ค่าใช้จ่ายจากรถนั่งคนพิการระบบไฟฟ้าสอดคล้องกับ [7] Chi-Sheng Cien and etc, 2014. การใช้รถนั่งคนพิการสำหรับบุคคลที่ทุพพลภาพ ทดแทนรถนั่งคนพิการแบบแมนวอลที่มีต้นทุนค่อนข้างต่ำสอดคล้องต่อความต้องการสำหรับการเคลื่อนย้ายตนเองและยังเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปผู้วิจัยควรประยุกต์ระบบพลังงานแสงเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนอุปกรณ์ลากจูงรถนั่งคนพิการ เนื่องจากความสะดวกในการใช้งานลดการชาร์ตไฟฟ้าและเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถหาอุปกรณ์เสริมเพื่อให้เกิดประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ผลิตกายอุปกรณ์เครื่องช่วยความพิการ จังหวัดสงขลา สำหรับอนุเคราะห์สถานที่และบุคลากรกลุ่มผู้สูงอายุและผู้พิการ สำหรับทดสอบอุปกรณ์ฯ และให้ความอนุเคราะห์ประเมินผลความพึงพอใจ อีกทั้งผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือและให้คำแนะนำปรึกษา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตรังษี ที่สนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรศิริ จงกล. (2561). *การวัดและวิเคราะห์สัดส่วนร่างกายของผู้ใช้รถเข็นนั่ง*. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: ทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [2] ธัญญา พลอนันต์, วิเชียร เบญจวัฒนาผล และวัชร ดิสสะมาน. (2554). *TRIZ 40 หลักการสร้างสรรค์นวัตกรรม*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

- [3] สมิตลา ไทมส์. (2563). *วิทยาลัยรัตภูมิ มทร. ศรีวิชัยร่วม ส.คนพิการสงขลา เปิดศูนย์ผลิตสร้างสุขชุมชนผลิตกายอุปกรณ์เครื่องช่วยความพิการ*. จาก <http://www.samilatimes.co.th/?p=62034>
- [4] สาธิตา วีระศิริวัฒนา และมหศักดิ์ เกตุฉ่ำ. (2556). *การพัฒนาหุ่นยนต์วีลแชร์ควบคุมด้วยเสียงผ่านอุปกรณ์ไร้สาย*. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, 28,4(ตุลาคม-ธันวาคม 2561), 17-22.
- [5] ศูนย์สิทธิมนุษยชนเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติ. (2014). *หลักสูตรอบรมการให้บริการรถนั่งคนพิการ*. คู่มือประกอบการอบรมระดับพื้นฐาน, Published by the World Health Organization 2012.
- [6] อนุสัญญาว่าด้วยสิทธิคนพิการขององค์การสหประชาชาติ อนุสัญญาว่าด้วยสิทธิคนพิการขององค์การสหประชาชาติ (The United Nations Convention on the Rights of Persons with a Disability; UNCRPD) ประกาศใช้เมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 (ค.ศ. 2008).
- [7] Chi-Sheng Chien, et al. (2014). Design and development of sola power-assisted manual/ electric Wheelchair. *JRRD*, 51(9), 1411-1426.
- [8] Janssen T.W., van Oers C.A., van der Woude L.H., Hollander AP. (1994). Physical strain in daily life of wheelchair users with spinal cord injuries. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(6), 661-70. Netherlands.

การปรับปรุงอาคารพาณิชย์ให้เป็นโฮมออฟฟิศสู่อาคารคาร์บอนต่ำ
The Renovation of commercial buildings into home offices
to low-carbon buildings

รุจิวรรณ อันสงคราม

Ruchiwan Ansongkhram

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ruchiwan.a@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นต้นแบบการปรับปรุงอาคารพาณิชย์ให้เป็นโฮมออฟฟิศในย่านอื่น ๆ ต่อไป เพื่อเป็นการนำอาคารพาณิชย์โฮมออฟฟิศที่ปรับปรุงแล้วมาวัดค่าการปล่อยค่าคาร์บอนของอาคารพาณิชย์โฮมออฟฟิศ โดยการเลือกอาคารพาณิชย์เก่าที่อยู่ในย่านศูนย์กลางธุรกิจของกรุงเทพฯ หรือ Central Business District (CBD) มาปรับปรุงให้เป็นโฮมออฟฟิศตามหลักการการออกแบบให้เหมาะสม แล้วนำมาคำนวณปริมาณคาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอาคารเท่านั้นจากโปรแกรมเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหaxon) ค่าสรุปปริมาณในการปล่อยการก๊าซเรือนกระจก 5.93 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี จากการศึกษา การวิจัยควรค่าการแสดงผลให้ค่าใกล้เคียงศูนย์หรือเป็นศูนย์จะยิ่งเป็นผลดีกับสิ่งแวดล้อม ควรเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเปรียบเทียบเป็นวัน เดือน หรือปี เพื่อเป็นการตรวจวัดและควบคุมพฤติกรรมเพื่อลดการก๊าซ เรือนกระจกอันเป็นสาเหตุทำให้เกิดโลกร้อน เพื่อความเป็นอยู่ที่ยั่งยืน

คำสำคัญ : การปรับปรุงอาคารพาณิชย์, โฮมออฟฟิศ, คาร์บอนต่ำ, ย่านศูนย์กลางธุรกิจ

Abstract

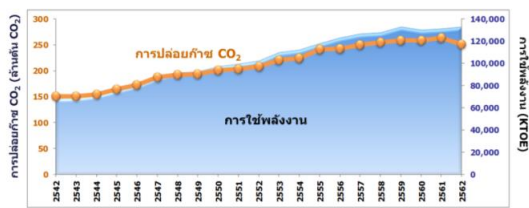
This research aims to be a model for the renovation of a commercial building to be a home office in other areas in the future. To be used to measure the carbon footprint of commercial buildings and home offices to measure the carbon footprint of commercial buildings and home offices. Selecting old commercial buildings in the central business district of Bangkok or Central Business District (CBD). To improve to be a home office according to the design principles to suit And only be used to calculate the amount of carbon in energy consumption in the building From the Carbon Footprint Calculation Tool of the Public Greenhouse Gas Management Organization (Public). From the study, the research should A near zero or zero display value is more beneficial for the environment. The mean of greenhouse gas emissions should be compared by day, month or year to measure and control behavior in order to reduce greenhouse gas emissions that cause global warming. For sustainable living

Keywords : the renovation of a commercial building, home offices, low-carbon buildings, Central Business District (CBD)

1. บทนำ

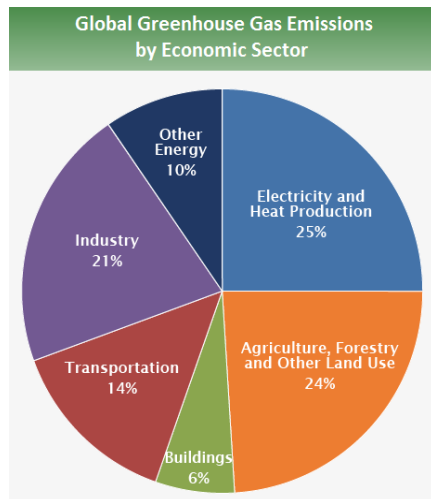
สถานการณ์โลกร้อน เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อหลายด้านในโลก หลายองค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนต่างเล็งเห็นปัญหาและได้ให้ความสำคัญในการลดโลกร้อนลดคาร์บอน หลากหลายวิธี รมรณรงค์การประหยัดพลังงานใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

	2560 (2017)	2561 (2018)	2562 (2019)	(ม.ค.-ธ.ค.) 2562 (2019)	2563 (2020)	การเปลี่ยนแปลง (%)		
การใช้พลังงานของไทย (KTOE)	130,453	131,531	133,056	67,719	62,981	0.8	1.2	-7.0
การปล่อยก๊าซ CO ₂ (ล้านตัน CO ₂)	258.5	263.4	250.6	128.3	113.9	1.9	-4.8	-11.2



รูปที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนและการใช้พลังงานของไทย

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน



รูปที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามภาคส่วนธุรกิจหน่วยร้อยละ

ที่มา : <http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6109/65>

ระบบอุตสาหกรรมการก่อสร้างเองก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน ตั้งแต่ระบบการผลิต มาจนถึงการก่อสร้าง

และการรื้อถอนทำลาย ดังนั้นแล้วหากสามารถลดการผลิตการก่อสร้างได้ ก็จะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ไม่มากนัก

ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง อาคารโดยทั่วไปจะต้องมีการใช้ปูนซีเมนต์ในการก่อสร้าง โดยในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 เมตริกตันหรือ 1 พันกิโลกรัมจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยออกมาราว 1 เมตริกตัน (อ้างอิงจาก <https://www.voathai.com/a/a-47-2009-04-30-voa1-90653639/923227.html>) เพราะฉะนั้นแล้วหากมีการลดการก่อสร้าง ก็จะลดการผลิตซีเมนต์โดยการปรับปรุงอาคารเดิมที่มีอยู่ ให้มีสภาพที่ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์และเหมาะสมเช่น การออกแบบฟังก์ชันของอาคารให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งาน จะช่วยลดปริมาณในการปล่อยคาร์บอนได้

อีกทั้งสมาคมเครือข่ายโกลบอลคอมแพ็กแห่งประเทศไทยได้ระบุไว้ว่า การมุ่งสู่การเป็นองค์กร Zero Carbon หรือองค์กรที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์จึงต้องมีการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้ทราบแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญขององค์กรก่อนนำไปบริหารจัดการและวางแผนลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญต่อไป

ดังนั้นแล้วผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของอาคารเดิมที่มีอยู่และอยู่ในพื้นที่ย่านศูนย์กลางธุรกิจของกรุงเทพฯ หรือ Central Business District (CBD) ที่ควรปรับปรุงมากกว่าการทุบแล้วสร้างใหม่ ด้วยมูลค่าของที่ดินและการลงทุนที่สูง จึงเปลี่ยนแปลง ปรับปรุง สร้างมูลค่าคืนกลับมาแก่องค์กรที่ตอบโจทย์กับย่านธุรกิจได้ โดยปรับปรุงอาคารพาณิชย์เดิมที่เป็นที่อยู่อาศัยมาเปลี่ยนประโยชน์การใช้งานเป็นโฮมออฟฟิศเพราะอาคารประเภทนี้จะมีการใช้งานเกือบทุกวัน ทำให้มีการปล่อยคาร์บอนอยู่ตลอดเวลาหากสามารถออกแบบปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมก็จะช่วยลดปล่อยคาร์บอนได้ และยังสามารเป็นต้นแบบให้กับโฮมออฟฟิศอื่น ๆ ได้ต่อไป จึงได้ทำการทดลองวิจัย การปรับปรุงอาคารพาณิชย์ในย่าน CBD

เป็นโสมออฟฟิศที่มีการปล่อยคาร์บอนต่ำ เพราะเป็นอาคารที่มีการใช้งานตลอดทั้งวัน เพื่อช่วยลดสภาวะโลกร้อน และเป็นต้นแบบให้กับการปรับปรุงอาคารพาณิชย์อื่นๆ ต่อไป เพื่อความเป็นอยู่ที่ยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบปริมาณการปล่อยคาร์บอนในการปรับปรุงอาคารพาณิชย์ให้เป็นโสมออฟฟิศจากโปรแกรมเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน)
2. เพื่อเป็นต้นแบบการปรับปรุงอาคารพาณิชย์ให้เป็นโสมออฟฟิศคาร์บอนต่ำในย่านอื่นๆต่อไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การบูรณาการร่วมกับวิชาการปรับปรุงอาคาร โดยเป็นวิชาที่ผู้วิจัยนำมาให้นักศึกษาทำโปรเจกต์ส่งในรายวิชานั้น โดยศึกษาอาคารพาณิชย์เดิมแล้ววิเคราะห์ปรับปรุงเป็นอาคารโสมออฟฟิศใหม่ แล้วผู้วิจัยนำอาคารดังกล่าวมาวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอน โดยมีสมมติฐานว่า หากสามารถออกแบบปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมก็จะช่วยลดปล่อยคาร์บอนได้

3.1 ปัจจัยในการเลือกที่ตั้ง

3.1.1 เลือกที่ตั้งโครงการ

พื้นที่เขตย่านศูนย์กลางธุรกิจ (CBD) หมายถึงบริเวณใจกลางเมืองกรุงเทพมหานครที่มีกิจกรรมทางสังคมและเศรษฐกิจเป็นอย่างมากทั้งอาคารสำนักงาน ศูนย์รวมสินค้าส่งออกศูนย์รวมห้างสรรพสินค้าชั้นนำ โรงแรมที่พักอีกทั้งการคมนาคมขนส่งที่รองรับได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งปัจจุบันได้ครอบคลุมเขตพื้นที่ต่าง ๆ ดังนี้ คือ เขตปทุมวันเขตสาทรเขตบางรักเขตราชเทวี

3.1.2 เลือกอาคารพาณิชย์

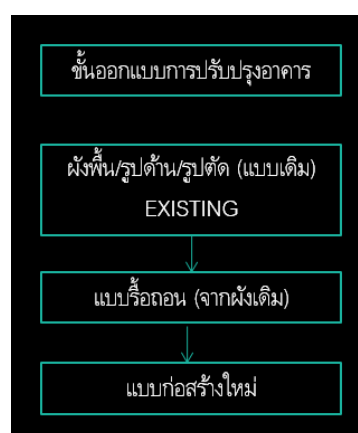
อาคารพาณิชย์หมายถึงอาคารที่ใช้ประโยชน์ในการพาณิชย์หรือบริการธุรกิจหรืออุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตเทียบได้ไม่เกิน 5 แรงม้าและให้ความหมายรวมถึงอาคารอื่นใดที่ก่อสร้าง

ห่างจากถนนหรือทางสาธารณะไม่เกิน 20 เมตร ซึ่งอาจใช้เป็นอาคารเพื่อประโยชน์ในการพาณิชย์กรรมได้

เกณฑ์ดังต่อไปนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการศึกษาให้กับนักศึกษา โดยอ้างอิงมาจากการนิยามนิพนธ์ความคุ้มค่าในการลงทุนปรับปรุงอาคารพาณิชย์เก่าเขตพื้นที่ย่านธุรกิจ (CBD) ให้เป็นโสมออฟฟิศเชิงอนุรักษ์พลังงาน ของนายกุล วิษณุชัยเพชร

- 1) เป็นอาคารที่ออกแบบตามข้อกำหนดของกฎหมายควบคุมอาคารในปัจจุบันเช่นหน้ากว้างไม่ต่ำกว่า 4 เมตร มีผนังทั้งสองด้านปิดทึบติดกับคูหาถัดไป
- 2) มีพื้นที่ใช้สอยรวมเพียงพอต่อการใช้งานรูปแบบสำนักงานกึ่งพักอาศัยโดยสามารถรองรับผู้ใช้งานสูงสุด 15 คน ภายในอาคาร
- 3) อาคารที่เป็นตัวแทนมีอายุการใช้งาน 20-25 ปี เนื่องจากเป็นช่วงอายุที่เหมาะสมทางด้านการปรับปรุงอาคารปรับปรุงยังคงสภาพการใช้งานโครงสร้างหลักอาคารอยู่
- 4) ที่ตั้งอาคารอยู่ห่างจากสถานีรถไฟฟ้า BTS หรือ MRT หรืออาคารบริการจอดรถโดยมีระยะห่างรัศมีโดยรอบไม่เกิน 1 กิโลเมตร เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการหรือเจ้าของธุรกิจในการเดินทาง

3.2 การเตรียมปัจจัย



รูปที่ 3 ขั้นตอนการปรับปรุงอาคารโดยผู้วิจัย

3.2.1 ศึกษาอาคารเดิม ผังพื้นที่ รูปด้าน รูปตัด
งานระบบ โครงสร้างอาคาร

3.2.2 ออกแบบปรับปรุงอาคาร

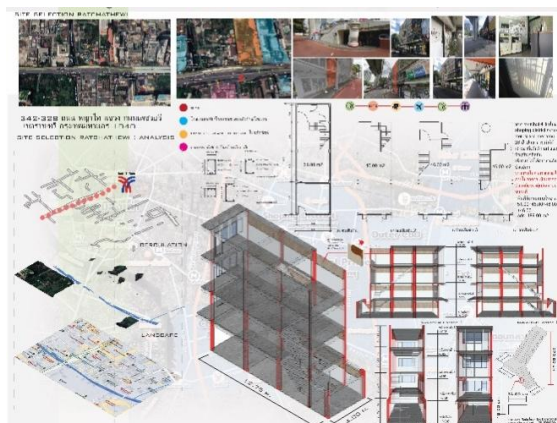
3.3 การวิเคราะห์ปัจจัย

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การ
มหาชน) ได้พัฒนาแอปพลิเคชัน CF Calculator ที่มีคุณสมบัติ
ในการช่วยคำนวณข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (คาร์บอน
ฟุตพริ้นท์หมายถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก)
แสดงถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก
กิจกรรมประจำวัน

ขอบเขตในการศึกษาคือ คำนวณปริมาณ
คาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอย่างอาคารเท่านั้น จากโปรแกรม
เครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์การบริหาร
จัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน) แสดงคำนวณปริมาณ
คาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอย่างอาคารเท่านั้น

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

4.1 ศึกษาอาคารเดิม ผังพื้นที่ รูปด้าน รูปตัดงาน
ระบบโครงสร้างอาคาร



รูปที่ 4 ภาพอาคารพาณิชย์เดิม โดยกลุ่มนักศึกษา

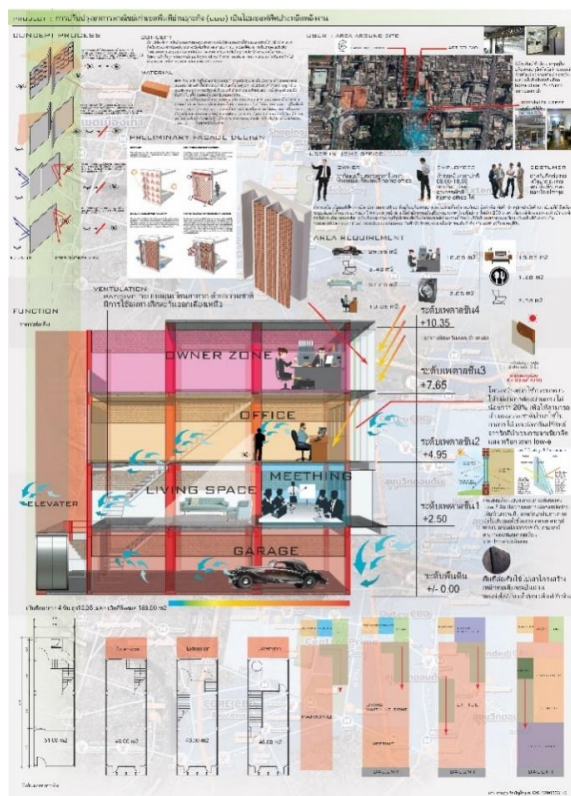
4.2 ออกแบบปรับปรุงอาคาร

การออกแบบเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานในช่วง
การใช้สอยอาคารควรมีการออกแบบอาคารให้เหมาะสม
กับภูมิอากาศเขตร้อนชื้นซึ่งจากการศึกษาโดยอรจัน

เศรษฐบุตร (2555) พบว่า ตัวแปรที่มีผลมากต่อการปล่อย
ก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของอาคารในประเทศไทย
คือ การใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศเพื่อให้อาคาร
ประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้
อย่างมีประสิทธิภาพการออกแบบต้องคำนึงถึงวิธีการใช้
พลังงานของอาคารซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท
ใหญ่ ๆ ดังนี้

PASSIVE STRATEGIES หลักการออกแบบ
ที่ไม่ต้องการใช้พลังงานเพิ่มจากเครื่องจักรกล เช่น
ในระบบปรับอากาศควรมีวิธีการลดการเข้ามาของ
ความร้อนภายนอก เช่น การวางตัวอย่างอาคารที่เหมาะสม
โดยคำนึงถึงทิศทางของแดดการใช้สัดส่วนหน้าต่างและ
ผนังที่เหมาะสมมีการกันความร้อนจากภายนอกด้วยแผง
บังแดดการมีหลังคาเขียวการลดความร้อนภายในด้วยการ
ลดการใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดความร้อน
โดยไม่จำเป็นและการระบายอากาศโดยใช้ลมธรรมชาติ
อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างควรลด
การใช้แสงประดิษฐ์ในช่วงกลางวันโดยออกแบบให้มีแสง
ธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้อย่างเพียงพอแต่ก็ควร
คำนึงถึงการป้องกันความร้อนส่วนเกินที่อาจเข้ามาด้วย
ตัวอย่างการใช้แสงธรรมชาติ ได้แก่ การใช้แผงกันแดด
ที่ไม่ให้แสงแดดตรงเข้ามา จึงไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง
สายตา

ACTIVE STRATEGIES คือ การเลือกใช้ระบบ
เครื่องกลที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับงานระบบต่าง ๆ เช่น
การเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพชนิดและ
ขนาดที่เหมาะสมกับอาคารและการใช้งานและการเลือกใช้
หลอดไฟประหยัดพลังงาน เป็นต้น



รูปที่ 5 ภาพอาคารพาณิชย์เดิม โดยกลุ่มนักศึกษา

4.3 การวิเคราะห์ผล

แสดงคำนวณปริมาณคาร์บอนในการใช้พลังงาน
ในตัวอย่างจากโปรแกรมเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน)



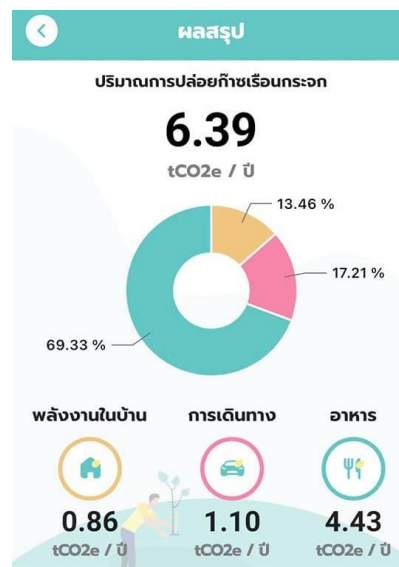
รูปที่ 6 ภาพอาคารพาณิชย์โฮมออฟฟิศ โดยกลุ่มนักศึกษา

ตารางที่ 1 แสดงคำนวณปริมาณคาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอย่างอาคารจากโปรแกรมเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน)

แสดงคำนวณปริมาณคาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอาคารพาณิชย์ไฮมออฟฟิศ โดยกลุ่มนักศึกษา		
ผู้ใช้โครงการ 7 คน		
แสงสว่าง		
ประเภท	จำนวน (ดวง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
หลอดไส้	-	-
หลอดฟลูออเรสเซนต์	-	-
หลอดตะเกียบ	-	-
หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	35 ดวง	8 ชั่วโมง/วัน
หลอดไฟ LED	-	-
เครื่องปรับอากาศ		
ประเภท	จำนวน (เครื่อง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่	-	-
เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก	4	6
โทรทัศน์		
ประเภท	จำนวน (เครื่อง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
โทรทัศน์สีจอแก้ว	-	-
โทรทัศน์สี LCD	-	-
โทรทัศน์สี LED	2	2
เครื่องคอมพิวเตอร์		
ประเภท	จำนวน (เครื่อง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ	2	8
เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา	5	8
เครื่องใช้ไฟฟ้า		
ประเภท	จำนวน (เครื่อง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
หม้อหุงข้าว	1	15นาที่
เตาไมโครเวฟ	1	10 นาที่
เตารีด	1	15นาที่
เครื่องน้ำอุ่น	1	10 นาที่
เครื่องซักผ้า	1	30 นาที่
กระติกน้ำร้อน	1	30 นาที่

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

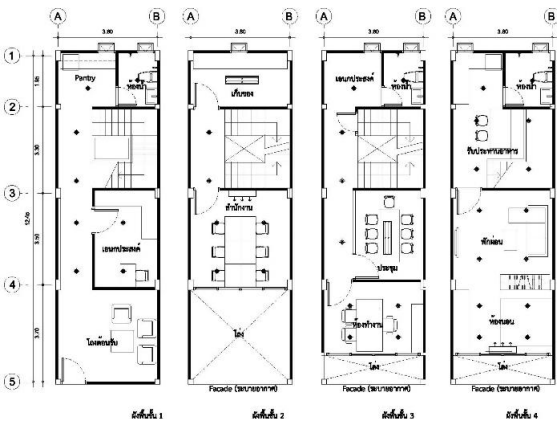
ประเภท	จำนวน (ดวง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
ดูเย็น 1 ประตู	1	-
พัดลมตั้งพื้น	2	6
การเดินทางมาทำงาน		
	ระยะทาง (กิโลเมตร/เดือน)	
รถโดยสารประจำทาง	-	-
รถแท็กซี่ LPG	-	-
รถยนต์ส่วนตัว	500	-
รถมอเตอร์ไซด์	-	-
รถตู้	-	-
รถไฟ	-	-
รถจักรยาน	-	-
รถไฟฟ้า	500	-
การเดินทางไปท่องเที่ยว		
	ระยะทาง (กิโลเมตร/ปี)	
รถโดยสารประจำทาง	-	-
รถยนต์ส่วนตัว	500	-
รถไฟ	-	-
เครื่องบินภายในประเทศ	-	(ครั้ง)
เครื่องบินภายในทวีปเอเชีย	-	(ครั้ง)
เครื่องบินภายในทวีปอเมริกา	-	(ครั้ง)
เครื่องบินภายในทวีปยุโรป	-	(ครั้ง)
อาหาร		
	ระยะทาง (จาน/วัน)	
อาหาร	10	-
น้ำอัดลม	-	-
กาแฟ	20	-
น้ำชา	-	-
นม	-	-
น้ำผลไม้	-	-
ผลรวม	6.39 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าต่อปี	



รูปที่ 7 จากปริมาณในการปล่อยการก๊าซเรือนกระจก
จากแอปพลิเคชัน

จากปริมาณในการปล่อยการก๊าซเรือนกระจก 6.39 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปีข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบให้ค่าของคาร์บอนนั้นเทียบเท่าศูนย์ ตามที่สมาคมเครือข่ายโกลบอลคอมแพ็กแห่งประเทศไทย ได้ระบุไว้ว่า การมุ่งสู่การเป็นองค์กร Zero Carbon หรือ องค์กรที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์จึงต้องมีการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้ทราบแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญขององค์กรก่อนนำไปบริหารจัดการและวางแผนลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญต่อไป ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการทดลองการจัดวางผังอาคาร ในอีก 1 รูปแบบ โดยใช้หลักการในการออกแบบ ในหัวข้อที่ 4.2 ข้างต้นที่กล่าวมา เพื่อให้ได้มาซึ่งการปรับปรุงอาคารเดิมที่มีอยู่ให้มีสภาพที่ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์และเหมาะสม เช่น การออกแบบฟังก์ชันของอาคารให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานจะช่วยลดปริมาณในการปล่อยคาร์บอนได้ดังต่อไปนี้

4.3.2 วิเคราะห์ผลโดยการทดลองปรับปรุงอาคาร โดยผู้วิจัย โดยใช้หลักการในการออกแบบ ในหัวข้อที่ 4.2 ข้างต้นที่กล่าวมา



รูปที่ 8 ภาพอาคารพาณิชย์โฮมออฟฟิศ โดยผู้วิจัย

ตารางที่ 2 แสดงคำนวณปริมาณคาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอาคารจากโปรแกรมเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน)

แสดงคำนวณปริมาณคาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอาคาร โดยผู้วิจัย		
ผู้ใช้โครงการ 7 คน		
แสงสว่าง		
ประเภท	จำนวน (ดวง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
หลอดไส้	-	-
หลอดฟลูออเรสเซนต์	2	1 ชั่วโมง/วัน
หลอดตะเกียบ	-	-
หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	37 ดวง	3 ชั่วโมง/วัน
หลอดไฟ LED	-	-
เครื่องปรับอากาศ		
ประเภท	จำนวน (เครื่อง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่	-	-
เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก	2	4
โทรทัศน์		
ประเภท	จำนวน (เครื่อง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
โทรทัศน์สีจอแก้ว	-	-
โทรทัศน์สี LCD	-	-
โทรทัศน์สี LED	2	2

เครื่องคอมพิวเตอร์		
ประเภท	จำนวน (เครื่อง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ	-	-
เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา	7	8
เครื่องใช้ไฟฟ้า		
ประเภท	จำนวน (เครื่อง)	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)
หม้อหุงข้าว	1	15 นาที
เตาไมโครเวฟ	1	10 นาที
เตารีด	1	15 นาที
เครื่องน้ำอุ่น	1	10 นาที
เครื่องซักผ้า	1	30 นาที
กระติกน้ำร้อน	1	30 นาที
ที่ชาร์จมือถือ	7	-
ตุ๋น 1 ประตู	2	-
พัดลมตั้งพื้น	2	6
การเดินทางมาทำงาน		
	ระยะทาง (กิโลเมตร/เดือน)	
รถโดยสารประจำทาง	-	-
รถแท็กซี่ LPG	-	-
รถยนต์ส่วนตัว	-	-
รถมอเตอร์ไซด์	-	-
รถตู้	-	-
รถไฟ	-	-
รถจักรยาน	-	-
รถไฟฟ้า	500	-
การเดินทางไปท่องเที่ยว		
	ระยะทาง (กิโลเมตร/ปี)	
รถโดยสารประจำทาง	-	-
รถยนต์ส่วนตัว	500	-
รถไฟ	-	-
เครื่องบินภายในประเทศ	-	(ครั้ง)
เครื่องบินภายในทวีปเอเชีย	-	(ครั้ง)
เครื่องบินภายในทวีปอเมริกา	-	(ครั้ง)
เครื่องบินภายในทวีปยุโรป	-	(ครั้ง)

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

อาหาร		
	ระยะทาง (จาน/วัน)	
อาหาร	10	-
น้ำอัดลม	-	-
กาแฟ	20	-
น้ำชา	-	-
นม	-	-
น้ำผลไม้	-	-
ผลรวม	23.17 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี	



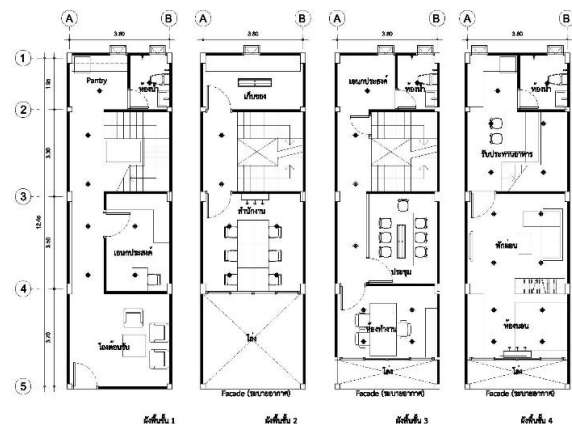
รูปที่ 8 จากปริมาณในการปล่อยการก๊าซเรือนกระจกจากแอปพลิเคชัน

สรุปผลจากการศึกษา จากการทดสอบปริมาณการปล่อยคาร์บอน ในการปรับปรุงอาคารพาณิชย์ให้เป็นโฮมออฟฟิศ จากโปรแกรมเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน)

ปริมาณคาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอาคารพาณิชย์โฮมออฟฟิศ โดยกลุ่มนักศึกษา ได้ปริมาณในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 6.39 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี และปริมาณคาร์บอนในการใช้พลังงานในตัวอาคาร โดยผู้วิจัย ได้ปริมาณในการปล่อยการก๊าซเรือนกระจก 5.93 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี เมื่อเปรียบเทียบผลคาร์บอนที่ต่ำและให้เทียบเทียบหรือใกล้เคียงศูนย์แล้ว

การออกแบบโดยผู้วิจัยจะเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารพาณิชย์อื่นมากกว่า

และเพื่อเป็นต้นแบบการปรับปรุงอาคารพาณิชย์ให้เป็นโฮมออฟฟิศคาร์บอนต่ำในย่านอื่น ๆ ต่อไป ผู้วิจัยเห็นควรว่าแบบการวางผังในรูปแบบการปรับปรุงอาคารพาณิชย์ให้เป็นโฮมออฟฟิศโดยผู้วิจัย จะช่วยลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้ดีกว่า ตามรูปที่ 8



รูปที่ 9 ภาพอาคารพาณิชย์โฮมออฟฟิศ โดยผู้วิจัย

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

จากการศึกษาการวิจัยควร ค่าการแสดงผลให้ค่าใกล้เคียงศูนย์หรือเป็นศูนย์จะยังเป็นผลดีกับสิ่งแวดล้อม ควรเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเปรียบเทียบเป็นวัน เดือน หรือปี เพื่อเป็นการตรวจวัดและควบคุมพฤติกรรมเพื่อลดการก๊าซเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุทำให้เกิดโลกร้อนเพื่อความเป็นอยู่ที่ยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณข้อมูลในการออกแบบปรับปรุงอาคารพาณิชย์ให้เป็นโฮมออฟฟิศของนักศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการออกแบบในรายวิชาปรับปรุงอาคารของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กุลวิษณุ น้อยเพชร. (2558). *ความคุ้มค่าในการลงทุนปรับปรุงอาคารพาณิชย์เก่าเขตพื้นที่ย่านธุรกิจ (CBD) ให้เป็นโฮมออฟฟิศเชิงอนุรักษ์พลังงาน*.
- [2] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) แอปพลิเคชัน.
- [3] อรรถจักร์ เศรษฐบุตร. (2556). *คู่มือการออกแบบบ้านและอาคารคาร์บอนต่ำ*. กรุงเทพฯ: เปเปอร์เมท (ประเทศไทย).
- [4] <https://www.terrabkk.com/articles/10657>
- [5] <https://www.voathai.com/a/a-47-2009-04-30voa1-90653639/923227.html>
- [6] https://globalcompactth.com/resources/detail/90?fbclid=IwAR0mviHruILnXfNzyzey7iS_X3c0foK3G4ZQx83I5sy7_94DOM16HDHV20s
- [7] การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงาน 6 เดือนแรกปี 2563 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน
- [8] <http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6109/65>

เครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Automatic Piggy Bank Machine using Microcontroller

ชมพู่ ทรัพย์ปทุมสิน*, เบนจาร์ตน์ ศรีตระกูล, สุรีพร มีหอม

Chompoo Suppatoomsin*, Benjarat Sritrakul, Sureporn Meehom

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

chompoo_sup@vu.ac.th, z.zeer@hotmail.com, sureporn_mee@vu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากการทดลองพบว่าเครื่องสามารถนับเหรียญและธนบัตรได้แยกเหรียญปลอมที่ทำจากไม้และพลาสติกได้และสามารถแสดงยอดรวมเงินทั้งหมดผ่านหน้าจอ LCD จากนั้นหากต้องการเริ่มใหม่สามารถเอาเงินออกแล้วกดปุ่ม reset ใหม่ได้โดยมีค่าความแม่นยำ (Accuracy) สำหรับการแยกเหรียญจริง 100% และการแยกเหรียญปลอม 100% ส่วนค่าความผิดพลาดของเหรียญ 1 บาทคือ 0% เหรียญ 2 บาทคือ 0% เหรียญ 5 บาทคือ 0% เหรียญ 10 บาทคือ 0% ธนบัตร 20 บาทคือ 6% และธนบัตร 100 บาทคือ 7% ซึ่งสามารถนับเหรียญจริงและแยกเหรียญปลอมได้อย่างน่าพอใจ

คำสำคัญ : ไมโครคอนโทรลเลอร์, เครื่องนับเงินอัตโนมัติ, กระปุกออมสิน

Abstract

This paper presents the design and construction of an automatic piggy bank machine using microcontroller. From the experiment, it was found that the machine can count coins and banknotes. It classifies counterfeit coins which made of wood and plastic. The total amount money is displayed through the LCD screen. In the case of restart the machine, the money must be removed and pressing the reset button. The accuracy of coin separation is 100% of real and counterfeit coins. The error value of 1, 2, 5 and 10-baht coin separation are totally 0%. The 20 and 100-baht banknote separation have the error value with 6% and 7%, respectively.

Keywords : microcontroller, automatic bank machine, piggy bank

1. บทนำ

เนื่องจากสถานการณ์ในปัจจุบันนี้การออมเงินมีความสำคัญอย่างมากที่ทุกคนต้องตระหนักถึงการหยอดเหรียญในกระปุกออมสินเกือบทุกครัวเรือนนั้นมีปัญหาหลายอย่างเช่นบางครั้งอยากรู้ยอดเงินในกระปุกออมสินที่หยอดบางครั้งนับแล้วลืมและกระปุกออมสินบางชนิดใช้ได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นนอกจากนี้แล้วในปัจจุบันได้มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาใช้ในการสร้างอุปกรณ์

อัตโนมัติขึ้นมามากมายหลายเพื่อให้เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับการทำงานและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างอุปกรณ์อัตโนมัติขึ้น ดังนั้นจากปัญหาข้างต้นที่กล่าวมาได้มีการนำเสนองานวิจัยและโครงการที่เกี่ยวข้องกับการนับเงินอัตโนมัติมาอย่างต่อเนื่องดังเช่น [1] ไวยากรณ์ชูสายและคณะ (2558) ได้นำเสนอเครื่องจำแนกประเภทเหรียญและนับเหรียญอัตโนมัติเพื่อจำแนกเหรียญแต่ละชนิดโดยพิจารณาจาก

ความกว้างของเหรียญที่แตกต่างกันและความลาดเอียงของพื้นโดยใช้เซ็นเซอร์ร่วมกับบอร์ด Stm32f4 Discovery ในการนับและประมวลผล [2] ชาลีศรีขวัญเมือง (2556) ได้นำเสนอเครื่องสถิติการตรวจสอบและแยกเหรียญกษาปณ์ขนาดเครื่องประมาณ 100*60*150 เซนติเมตร ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ PIC ที่ควบคุมการแยกเหรียญด้วยมอเตอร์กระแสตรงสามารถแยกเหรียญได้ 4 ชนิดคือ เหรียญห้าสิบบatangค์เหรียญ 1 บาท เหรียญ 5 บาทและเหรียญ 10 บาท [3] นิพนธ์ เหล่าเชตกิจ และคณะ (2557) นำเสนอเครื่องป็นโตคัดแยกเหรียญโดยใช้หลักกลไกสร้างป็นโต 3 ชั้น จากแผ่นพลาสติกเพื่อให้สามารถคัดแยกเหรียญ 3 ขนาด ได้แก่ เหรียญ 1 บาท 5 บาทและ 10 บาทได้อย่างถูกต้องในราคาที่ถูกกว่าเครื่องคัดแยกเหรียญอัตโนมัติที่มีวางขายในปัจจุบันนอกจากนี้ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino ได้มีการนำมาใช้สร้างอุปกรณ์แบบอัตโนมัติอย่างหลากหลาย เช่น [4] Mahajan (2020) ได้สร้างเครื่องซื้อของอัตโนมัติโดยใช้ทั้งการหยอดเหรียญและการจ่ายเงินแบบดิจิทัลผ่านช่องทางออนไลน์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino ทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 3 ตัว โดยเครื่องที่สร้างขึ้นสามารถเลือกจ่ายเงินได้ทั้งแบบหยอดเหรียญหรือจะใช้การจ่ายเงินแบบดิจิทัลผ่านช่องทางออนไลน์ทำให้เครื่องสามารถทำงานได้ทั้งในแบบที่มีอินเทอร์เน็ตและไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตและยังทำงานแบบไร้การสัมผัสได้ [5] Desai (2017) ได้สร้างเครื่องซื้อช็อคโกแลตอัตโนมัติที่ไม่ต้องใช้เงินสดโดยใช้การจ่ายเงินผ่านการ์ด RFID โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino ซึ่งเครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถขายผลิตภัณฑ์ช็อคโกแลตที่หลากหลายรูปแบบและทดสอบด้วยการ์ด RFID ที่แตกต่างกัน 3 ใบโดยเครื่องแสดงข้อมูลชนิดของสินค้าและราคาที่หน้าจอ LCD ให้ลูกค้ากดเลือกซื้อ [6] Marcilin (2018) ได้นำเสนอระบบการเปิดปิดตู้สล็อตเกอร์ของธนาคารแบบอัตโนมัติโดยใช้ลายนิ้วมือซึ่งระบบที่นำเสนอได้สร้างบนพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino ร่วมกับเทคโนโลยี GMS

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการสร้างกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขึ้นมาโดยกระปุกออมสินนี้สามารถหยอดเหรียญ 1 บาท 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท อีกทั้งยังสามารถหยอดธนบัตรชนิดราคา 20 บาท และธนบัตรชนิดราคา 100 บาท นับจำนวนเงินและบอกจำนวนเหรียญแต่ละชนิดที่หยอดลงไปในการปลูกได้ในขณะเดียวกันยังสามารถบอกจำนวนธนบัตรแต่ละชนิดที่หยอดลงไปได้อีกด้วยและเมื่อกระปุกออมสินเต็มยังสามารถนำเหรียญออกมาแล้ว reset ค่าเพื่อเริ่มใช้งานกระปุกออมสินใหม่อีกครั้ง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประดิษฐ์กระปุกออมสินหยอดเหรียญ 1 บาท 2 บาท 5 บาท และ 10 บาท หยอดธนบัตรชนิดราคา 20 บาท และธนบัตรชนิดราคา 100 บาท โดยสามารถนับจำนวนเหรียญกับจำนวนธนบัตรที่หยอดได้และแสดงยอดเงินรวมของจำนวนเหรียญและจำนวนธนบัตรแต่ละชนิดผ่านจอ LCD

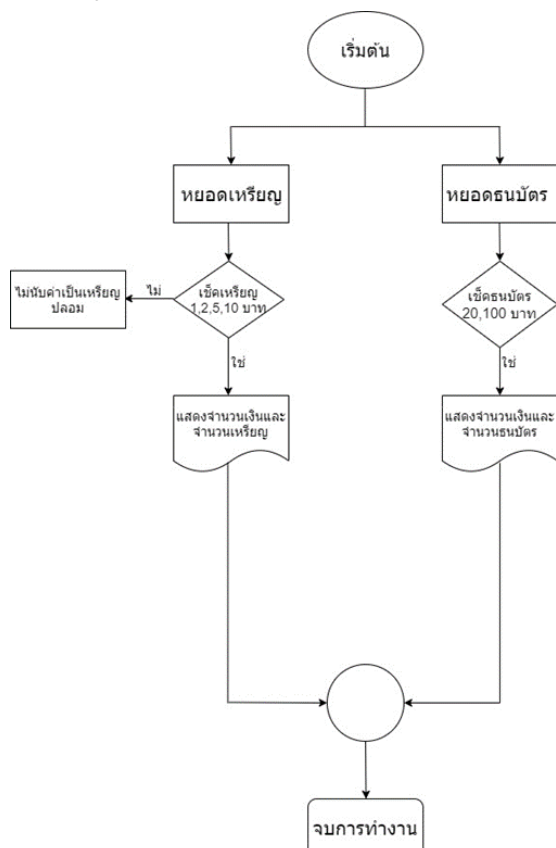
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติ

การออกแบบโครงสร้างเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ประกอบไปด้วยการออกแบบโครงสร้างวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องในการควบคุมรวมทั้งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตลอดจนลักษณะการทำงานของเครื่องซึ่งเป็นไปตามแผนภาพการทำงานของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติ ดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงการทำงานของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติเริ่มต้นการทำงานโดยหยอดเหรียญที่ต้องการเก็บเข้าเครื่องโดยจะมีเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุแบบอินฟราเรดหากเป็นเหรียญจริงจะสามารถผ่านเข้าช่องแล้วไหลลงผ่านIR Infrared photoelectric Sensor จะทำการนับค่าหากเป็นเหรียญปลอมจะไม่สามารถไหลเข้าช่องได้

โดยจะแสดงจำนวนเงินผ่านจอ LCD และแสดงจำนวนแต่ละเหรียญว่ามีกี่เหรียญหรือมีธนบัตรกี่ใบ

จากแผนภาพการทำงานในรูปที่ 1 แสดงการทำงานของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติเริ่มต้นการทำงานโดยหยอดเหรียญที่ต้องการเก็บเข้าเครื่องโดยจะมีเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุแบบอินฟราเรดหากเป็นเหรียญจริงจะสามารถผ่านเข้าช่องแล้วไหลลงผ่าน และทำการนับค่าหากเป็นเหรียญปลอมจะไม่สามารถไหลเข้าช่องได้โดยจะแสดงจำนวนเงินผ่านจอ LCD และแสดงจำนวนแต่ละเหรียญว่ามีกี่เหรียญหรือมีธนบัตรกี่ใบ



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานของเครื่องกระปุกออมสิน
นับเงินอัตโนมัติ

3.2 อุปกรณ์ของเครื่องกระปุกออมสินนับเงิน อัตโนมัติ

(1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino
Uno R3 [7] เป็นเสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ย่อยส่วน

ให้อยู่บนชิพขนาดเล็กมีหลายชนิดด้วยกันสำหรับงานวิจัยนี้
ได้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino Uno R3
ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ใช้ไอซี
ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด ATmega328 บอร์ดมีขา
ดิจิตอลอินพุต/เอาต์พุตทั้งหมด 14 ขา (โดยมี 6 ขาที่สามารถ
ใช้เป็นขาเอาต์พุตของPWM ได้), ขาอินพุตอนาล็อก 6 ขา,
ceramic resonator 16 MHz, มีพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับ
USB ได้, แรงดันไฟเลี้ยงบอร์ด 5 V, แรงดันอินพุตมีขนาด
6-20 V, ปริมาณกระแสไฟฟ้ากระแสตรงต่อขาอินพุต/
เอาต์พุต 1 ขาจ่ายได้ 40 mA, ปริมาณกระแสไฟฟ้ากระแสตรง
ต่อขาแรงดันขนาด 3.3 V จ่ายได้ 50 mA, พื้นที่หน่วยความจำ
โปรแกรม 32 KB, พื้นที่หน่วยความจำชั่วคราวแบบ
SRAM 2 KB, พื้นที่หน่วยความจำถาวรแบบ EEPROM 1
KB, ความถี่สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

(2) เซนเซอร์สปีดโมดูล TCS230/TCS3200 [8]

เป็นเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าความเข้มแสงให้เป็น
ความถี่ที่มีค่าความละเอียดสูง ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกัน
ระหว่างไดโอดเปล่งแสงชนิดซิลิกอน (silicon photodiodes)
กับตัวแปลงค่ากระแสไฟฟ้าให้เป็นความถี่ (current-to-
frequency converter) บนวงจรรวมโมโนลิทิกซีมอส
(monolithic CMOS integrated circuit) 1 ตัว โดยมีเอาต์พุต
เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่า duty cycle อยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์
ซึ่งค่าความถี่จะแปรผันตรงกับความเข้มแสงที่ตรวจจับได้
เซนเซอร์สปีดโมดูล TCS230/TCS3200 สามารถเขียนโปรแกรมเชื่อมตรงกับ
ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้การใช้งานเซนเซอร์สปีดโมดูล TCS230/TCS3200
ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino มองเห็นสีของสิ่งรอบตัว
เพื่อเอาไปประมวลผลตามที่ต้องการโดยเซนเซอร์สปีดโมดูล TCS230/TCS3200
ใช้ไฟเลี้ยง 3.3-5 โวลต์ ใช้สายสัญญาณ 3 เส้นมีสายสำหรับ
ควบคุมไฟ LED อีก 1 เส้นสามารถสั่งเปิดไฟตอนกำลังอ่าน
ค่าสีและสั่งให้ปิด เมื่ออ่านค่าสีเสร็จแล้วได้โดยใช้เซ็นเซอร์
TAOS TCS230 เป็นตัวแยกความถี่ของแสงด้วยไดโอด
เปล่งแสงโดยการอ่านค่า photodiodes ที่อยู่ในชิพของ
โมดูล TCS230 ที่มีจำนวนทั้งหมด 8x8 ชีพ สามารถอ่าน
สีแดงเขียวฟ้าแสงสว่าง จากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง
ซึ่งค่าที่อ่านมาได้จะเป็นค่าความถี่ของแสงแดงเขียวฟ้า

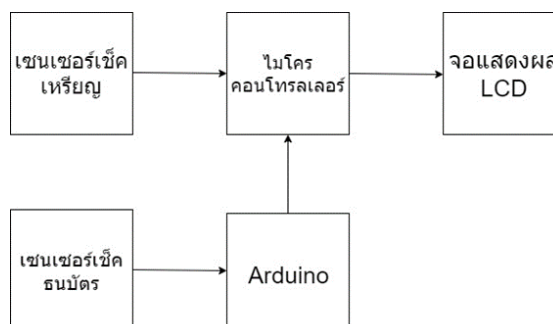
โดยเมื่อสามารถรับแสงแต่ละค่าและเมื่อเอามาเข้าสมการรวมกันแปลงค่าออกมาทำให้ได้ค่าสีที่เรามองเห็นเหมือนไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สามารถแยกแยะสีออกแล้ว

(3) LCD 1604 โมดูล16x4 [9] จอLCD 1604 มีขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัดสีน้ำเงิน 5V จอ LCD 1604 แสดงผล 16 ตัวอักษร 4 บรรทัดต่อโดยใช้ I2C ได้ใช้งานเหมือนรุ่น 1602 และ 2004 ใช้ไลบรารีเดียวกัน โดยตั้งค่าขนาดจอเป็น 1604 การสื่อสารแบบ I2C ใช้สายไฟเพียง 2 เส้น คือ สัญญาณ SCL, SDA ซึ่ง 2 เส้นนี้สามารถต่ออุปกรณ์แบบ I2C ซ้อนทับกันหลาย ๆ อุปกรณ์ได้เลย ดังนั้นการที่จะรู้ว่าจะสื่อสารกับอุปกรณ์ตัวไหนโดยการอ้างอิงจากชื่อตำแหน่งaddress ของอุปกรณ์

(4) เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวางและเส้นขาวดำแบบอินฟราเรด [10] ใช้สำหรับตรวจจับวัตถุโดยใช้หลักการสะท้อนของแสงเมื่อไปชนวัตถุ (Reflective) สามารถปรับความไวในการตรวจจับได้ใช้แสงอินฟราเรดในการตรวจจับเซนเซอร์อินฟราเรดสำหรับตรวจจับเส้นขาว/ดำหรือสิ่งกีดขวางระยะตรวจจับอยู่ที่ช่วง 2-8 เซนติเมตร มุม 35 องศา สามารถตั้งความไวได้ที่ตัวต้านทานปรับค่าได้บนบอร์ดนอกจากนี้ยังใช้ไฟเลี้ยง 3-5.5 V เอาต์พุตให้ค่าปกติเป็น 1 เมื่อตรวจพบเส้นหรือวัตถุกีดขวางจะให้ค่าเอาต์พุตเป็น 0 พร้อมแสดงไฟที่เซนเซอร์

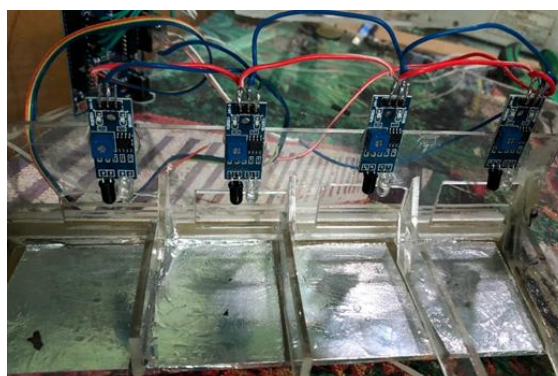
3.3 หลักการทำงานและโครงสร้างของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติ

หลักการทำงานของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติ เป็น การ ทำงาน ร่วม กัน ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์สี และเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวางเส้นขาวดำแบบอินฟราเรด โดยที่เซนเซอร์สีทำหน้าที่ตรวจจับธนบัตรว่าเป็นธนบัตรชนิดอะไร เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวางเส้นขาวดำแบบอินฟราเรดทำหน้าที่ตรวจจับและนับเหรียญดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติ

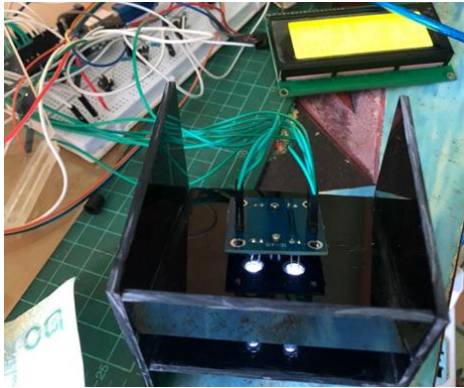
ในส่วนของการแยกเหรียญใช้หลักการคล้ายกับการกดสวิทช์โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวางและเส้นขาวดำแบบอินฟราเรด IR Infrared photoelectric Sensor Module ตัวเซนเซอร์นี้ให้มันเหมือนเหมือนสวิทช์พอเหรียญหยอดเข้าไปไหลผ่านมันจะนับค่าเหมือนการกดสวิทช์ซึ่งเมื่อนับค่าแล้วมันจะส่งค่าสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วจะแสดงผลผ่านจอ LCD เซนเซอร์ที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เซนเซอร์ที่ใช้แยกเหรียญ

ในส่วนของการแยกธนบัตรจะใช้โมดูลวัดค่าสี RGB Color Sensor (TCS230/TCS3200) เซนเซอร์แยกสีใช้แยกกว่าสีที่อยู่หน้าเซนเซอร์นี้เป็นสีอะไรเอาต์พุตที่อ่านได้ออกมาเป็นค่า R G B ใช้งานง่ายมีไฟ Flash สำหรับตรวจจับสีวัตถุในที่มืดสามารถสั่งควบคุมเปิดปิดไฟได้จากในโค้ดโปรแกรมพื้นหลังเป็นสีขาวมีกระบอกพลาสติกสีดำกัน

ไม่ให้สีอื่นไปรบกวนไม่ต้องหาต่อที่กันแสงเพิ่ม เซนเซอร์ที่ใช้
แยกธนบัตรในเครื่องนี้แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เซนเซอร์สีที่ใช้แยกธนบัตร

ชุดที่ทำหน้าที่แสดงผลค่าต่าง ๆ ออกมาเป็นตัวเลขและ
ตัวอักษรจำนวนเหรียญแต่ละชนิดและจำนวนธนบัตร
แต่ละชนิดผลรวมของเหรียญกับธนบัตรผ่านชุดแสดงผล
LCD ด้วยการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูป
ที่ 5

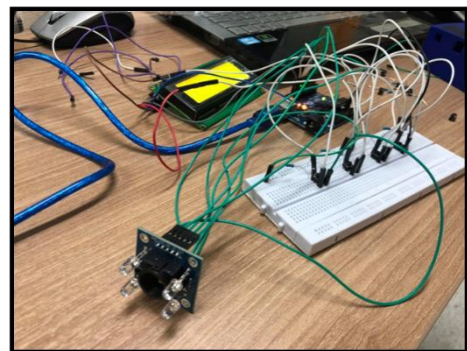


รูปที่ 5 ชุดแสดงผล LCD 16x4

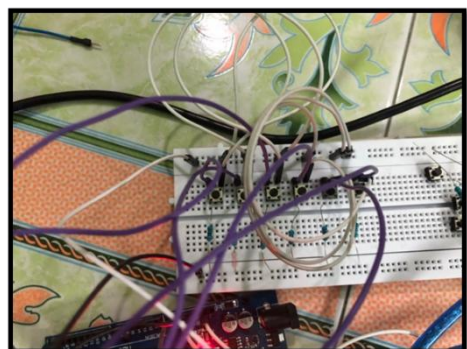
โครงสร้างภายนอกและวงจรควบคุมการทำงานของ
เครื่องกระปุกออมสินโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้แสดง
ดังรูปที่ 6, 7 และ 8



รูปที่ 6 โครงสร้างของเครื่องกระปุกออมสิน



รูปที่ 7 วงจรควบคุมการทำงานชุดนับธนบัตร



รูปที่ 8 วงจรควบคุมการทำงานชุดนับเหรียญ

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

การทดสอบการทำงานของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติคือเตรียมเหรียญ 1 บาท 2 บาท 5 บาท 10 บาท รวมทั้งหมด 100 เหรียญเหรียญปลอมที่ทำจากไม้และพลาสติกอย่างละ 15 เหรียญและธนบัตรชนิดราคา 20 บาท 100 บาท อย่างละ 5 ใบ เพื่อหาค่า % Error ของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติจึงแสดงผลดังรูปที่ 9 โดยที่ Coin คือ ชนิดของเหรียญ Cash คือ ชนิดของธนบัตรและ Total คือ จำนวนเงินรวมทั้งหมด



รูปที่ 9 หน้าจอแสดงผลของเครื่องกระปุกออมสิน
นับเงินอัตโนมัติ

การทดสอบการทำงานของเครื่องกระปุกออมสินเพื่อหาค่า %Error ของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติแสดงในตารางที่ 1 และหน้าจอ LCD แสดงดังรูปที่ 10

ตารางที่ 1 Confusion matrix แสดงการนับเหรียญจริงกับเหรียญปลอมหลังจากใส่เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุอินฟราเรด

ค่าที่ทดสอบได้ \ ค่าจริง	เหรียญจริง	เหรียญปลอม
เหรียญจริง	100	0
เหรียญปลอม	0	100

จากตารางที่ 1 Confusion matrix แสดงการนับเหรียญจริงกับเหรียญปลอมอย่างละ 100 เหรียญ ตัวเลขในตารางคือ จำนวนเหรียญรวมกันทุกช่องต้องเท่ากับ 100 เหรียญ โดยกำหนดค่าดังนี้

- TP (ช่องซ้ายบน)คือ แยกถูกต้องเหรียญจริงเจอว่าจริง
- TN (ช่องขวาล่าง)คือค่าจริงเป็นเหรียญปลอมเจอว่าปลอม
- FP (ช่องขวาบน) คือ เหรียญจริงเจอว่าปลอม
- FN (ช่องซ้ายล่าง) คือ เหรียญปลอมเจอว่าจริง



รูปที่ 10 หน้าจอแสดงผลการทดลองตามตารางที่ 1

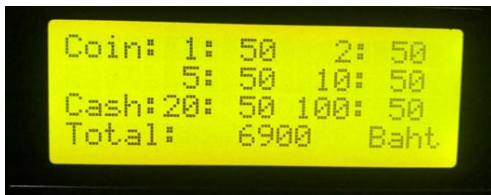
หาค่าความแม่นยำ(Accuracy)จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{Accuracy} &= (TP+TN)/\text{จำนวนเหรียญทั้งหมด} \\ &= (100+100)/200 \\ &= 1 \text{ หรือ } 100\% \end{aligned}$$

ตารางที่ 2 แสดงการนับเหรียญ 1 บาท 2 บาท 5 บาท 10 บาท อย่างละ 50 เหรียญและธนบัตร 20 บาท 100 บาท อย่างละ 5 ใบ

ชนิด	จำนวน	แยกถูก	แยกผิด	ค่าความผิดพลาด
1 บาท	50	50	0	0%
2 บาท	50	50	0	0%
5 บาท	50	50	0	0%
10 บาท	50	50	0	0%
20 บาท	50	47	3	6%
100 บาท	50	46	4	7%

จากตารางที่ 2 ทดลองการนับเหรียญแต่ละชนิดอย่างละ 50 เหรียญ และ ธนบัตรแต่ละชนิด อย่างละ 5 ใบ โดยทดลอง 5 ครั้ง แล้วเฉลี่ยหาค่าความผิดพลาด รูปหน้าจอแสดงผลการทดลองตามตารางที่ 2 แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 หน้าจอแสดงผลการทดลองตามตารางที่ 2

5. สรุปผลการทดลอง

การทำงานของเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติ คือ เตรียมเหรียญ 1 บาท 2 บาท 5 บาท 10 บาทและเตรียมธนบัตร 20 บาท 100 บาทเสียบปลั๊กเปิดเครื่องแล้วนำเหรียญหยอดลงในช่องจากนั้นเหรียญจะวิ่งไหลลงรางตามชนิดของเหรียญเมื่อเหรียญไหลผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวางและเส้นขาวดำแบบอินฟราเรดแล้วจะทำการส่งค่าไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะนับค่าส่วนของธนบัตรเมื่อหยอดธนบัตรจะผ่านเซ็นเซอร์สีทำการตรวจจับสีเมื่อแยกชนิดสีได้แล้วจะทำการส่งค่าไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะนับค่าเช่นเดียวกับหลักการนับเหรียญในการนับเหรียญและธนบัตรมีความผิดพลาดดังนี้

- เหรียญ 1 บาทมี %Error 0%
- เหรียญ 2 บาทมี %Error 0%
- เหรียญ 5 บาทมี %Error 0%
- เหรียญ 10 บาทมี %Error 0%
- ธนบัตร 20 บาทมี %Error 6%
- ธนบัตร 100 บาทมี %Error 7%

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องกระปุกออมสินนับเงินอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้นั้นพบว่าในการทำรางให้เหรียญไหลเข้าสู่ช่องเพื่อนับเหรียญแต่จัดองศาการวางเอียงไม่พอและชันน้อยจึงทำให้มีเหรียญไหลในรางช้าเหรียญติดค้างไม่ยอมไหลลงช่องและเกิดการติดขัดขึ้น ดังนั้นควรจัดวางรางที่ให้เหรียญวิ่งเป็นมุมองศาที่พอดีให้เหรียญวิ่งเข้ารางได้สะดวกเป็นรางเรียบ ๆ ซึ่งจะทำให้เหรียญไหลผ่านช่องได้ดีกว่าซึ่งส่งผลให้การนับมีประสิทธิภาพมากกว่าควรปรับเปลี่ยนทำการพ่นสีให้ทึบเพื่อลดการสะท้อนของ

แสงที่เข้ามาในตัวเครื่องเพื่อให้ค่าความผิดพลาดในเซ็นเซอร์สีน้อยลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้นและในการแยกเหรียญปลอมหากเหรียญมีขนาดเท่ากับเหรียญจริงใช้วิธีนี้ในการนับจะส่งผลต่อค่าความผิดพลาดสูงแต่ถ้าหากเหรียญมีขนาดเดียวกันทั้งหมดจะลดค่าความผิดพลาดในการนับได้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไวยากรณ ชูสาย และคณะ. (2558). เครื่องจำแนกและนับเหรียญ. โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม สาขาวิชาโทรคมนาคมสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [2] ซาลี ศรีขวัญเมือง. (2547). เครื่องสาธิตการตรวจสอบและแยกเหรียญกษาปณ์. โครงการงานพิเศษภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] ณิชนันท์ เหล่าเขตกิจ และคณะ. (2557). ปั่นโตคัดแยกเหรียญขนาด 10 บาท 5 บาท 1 บาท. โครงการงานวิทยาศาสตร์ศูนย์การศึกษาอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัยอำเภอลาดยาวสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัยจังหวัดนครสวรรค์.
- [4] G. Mahajan, V. Phale, S. Mane and A.B. Patil, (2020). Vending Machine with Cash and Cashless Payment Support. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(6), 341-348.
- [5] S.S. Desai, S.M. Jadhav, P.S. Patil and G.N. Sambhaji. (2017). Automatic Chocolate Vending Machine By Using Arduino Uno. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 5(2), 226-229.

- [6] G. Mahajan, V. Phale, S. Mane and A.B. Patil, (2020). Vending Machine with Cash and Cashless Payment Support. *International Research Journal of Engineering and Technology*, .7(6), 341-348.
- [7] บอร์ด Arduino Uno R3 พร้อมสาย USB. สืบค้น 1 กันยายน 2562, จาก <https://www.arduinoall.com/product/16/arduino-uno-r3>
- [8] ตัวเซนเซอร์สี. สืบค้น 22 สิงหาคม 2562, จาก <https://www.arduinoall.com/product/155>
- [9] จอ LCD 16x4. สืบค้น 23 สิงหาคม 2562, จาก: <https://www.arduinoall.com/product/1472>
- [10] เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวางและเส้นขาวดำแบบอินฟราเรด. สืบค้น 27 ตุลาคม 2562, จาก: <https://www.myarduino.net/product/410/>
เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวางและเส้นขาวดำแบบอินฟราเรด

แนวทางการปรับปรุงสำนักงานสีเขียว : กรณีศึกษา อาคาร 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏ
สกลนคร

Green Office Improvement Guidelines: A Case Study of Building 7,
Sakon Nakhon Rajabhat University

ณัฐพร จิระวัฒนาสมกุล*, ผศ. ดร. ภัทรลภา ฐานวิเศษ, วณิดา เริ่มศรี, สุนิดา วงศ์กระโชค และนิตยา จันทเดช

Nathaporn Jirawatanasomkul*, Asst.Prof. Dr. Phatlapha Thanwised, Wanida Roemsri, Sunida

Wonggraso and Nittaya Chanthadet

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Nathaporn.j@snu.ac.th*, thanwised@snu.ac.th, Sunida.wo60@snu.ac.th,

wanida.ro60@snu.ac.th and Nittaya96584@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สำรวจและประเมินสำนักงานภายในอาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ตามเกณฑ์มาตรฐานสำนักงานสีเขียว และ (2) เสนอแนวทางปรับปรุงเพื่อให้เข้าเกณฑ์มาตรฐานสำนักงานสีเขียว ภายใต้รายละเอียดการประเมิน 6 หมวด ได้แก่ หมวดที่ 1 การกำหนดนโยบาย การวางแผนการดำเนินงานและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง หมวดที่ 2 การสื่อสารและสร้างจิตสำนึก หมวดที่ 3 การใช้ทรัพยากรและพลังงาน หมวดที่ 4 การจัดการของเสีย หมวดที่ 5 สภาพแวดล้อมและความปลอดภัย และหมวดที่ 6 การจัดซื้อและจัดจ้าง จากการประเมินสภาพสำนักงานสีเขียวภายในอาคาร 7 พบว่า ได้คะแนนรวมเท่ากับ 52 คะแนน จากคะแนนเต็ม 252 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 20.63 ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่ผ่านการรับรอง โดยพบว่าแต่ละหมวดได้คะแนนอยู่ในระดับน้อยมาก โดยเฉพาะหมวดที่ 1 ได้คะแนน เท่ากับ 0 คะแนน จากคะแนนเต็ม 76 คะแนน และหมวดที่ 6 ได้คะแนน เท่ากับ 0 คะแนน จากคะแนนเต็ม 24 คะแนน ซึ่งหากต้องการให้ผ่านเกณฑ์สำนักงานสีเขียว ผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ควรกำหนดนโยบายที่เป็นแบบแผนที่ชัดเจน กำหนดวัตถุประสงค์และมาตรการในการดำเนินการ รวมถึงการแต่งตั้งคณะกรรมการในการดำเนินงานเพื่อเข้าสู่เกณฑ์การเป็นสำนักงานสีเขียวต่อไป

คำสำคัญ : สำนักงานสีเขียว, มาตรฐานสำนักงานสีเขียว, ภาวะโลกร้อน

Abstract

The purposes of this research were to (1) survey and evaluate the office in Building 7 Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University according to the green office evaluation criteria and (2) proposed Guidelines for Improving. The green office evaluation criteria are divided into 6 categories for the consideration, e.g., policy formulation planning operations and constant updates, communication and awareness raising, the use of resource and energy, waste management, environment and safety and procurement and employment. From the assessment of the current building condition showed building 7, sakon nakhon rajabhat university get 252 points from all points, accounted for 20.63 percent which is at a level that is not approved. In which each category has a very low rating especially category 1 scored 0 points out of a total of 76 points and

category 6 scored 0 points out of a total of 24 points. Which, if wanting the building to pass the green building criteria university administrators should policies obviously to appoint an operating committee, define objectives and measure action measures to be a green building.

Keywords: Green Office, Green Office Standard, Global Warming

1. บทนำ

สังคมปัจจุบันให้ความสำคัญกับภาวะโลกร้อนมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษจากกิจกรรมการดำเนินชีวิตของมนุษย์ มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานมากเกินไปจนเกิดความจำเป็นซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญของการแพร่กระจายก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ หน่วยงานภาครัฐเป็นองค์กรสำคัญที่จะช่วยผลักดันให้เกิดการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยส่งเสริมให้มีการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เป็นองค์กรสำคัญที่จะช่วยผลักดันให้เกิดการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมให้มีการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงาน เพื่อลดการแพร่กระจายคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ

นอกจากนั้นเพื่อให้การดำเนินโครงการจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมของภาครัฐเป็นไปอย่างต่อเนื่องและขยายผลต่อไปในอนาคต โดยมุ่งเน้นให้หน่วยงานภาครัฐปฏิบัติตามแผน เพื่อนำไปสู่การเป็นสำนักงานสีเขียว ซึ่งตระหนักถึงผลกระทบจากสำนักงานที่จะเกิดต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม โดยเฉพาะในสำนักงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง เครื่องปรับอากาศ ลิฟต์ เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่มากเกินไปจนความพอดี จึงทำให้มีการพัฒนาสำนักงานที่มีแนวความคิดในด้านการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุดและเป็นสำนักงานที่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์การประเมินสำนักงานสีเขียว สามารถเป็นสำนักงานตัวอย่างให้สังคมได้ [1]

อาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เป็นอาคารที่ใช้ทรัพยากรน้ำและพลังงานส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมการเรียนการสอน เป็นต้น โดยในช่วงเดือนมกราคม - เดือนกันยายน 2563 มีการใช้ทรัพยากรน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 96.4 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 153 กิโลวัตต์-ชั่วโมง [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสำรวจและประเมินอาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้วยการทำสำนักงานสีเขียว ตามเกณฑ์มาตรฐานสำนักงานสีเขียว เพื่อให้อาคารเข้าเกณฑ์การประเมิน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสำรวจและประเมินอาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครตามมาตรฐานสำนักงานสีเขียว
2. เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงอาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ให้เข้าเกณฑ์มาตรฐานสำนักงานสีเขียว

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจเพื่อหาแนวทางปรับปรุงสำนักงานที่อยู่ภายในอาคาร 7 ให้เข้าเกณฑ์มาตรฐานสำนักงานสีเขียวของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นภาพรวมของสำนักงาน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ แบบตรวจสอบรายการ (Checklist) และทำการประเมินสำนักงานภายในอาคาร 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ซึ่งประกอบไปด้วย 6 หมวด ได้แก่ การกำหนดนโยบาย การวางแผนการดำเนินงานและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง การสื่อสารและสร้างจิตสำนึก การใช้ทรัพยากรและพลังงาน การจัดการของเสีย สภาพแวดล้อมและความปลอดภัย และการจัดซื้อและจัดจ้าง (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2562) [3] จากนั้นทำการประเมินให้คะแนนตาม Checklist ซึ่งจะประเมินตามหมวดต่างๆ ดังหัวข้อ ต่อไปนี้

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

หมวดที่ 1 การกำหนดนโยบาย การวางแผนการดำเนินงานและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

หมวดที่ 1.1 การกำหนดนโยบาย สิ่งแวดล้อม เป้าหมาย และแผนงานด้านสิ่งแวดล้อม

หมวดที่ 1.2 การแต่งตั้งคณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อม

หมวดที่ 1.3 การระบุประเด็นปัญหาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม

หมวดที่ 1.4 กฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ ด้านสิ่งแวดล้อม

หมวดที่ 1.5 การจัดการก๊าซเรือนกระจก

หมวดที่ 1.6 แผนงานโครงการที่นำไปสู่การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

หมวดที่ 1.7 การตรวจประเมินสำนักงานสีเขียวภายในสำนักงาน (สำหรับหน่วยงานที่ต่ออายุการรับรอง)

หมวดที่ 1.8 การทบทวนโดยฝ่ายบริหาร

หมวดที่ 2 การสื่อสารและสร้างจิตสำนึก

หมวดที่ 2.1 การฝึกอบรมให้ความรู้และประเมินความเข้าใจ

หมวดที่ 2.2 การรณรงค์และประชาสัมพันธ์แก่พนักงาน

หมวดที่ 3 การใช้พลังงานและทรัพยากร

หมวดที่ 3.1 การใช้น้ำ

หมวดที่ 3.2 การใช้พลังงาน (เชื้อเพลิง)

หมวดที่ 3.3 การใช้พลังงาน (ไฟฟ้า)

หมวดที่ 3.4 ทรัพยากรอื่น ๆ

หมวดที่ 3.5 การจัดประชุมและนิทรรศการ

หมวดที่ 4 การจัดการของเสีย

หมวดที่ 4.1 การจัดการของเสียในสำนักงาน

หมวดที่ 4.2 การจัดการน้ำเสียในสำนักงาน

หมวดที่ 5 สภาพแวดล้อมและความปลอดภัย

หมวดที่ 5.1 อากาศในสำนักงาน

หมวดที่ 5.2 แสงในสำนักงาน

หมวดที่ 5.3 เสียง

หมวดที่ 5.4 ความน่าอยู่

หมวดที่ 5.5 การเตรียมพร้อมต่อภาวะฉุกเฉิน

หมวดที่ 6 การจัดซื้อและจัดจ้าง

หมวดที่ 6.1 การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ และการจัดจ้างในสำนักงาน

หมวดที่ 6.2 การจัดจ้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะทำการแยกตามหมวดหมู่ที่ได้กำหนดในเกณฑ์ประเมินของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยจะระบุคะแนนที่ได้และคะแนนเต็มกำกับไว้ในแต่ละข้อดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คะแนนที่ได้ในแต่ละหมวดหมู่

หมวด/ตัวชี้วัด	คะแนนที่ได้	คะแนนเต็ม
หมวดที่ 1 การกำหนดนโยบาย การวางแผนการดำเนินงานและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง		
1.1 การกำหนดนโยบายสิ่งแวดล้อม	0	20
1.2 คณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อม	0	8
1.3 การระบุประเด็นปัญหาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม	0	8
1.4 กฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	0	8
1.5 ข้อมูลก๊าซเรือนกระจก	0	12
1.6 แผนงานโครงการที่นำไปสู่การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง	0	8
1.7 การตรวจประเมินสำนักงานสีเขียวภายในสำนักงาน (สำหรับหน่วยงานที่ขอต่ออายุ)	0	4
1.8 การทบทวนฝ่ายบริหาร	0	8
หมวดที่ 2 การสื่อสารและสร้างจิตสำนึก		
2.1 การอบรมให้ความรู้และประเมินความเข้าใจ	0	8
2.2 การรณรงค์และประชาสัมพันธ์แก่พนักงาน	9	16
หมวดที่ 3 การใช้ทรัพยากรและพลังงาน		
3.1 การใช้น้ำ	5	12
3.2 การใช้พลังงาน	6	20
3.3 การใช้ทรัพยากรอื่นๆ	7	20
3.4 การประชุมและการจัดนิทรรศการ	4	8

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

หมวด/ตัวชี้วัด	คะแนน ที่ได้	คะแนน เต็ม
หมวดที่ 4 การจัดการของเสีย		
4.1 การจัดการของเสีย	4	8
4.2 การจัดการน้ำเสีย	4	8
หมวดที่ 5 สภาพแวดล้อมและความปลอดภัย		
5.1 อากาศในสำนักงาน	3	12
5.2 แสงในสำนักงาน	0	4
5.3 เสียง	4	8
5.4 ความน่าอยู่	6	16
5.5 การเตรียมพร้อมต่อสภาวะฉุกเฉิน	0	12
หมวดที่ 6 การจัดซื้อและจัดจ้าง		
6.1 การจัดซื้อสินค้า	0	12
6.2 การจัดจ้าง	0	12
รวมคะแนนทั้งหมด	52	252

สรุปผลการวิจัย

การตรวจประเมินการเป็นสำนักงานสีเขียวของอาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เมื่อเทียบเข้าเกณฑ์การประเมินการเป็นสำนักงานสีเขียวของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม พบว่า อาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ยังไม่เข้าเกณฑ์การประเมินสำนักงานสีเขียว ซึ่งได้คะแนนรวมทั้งหมด 52 คะแนน จากคะแนนทั้งหมด 252 คะแนนคิดเป็นร้อยละ 20.63 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คะแนนรวมแต่ละหมวดหมู่

หมวด	น้ำหนัก (ร้อยละ)	คะแนน ทั้งหมด	คะแนน ที่ได้
1. การกำหนดนโยบาย การวางแผน การดำเนินงาน และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง	25	76	0
2. การสื่อสารและสร้างจิตสำนึก	15	24	9
3. การใช้ทรัพยากรและพลังงาน	15	60	22
4. การจัดการของเสีย	15	16	8
5. สภาพแวดล้อมและความปลอดภัย	15	52	13
6. การจัดซื้อและจัดจ้าง	15	24	0
รวม	100	252	52

จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการคะแนนในการประเมินสำนักงานสีเขียวภายในอาคาร 7 เพื่อให้เข้าเกณฑ์การประเมินสำนักงานสีเขียว นั้น แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. นโยบาย เนื่องจากอาคาร 7 ยังไม่มีการกำหนดนโยบายสิ่งแวดล้อม หรือเป้าหมายและแผนงานด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร 7 จากผู้บริหารสูงสุดขององค์กร
2. บุคคล เนื่องจากอาคาร 7 มีบุคลากรจากหลายหน่วยงาน ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์และสถิติ สาขาคอมพิวเตอร์ สาขาสารสนเทศศาสตร์ รวมถึงห้องสมุดและคลินิกเทคโนโลยี จึงยากต่อการควบคุมหรือประชาสัมพันธ์ได้อย่างทั่วถึง

ข้อ 1 และ ข้อ 2 สอดคล้องกับงานวิจัย ที่กล่าวถึงบุคคลที่มีอำนาจสูงสุดในหน่วยงาน ได้แก่ ผู้บริหาร หรือผู้รับผิดชอบ ขาดความรู้ความเข้าใจ และขาดความตระหนัก และไม่ให้ความสำคัญเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงมีผลทำให้กระบวนการต่างๆ ล่าช้าหรือไม่เกิดการดำเนินงานเกี่ยวกับโครงการสำนักงานสีเขียว [4]

3. งบประมาณ เนื่องจากการทำสำนักงานสีเขียว ต้องใช้งบประมาณในการจัดการและดำเนินการค่อนข้างสูง เช่น การรณรงค์/ประชาสัมพันธ์ การอบรม/การให้ความรู้ การซื้อวัสดุและครุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กชกร อางน้อยและปิยณัฐ เวทย์วิวัฒน์ [5] ที่กล่าวว่า ปัญหาและอุปสรรคที่ทำให้เจ้าของโครงการส่วนใหญ่ไม่พัฒนาสำนักงานสีเขียว คือ ต้นทุนในการพัฒนา ที่อาจมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าอาคารทั่วไป ขาดทางเลือกของวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามมาตรฐาน และตลาดก็ยังไม่ตอบรับในเรื่องนี้มากนัก

ข้อเสนอแนะ

- 1) ปัจจุบันอาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ยังไม่มีนโยบายที่ชัดเจนในเรื่องการทำสำนักงานสีเขียว ดังนั้นผู้บริหารมหาวิทยาลัยฯ ควรกำหนดนโยบายที่เป็นแบบแผนชัดเจน เพื่อแต่งตั้ง

คณะกรรมการดำเนินงาน วัตถุประสงค์และมาตรการ
ในการดำเนินการเพื่อการเป็นสำนักงานสีเขียว

2) ในการทำโครงการสำนักงานสีเขียว ควรตรวจสอบ
สำนักงานที่มีภายในอาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี เพื่อประชาสัมพันธ์วัตถุประสงค์ของโครงการ
ให้แต่ละสำนักงานทราบอย่างชัดเจนและปฏิบัติไป
ในแนวทางเดียวกัน

3) ควรวางเครื่องพิมพ์เอกสาร (Printer) ให้ห่างไกล
จากพลังงานหรือบุคลากร ถ้าหากมีพื้นที่ไม่เพียงพอต่อ
การจัดวางเครื่องพิมพ์เอกสาร (Printer) เราควรหาต้นไม้
ที่สามารถดูดซับสารพิษมาตั้งไว้ใกล้กับเครื่องพิมพ์เอกสาร
(Printer) เช่น พลูด่าง วาสนา เดหลี เฟิร์น จิ้ง สวาน้อย
ประแป้ง เป็นต้น

4) ควรมีการเลือกใช้อุปกรณ์แสงสว่างที่มี
ประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หรือมีการใช้
แสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาช่วยในการเพิ่มแสงสว่าง

5) ควรมีการกำหนดหรือจัดพื้นที่พักผ่อน พื้นที่
สีเขียว พื้นที่รับประทานอาหาร ไว้ในสำนักงาน

6) ควรมีการกำหนดให้มีผู้ดูแลรักษาความสะอาด
และความเป็นระเบียบเรียบร้อย หรือหากมีการจ้าง
แม่บ้านอยู่แล้วเราสามารถจัดทำตารางการดูแลรักษา
ความสะอาด

7) ควรมีการสร้างจิตสำนึกแก่พลังงานหรือบุคลากร
ในเรื่องการดูแลรักษาสภาพแวดล้อมภายในสำนักงาน เช่น
การนำหลัก 5ส. มาปฏิบัติ ได้แก่ สะสาง สะดวก สะอาด
สุขลักษณะ สร้างนิสัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และ
ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์
ในเรื่องของสารเคมีและห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ
ฝ่ายอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้
ความอนุเคราะห์ข้อมูล และขอขอบคุณบุคลากรทุกท่าน
ในอาคาร 7 (อาคารเรียนรวม) มหาวิทยาลัยราชภัฏ

สกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่และให้ข้อมูล
ต่างๆ ที่ต้องใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สยาม อรุณศรีมรกต และคณะ. (2562). *มาตรฐานสำนักงานสีเขียว (Green Office Standard)*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). พ.ศ. 2562 (20 April 2019). จากสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [2] ฝ่ายอาคารสถานที่. (2563). *สถิติการใช้พลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*. (สืบค้น 20 กันยายน 2563).
- [3] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2562). *เกณฑ์การประเมินสำนักงานสีเขียว 2019*. สืบค้น 10 มีนาคม 2562, จาก <http://www.datacenter.deqp.go.th/service-portal/g-green/greenoffice/download/greenoffice2019/>
- [4] ณัฐพล เขตกระทอก. (2556). *แนวทางการปรับปรุงอาคารตามมาตรฐานอาคารเขียว: กรณีศึกษาอาคารบรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*. สืบค้น 12 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5018/1/AbstractTh-Eng.pdf>
- [5] กชกร อาจน้อย และปิยนุช เวทย์วิวัฒน์. (2557). *ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาอาคารเขียว: กรณีศึกษาอาคารในประเทศไทย. 90*, 27 (ตุลาคม - ธันวาคม 2557). สืบค้น 12 พฤษภาคม 2563, จาก <https://www.tci-thaijo.org/index.php/kuengj/article/view/>.

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่จัดเก็บแกนกระดาษ กรณศึกษา: โรงงานผลิต ม้วนกระดาษกราฟ

The Increasing of Efficiency in Space for Storing the Paper Core : Case Study

นิชกานต์ สมบูรณ์ และจุมพล วรสายณ์

Nitchakarn Somboon, Jumpol Vorasayan

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

nitchakarn.som@ku.th, fagijpv@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่จัดเก็บแกนกระดาษสำหรับใช้เป็นไส้ม้วนกระดาษของโรงงานผลิตม้วนกระดาษกราฟจากการที่ทางโรงงานมีสินค้าคงคลังอยู่หลาย SKUs มีปริมาณมากและไม่มีการจัดวางในพื้นที่ที่เหมาะสมทำให้เกิดปัญหาสินค้าไม่มีชั้นวางจำนวนมากงานวิจัยนี้ได้หาแบบการเก็บพื้นที่จัดเก็บสินค้าคงคลังให้มีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่บริหารจัดการพื้นที่จัดเก็บให้ได้มากที่สุดเพียงพอในการแก้ปัญหาได้สร้างวิธีการหาแบบการจัดเก็บทางคณิตศาสตร์ร่วมกับฮิวริสติกส์ (Heuristic) เพื่อออกแบบการจัดวางสินค้าคงคลังทั้งหมดลงบนชั้นวางโดยใช้พื้นที่จัดเก็บน้อยที่สุดตามเงื่อนไขของพื้นที่จัดเก็บและสินค้าคงคลังแต่ละตัวทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอออกมาในรูปแบบจำลองโปรแกรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Nonlinear Programs: MINLP) และพัฒนาฮิวริสติกส์สำหรับแก้ปัญหาได้โดยผลจากการแก้ปัญหาขนาดเล็กวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic Optimization) ด้วยแพ็คเกจ Gekko บนภาษา Python เปรียบเทียบกับแบบทั่วไป (Genetic Algorithm) ในโปรแกรม Excel มีความแตกต่างกันอย่างมากและใช้เวลาในการประมวลผลได้เร็วกว่าและฮิวริสติกส์ที่ออกแบบขึ้นในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ผลที่ได้ง่ายต่อการทำงานในขั้นตอนถัดไปสามารถนำข้อมูลที่ได้ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Multiple Knapsack Problem ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถกำจัดสินค้าที่ไม่มีชั้นวางได้โดยใช้พื้นที่จัดเก็บได้อย่างน้อยที่สุด

คำสำคัญ : การใช้พื้นที่จัดเก็บให้มีประสิทธิภาพสูงสุด, แบบจำลองโปรแกรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงจำนวนเต็มผสม, วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต

Abstract

This research studies the method to optimize the utilization of paper core storage space for the filling of the paper rolls of the kraft paper reel factory. This factory has several SKUs in inventory. And it has a large volume and this factory doesn't have a proper inventory management. As a result, there are many product problems that do not have shelves. Under the resources available, this research looks at how to store inventory down the shelves to maximize space utilization, place them in storage areas. To solve this problem, we have created a method for finding mathematical storage formats in conjunction with Heuristic. It places the layout of the entire inventory on the shelves under the condition of individual storage and inventory. The solution to this problem, presented it as

a Mixed Integer Non-Linear Programs (MINLP) model and developed heuristics. In a small problem, the results of the Dynamic Optimization method with Gekko package in Python language compared with Genetic Algorithm in Excel. Dynamic Optimization method varies greatly and take much faster processing time than the Genetic Algorithm. And this heuristic is designed to solve large problems. The result can be used as the input data of the next step, it is the input data of the Multiple Knapsack Problem (MKP) model. The result is an inventory sorting format that uses space based on the guidelines provided by MKP. It can provide a storage compartment for every current inventory that uses the least amount of storage space.

Keywords : Maximize Space Utilization, Mixed Integer Non-Linear Programs (MINLP), Dynamic Optimization

1. บทนำ

จากกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะในส่วนงานของงานแกนกระดาษ (Paper Core) ที่ใช้เป็นไส้ยัดมัน กระดาษพบสินค้าค้างคองคลัง (Deadstock) และสินค้ามีมากเกินไปจนวางจึงมีสินค้าค้างคองคลังที่ไม่มีชั้นวางอยู่ 39 รายการ จากสินค้าค้างคองคลังทั้งหมด 108 รายการหรือคิดเป็นร้อยละ 12 ของสินค้าค้างคองคลังทั้งหมดเนื่องจากแกนกระดาษนี้มีความหลากหลายของขนาดความยาวอยู่มากกว่า 150 ขนาด (SKUs) และปริมาณยอดการใช้แกนกระดาษในแต่ละวันมีจำนวนมากและมีแนวโน้มจะมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นจากทรัพยากรที่โรงงานมีอยู่ ณ ปัจจุบันต้องการหาแนวทางมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่คลังสินค้าให้สูงขึ้นเพื่อรองรับปริมาณแกนกระดาษที่มีอยู่ทั้งหมด ปัญหาในครั้งนี้จึงมีจำนวน Variable เยอะ ในการหาช่องว่างให้กับ SKU นั้นๆ จึงใช้ฮิวริสติกส์ (Heuristic) ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic Optimization) ในรูปแบบจำลองโปรแกรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Nonlinear Programs: MINLP) ด้วยแพคเกจGekkoบนภาษา Python ที่มีความสามารถในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้แบบยืดหยุ่นกว่าวิธีอื่นๆ และเหมาะกับระบบสมการเชิงอนุพันธ์และพีชคณิตขนาดใหญ่ที่มีตัวแปรจำนวนเต็มต่อเนื่องหรือผสม[1] และดัดแปลงวิธีการหา Bin ให้กับ Item ที่มีทั้งหมด โดยที่แต่ละ Bin มีความสามารถในการจุ Item ที่แตกต่างกัน หารูปแบบ

ในการจัด Item ลง Bin ให้มีปริมาณ Bin น้อยที่สุดของ Multiple Knapsack Problem ที่ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาในการทำงานจริงหลาย ๆ ด้าน เช่น การตัดสต็อกสินค้า [2] การจัดสรรทรัพยากร [3] และการจัดทำงานงบประมาณ [4] ด้วยแพคเกจ Ortools บนภาษา Python [5] ในการจัดวางแกนกระดาษแต่ละ SKU ลงชั้นวาง ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่คลังได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาแบบจำลองในการจัดเก็บสินค้าค้างคองคลังที่เป็นสินค้ากลุ่มแกนกระดาษโดยสามารถจัดหาชั้นวางให้กับแกนกระดาษทุก SKUs ลงบนชั้นได้ตามเงื่อนไข

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ข้อมูล

ข้อมูลชุดปัญหาคือ ข้อมูลปริมาณแกนกระดาษในแต่ละ SKUs ที่มีในคลังสินค้า จำนวน 108 รายการ

ข้อจำกัดของคลังสินค้า คือ รายละเอียด เงื่อนไขในการจัดวางสินค้าค้างคองคลังข้อจำกัดของชั้นวาง มีชั้นวางจำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้นวางมีช่องวางทั้งหมด 48 ช่อง เป็นชั้นบนจำนวน 24 ช่อง ชั้นล่าง 24 ช่อง โดยแต่ละช่องสามารถเก็บได้เพียง SKU เดียวเท่านั้น ชั้นบนและชั้นล่างสามารถจุแกนกระดาษได้สูงสุด 36 และ 72 ท่อนตามลำดับ และฝั่งคลังสินค้า

3.2 กำหนดตัวแปร

ปัญหาขนาดเล็ก (variables = 40)

x_i คือ จำนวนช่องว่างแกนกระดาดชั้นบนของ SKU i (หน่วยช่อง) ($i = 1, 2, \dots, 20$)

y_i คือ จำนวนช่องว่างแกนกระดาดชั้นล่างของ SKU i (หน่วยช่อง) ($i = 1, 2, \dots, 20$)

c_i คือ จำนวนแกนกระดาดทั้งหมดของ SKU i (หน่วยท่อน) ($i = 1, 2, \dots, 20$)

$w_i = c_i - (36x_i + 72y_i)$ คือ จำนวนแกนกระดาดที่ไม่ได้เก็บในช่อง ของ SKU i (หน่วยท่อน) ($i = 1, 2, \dots, 20$) กรณีถ้าค่าเป็นลบ แสดงว่าแกนกระดาดถูกจัดเก็บอยู่ในช่องทั้งหมด

ปัญหาขนาดใหญ่ (variables = 216)

x_i คือ จำนวนช่องว่างแกนกระดาดชั้นบน ของ SKU i (หน่วยช่อง) ($i = 1, 2, \dots, 108$)

y_i คือ จำนวนช่องว่างแกนกระดาดชั้นล่าง ของ SKU i (หน่วยช่อง) ($i = 1, 2, \dots, 108$)

c_i คือ จำนวนแกนกระดาดทั้งหมดของ SKU i (หน่วยท่อน) ($i = 1, 2, \dots, 108$)

$w_i = c_i - (36x_i + 72y_i)$ คือ จำนวนแกนกระดาดที่ไม่ได้เก็บในช่อง ของ SKU i (หน่วยท่อน) ($i = 1, 2, \dots, 108$) กรณีถ้าค่าเป็นลบ แสดงว่าแกนกระดาดถูกจัดเก็บอยู่ในช่องทั้งหมด

Multiple Knapsack Problem Model

Bin_i คือ ชั้นวางแกนกระดาด i (หน่วยแถว) ($i = 1, 2, 3$)

3.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ปัญหาขนาดเล็ก (variables = 40)

$$\sum_{i=1}^i x_i, \sum_{i=1}^i y_i \leq 25 \quad (i = 1, 2, \dots, 20)$$

ปัญหาขนาดใหญ่ (variables = 216)

$$\sum_{i=1}^i x_i, \sum_{i=1}^i y_i \leq 72 \quad (i = 1, 2, \dots, 108)$$

3.4 สมการเป้าหมาย (Objective Function)

การแก้ปัญหาหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

$$\text{Minimize } w_i^2 \text{ หรือ}$$

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^i (c_i - (36x_i + 72y_i))^2$$

$$(i = 1, 2, \dots, 108)$$

Multiple Knapsack Problem Model

$$\text{Minimize } c_i \quad (i = 1, 2, \dots, 108)$$

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic Optimization) ด้วยแพ็คเกจ Gekko บนภาษา Python หรือแบบจำลองโปรแกรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Nonlinear Programs: MINLP)

2. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทั่วไป (Genetic Algorithm) ด้วยวิธี Evolutionary ในโปรแกรม Excel

3. Multiple Knapsack Problem Model (MKP) ที่ใช้ CP-SAT solver ด้วยแพ็คเกจ Ortools บนภาษา Python

3.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย การพัฒนาแบบจำลองโปรแกรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงจำนวนเต็มผสม (MINLP) และ Multiple Knapsack Problem Model (MKP) โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

เป็นรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ จากโรงงานกรณีศึกษาที่มีข้อมูลดังนี้

1. ปริมาณแกนกระดาดในแต่ละSKU ที่มีในคลังสินค้าจำนวน 108 รายการ
2. รายละเอียดข้อจำกัดของคลังสินค้าฝั่งชั้นวางสินค้าคงคลัง และฝั่งคลังสินค้า

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing) เป็นการเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมแก่การนำไปวิเคราะห์และประมวลผล ด้วยการแปลงข้อมูล (Data Transformation) ที่อยู่ในรูปข้อความ (Text) เป็นตัวเลข (Number) ด้วย Excel

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

เป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ไขปัญหา

1. หาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกจัดวางแกนกระดาษลงบนช่องว่างคือการหาจำนวนช่องว่างให้เหมาะสมกับปริมาณแกนกระดาษของแต่ละขนาดที่มีทั้งช่องว่างขนาดเล็กและช่องว่างขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเงื่อนไขข้อจำกัดของการรองรับแกนกระดาษของชั้นวางด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic Optimization) ด้วยแพ็คเกจ Gekko บนภาษา Python

2. เปรียบเทียบความสามารถในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic Optimization) ด้วยแพ็คเกจ Gekko บนภาษา Python กับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทั่วไป (Genetic Algorithm) ด้วยวิธี Evolutionary ในโปรแกรม Excel ในปัญหาขนาดเล็กและขนาดใหญ่

3. การจัดแกนกระดาษ SKU i ลงชั้นวาง $Bini$ ด้วย Multiple Knapsack Problem Model ที่ใช้ CP-SAT solver ด้วยแพ็คเกจ Ortools บนภาษา Python

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาวิจัยสามารถรายงานและอภิปรายผลได้ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

4.1 หาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกจัดวางแกนกระดาษลงบนช่องว่าง

ผลการแก้ปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวน Variable เท่ากับ 40 วิธี การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic Optimization) ด้วยแพ็คเกจ Gekko บนภาษา Python สามารถทำให้สมการเป้าหมายต่ำที่สุด โดยให้ค่าคำตอบที่ใกล้ 0 มากใช้เวลาในการประมวลผล 0.55 วินาที และในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่มีจำนวน Variable เท่ากับ 216 สามารถทำให้สมการเป้าหมายต่ำที่สุด เท่ากับ 82,944 ใช้เวลาในการประมวลผล 20.96 วินาที

แสดงดังตารางที่ 1 และตัวอย่างผลการจัดวางแกนกระดาษ SKU i ลงบนช่องว่าง x_i และ y_i แสดงดังตารางที่ 2

4.2 เปรียบเทียบความสามารถในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกจัดวางแกนกระดาษลงบนช่องว่างของ 2 วิธี แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ปัญหา		Gekko	Excel
ขนาดเล็ก	Variable = 40		
	Objective:	0.00E+00	22,032
	Solution time (sec):	0.55	57.95
ขนาดใหญ่	Variable = 216		
	Objective:	82,944	-
	Solution time (sec):	20.96	-

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic Optimization) ด้วยแพ็คเกจ Gekko บนภาษา Python สามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้สมการเป้าหมายต่ำที่สุดได้ดีกว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทั่วไป (Genetic Algorithm) ด้วยวิธี Evolutionary ในโปรแกรม Excel โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัตนั้นสามารถทำให้สมการเป้าหมายต่ำที่สุดโดยให้ค่าคำตอบที่ใกล้ 0 มากและใช้เวลาในการประมวลผลไม่ถึง 1 วินาทีในการแก้ปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวน Variable เท่ากับ 40 ซึ่งประมวลผลได้เร็วกว่าแบบทั่วไปที่ใช้เวลาในการประมวลผลถึง 57.95 วินาที ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ มีจำนวน Variable เท่ากับ 216 มีเพียงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัตที่สามารถหาค่าคำตอบให้สามารถจัดแกนกระดาษ SKU i ลงชั้นวาง $Bini$ ได้ ในขณะที่วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทั่วไปไม่สามารถหาได้เนื่องจากมีข้อจำกัดของจำนวน Variable

4.3 การจัดแกนกระดาช SKU ลงชั้นวาง Bin*i*

ผลของการจัดแกนกระดาช SKU *i* ลงชั้นวาง Bin*i* ด้วย Multiple Knapsack Problem Model ที่ใช้ CP-SAT solver ด้วยแพ็คเกจ Ortools บนภาษา Python แสดงดังตารางที่ 2, 3 และ 4

ตารางที่ 2 ชั้นวางแกนกระดาชแถวที่ 1 (Bin 1)

Bin <i>i</i>	SKU <i>i</i>	c_i	x_i	y_i	w_i
1	3	2	1	0	-34
1	5	7	1	0	-29
1	6	9	1	0	-27
1	7	56	0	1	-16
1	13	3	1	0	-33
1	14	7	1	0	-29
1	15	7	1	0	-29
1	17	4	1	0	-32
1	22	7	1	0	-29
1	24	46	0	1	-26
1	26	3	1	0	-33
1	28	11	0	1	-61
1	29	115	0	2	-29
1	35	7	1	0	-29
1	37	3	1	0	-33
1	39	9	1	0	-27
1	45	6	1	0	-30
1	46	7	1	0	-29
1	47	139	0	2	-5
1	48	34	0	1	-38
1	51	3	1	0	-33
1	53	7	1	0	-29
1	60	120	0	2	-24
1	64	7	1	0	-29
1	68	7	0	1	-65
1	72	34	0	1	-38
1	76	24	1	0	-12

Bin <i>i</i>	SKU <i>i</i>	c_i	x_i	y_i	w_i
1	80	15	0	1	-57
1	83	9	1	0	-27
1	84	11	0	1	-61
1	85	23	0	1	-49
1	86	21	0	1	-51
1	89	27	1	0	-9
1	91	3	1	0	-33
1	94	21	0	1	-51
1	97	23	1	0	-13
1	98	14	0	1	-58
1	99	14	1	0	-22
1	100	28	0	1	-44
1	102	20	1	0	-16
1	104	11	0	1	-61
1	105	27	0	1	-45
1	106	9	0	1	-63
1	108	17	0	1	-55
1	3	2	1	0	-34

ตารางที่ 3 ชั้นวางแกนกระดาชแถวที่ 2 (Bin 2)

Bin <i>i</i>	SKU <i>i</i>	c_i	x_i	y_i	w_i
2	4	2	1	0	-34
2	12	63	0	1	-9
2	18	84	1	1	-24
2	21	134	0	2	-10
2	25	154	2	1	10
2	31	56	0	1	-16
2	33	109	4	0	-35
2	40	131	0	2	-13
2	42	9	1	1	-99
2	49	141	4	0	-3
2	55	46	0	1	-26
2	57	108	1	1	0
2	58	75	3	0	-33

Bin <i>i</i>	SKU <i>i</i>	c_i	x_i	y_i	w_i
2	62	113	0	2	-31
2	66	38	2	0	-34
2	67	64	2	0	-8
2	70	29	0	1	-43
2	74	28	0	1	-44
2	75	35	0	1	-37
2	77	36	0	1	-36
2	78	22	0	1	-50
2	81	38	2	0	-34
2	82	32	0	1	-40
2	88	36	0	1	-36
2	92	34	1	0	-2
2	93	27	0	1	-45
2	95	20	0	1	-52
2	101	24	0	1	-48
2	103	39	0	1	-33

ตารางที่ 4 ชั้นวางแกนกระดาชแถวที่ 3 (Bin 3)

Bin <i>i</i>	SKU <i>i</i>	c_i	x_i	y_i	w_i
3	1	5	1	0	-31
3	2	4	1	0	-32
3	8	5	1	0	-31
3	9	14	0	1	-58
3	10	8	1	0	-28
3	11	5	1	0	-31
3	16	6	1	0	-30
3	19	13	0	1	-59
3	20	5	1	0	-31
3	23	12	0	1	-60
3	27	33	1	0	-3
3	30	16	0	1	-56
3	32	31	0	1	-41
3	34	9	1	0	-27

Bin <i>i</i>	SKU <i>i</i>	c_i	x_i	y_i	w_i
3	36	162	1	2	-18
3	38	9	1	0	-27
3	41	12	0	1	-60
3	43	117	4	0	-27
3	44	13	0	1	-59
3	50	25	0	1	-47
3	52	5	1	0	-31
3	54	86	1	1	-22
3	56	7	1	0	-29
3	59	12	0	1	-60
3	61	12	0	1	-60
3	63	15	0	1	-57
3	65	8	1	0	-28
3	69	34	0	1	-38
3	71	63	2	0	-9
3	73	11	1	0	-25
3	79	23	1	0	-13
3	87	13	0	1	-59
3	90	34	0	1	-38
3	96	14	1	0	-22
3	107	6	0	1	-66

จากตารางที่ 2, 3 และ 4 แสดงการจัดแกนกระดาช SKU*i* ลงชั้นวางแกนกระดาชแถวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยใส่แกนกระดาชได้ 44, 29 และ 35 SKUs ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสามารถจัดวางแกนกระดาชที่มีทั้งหมด 108 SKUs ลงชั้นวางที่มีอยู่ทั้งหมด 3 แถวได้ และยังชั้นวางแถวที่ 1 และ 3 ยังเหลือช่องว่างว่างอยู่อีก 1 และ 5 ช่องตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่จัดเก็บสินค้าคงคลัง [6] เท่ากับ ผลรวมของปริมาณแกนกระดาชของSKUทั้งหมดที่ถูกวางอยู่บนชั้นวาง หาดด้วยจำนวนแกนกระดาชที่ชั้นวางทั้งหมดสามารถใส่ได้ พบว่างานวิจัยนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บสินค้าคงคลังได้สูงขึ้นร้อยละ

4.76 จากก่อนการทำวิจัยซึ่งสามารถจัดเก็บแกนกระดาษได้ 108 SKUs จากสินค้าคงคลังทั้งหมด 108 SKUs และเหลือช่องว่างว่างอีก 6 ช่อง แสดงดังตารางที่ 5

ในการดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ ผศ.ดร.จุมพลวรสายัณห์ที่ให้คำแนะนำปรึกษาและคณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการใช้พื้นที่จัดเก็บสินค้าคงคลัง

	สถานะ	SKUs	จำนวน ท่อน	Efficiency
Before	มีชั้นวาง	69	3181	40.91%
	ไม่มีชั้นวาง	39	370	
After	มีชั้นวาง	108	3551	45.67%
	ไม่มีชั้นวาง	0	0	

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic Optimization) สามารถหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดให้กับการเลือกชั้นวางให้กับแกนกระดาษแต่ละ SKUs ตามความเหมาะสมของปริมาณท่อนได้ในขณะที่วิธีสถิติแบบทั่วไปไม่สามารถประมวลผลได้เช่นเดียวกับที่ Beal et. al (2018) ได้กล่าวไว้ว่าแพคเกจ GEKKO ของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัตมีทั้งความยืดหยุ่นและเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบสมการเชิงอนุพันธ์และพีชคณิตขนาดใหญ่ที่มีตัวแปรจำนวนเต็มต่อเนื่องหรือผสมสำหรับใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต [1]

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

ในกรณีที่มีการขยายการผลิตต้องการจัดหาชั้นวางแกนกระดาษเพิ่มสามารถใช้แบบจำลองนี้เพื่อหาจำนวนชั้นวางที่จำเป็นในการรองรับแกนกระดาษได้จำนวน Bin ของแบบจำลอง Multiple Knapsack Problem จะคำนวณจำนวนชั้นที่จำเป็นต้องใช้น้อยที่สุดที่สามารถรองรับแกนกระดาษได้สูงที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้จัดการฝ่ายผลิต โรงงานผลิตมันวุ้นกระดาษคราฟท์บริษัทไทยเคนเปเปอร์จำกัด (มหาชน) จังหวัดกาญจนบุรี ที่ให้ข้อมูลกรณีศึกษาและโอกาส

เอกสารอ้างอิง

- [1] Beal, L. D., Hill, D. C., Martin, R. A., & Hedengren, J. D. (2018). Gekko optimization suite. *Processes*, 6(8), 106.
- [2] Degraeve, Z. & Peeters, M. (2003). Optimal Integer Solutions to Industrial Cutting-Stock Problems. *INFORMS Journal on Computing*, 15(1), 58-81.
- [3] Katoh, N. & Ibaraki, T. (1998). Resource Allocation Problems, in *Handbook of Combinatorial Optimization*, D. Z. Du. & P. M. Pardalos, Ed. Boston, *Springer*, 905-1006.
- [4] Abdul-Rahman S. & Chun Yung,V. (2019). Comparison of Optimization and Tabu Search Approach for Solving Capital Budgeting Based on Knapsack Problem, in *Recent Applications in Quantitative Methods and Information Technology*, Sintok: *UUM Press*, 1-24.
- [5] Google Developers Java. (2020). https://developers.google.com/optimization/bin/multiple_knapsack
- [6] Gaffney, J. (2021). *Implementing key performance indicators (KPI) metrics in a warehouse setting*.

การพัฒนาโลชั่นบำรุงผิวจากสารสกัดฟักข้าว

The Development of Skin Care Gac Extract Lotion

อมรรัตน์ แท่งทอง

A-monrat Thangthong

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

t.amonrat@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของสารสกัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวและผลิตภัณฑ์โลชั่นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ 4 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันกระบก น้ำมันปาล์ม และโพรพิลีน ไกลคอล พบว่าน้ำมันมะพร้าวทำให้ได้ปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.821 ± 0.135 มิลลิกรัมต่อกรัม และน้ำมันกระบกทำให้ได้ปริมาณไลโคปีนมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.005 ± 0.171 มิลลิกรัมต่อกรัม และเวลาในการสกัดที่เหมาะสมคือ 2 ชั่วโมงทำให้ได้ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.736 ± 0.093 มิลลิกรัมต่อกรัมและ 0.899 ± 0.073 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สารสกัดจากฟักข้าวเมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์โลชั่น พบว่าโลชั่นมีลักษณะเป็นสีขาว เป็นเนื้อเดียวกัน มีกลิ่นและความคงตัวที่ดี มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.84-4.08 และเมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี พบว่า โลชั่นมีปริมาณโลหะหนักคือ ตะกั่ว สารหนู และปรอท เท่ากับ 0.0001, 0.0020 และ 0.0037 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวสมุนไพร มอก. เอส 15-2561

คำสำคัญ : ฟักข้าว, เบต้าแคโรทีน, ไลโคปีน, สารสกัด, โลชั่น

Abstract

The purpose of this research was to study solvents suitable for extraction of antioxidants from Gac seed coat and analyze the physical and chemical properties of Gac extracts and lotion products. There were studies of suitable solvents for extracting antioxidants from the gac seed coat in four solvents: coconut oil, krabok oil, palm oil and propylene glycol. Most carotene which was 1.821 ± 0.135 mg / g, and krabok oil gave the highest lycopene content. which is 1.005 ± 0.171 mg / g. The researcher then selected coconut oil as a solvent for extracting antioxidants from Gac seed coat by soaking to find the optimum extraction time at 1, 2, and 3 hours. The highest amount of beta-carotene and lycopene which is equal to 1.736 ± 0.093 and 0.899 ± 0.073 Milligrams per gram. In addition, extracts from Gac seed coat were developed into lotion. Lotion containing 1.5 ml Gac extract and 2.5 ml Gac extract lotion with white flesh. Homogeneous Smells the same When the lotions were analyzed for heavy metals such as lead, arsenic and mercury by Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), the base lotion had good stability and pH value of 3.84-4.08. Lotion had lead content of 0.0001, 0.0020, and 0.0037 mg / l, respectively, arsenic values were 0.00201, 0.00208,

0.00193 respectively and mercury values were 0.00366, 0.01116., 0.00419 mg / l, respectively, which these values do not exceed TIS 15-2561 standard.

Keywords : Gac, β -carotene, Lycopene, extract, Lotion

1. บทนำ

ปัจจุบันสารแคโรทีนอยด์นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสุขภาพ ยา และเวชสำอาง ในการเพิ่มสีให้แก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสีที่ได้จากแคโรทีนอยด์มีความคงตัวค่อนข้างสูงและยังมีสารอาหารและสารพิษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีรายงานวิจัยทางการแพทย์รายงานว่า แคโรทีนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งปอด มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งปากมดลูก โรคเบาหวาน และโรคหัวใจ [1] แคโรทีนอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยามีราคาสูงถึงประมาณกิโลกรัมละ 5,000-100,000 บาท เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แคโรทีนอยด์มีหลายร้อยชนิด แต่มีเพียง 24 ชนิดที่พบในอาหาร เช่น เบต้าแคโรทีน ไลโคปีน และไวโอลาแซนทิน แม้ว่าในปัจจุบันการผลิตเบต้าแคโรทีนโดยวิธีการสังเคราะห์ซึ่งมีราคาถูกกว่าเบต้าแคโรทีนที่สกัดจากธรรมชาติ แต่ผู้บริโภคให้ความสนใจและยอมรับเบต้าแคโรทีนที่มาจากธรรมชาติมากกว่า ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการพึ่งพาจากต่างประเทศจึงได้มีการศึกษาการสกัดเบต้าแคโรทีนในวัตถุดิบต่างๆ อย่างหลากหลาย [2]

ในปัจจุบันมีรายงานวิจัยหลายงานวิจัยพบว่า ในเห็ดห่มเมสึดฟักข้าวที่มีสีแดงมีสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด เช่น มีกรดไขมันจำเป็นที่มีส่วนช่วยให้ร่างกายทำงานได้ปกติ เนื่องจากมีปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนซึ่งเป็นสารที่มีสีส้มแดงอยู่ในปริมาณที่สูงโดยมีปริมาณเบต้าแคโรทีนมากกว่าแครอท 10 เท่า และมีปริมาณไลโคปีนสูงกว่าในมะเขือเทศ 12 เท่า [3-4]

ฟักข้าวเป็นพืชที่มีอยู่ในท้องถิ่นมีทั่วทุกภูมิภาคในประเทศไทยและมีราคาถูกกิโลกรัมละประมาณ 10 บาท

และมีอายุการเก็บเกี่ยวที่สั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของฟักข้าว และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรและสร้างอาชีพให้กับชุมชนโดยการนำฟักข้าวมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์โลชั่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะในการสกัดสารสำคัญจากเห็ดห่มเมสึดฟักข้าวด้วยวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นในการสกัดเพื่อนำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์โลชั่นสำหรับใช้เป็นสินค้าในชุมชนต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากเห็ดห่มเมสึดฟักข้าว
2. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของสารสกัดเห็ดห่มเมสึดฟักข้าวและผลิตภัณฑ์โลชั่น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น คือ สารสกัดจากเห็ดห่มเมสึดฟักข้าวจากตัวทำละลาย 4 ชนิด น้ำมันกระบก น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และโพรไพลีนไกลคอล

ตัวแปรตาม คือ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดฟักข้าวในตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีโดยเทคนิคสเปกโตรสโคปีโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานสารละลาย และการหาปริมาณโลหะหนักโดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโคปี (Atomic absorption spectroscopy, AAS)

2. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ความคงตัว สี กลิ่น การตกตะกอน การแยกชั้นโดยวิธีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวสมุนไพร มอก. เอส 15-2561

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัด และการหาความชื้นผง พักข้าว ผลพักข้าวระยะสุกแก่ จากตลาดบายนพาส อำเภอมือง จังหวัดสกลนคร ทำการล้างทำความสะอาด ผ่าครึ่งควั่นเมล็ดออกมาแล้วนำไปคั้นเอาเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าว จากนั้นจากนั้นนำไปปั่นรวมกันให้ละเอียดแล้วชั่งน้ำหนัก และนำไปทำให้แห้งด้วยการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส จนความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยการสุ่มตัวอย่าง 3-5 กรัม ออกมาเพื่อหาความชื้น ดังสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 1}$$

2. การเตรียมตัวอย่างสารสกัดผงพักข้าว เพื่อการวิเคราะห์

1) ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด สารสำคัญจากพักข้าว ซึ่งผงพักข้าว 3 กรัม แขนในตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันกระบก น้ำมันมะพร้าว และโพรไพลีน ไกลคอล 9 กรัม จากนั้นแช่ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นดูดส่วนใส ด้านบนเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีน

2) เวลาที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจาก พักข้าว ซึ่งผงพักข้าว 3 กรัม แขนในน้ำมันมะพร้าว 9 กรัม นำไป sonicate เป็นเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง จากนั้นดูด ส่วนใสด้านบนเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคปีน

3. การวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนในผง พักข้าวด้วยเทคนิค UV-spectrophotometry [5]

1) สร้างกราฟมาตรฐานสารละลายเบต้าแคโรทีน เตรียมสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีน โดยชั่งสารเบต้า แคโรทีน 0.005 กรัม ปริมาตรด้วย hexane 50 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีนมา 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ไมโครลิตร ปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ด้วย ethyl acetate แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

2) นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการ ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Merck รุ่น Spectroquant® Prove 300)

4. การวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนจากผง เยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าว ดูดสารสกัดพักข้าวที่เตรียมได้มา 0.06 มิลลิลิตร เติมน้ำมัน hexane 20 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่า ด้วย vortex 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที ดูดส่วนใสไปวัดค่า การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณเบต้า แคโรทีนจากกราฟเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานเบต้า แคโรทีน

5. การวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนจากผงเยื่อหุ้ม เมล็ดพักข้าว ดูดสารสกัดพักข้าวที่เตรียมได้มา 0.06 มิลลิลิตร เติมน้ำมัน ethyl acetate 20 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่า ด้วย vortex 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที ดูดส่วนใสไปวัดค่า การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณไลโคปีน จากกราฟเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานไลโคปีน

6. การศึกษาความคงตัวของไลโคปีนจากผงเยื่อหุ้ม เมล็ดพักข้าว

1) การเตรียมไลโคปีนจากสารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ด พักข้าวมีส่วนประกอบดังตารางที่ 1 มีขั้นตอนดังนี้ [8]

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ น้ำมันหอม องค์ประกอบส่วนที่เป็นไขมันของแข็ง บนหม้ออ่างไอน้ำ เติมน้ำมันส่วนที่เป็นของเหลวอื่น ๆ แล้วทำให้ร้อนจนถึง อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

1.2 การเตรียมวัตถุดิบ ละเอียดสารเพิ่มความหนืด สารให้ความชุ่มชื้นต่าง ๆ และสารสกัดผงฟักข้าว ในน้ำมันมะพร้าว เติมน้ำมันและน้ำส่วนที่เหลือ ทำให้ ร้อยบนหม้ออังไอน้ำ จนถึงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

1.3 การทำให้เกิดอิมัลชัน เติมน้ำมัน น้ำลงในวัตถุดิบ พร้อมทั้งคนจนเกิดเนื้อครีมขึ้น

ตารางที่ 1 สูตรโลชั่นผสมสารสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

สาร	%w/w
Coconut oil	3.5
Stearic acid	5
E-Wax	5
Shea Butter	1
IPM	5
silicone	5
Gac extract	0.5
water	75

2) การทดสอบความคงตัว

2.1 การเร่งด้วยอุณหภูมิ (Heating-Cooling Cycle) โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ แบ่งใส่ขวดแก้วทึบแสง ปิดฝาเก็บไว้ในตู้เย็น (4 องศาเซลเซียส) นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นเข้าตู้อบที่ 45 องศาเซลเซียส อีก 48 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ ทดสอบทั้งหมด 6 รอบ ทำการบันทึกผล ความหนืด สี กลิ่น การแยกชั้น และพีเอช

2.2 การเร่งด้วยแสง โดยการนำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ใส่ขวดแก้วใส นำไปวางในสภาพต่าง ๆ นาน 1 เดือน

ขวดที่ 1 วางในตู้เย็น

ขวดที่ 2 เก็บในตู้มืด

ขวดที่ 3 ตั้งไว้ริมหน้าต่าง

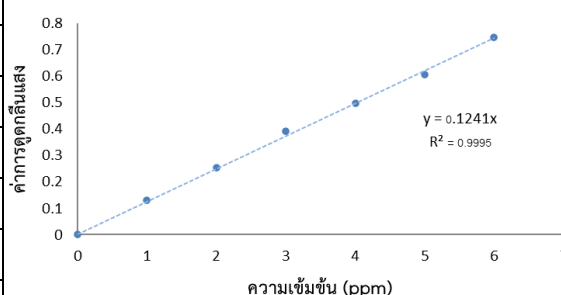
7. การหาปริมาณโลหะหนักในโลชั่นจากผงสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยการวิเคราะห์โลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) และปรอท (Hg) โดยเทคนิค Atomic absorption spectroscopy

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาปริมาณสารสำคัญในสารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

4.1 การศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

1) การหาปริมาณเบต้าแคโรทีน จากการวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนของสารสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายเบต้าแคโรทีนความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนได้กราฟมาตรฐานดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานสารละลายเบต้าแคโรทีน

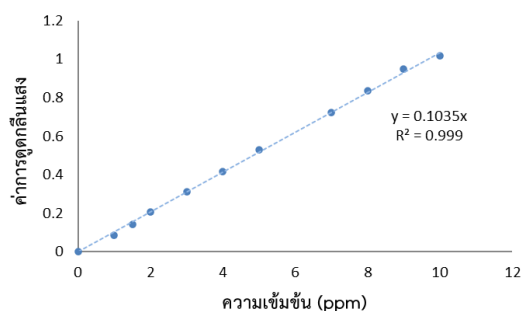
กราฟมาตรฐานสารละลายเบต้าแคโรทีน สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนของสารสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ได้สมการ $y = 0.1241x$ และ $r^2 = 0.9995$ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเมื่อนำสารสกัดตัวอย่างที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันกระบก น้ำมันมะพร้าว และโพรไพลีน ไกลคอล ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในสารสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในตัวทำละลาย 4 ชนิด

ตัวทำละลาย	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (mg/g)	
	เบต้าแคโรทีน	ไลโคปีน
น้ำมันมะพร้าว	1.821 ± 0.135	0.636 ± 0.048
น้ำมันกระบก	1.106 ± 0.017	1.005 ± 0.171
น้ำมันปาล์ม	1.202 ± 0.035	0.436 ± 0.018
โพรไพลีน ไกลคอล	0.184 ± 0.097	0.893 ± 0.074

จากตารางที่ 1 ตัวอย่างสารสกัดผงฟักข้าวที่แช่ในตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันกระบก น้ำมันปาล์ม และโพรไพลีน ไกลคอล เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า สารสกัดจากน้ำมันมะพร้าวให้ปริมาณเบต้าแคโรทีน สูงที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันกระบก และ โพรไพลีนไกลคอล คือ 1.821, 1.202, 1.106, และ 0.184 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิราภรณ์ พิมภูมิ [6] ที่ศึกษาหาปริมาณเบต้าแคโรทีนจาก ฟักข้าว ในตัวทำละลาย hexane : acetone : ethanol (2 : 1 : 1) 1 มิลลิลิตรมีปริมาณเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 2.992 มิลลิกรัมต่อกรัม

2) การหาปริมาณไลโคปีน จากการวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนของสารสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายไลโคปีนความเข้มข้น ต่าง ๆ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ได้กราฟมาตรฐานดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานสารละลายไลโคปีน

กราฟมาตรฐานสารละลายไลโคปีน สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนของสารสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ได้สมการ $y = 0.1035x$ และ $r^2 = 0.9990$ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณสารไลโคปีนเมื่อนำสารสกัดตัวอย่างที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันกระบก น้ำมันมะพร้าว และโพรไพลีน ไกลคอล ได้ผลดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 ตัวอย่างสารสกัดผงฟักข้าวที่แช่ในตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันกระบก น้ำมันปาล์ม และโพรไพลีน ไกลคอล เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า สารสกัดจากน้ำมันกระบกให้ปริมาณไลโคปีนสูงที่สุด รองลงมาคือ โพรไพลีนไกลคอล น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม

คือ 1.005, 0.893, 0.636, และ 0.436 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิราภรณ์ พิมภูมิ [2] ที่ศึกษาหาปริมาณเบต้าแคโรทีนจากฟักข้าวในตัวทำละลาย petroleum ether มีปริมาณไลโคปีน เท่ากับ 1.146 มิลลิกรัมต่อกรัม

4.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

1) การหาปริมาณเบต้าแคโรทีน จากการวิเคราะห์หาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารเบต้าแคโรทีน พบว่า สารสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในน้ำมันมะพร้าวให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด เราจึงนำน้ำมันมะพร้าวมาใช้ในการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ผลจากการ sonicate สารสกัดผงฟักข้าวในน้ำมันมะพร้าวเป็นเวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมง เทียบกับการแช่สารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระยะเวลา 7 วัน ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในสารสกัดผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในน้ำมันมะพร้าวที่แช่ในเวลาที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการแช่(ชม.)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (mg/g)	
	เบต้าแคโรทีน	ไลโคปีน
1	1.175±0.143	0.664±0.041
2	1.736±0.093	0.899±0.073
3	1.519±0.030	0.686±0.036
7 วัน	1.821±0.135	0.636±0.048

จากตารางที่ 3 ตัวอย่างสารสกัดผงฟักข้าวที่แช่ที่ sonicate ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ 1, 2, 3, และ 7 วันพบว่า ระยะเวลาในการ sonicate 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด รองลงมาคือ 3 และ 1 ชั่วโมง คือ 1.736, 1.519, และ 1.175 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับการแช่สารสกัดเป็นระยะเวลา 7 วัน เนื่องจากการ sonicate เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานโดยการใช้คลื่นความถี่สูงทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลทำให้

โมเลกุลวิ่งชนกันจึงทำให้สารสกัดมีโอกาสในการวิ่งชนกับตัวทำละลายได้มากขึ้นทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการสกัดสารละลายได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิญา นวคุณ และคณะ [7] ใช้เทคนิคการสกัดแบบอัลตราโซนิคโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดสารสำคัญในเนื้อไก่ทำให้ประสิทธิภาพการสกัดสูง และรวดเร็ว

2) การหาปริมาณไลโคปีน การหาปริมาณไลโคปีนโดยการเทียบกับกราฟมาตรฐานสารละลายไลโคปีนที่แช่สารสกัดเห็ดห่มเมล็ดฟักข้าวที่เวลา 1, 2, และ 3 ชั่วโมงเทียบกับการแช่สารสกัดเห็ดห่มเมล็ดฟักข้าวเป็นเวลา 7 วัน ได้ผลดังตารางที่ 3พบว่า ระยะเวลาในการ sonicate 2 ชั่วโมง ให้ปริมาณไลโคปีนสูงสุด รองลงมาคือ 3 และ 1 ชั่วโมง คือ 0.899, 0.686, และ 0.664 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าการแช่สารสกัดเห็ดห่มเมล็ดฟักข้าวระยะเวลา 7 วัน และพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการ sonicate จะเห็นว่าปริมาณสารไลโคปีนลดลงอาจเนื่องมาจากสารไลโคปีนถูกทำลายด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นจากการ sonicate

4.3 การทดสอบความคงตัวของไลโคปีนจากสารสกัดเห็ดห่มเมล็ดฟักข้าว ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคปีนที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากเห็ดห่มเมล็ดฟักข้าวภายหลังการทดสอบในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะ	สี	กลิ่น	การตกตะกอน	pH
อุณหภูมิ 4 °C	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	4.08
ในที่มืด	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	4.03
ริมหน้าต่าง	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	3.97
สลับร้อน-เย็น	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	3.84

4.4 การหาปริมาณโลหะหนักในไลโคปีนจากผงสกัดเห็ดห่มเมล็ดฟักข้าว โดยการวิเคราะห์โลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) และปรอท (Hg) โดยเทคนิค Atomic absorption spectroscopy ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักในไลโคปีนผสมสารสกัดจากผงเห็ดห่มเมล็ดฟักข้าว

โลหะหนัก	ไลโคปีนพื้นฐาน (mg/L)	ไลโคปีนผสมสารสกัด (mg/L)	ค่ามาตรฐานไม่เกิน (mg/L)
Pb	0.00002	0.00002	20
As	0.00201	0.00193	5
Hg	0.00366	0.00419	1

จากตารางที่ 5 พบว่า ปริมาณโลหะหนัก ตะกั่ว สารหนู และปรอทในผลิตภัณฑ์ไลโคปีนมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวสมุนไพร มอก. เอส 15-2561 คือ 0.00002, 0.00193, และ 0.00419 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปผู้วิจัยจะศึกษาหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ไลโคปีน และทดสอบความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์เพื่อจะได้นำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นต่อไป

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้พบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดผงเห็ดห่มเมล็ดฟักข้าวคือ น้ำมันมะพร้าว ทำให้ได้ปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุด เท่ากับ 1.821 ± 0.135 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณไลโคปีน เท่ากับ 0.636 ± 0.048 มิลลิกรัมต่อกรัม และระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดด้วยการใช้เครื่องอัลตราโซนิกคือ 1 วัน ทำให้ได้ปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุด เท่ากับ 1.736 ± 0.093 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 0.899 ± 0.073 มิลลิกรัมต่อกรัม และจากการทดสอบความคงตัว พบว่า ไลโคปีนมีความคงตัว สี กลิ่น การตกตะกอน และค่า pH อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์บำรุงผิวสมุนไพร มอก. เอส 15-2561 (3.5-7.5) และมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ดังนั้นผลิตภัณฑ์

โชน์จากสารสกัดหุ้มเมล็ดฟักข้าวนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นสินค้าผลิตภัณฑ์ในชุมชนที่มีคุณภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ประจำปีงบประมาณ ปี 2563 และได้รับความอนุเคราะห์ด้านสารเคมีรวมถึงเครื่องมือและสถานที่ปฏิบัติการห้องปฏิบัติการสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Deming, D.M., Boileau, T.W.-M., Heintz, K.H., Atkinson, C.A. and Erdman, J.W. (2005). *Carotenoids in human health and disease In Handbook of antioxidants, revised and expanded*. (2nd ed.). New York: Cadenas, E. and Packer, L. Marcel Dekker, Inc..
- [2] Vuong, L.T. and King, J.C.A. (2003). Method of preserving and testing the acceptability of gac fruit oil, a good source of betacarotene and essential fatty acids. *Food and Nutrition Bulletin*. 24(2), 224-30.
- [3] ประภัสสร สุขสุทธิ. (2554). การแปรรูปฟักข้าว. *เกษตรก้าวหน้า*. 24(3), 43-53.
- [4] Tran, T.H., Nguyen, M.H., Zabaras, D. and VuProcess, L.T.T. (2008). Development of Gac powder by using different enzymes and drying techniques. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 359-365.
- [5] ปวันรัตน์ วิหังส์, พัทธิน สงศรี, พลัง สุริหาร, คมศร ลมไธสง และกมล เลิศรัตน์. (2557). ปริมาณสารโคป็นและเบต้าแคโรทีนในตัวอย่างฟักข้าวจากต้นต่างๆ. *แก่นเกษตร*, 42(ฉบับพิเศษ 1), 166-171.

- [6] จิราภรณ์ พิมพ์ภูมิ และคมศร ลมไธสง. (2562). การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ในเชื้อหุ้มเมล็ดผลสุกฟักข้าว (*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng.) ที่สภาวะการเก็บรักษาแตกต่างกัน. *วารสารวิชาการ ปชมท.*, 8(3), 10-16.
- [7] อภิญญา นวคุณ, อรุมา เพ็ชรเปลี่ยน และอนุรักษ จันทรแก้ว. (2557). *วิธีสกัดด้วยอัลตราโซนิคสำหรับ การหาปริมาณซัลโฟนาไมด์ในเนื้อไก่วารสาร วิทยาศาสตร์บรรพ. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6(ฉบับพิเศษ)*, 277-282.
- [8] กัลยาภรณ์ จันตรี. (2558). การตั้งตำรับสูตร เครื่องสำอางที่ทำให้ผิวขาวจากสารสกัดมะหาด. *SDU Res. J.*, 8(1), 1-8.

พฤติกรรมระยะยาวของสะพานซึ่งภายใต้วัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

Long-Term Behaviors of Cable-Stayed Bridge

under Time-Dependent Materials

วิภาดา จารุไพบูลย์พันธ์¹, ปิยะ โชติกไกร²

Vipada Jarupaiboonpan¹, Piya Chotickai²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; vipada.ja@ku.th

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; fengpyc@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุก่อสร้างตามเวลาที่มีต่อแรงดึงลวดเคเบิลและพฤติกรรมพลศาสตร์ของสะพานซึ่งพระราม 8 โดยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 รูปแบบ คือแบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้างซึ่งมีของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุตามเวลา แบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้างโดยไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุตามเวลา และแบบจำลองที่ไม่รวมขั้นตอนการก่อสร้างและไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุตามเวลา การเปลี่ยนคุณสมบัติวัสดุตามเวลาที่พิจารณาประกอบด้วยการคืบและการหดตัวของคอนกรีตและการคลายตัวของลวดอัดแรงตามมาตรฐาน CEB-FIP ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุตามเวลาที่มีผลต่อแรงดึงเคเบิลไม่มากในช่วงระหว่างการก่อสร้าง แต่มีผลต่อพฤติกรรมสะพานมากในช่วงปีแรก มีแนวโน้มลดลงจนถึงปีที่ 10 และจะมีค่าคงที่หลังจากระยะเวลา 10 ปี

คำสำคัญ : สะพานซึ่ง, การคืบ, การหดตัว, การคลายตัวของลวดอัดแรง

Abstract

This research study focused on the effects of time-dependent material properties on the tension forces in cables and dynamic behaviors of the Rama VIII cable stayed bridge. Three finite element models were developed, including stage construction models with and without time-dependent material properties and a model without the considerations of stage construction and time-dependent material properties. The time-dependent material properties, i.e. creep, shrinkage, and stress relaxation, specified in CEB-FIP were used in the analysis. The analytical results revealed that the time dependent material properties did not have a significant effect on the tension forces in cables during the construction period. However, they had a significant effect on the cable forces and dynamic responses during the first year in service. These effects gradually decreased up to 10 years in service and were insignificant for the time greater than 10 years.

Keywords : cable stayed bridge, creep, shrinkage, steel relaxation

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการก่อสร้างสะพานซึ่งข้ามแม่น้ำขนาดใหญ่อยู่หลายแห่ง ไม่ว่าจะเป็นสะพานพระราม 8

สะพานพระราม 9 สะพานกาญจนาภิเษก และสะพานภูมิพล ซึ่งลำดับขั้นตอนการก่อสร้างสะพานซึ่งนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความเครียดและแรงภายในทั้งในระหว่างการก่อสร้าง

และในช่วงการใช้งาน เนื่องจากในระหว่างการก่อสร้าง สะพาน สะพานจะวิกฤตมากกว่าตอนสะพานสร้างแล้วเสร็จ โดยเฉพาะสะพานซึ่งที่ก่อสร้างด้วยวิธี launching method นั้น [1] เริ่มการก่อสร้างด้วยการก่อสร้าง anchor span และ ตอม่อ (pylon) ก่อน แล้วจึงมีการทำค้ำยันชั่วคราว จากนั้น ก็ทำการก่อสร้างสะพานโดยค่อยๆ ผลัก (launching) ขึ้นส่วนออกไป ระหว่างการก่อสร้างจะต้องมีการวางแผน การดึงลวดอัดแรงและสายเคเบิลที่เหมาะสม เพื่อให้ โครงสร้างสะพานมีเสถียรภาพและกำลังรับน้ำหนักที่เหมาะสม โดยปัญหาที่พบเมื่อมีการดึงสายเคเบิลคนละช่วงเวลา จะส่งผล [2] ดังนี้ 1) สายเคเบิลบางเส้นอาจจะมีแรงดึง ในลวดอัดแรงสูงเกินไป 2) เคเบิลช่วงสั้นของสะพานซึ่ง อาจจะทำให้เกิดการสูญเสียแรงดึงที่หัวของสายเคเบิล 3) พฤติกรรมของสะพานซึ่งอาจจะขาดเสถียรภาพ ดังนั้น ลำดับขั้นตอนในการดึงลวดเคเบิลในสะพานซึ่งจึงมี ความสำคัญมาก นอกจากนี้เนื่องจากการก่อสร้างสะพาน ซึ่งนั้นใช้ระยะเวลาการก่อสร้างนาน แรงภายในโครงสร้าง จึงมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนคุณสมบัติของ วัสดุตามเวลา (time-dependent) เช่น คอนกรีตเมื่อมี การรับแรงอัดในระยะเวลาอันนานจะเกิดการเปลี่ยนแปลง รูปร่างเพิ่มเติมจากผลของการคืบ (creep) การหดตัวของ คอนกรีตจากการสูญเสียน้ำ (drying shrinkage) ทำให้ คอนกรีตเกิดการหดตัว และการคลายตัวของสายเคเบิล (cable relaxation) ทำให้แรงดึงในลวดเคเบิลลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุตามเวลาเหล่านี้จะทำให้ มีการเปลี่ยนแปลงแรงภายในโครงสร้างระหว่างการก่อสร้าง [3] และระหว่างการใช้งาน โดยอาจส่งต่อพฤติกรรมทาง พลศาสตร์และการโก่งตัวของสะพานในระยะยาว

การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลของ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างตามเวลา (time-dependent materials) ที่มีผลพฤติกรรมของ สะพานซึ่งจากลำดับขั้นตอนการก่อสร้างถึงอายุการใช้งาน 30 ปี โดยการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์สะพานพระราม 8 ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 รูปแบบ คือ แบบจำลอง ที่มีขั้นตอนการก่อสร้างรวมผลของการเปลี่ยนแปลง

คุณสมบัติวัสดุตามเวลา แบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้าง โดยไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุตามเวลา และแบบจำลองที่ไม่รวมขั้นตอนการก่อสร้างและไม่พิจารณา การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุตามเวลา แรงดึง ในลวดเคเบิลและค่าความถี่ธรรมชาติจากแบบจำลองได้ นำมาเปรียบเทียบ เพื่อวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติวัสดุตามเวลาที่มีต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง สะพาน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของขั้นตอนการก่อสร้างและการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติวัสดุตามเวลาที่มีต่อแรงดึงในเคเบิลและ พฤติกรรมทางพลศาสตร์ของสะพานในช่วงระหว่าง การก่อสร้างและการใช้งาน

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การคืบ (creep) คือ กระบวนการการเสียรูป ของวัสดุที่ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิ โดยการคืบจะ เกิดขึ้นเมื่อวัสดุก่อสร้างมีความเค้นมากกระทำร่วมกับ อุณหภูมิของวัสดุก่อสร้างที่มีค่าสูงขึ้น จึงทำให้วัสดุ ก่อสร้างนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเสียรูปไปจากเดิม ซึ่งการคืบนั้น จะเกิดขึ้นภายหลังที่วัสดุมีการรับน้ำหนักแล้ว และจะมี การเสียรูปมากขึ้นหากวัสดุมีการรับน้ำหนักคงค้างอยู่ สมการที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ให้กับแบบจำลองไฟ ไนต์เอลิเมนต์ตามมาตรฐาน CEB-FIP[4] ของการคืบเป็น ดังสมการที่ 1

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_{ci}} \times \phi(t, t_0) \quad (1)$$

โดยที่ $\sigma_c(t_0)$ คือ ค่าความเค้นที่ระยะเวลาของแรง t_0

$\phi(t, t_0)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความคืบโดย

$$\phi(t, t_0) = \beta_c(t, t_0) \phi_0$$

$$\text{ซึ่ง } \phi_0 = \phi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0)$$

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - \left(\frac{RH}{RH_0}\right)}{0.46 \left(\frac{h}{h_0}\right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{5.3}{\sqrt{\frac{f_{cm}}{f_{cmo}}}}$$

$$\beta(t_o) = \frac{1}{0.1 + (t_o/t_1)^{0.2}}$$

β_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการคืบตามเวลา t

t คือ อายุของคอนกรีต(วัน)

2. การหดตัว (shrinkage) คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีต โดยการสูญเสียปริมาตรของคอนกรีตเกิดจากการเข้าออกของน้ำภายในคอนกรีตตั้งแต่คอนกรีตผสมเสร็จใหม่ๆ ที่อยู่ในสถานะของเหลวจนถึงสิ้นสุดอายุการใช้งาน สมการที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ให้กับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ตามมาตรฐาน CEB-FIP[4] ของการหดตัวเป็นดังสมการที่ 2

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cs0} \times \beta_s(t - t_s) \quad (2)$$

โดย $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ คือค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว

β_s คือค่าสัมประสิทธิ์ของการหดตัวตามเวลา t

t คืออายุของคอนกรีต(วัน)

t_s คืออายุของคอนกรีตตอนที่เริ่มหดตัว

3. การคลายตัวของลวดอัดแรง (steel relaxation) คือ การสูญเสียค่าความเคียด หรือแรงภายในลวดอัดแรง โดยจะขึ้นอยู่กับระดับความเคียดในลวดอัดแรง และการคลายตัวของลวดอัดแรงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเพิ่มของอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม สมการการคลายตัวของลวดอัดแรงตามมาตรฐาน CEB-FIP [4] เป็นดังสมการที่ 3

$$\rho_t = \rho_{1000} \times \left(\frac{t}{1000} \right)^k \quad (3)$$

โดย ρ_t คือ ค่าการคลายตัวหลังจาก t ชั่วโมง

ρ_{100} คือ ค่าการคลายตัวหลังจาก 100 ชั่วโมง

ρ_{1000} คือ ค่าการคลายตัวหลังจาก 1000 ชั่วโมง

k คือ $\log(\rho_{1000}/\rho_{100})$

k เท่ากับ 0.12 สำหรับการคลายตัวปกติของลวดอัดแรงและ 0.19 สำหรับการปรับปรุงการคลายตัวของลวดอัดแรง

4. ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) คือ ความถี่ของวัตถุที่เกิดการแกว่งหรือการสั่นวัตถุอย่างอิสระเมื่อมีแรงมากระทำหรือการให้พลังงานกับวัตถุนั้น โดยความถี่จะขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างและค่าสตีฟเนสของวัตถุ ซึ่งการสูญเสียแรงดึงในลวดอัดแรงจะส่งผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติ โดยถ้าแรงดึงของลวดอัดแรงลดลง จะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานเปลี่ยนแปลงไป [5]

4. วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. คอมพิวเตอร์

2. โปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ SAP2000

ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างแบบสองมิติ สามมิติ วิเคราะห์โครงสร้าง ตรวจสอบหรือปรับเปลี่ยนโครงสร้างที่เหมาะสมได้ในการออกแบบโครงสร้างภายใต้ระบบใช้งานเดียวกัน สามารถจำลองสะพานที่สร้างแล้วเสร็จและสะพานที่มีขั้นตอนการก่อสร้าง รวมไปถึงยังสามารถวิเคราะห์ผลของวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในแบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้างได้อีกด้วย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

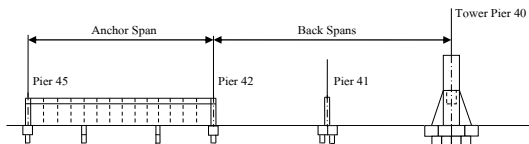
1. ศึกษารูปแบบการสั่นไหว (mode shape) และความถี่ธรรมชาติ (natural frequency)

2. รวบรวมข้อมูลและศึกษาแบบก่อสร้างสะพานพระราม 8 โดยสะพานพระราม 8 เป็นสะพานขึงแบบอสมมาตรเสาเดียวข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา มีแนวสายทางเชื่อมต่อกับทางคู่ขนานลอยฟ้าบรมราชชนนี ข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณโรงงานสุราบางยี่ขัน เขตบางพลัด และปลายถนนวิสุทธิกษัตริย์ ใกล้กับธนาคารแห่งประเทศไทย เขตพระนครกรุงเทพมหานคร สะพานพระราม 8 มีความยาวรวม 475 เมตรเป็นสะพานหลักช่วงข้ามแม่น้ำ 300 เมตร สะพานยึดช่วงบนบก 100 เมตรและสะพานช่วงโครงสร้างยึดเสา 75 เมตรสะพานพระราม 8 ได้ติดตั้งสายเคเบิลระนาบเดียว 28 คู่ (เคเบิล M1 ถึง M 28) ซึ่งยึดพื้นช่วง

ข้ามแม่น้ำ และใช้สายระนาบเดียว 28 เส้น (เคเบิล A1 ถึง A28) ซึ่งรั้งกับโครงสร้างยึดเสาสพานบนฝั่งธนบุรีดังภาพที่ 1 และมีขั้นตอนวิธีการก่อสร้างสะพานพระราม 8 [6,7] ดังต่อไปนี้

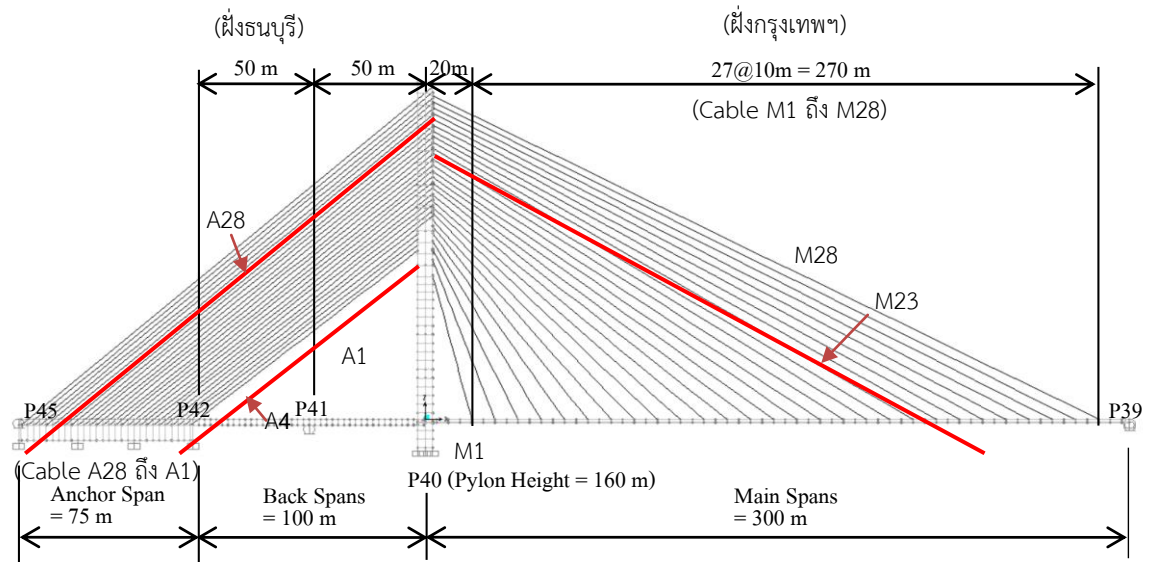
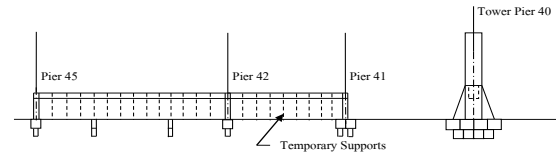
ขั้นตอนที่ 1

- ก่อสร้าง anchor span
- ก่อสร้าง Pier 41 และก่อสร้าง Pier 40 บางส่วน



ขั้นตอนที่ 2

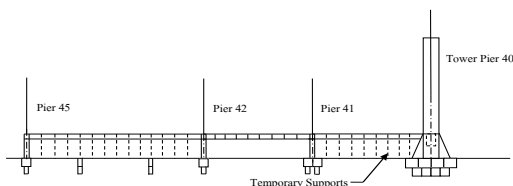
- สร้างค้ำยันชั่วคราวเพื่อก่อสร้าง back span 1
- ก่อสร้าง back span 1 และดึงลวดอัดแรงภายใน backspan 1 เพื่อเชื่อมระหว่าง Pier 41 และ Pier 42
- ก่อสร้าง Pier 40 เพิ่มเติมจากขั้นตอนที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของสะพานพระราม 8

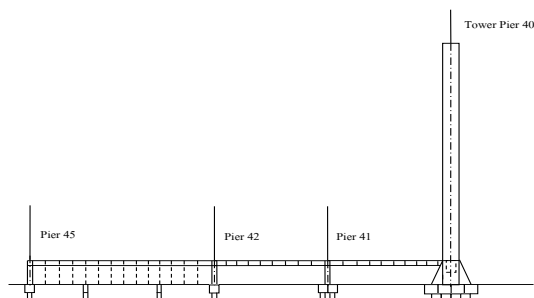
ขั้นตอนที่ 3

- เอาค้ำยันชั่วคราวระหว่าง Pier 41 กับ Pier 42 ออกและสร้างค้ำยันชั่วคราวระหว่าง Pier 40 และ Pier 41
- ทำการก่อสร้าง backspan 2

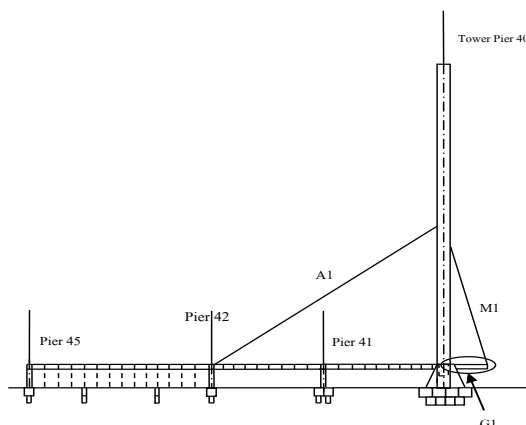


ขั้นตอนที่ 4

- ก่อสร้าง Pier 40 เพิ่มเติมจากขั้นตอนที่ 2 ให้ Pier 40 แล้วเสร็จในขั้นตอนนี้
- ดึงลวดอัดแรงภายใน backspan 2 เพื่อเชื่อมระหว่าง Pier 40 และ Pier 41
- เอาค้ำยันชั่วคราวออกจาก span ระหว่าง Pier 40 และ Pier 41



ขั้นตอนที่ 5



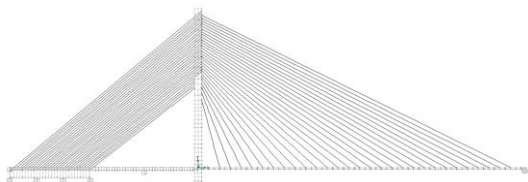
- ทำการดึงเคเบิล A1
- ทำการก่อสร้าง deck ของ span หลัก G1
- ดึงเคเบิลคู่ M1 ด้วยแรงดึงเคเบิล stage 0
- วาง precast slab จากนั้นดึงเคเบิลคู่ด้วยแรง

ดึงเคเบิล stage 1

- ปิดช่องว่างรอยต่อระหว่าง precast slab และ
- ตัว deck ของ span หลัก G1

ขั้นตอนที่ 6

- ทำตามขั้นตอนที่ 5 จนถึงเคเบิลเส้น A28 และ
- เคเบิลคู่ M28



3. สร้างแบบจำลองสะพานชิงพระราม 8 ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ SAP 2000 โดยจำลองตามแบบก่อสร้างของสะพานพระราม 8 ซึ่งจำลองโครงสร้างสะพาน

3 รูปแบบ คือ จำลองสะพานที่สร้างแล้วเสร็จ จำลองขั้นตอนการก่อสร้างสะพาน 8 และจำลองขั้นตอนการก่อสร้างสะพาน 8 ที่มีวัสดุก่อสร้างเปลี่ยนแปลงตามเวลา

4. ศึกษาและกำหนดพารามิเตอร์ของวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของสะพานตามมาตรฐาน CEB-FIP [4] ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

5. พัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาผลของคุณสมบัติวัสดุที่มีผลตามกาลเวลาที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของสะพาน และเปรียบเทียบแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลตรวจวัดภาคสนามของสะพาน [6] เพื่อได้แบบจำลองที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง ซึ่งผลตรวจวัดภาคสนามได้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีการติดตั้งเพื่อบันทึกข้อมูลพฤติกรรมของสะพานเมื่อมีแรง เช่น แผ่นดินไหว ลม และน้ำหนักรถบรรทุกกระทำกับสะพาน

6. วิเคราะห์รูปแบบการสั่นไหวและความถี่ธรรมชาติของแต่ละโหมดของแบบจำลอง

7. วิเคราะห์พฤติกรรมของแรงดึงเคเบิลในโครงสร้างสะพาน ทั้งในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสะพานสร้างแล้วเสร็จ แบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้าง และแบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้างที่มีผลของเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุตามเวลา

4.3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสะพาน

พระราม 8

การจำลองโครงสร้างสะพานพระราม 8 ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ มีลำดับขั้นตอนการจำลองสะพานพระราม 8 ดังนี้

1. กำหนดชนิดของเอลิเมนต์ที่จะทำการจำลองโครงสร้างของสะพาน 8 ให้เหมาะสมตามโครงสร้างของสะพาน

- cable element จำลองสายเคเบิล
- rigid restraint จำลองพฤติกรรมของเสากับพื้นดินและanchor span กับพื้นดิน
- frame element จำลองปีกบนและปีกล่างของ I-beam เหล็กช่วง main-span,

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

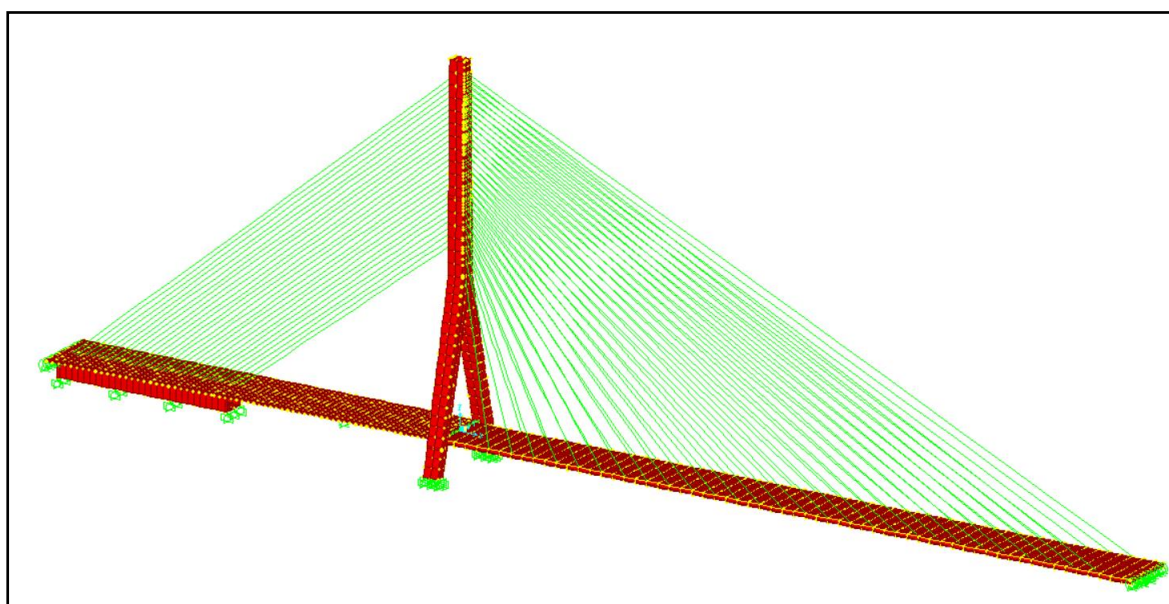
- shell element จำลองเสาสะพาน, การวิเคราะห์ผลของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา
back span, anchor span และ เอวของ I-beam เหล็ก ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสะพานพระราม 8 ที่มี
ช่วง main-span ขั้นตอนการก่อสร้างและมีผลของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลง
ตามเวลา
2. แบ่งชิ้นส่วนเอลิเมนต์ของสะพานพระราม 8 ตามเวลา
- ภายในแบบจำลอง โดยที่แต่ละชิ้นส่วนย่อยจะต้องมีความ โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติ
ต่อเนื่องกับชิ้นส่วนข้างเคียงตรงจุดโหนด อีกทั้งขนาด ที่ได้จากการตรวจวัด 4 โหมดรูปแบบการสั่นไหวกับจาก
ชิ้นส่วนของเอลิเมนต์ของสะพานจะต้องมีขนาดเล็กมาก แบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าความคาดเคลื่อน
พอที่จะทำให้การวิเคราะห์ที่ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ผล ไม่เกินร้อยละ 10 ดังนั้นแบบจำลองนี้ยอมรับได้ เพื่อนำ
ที่แม่นยำมากขึ้น แต่ทั้งนี้หากแบ่งชิ้นส่วนเอลิเมนต์เล็ก แบบจำลองไปทำการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของ
มากเกินไปอาจจะมีผลต่อความจำคอมพิวเตอร์และ คุณสมบัติวัสดุตามเวลาที่มีต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง
ระยะเวลาในการประมวลผล สะพานต่อไป ตัวอย่างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังภาพ
ที่ 2
3. ทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ของวัสดุที่มี การเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ดังตารางที่ 1 เพื่อทำ ที่ 2

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา

parameters		main structural elements			
material properties		anchor span	back span	pylon	cable
		concrete	concrete	concrete	tendon
		isotopic	isotopic	isotopic	uni-axial
time dependent properties	elasticity modulus	✓	✓	✓	-
	creep	✓	✓	✓	-
	shrinkage	✓	✓	✓	-
	creep analysis type	full	full	full	-
	cement type	-	-	-	-
	coefficient	-	-	-	-
	relative humidity	80	80	80	-
	notational size	0.29-0.40	0.29-0.60	0.60-2.00	-
	shrinkage coefficient	5	5	5	-
	shrinkage start age	0	0	0	-
	steel relaxation	-	-	-	✓
	relaxation analysis type	-	-	-	full integration
	CEB-FIP class	-	-	-	1

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน 8 ที่ได้จากการตรวจวัดและจากแบบจำลอง

natural frequency of rama 8 bridge, Hz						
no.	ตรวจวัด สถานที่จริง [6] (1)	FEA Model			รูปแบบการสั่นไหว	average ratio (1)/(2), (1)/(3), (1)/(4)
		สร้าง แล้วเสร็จ (2)	มีขั้นตอน การก่อสร้าง (3)	มีขั้นตอนการก่อสร้าง และมีวัสดุที่มีการ เปลี่ยนแปลงตามเวลา (4)		
1	0.30	0.34	0.31	0.31	bending (vertical translation)	0.88, 0.97, 0.97
2	0.46	0.51	0.47	0.48	bending (vertical translation)	0.90, 0.98, 0.96
3	0.61	0.63	0.55	0.56	bending (vertical translation)	0.97, 1.10, 1.09
4	0.78	0.77	0.72	0.72	torsional	1.01, 1.08, 1.08



ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสะพานพระราม 8

5. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลจากแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองจะพบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติในแบบจำลองสะพานสร้างแล้วเสร็จ จะมีค่าความถี่ธรรมชาติที่มีค่ามากกว่าแบบจำลองสะพาน ที่มีขั้นตอนการก่อสร้าง ในขณะที่แบบจำลองที่มีขั้นตอน การก่อสร้างและมีวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม

เวลาจะมีค่าความถี่ธรรมชาติที่เหมือนกันเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี 10 ปี และ 30 ปี แบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้าง เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้างซึ่ง มีวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะมีค่าความถี่ ธรรมชาติที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นโหมดของการเคลื่อนที่ ของเสาในแนวขวาง (pylon sway) จะต่างกันเล็กน้อย

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ดังตารางที่ 3 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า สะพานชิงพระราม 8 จะมีพฤติกรรมรูปแบบการสั่นไหวของสะพานอยู่ 3 รูปแบบ ซึ่งรูปแบบการสั่นไหวที่พบ จะมีการเคลื่อนที่ของ main span ในแนวตั้งการเคลื่อนที่ของเสาในแนวขวาง (pylon sway) และการเคลื่อนที่ของ main span ในลักษณะบิด [8] โดยแบ่งได้ดังนี้

1. รูปแบบการสั่นไหวของสะพานที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง ได้แก่ โหมดที่ 1, 3, 4, 6, 8 และ 10 ดังภาพที่ 3, 5 และ 6

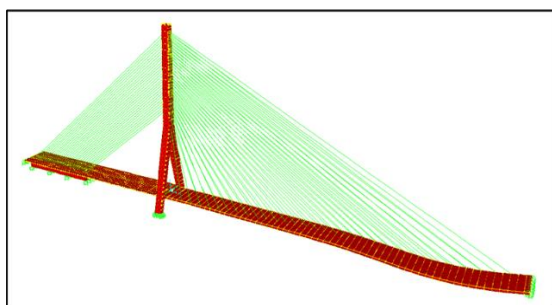
2. รูปแบบการสั่นไหวของสะพานที่เคลื่อนที่ของเสาในแนวขวาง (pylon sway) ได้แก่โหมดที่ 2 ดังภาพที่ 4

3. รูปแบบการสั่นไหวของสะพานที่เคลื่อนที่ในลักษณะบิด ได้แก่ โหมดที่ 5, 7 และ 9 ดังภาพที่ 7

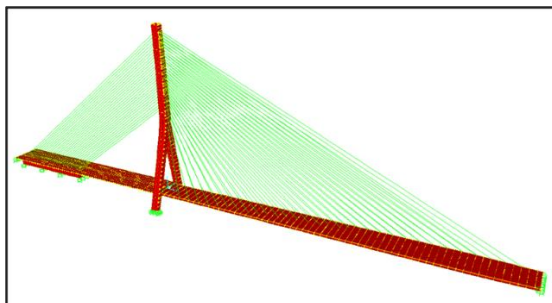
จากการศึกษาพบว่าสะพานชิงพระราม 8 หากพิจารณาขั้นตอนการก่อสร้างของรูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 1 ถึงโหมดที่ 10 จะมีค่าความถี่ธรรมชาติในช่วง 0.31Hz ถึง 0.97 Hz หากพิจารณากรณีสะพานสร้างแล้วเสร็จของรูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 1 ถึงโหมดที่ 10 จะมีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ในช่วง 0.34Hz ถึง 1.03Hz

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานชิงพระราม 8 ที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบ

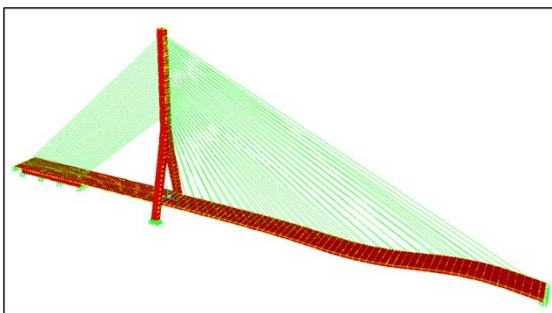
natural frequency of rama 8 bridge, Hz						
mode No.	FEA model					รูปแบบการสั่นไหว
	สร้างแล้วเสร็จ	มีขั้นตอนการก่อสร้าง	มีขั้นตอนการก่อสร้างและมีวัสดุที่มี การเปลี่ยนตามเวลา (t = 1 ปี)	มีขั้นตอนการก่อสร้างและมีวัสดุที่มี การเปลี่ยนตามเวลา (t = 10 ปี)	มีขั้นตอนการก่อสร้างและมีวัสดุที่มี การเปลี่ยนตามเวลา (t = 30 ปี)	
1	0.34	0.31	0.31	0.31	0.31	bending (vertical translation)
2	0.43	0.39	0.44	0.44	0.44	pylon sway
3	0.51	0.47	0.48	0.48	0.48	bending (vertical translation)
4	0.63	0.55	0.56	0.56	0.56	bending (vertical translation)
5	0.63	0.62	0.62	0.63	0.63	torsional
6	0.75	0.66	0.67	0.67	0.67	bending (vertical translation)
7	0.77	0.72	0.72	0.72	0.72	torsional
8	0.88	0.79	0.79	0.79	0.79	bending (vertical translation)
9	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	torsional
10	1.03	0.97	0.97	0.97	0.97	bending (vertical translation)



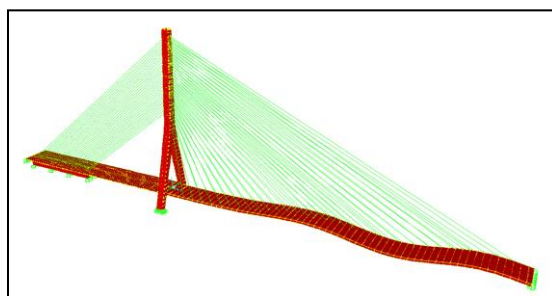
ภาพที่ 3 1st mode shape ($f_1 = 0.31\text{Hz}$)



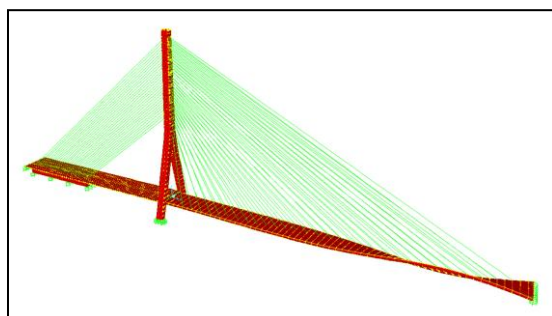
ภาพที่ 4 2nd mode shape ($f_2 = 0.39\text{Hz}$)



ภาพที่ 5 3rd mode shape ($f_3 = 0.47\text{Hz}$)



ภาพที่ 6 4th mode shape ($f_4 = 0.55\text{Hz}$)



ภาพที่ 7 5th mode shape ($f_5 = 0.62\text{Hz}$)

นอกจากนั้นการพบรูปแบบการสั่นไหวของสะพานที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (vertical translation) ที่ฝั่งของ main span เป็นโหมดแรก ทำให้ทราบว่าฝั่ง main span มีค่าสติฟเนสในการต้านการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่อ่อนกว่าการต้านการเคลื่อนที่ในแนวอื่น (weak vertical stiffness) [9] เมื่อทำการวิเคราะห์สะพานจึงเกิดเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสะพานในลักษณะโหมดนี้ก่อน และพบรูปแบบการสั่นไหวของสะพานที่มีการเคลื่อนที่ลักษณะบิดปรากฏในโหมดแรกในโหมดที่ 5 และเกิดขึ้นมากกว่า 1 ครั้ง จากทั้งหมด 10 รูปแบบการสั่นไหวของสะพานที่ทำการศึกษา ทำให้พบว่า ฝั่ง main span มีค่าสติฟเนสในการต้านการเคลื่อนที่ในลักษณะบิดที่อ่อนกว่าการต้านทานการเคลื่อนที่ในแนวอื่น (weak torsional stiffness) อีกทั้งเสาและพื้นของสะพานทั้งฝั่ง anchor span, back span และ main span จะเป็นชิ้นส่วนที่รับแรงอัด (compression member) ทำให้เวลาวิเคราะห์แบบ nonlinear จะพบว่าค่าสติฟเนสของโครงสร้างจะมีค่าลดลง เป็นผลทำให้สะพานมีการโก่งตัวมากขึ้น และค่าความถี่ธรรมชาติก็จะลดลง เป็นต้น

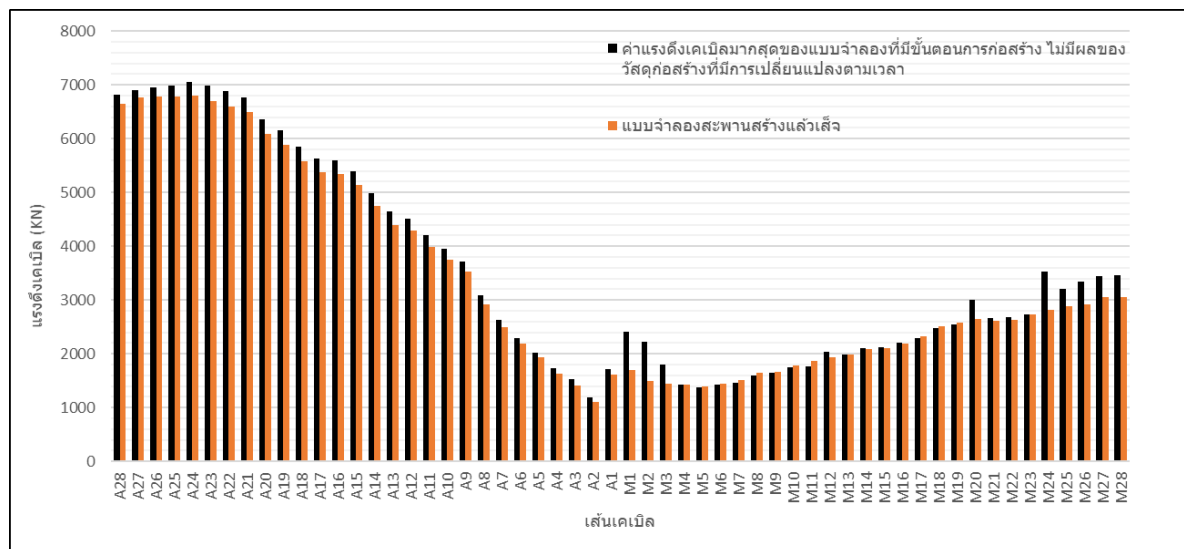
ภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้าง เมื่อไม่พิจารณาผลของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ค่าแรงดึงเคเบิลจะมีค่ามากกว่าแบบจำลองสร้างแล้วเสร็จที่ไม่พิจารณาผลของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยจะมีค่าแตกต่างกันในช่วงปลายสะพานทั้ง 2 ฝั่ง และในช่วงใกล้เสาในฝั่งของเส้นเคเบิลที่ 1 ถึง 3 ของฝั่ง main span

ภาพที่ 9 และ 10 แสดงให้เห็นว่าผลของวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะมีผลมากในช่วงเคเบิลฝั่ง anchor span, back span และ ฝั่ง main span ตั้งแต่เส้นเคเบิล M21 ถึง M28 เมื่อเทียบกับแรงดึงเคเบิลช่วงต้นของฝั่ง main span เนื่องจากฝั่ง anchor span และ back span เป็นวัสดุคอนกรีต แต่ฝั่ง main span เป็นวัสดุประกอบของเหล็กและคอนกรีตนอกจากนั้น ในช่วงเวลา 1 ปีแรกหลังจากสร้างสะพานเสร็จผลของวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะมีการพัฒนามาก และมีแนวโน้มลดลงจนถึงปีที่ 10 และมีค่าคงที่หลังจากปีที่ 10 เมื่อดู

จากกราฟจะเห็นว่าค่าของแรงดึงเคเบิลในช่วง 10 ปี จะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าแรงดึงเคเบิลเมื่อ 30 ปี อันเนื่องมาจากผลของการคืบและการหดตัวของวัสดุ ก่อสร้างจะส่งผลน้อยต่อการวิเคราะห์ เมื่อ $t = 10,000$ วัน อีกทั้งจากภาพที่ 8, 9 และ 10 ยังแสดงให้เห็นว่า เมื่อเคเบิลมีความลาดชันน้อยและความยาวของเส้นเคเบิลมากจะมีค่าแรงดึงเคเบิลที่มากกว่าเส้นเคเบิลที่มีความลาดชันมาก และเส้นเคเบิลสั้นสังเกตได้จากเส้นเคเบิลที่ใกล้เสา A1 และ M1 จะมีค่าแรงดึงเคเบิลน้อยกว่าปลายสะพาน A28 และ M28 จึงทำให้เคเบิลในช่วงปลายสะพานต้องการแรงดึง

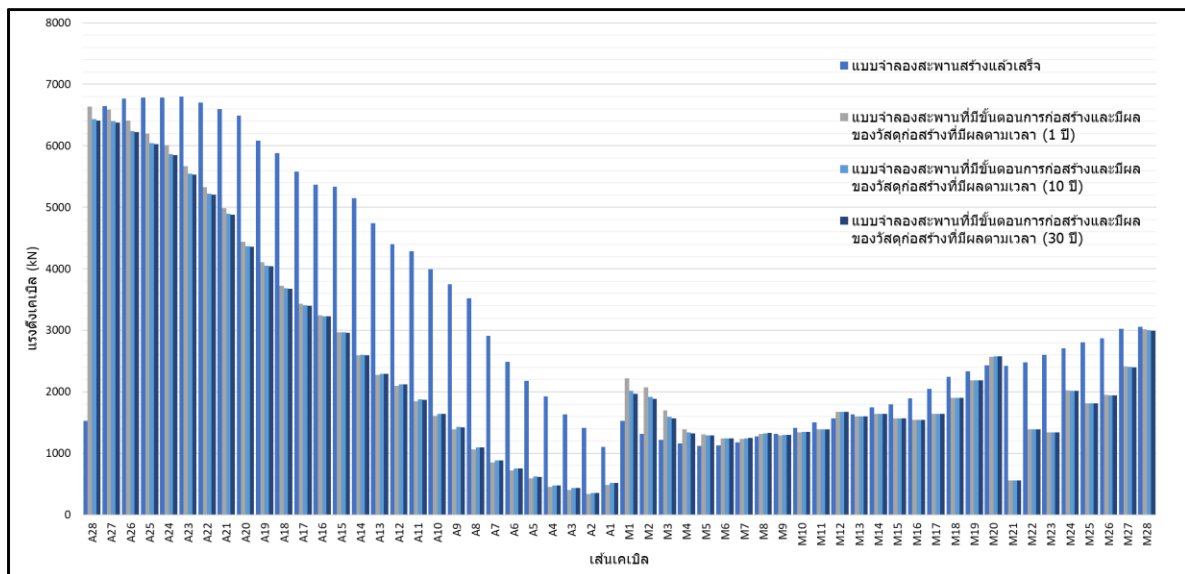
เคเบิลมากกว่าในช่วงใกล้เสา เนื่องจากที่เคเบิลยาวและมีความลาดชันของเคเบิลน้อยอีกทั้งเพื่อรักษาสมดุลของน้ำหนักในแนวตั้ง จึงทำให้สายเคเบิลริมสะพานมีแรงตามแนวแกนมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้าง ทั้งแบบจำลองซึ่งมีและไม่มีผลของวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาพบว่า ผลของการคืบ การหดตัว และการคลายตัวของลวดอัดแรงจะมีผลต่อแรงดึงเคเบิลน้อยมาก ดังภาพที่ 11

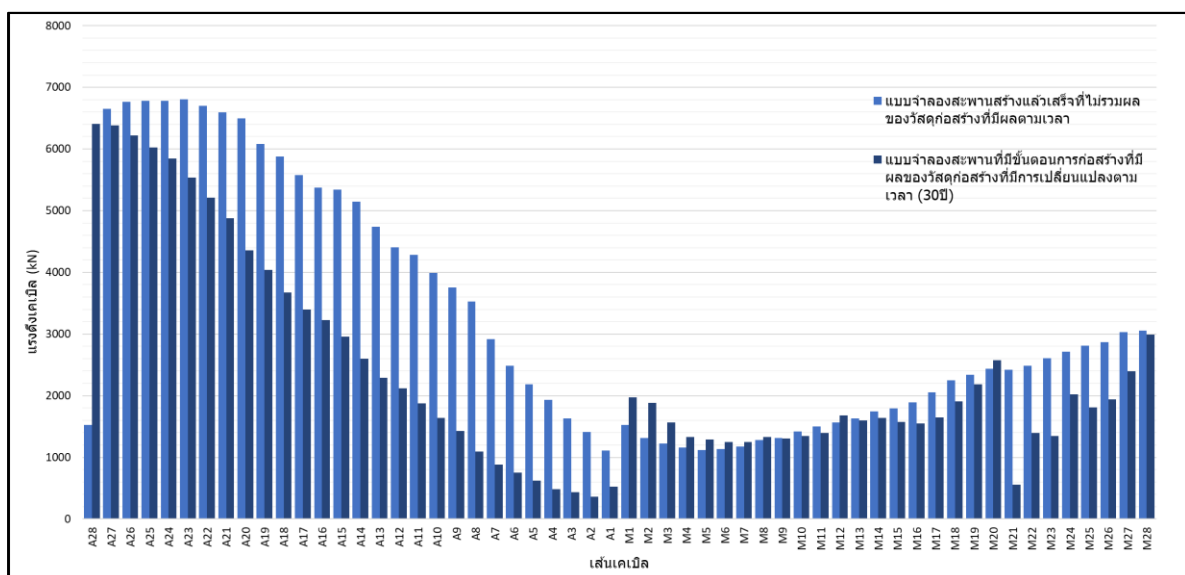


ภาพที่ 8 แรงดึงเคเบิลของแบบจำลองสร้างแล้วเสร็จและแบบจำลองมีขั้นตอนการก่อสร้าง โดยไม่คำนึงถึงวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

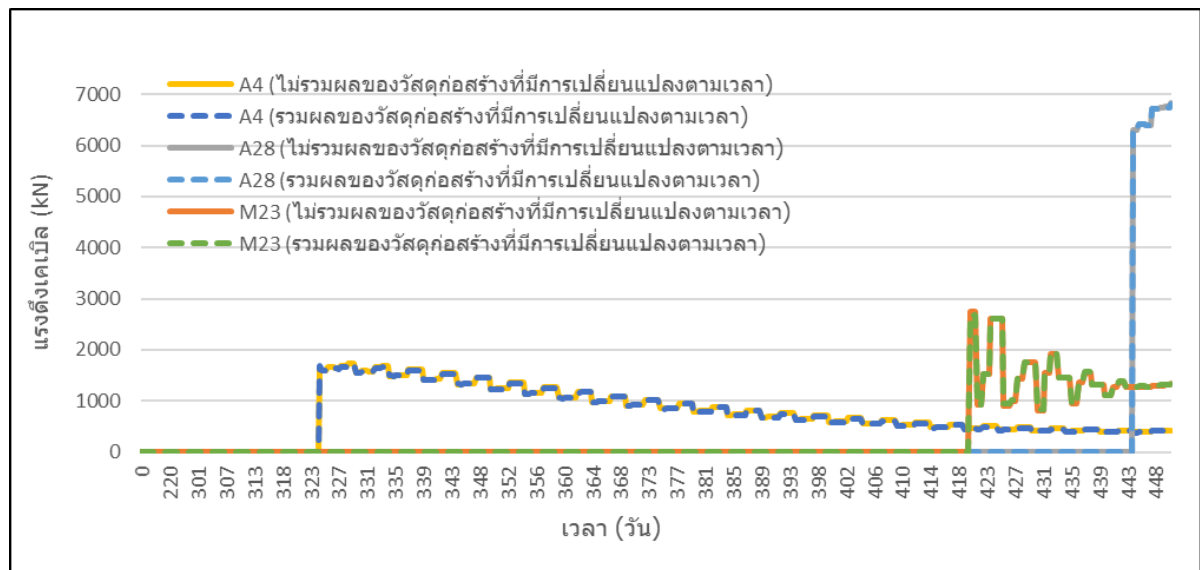
การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม



ภาพที่ 9 แรงดึงเคเบิลของแบบจำลองสร้างแล้วเสร็จและแบบจำลองมีขั้นตอนการก่อสร้างที่คำนึงถึงวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ $t = 1$ ปี, $t = 10$ ปี และ $t = 30$ ปี



ภาพที่ 10 แรงดึงเคเบิลของแบบจำลองสร้างแล้วเสร็จและแบบจำลองมีขั้นตอนการก่อสร้างที่คำนึงถึงวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ $t = 30$ ปี



ภาพที่ 11 แรงดึงเคเบิล 3 เส้นของแบบจำลองที่มีขั้นตอนการก่อสร้างที่คำนึงถึงวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา และไม่คำนึงถึงวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา

สรุปผลการวิจัย

1. สะพานพระราม 8 จะมีพฤติกรรมรูปแบบการไหวของสะพานอยู่ 3 รูปแบบ ซึ่งรูปแบบการไหวที่พบ จะมีการเคลื่อนที่ของ main span ในแนวตั้ง การเคลื่อนที่ของเสาในแนวขวาง และการเคลื่อนที่ของ main span ในลักษณะบิด
2. ผลของวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาต่อแรงดึงเคเบิลจะมีผลไม่มากในช่วงระหว่างกาสร้าง
3. ผลของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะมีผลมากต่อแรงดึงเคเบิล 1 ปีแรก โดยแนวโน้มจะลดลงจนถึงปีที่ 10 และจะมีค่าคงที่หลังจากระยะเวลา 10 ปี
4. ผลของวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาไม่มีผลต่อค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานพระราม 8 ในช่วงระยะเวลา 30 ปี ที่วิเคราะห์ อย่างมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักการโยธากรุงเทพมหานคร และบริษัท IMMS สำหรับข้อมูลการวิจัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาเทคโนโลยีโครงสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. A. Lozano-Galant & J. Turmo. (2014). An Algorithm for Simulation of Concrete Cable-stayed Bridges Built on Temporary Supports and Considering Time Dependent Effects. *Engineering Structures*, 79, 341-353.
- [2] Jose J Oliveira Pedro & Antonio J. Reis. (2010). Nonlinear Analysis of Composite Steel-Concrete Cable-Stayed Bridge. *Engineering Structures*, 32, 2702-2716.
- [3] Barbaros Atmaca & Sevkett Ates. (2012). Construction Stage Analysis of Three-dimensional Cable-stayed Bridges. *Steel and Composite Structures*, 12(5), 413-426.
- [4] CEB-FIP Model Code 1990. (1991). *Design code*. Comité International du Béton.
- [5] Lixiao Zhang, Guoyang Qiu & Zhishou Chen. (2021). Structural Health Monitoring Methods of Cables in Cable-Stayed Bridge. *Measurement*, 168, 1-7.

- [6] บริษัท IMMS. โครงการตรวจสอบโครงสร้างและระบบเฝ้าติดตามพฤติกรรมสะพาน (Bridge Health Monitoring System) สะพานพระราม 8, 1-145
- [7] James Lee. (2009). A Critical Analysis of the Rama VIII Bridge, Bangkok. *Proceedings of Bridge Engineering 2 Conference April 2009*.
- [8] ศศิพรรณ สุริยวงษ์. (2545). *พฤติกรรมของสะพานซึ่งแบบสมมาตร* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโท). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [9] Liuchuang Wei, Heming Cheng. & Jianyun Li. (2011). Modal Analysis of a Cable-stayed Bridge. *Procedia Engineering*, 31, 481-486.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์เศษฉลากกระดาษเพื่อผลิตเชื้อเพลิงแท่ง

Feasibility Study on Utilization of Paper Labelling Waste For Fuel Briquettes Production

สิรินารี เงินเจริญ¹, นันทนา ฤกษ์เกษม², ชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ³

¹คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว; sirinaree.th@gmail.com

²คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว; rerkkasem.n@gmail.com

³คณะวิทยาศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา; chailoek@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นและแบบขุยจากอุตสาหกรรมการผลิตสุรา โดยใช้กาวแป้งเปียกเป็นวัสดุประสาน ขึ้นรูปด้วยมือเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและสูง 4.5 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ จากนั้นตากให้แห้งภายใต้อุณหภูมิและความดันบรรยากาศแล้ววิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ พบว่า เศษฉลากกระดาษทั้งสองประเภทมีความเป็นไปได้สำหรับนำมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นและแบบขุย ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานมากกว่าเนื่องจากให้ค่าความร้อนแบบgrossตามสภาพตัวอย่างที่ได้รับ เท่ากับ 3,172 แคลอรีต่อกรัม สูงกว่าเกณฑ์คุณสมบัติค่าความร้อนจากของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงแท่งได้ที่กำหนดไว้ว่าควรสูงกว่า 3,000 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณไฮโดรเจนที่สภาวะแห้งร้อยละ 4.85 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นใช้เวลาการตากแห้ง 8 วัน น้ำหนักและความหนาแน่นเท่ากับ 38.43 ± 2.47 กรัม 0.76 ± 0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ เชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นมีความชื้น ร้อยละ 4.45 ± 0.26 เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน : ถ่านอัดแท่งที่กำหนดไว้ว่าค่าความชื้นไม่ควรสูงกว่าร้อยละ 8 นอกจากนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นนี้ยังคงสภาพได้ดี ไม่แตกหักง่ายด้วย

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงแท่ง, กากอุตสาหกรรม, กระดาษ

Abstract

This research aimed to study the feasibility of fuel briquettes production made from flake paper and plate paper derived from bottle-labelling waste of the liquor industry. 2 Types of the labelling waste were mixed with pasty glue as binder then hand-molded by cylindrical plastic with diameter and height of 4.5 and 4 cm. Dried at ambient air until completely dry then analyzed the properties. It was found that both types of paper labelling waste had the capability to be developed as fuel briquettes. However, the comparison of briquettes was taken the results were indicated that plate labelling waste was more suitable for utilization. Assessed from gross heat of combustion as received equaled 3,172 cal/g that was higher than the properties criteria of fuel briquette's heating value from industrial waste which was prescribed as higher than 3,000 cal/g. Hydrogen content on dry basis equaled 4.85%. Dry period equaled 8 days. Dried weight and density equaled 38.43 ± 2.47 g

and $0.76 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ respectively. The moisture content of fuel briquettes from plate labelling waste as $4.45 \pm 0.26\%$ corresponded to the TISI standard of charcoal briquettes that stipulated the humidity should not be higher than 8 %. Besides, physical properties were determined also it such obviously represented the fuel briquettes were sturdy and could not be shattered easily.

Keywords : Briquettes, Industrial waste, Paper

1. บทนำ

สถานการณ์พลังงานไทยปี พ.ศ.2563 พบว่าการใช้พลังงานขั้นต้นลดลงเนื่องจากผลกระทบจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 [1] ในขณะที่การใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น 0.4% ทั้งยังมีการคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2564 ความต้องการใช้พลังงานทดแทนจะเพิ่มขึ้น 5% จากนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนของภาครัฐ [2] ตามแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ที่มีเป้าหมายเพื่อลดการพึ่งพาและการนำเข้าพลังงานชนิดอื่น กระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ตลอดจนเพื่อให้เป็นแบบอย่างของสังคมโลกที่กำลังก้าวถึงประเทศไทยว่าเป็นประเทศที่มีความมุ่งมั่นให้มีการใช้พลังงานทดแทน [3] โดยดำเนินการตามยุทธศาสตร์ต่างๆ อาทิ กำหนดเป้าหมายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเชิงพื้นที่ให้สอดคล้องกับศักยภาพของเชื้อเพลิง (RE zoning) ส่งเสริมรูปแบบการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งาน (Self-consumption) สร้างความร่วมมือหรือสนับสนุนเครือข่ายด้านพลังงานทดแทนในชุมชน รวมทั้งการพัฒนาและส่งเสริมให้นำวัตถุดิบที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์และจัดหาแหล่งวัตถุดิบเพิ่มเติม เช่น วัสดุเหลือใช้หรือของเสียจากภาคเกษตรกรรม รวมทั้งกากอุตสาหกรรม ฯลฯ [4]

ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตพลังงานทดแทน ได้แก่ เชื้อเพลิงแท่งจากวัสดุในท้องถิ่น สาเหตุที่เลือกผลิตเชื้อเพลิงแท่งนั้นเนื่องจากเชื้อเพลิงแท่งมีประโยชน์หลายประการ อาทิ ช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่ามาทำเป็นฟืนหรือถ่าน ใช้กระบวนการผลิตที่สะดวกมีราคาถูก [5] ทั้งนี้

จากการสำรวจข้อมูลพบว่าในพื้นที่มีอุตสาหกรรมการผลิตสุราขนาดใหญ่ซึ่งมีกากอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบว่ากากอุตสาหกรรมไม่อันตราย ได้แก่ เศษฉลากกระดาษจากขั้นตอนการล้างขวดแก้ว เพื่อนำขวดแก้วนั้นมาทำใช้ซ้ำปริมาณมาก

การจัดการกากอุตสาหกรรมดังกล่าวในปัจจุบัน คือ การรวบรวมเพื่อจำหน่ายให้อุตสาหกรรมผลิตกระดาษนำไปใช้ซ้ำ (Recycle) หรือส่งเสริมให้ชุมชนใกล้เคียงนำไปใช้ประดิษฐ์เป็นของที่ระลึกจำพวกงานศิลปะจากเศษกระดาษเหลือใช้ (Paper mache) เท่านั้น ยังไม่ปรากฏว่ามีการนำเศษฉลากกระดาษจากการล้างขวดดังกล่าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ประโยชน์การใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าเพิ่มขึ้นได้

อนึ่งเศษฉลากกระดาษจากการล้างขวดที่จับได้นำมาศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งนี้ จำแนกได้ 2 ประเภท ได้แก่ เศษฉลากกระดาษแบบแผ่น และเศษฉลากกระดาษแบบขุ่ย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษฉลากทั้ง 2 ประเภทโดยใช้กาวแปะเปียกเป็นวัสดุประสาน [6] ขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแท่งด้วยมือแบบอัดเย็น (Cold press process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน [7] เพื่อเพิ่มแนวทางการใช้ประโยชน์กากอุตสาหกรรม ลดปริมาณของเสียหรือกากอุตสาหกรรมเหลือทิ้งในสิ่งแวดล้อม ตลอดจนร่วมสร้างแนวทางส่งเสริมและผลิตพลังงานทดแทนให้มีความหลากหลายอันเป็นความมั่นคงด้านพลังงานต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมเศษฉลากกระดาษ 2 ประเภท ได้แก่ เศษฉลากกระดาษแบบแผ่นและเศษฉลากกระดาษแบบขุย โดยนำมาล้างน้ำสะอาดและคัดแยกวัสดุอื่นออก จากนั้นนำมาผึ่งให้แห้งสนิท ได้เศษฉลากที่มีลักษณะดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เศษฉลากกระดาษ
ก. แบบขุย ข. แบบแผ่น

2. เตรียมกาบแป้งเปียกโดยใช้อัตราส่วนระหว่าง แป้งมันสำปะหลังต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 โดยปริมาตร
3. ผสมเศษฉลากกับกาบแป้งเปียกด้วยอัตราส่วนระหว่างเศษฉลากต่อกาบแป้งเปียก เท่ากับ 10:1
4. ขึ้นรูปเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากและกาบแป้งเปียก โดยใช้แม่พิมพ์ทรงกระบอกจากท่อพลาสติก (PVC) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร (ซ.ม.) สูง 4 ซ.ม. ตากเชื้อเพลิงแท่งให้แห้งสนิท บันทึกผลเป็นระยะเวลาการตากแห้ง

5. วิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแท่ง ได้แก่ น้ำหนัก ความหนาแน่น ความชื้นดัชนีการแตกร่วน ดังนี้

5.1 น้ำหนัก

นำเชื้อเพลิงแท่งที่ตากแห้งสนิทมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วบันทึกผล

5.2 ความหนาแน่น [8]

คำนวณจากอัตราส่วนมวลต่อปริมาตรตามสมการต่อไปนี้

$$D = M / V$$

D คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

M คือ มวลของวัตถุ (กรัม)

V คือ ปริมาตรของวัตถุ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

5.3 ความชื้น

นำเชื้อเพลิงแท่งจากข้อ 5.1 มาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และบันทึกค่าไว้เป็นมวลวัตถุแห้ง [9]

$$M = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100\%$$

M คือ ร้อยละของปริมาณความชื้น (%)

W₁ คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W₂ คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

5.4 ดัชนีการแตกร่วน

ใช้วิธี Drop shatter test โดยชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงแท่งก่อนทดสอบ บันทึกผลเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงแท่งก่อนปล่อย จากนั้นบรรจุเชื้อเพลิงแท่งในถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้สนิท นำถุงดังกล่าวปล่อยจากตำแหน่งที่สูงกว่าพื้นซีเมนต์ในแนวตั้ง 180 เซนติเมตร หากมีการแตกร่วนให้น้ำเชื้อเพลิงแท่งไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร นำส่วนเชื้อเพลิงแท่งที่เหลือจากการร่อนไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงแท่งหลังปล่อย คำนวณดัชนีการแตกร่วนตามสมการ [8]

$$R = W_2 / W_1$$

R คือ ดัชนีการแตกร่วน

W₁ คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงแท่งก่อนปล่อย (กรัม)

W₂ คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงแท่งหลังปล่อย (กรัม)

5.5 ค่าความร้อนแบบกโรสตามสภาพตัวอย่างที่ได้รับวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบกโรสตามสภาพตัวอย่างที่ได้รับด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D5865 และปริมาณไฮโดรเจนที่สภาวะแห้งด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM C458/C458M-98 ซึ่งงานวิจัยนี้ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ ณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

เศษฉลากกระดาษจากอุตสาหกรรมการผลิตสุราสามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงแท่งได้โดยใช้กาวแป้งเปียกเป็นวัสดุประสาน ลักษณะเชื้อเพลิงแท่ง แสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษ

ก. เชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่น

ข. เชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุย

ในการขึ้นรูปด้วยมือ พบว่าเศษฉลากกระดาษแบบขุยขึ้นรูปง่ายกว่าเศษฉลากกระดาษแบบแผ่น เนื่องจากเศษฉลากกระดาษแบบขุยมีขนาดเล็กเมื่อผสมกับกาวแป้งเปียกจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นและสามารถอัดในแม่พิมพ์พลาสติกได้ง่ายกว่า หลังการขึ้นรูป นำชิ้นงานเชื้อเพลิงอัดแท่งไปตากให้แห้ง สนิทจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่รวมทั้งวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ แสดงผลได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษ

คุณสมบัติ	เชื้อเพลิงแท่ง จากเศษฉลาก กระดาษ แบบแผ่น	เชื้อเพลิงแท่ง จากเศษฉลาก กระดาษ แบบขุย	ค่าหรือ เกณฑ์ มาตรฐานที่ เกี่ยวข้อง
ระยะเวลาการตากแห้ง (วัน)	8	6	-
น้ำหนัก (g)	38.43 ± 2.47	19.38 ± 2.31	-
ความหนาแน่น (g/m^3)	0.76 ± 0.05	0.39 ± 0.05	-
ความชื้น (%)	4.45 ± 0.26	4.71 ± 0.09	8 [10]
ดัชนีการแตกร่วน	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	-
ค่าความร้อนแบบ gross ตามสภาพ ตัวอย่างที่ได้รับ (cal/g)	3,183	2,782	3,000 [11]
ปริมาณไฮโดรเจน ที่สภาวะแห้ง (%)	4.85	5.06	

ผลการวิจัยพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุยมีระยะเวลาการตากแห้งเท่ากับ 6 วันแห้งเร็วกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นที่มีระยะเวลาการตากแห้งเท่ากับ 8 วัน ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงแท่งแบบแผ่นมีการแยกส่วนระหว่างกาวแป้งเปียกและกระดาษอย่างชัดเจน

พบว่าส่วนที่เป็นกาวแป้งเปียกที่แทรกระหว่างเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นนั้นใช้เวลาแห้งมากกว่า ตากชิ้นงานเชื้อเพลิงแท่งแห้งจนกระทั่งสนิทวิเคราะห์ได้จากการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงแท่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษฉลากทั้งแบบแผ่นและแบบขุยมีคุณลักษณะทางกายภาพที่แข็งแรง ไม่แตกหักง่าย สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนซึ่งให้ผลเท่ากับ 1.00 ± 0.00

เมื่อนำไปชั่งน้ำหนัก เชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นมีน้ำหนักมากกว่าเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุยคือ เท่ากับ 38.43 ± 2.47 กรัม (g) และ 19.38 ± 2.31 g ตามลำดับ เนื่องจากเศษฉลากกระดาษแบบขุยในปริมาตรเท่ากันจะมีน้ำหนักน้อยกว่าเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นทั้งนี้เมื่อนำค่าน้ำหนักไปวิเคราะห์ความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างเชื้อเพลิงแท่ง ผลการวิเคราะห์สอดคล้องแบบผืนตามกับน้ำหนัก กล่าวคือ ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นเท่ากับ 0.76 ± 0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) มีค่ามากกว่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุยซึ่งเท่ากับ $0.39 \pm 0.05 \text{ g}/\text{cm}^3$

อย่างไรก็ตามเมื่อนำเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากทั้ง 2 ประเภทมาทดสอบเพื่อหาค่าร้อยละความชื้น (%) พบว่า ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นเท่ากับ $4.45 \pm 0.26\%$ และค่าความชื้นของเชื้อเพลิงแท่งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุยเท่ากับ $4.71 \pm 0.09\%$ ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงแท่งดังกล่าวเป็นผลมาจากวัสดุประสานที่มีน้ำผสม [12] ซึ่งงานวิจัยนี้เชื้อเพลิงแท่งทั้ง 2 ประเภทใช้วัสดุประสานชนิดเดียวกัน ได้แก่ กาวแป้งเปียกความชื้นจึงไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญ ($\alpha 0.05$) ความชื้นในเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลาก ทั้งเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นและแบบขุยนั่นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน : ถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) ซึ่งระบุไว้ว่าค่าความชื้นต้องไม่เกิน 8% โดยน้ำหนักด้วย [10]

สำหรับผลวิเคราะห์ค่าความร้อนซึ่งงานวิจัยนี้ วิเคราะห์ค่าความร้อนแบบgrossตามสภาพตัวอย่างที่ได้รับ หรือค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลปริมาณ 1 หน่วยที่ปริมาตรคงที่ในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ และวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนที่สถานะแห้ง พบว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นให้ค่าความร้อน เท่ากับ 3,183 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุย แต่ค่าปริมาณไฮโดรเจนที่สถานะแห้ง ต่ำกว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่น คือ เท่ากับ 4.85% ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนดังกล่าวบ่งชี้ถึงคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลหากมีค่าสูงจะเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลคุณภาพดี [13] หรืออีกนัยหนึ่งว่าคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลแปรผันตามค่าความร้อน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ตามตารางที่ 1 ที่แสดงผลไม่แตกต่างกัน คือ เชื้อเพลิงแห้งทั้งสองประเภทมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย ทั้งยังพบว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากทั้ง 2 ประเภทดังกล่าวมีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐาน แม้ว่าน้ำหนักและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุย แต่น้ำหนักต่อหน่วยของเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นนั้น ยังจัดว่ามีค่าน้อย น้ำหนักเบา ไม่แตกต่างกับกับเชื้อเพลิงแห้งจากเศษวัสดุประเภทอื่นๆ ในท้องตลาด

สำหรับระยะเวลาการตากแห้งซึ่งพบว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นใช้เวลาการตากแห้งมากกว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุย 2 วัน นั้น เนื่องจากการตากแห้งนี้เป็นการตากแดด มิได้ใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำให้เชื้อเพลิงแห้งแห้ง จึงไม่มีต้นทุนการผลิตที่อาจเป็นปัญหาสำหรับการผลิตเพื่อการใช้งาน อย่างไรก็ตามอาจลดระยะเวลาการตากแห้งด้วยการ

พัฒนาวิธีตากแห้งต่างๆ เช่น การอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไปได้

ด้วยการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าเศษฉลากกระดาษจากอุตสาหกรรมการผลิตสุรานั้นมีความเป็นไปได้สำหรับการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแห้งเพราะให้ค่าความร้อนได้ แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงแห้งทั้ง 2 ประเภท ซึ่งงานวิจัยนี้พิจารณาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากทั้ง 2 ประเภทเป็นสำคัญ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นมีคุณภาพดีกว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษแบบขุย เนื่องจากให้ค่าความร้อนสูงกว่า

เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแห้งจากวัสดุประเภทอื่นพบว่า เชื้อเพลิงแห้งจากฉลากกระดาษแบบแผ่นให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับค่าความร้อนจากเศษวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ ชานอ้อย ซึ่งให้ค่าความร้อนเท่ากับ 3,172 แคลอรีต่อกรัม [14] แต่ให้ค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงแห้งจากเศษวัสดุหรือกากอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น กระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน [8] เปลือกสับปะรด [15] และเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง [16] ซึ่งให้ค่าความร้อนเท่ากับ 3,277 แคลอรีต่อกรัม 3,235-3,389 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และ 3,698.46 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นนั้นยังคงให้ค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์คุณสมบัติค่าความร้อนจากของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงแห้งได้เนื่องจากนำมาแปรรูปสามารถเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กำหนดไว้ว่าควรมากกว่าหรือเท่ากับ 3,000 แคลอรีต่อกรัม [11] หากได้มีการพัฒนาต่อไป อาทิ การนำมาเผาก่อนเพื่อขึ้นรูปแบบถ่านอัดแท่ง หรือการผสมกับวัสดุอื่นๆ ที่ให้ค่าความร้อนสูง อาจเป็นผลให้ค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงแห้งจากเศษฉลากกระดาษนี้เพิ่มขึ้นได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าเศษฉลากกระดาษแบบแผ่นมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแห้งเพื่อเป็นทางเลือกในการเป็นพลังงานทดแทนต่อไป

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

ผสมเศษวัสดุชนิดอื่นที่มีความสามารถในการเผาไหม้ และให้ความร้อนสูงกับเศษฉลากกระดาษเพื่อเพิ่มความร้อนของเชื้อเพลิงแท่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทเฟื่องฟูนันท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กากอุตสาหกรรมไม่อันตราย ได้แก่ เศษฉลากกระดาษจากขั้นตอนการล้างขวด เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. แนวโน้มการใช้พลังงานปี 2564. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก <http://www.eppo.go.th/epposite/index.php/t/h/ct-menu-item-...&id=16575:news-290164>.
- [2] Green Network. สนพ. สรุปสถานการณ์พลังงานปี 2563 และแนวโน้มปี 2564. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก <https://www.greennetworkthailand.com/%E0...-2563-2564/>.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. แผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกใน 10 ปี. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/kb00_a101...%B5.pdf.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=43412.
- [5] สุมินทร์ญา ทิหา, มะลิ นาชัยสินธุ์ และกลยุทธิ์ ดีจริง. การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพผสมผสานจากผักตบชวาผสมเปลือกมังคุด (รายงานผลการวิจัย). สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก <http://research.rmu.ac.th/rdi-mis/upload/fullreport/1615216568.pdf>.

- [6] Aransiola, E.F., T.F. Oyewusi, J.A. Osunbitan, and L.A.O. Ogunijimi. (2019). Effect of binder type, binder concentration and compacting pressure on some physical properties of carbonized comcob briquette. *Energy Reports*, 5, 909-918.
- [7] นฤภัทร ตั้งมันตระกุล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 6,11(มกราคม-มิถุนายน 2557), 66-77.
- [8] นันทนา ฤกษ์เกษม, สิริณารี เงินเจริญ และชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ. (2560). คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน. *วารสารวิชามหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 36, 1(มกราคม-มิถุนายน 2560), 25-38.
- [9] โรสลีนอนันตนฤกุลวงศ์รอยะห์เจ๊ะแมและนุรมาายามีน สาเร๊ะนู. (2562). การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร.*, 4, 1(มกราคม-มิถุนายน 2562), 47-53.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: ถ่านอัดแท่ง. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.pdf.
- [11] สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม. คู่มือ แนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก http://www2.diw.go.th/iwmb/form/iwd040_%E0%...87.pdf. สืบค้น พ.ศ. 2564
- [12] เลอพงศ์ จารุพันธ์ และตนพรพรช หรรษอุดม. อิทธิพลของสารเพิ่มความเหนียวและสารกันซึมต่อสมบัติเชิงกลของเยื่อกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันเพื่อการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก https://kukr2.lib.ku.ac.th/kukr_es/kukr/search_detail/result/308943.

- [13] ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข. การศึกษาการประมวลค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก http://lib3.dss.go.th/fulltext/Vichakran/vichakran_la_0003.pdf.
- [14] กรมป่าไม้. คู่มือค่าความร้อนของไม้และถ่าน. สืบค้น พฤษภาคม 2564, จาก <http://forprod.forest.go.th/forprod/woodenergy/PDF/public/7.%20%...0%B8%99.pdf>.
- [15] ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะชามาศ สายดำ, สุจิตรา ภู่งสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์. (2558). การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 23, 5(ฉบับพิเศษ), 754-773.
- [16] ลดาวัลย์ วัฒนะจิระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาป็น, วิภาวดี ชัชวาลย์, อนันท์ ธัญญเจริญ และภาคภูมิ รุ่งร่วม. (2559). การพัฒนาก่อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 39, 2(เมษายน-มิถุนายน 2559), 239-255.

การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของไม้ต่างชนิด จากเตาเผาชีวมวลต้นแบบ

Tests for the thermal efficiency of various types of wood from the prototype biomass burner

ภูษิต พรหมศรีแก้ว¹, ทศนัย เพ็ชชน¹, ชินอรส ละอองวรรณ¹, นรนนท์ ขำมณี², อภิชาติ หาจตุรัส³, พีรพงศ์ หนูช่วย^{1*}
Pusit Promsrikawe¹, Thatsanai Phetkhon¹, Chinoros Laongwan¹, Naranun Khammanee²,
Apicharti Hajaturus³, Peerapong Nucuhay^{1*}

¹สาขาไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

³สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะและหุ่นยนต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

*Corresponding author, E-mail: peerapong.nuc@sru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนชีวมวลจากเตาเผาชีวมวลต้นแบบ ได้แก่ ไม้เงาะ ไม้ขนุน และไม้ยางพารา โดยใช้ปริมาณของเศษไม้เพื่อนำไปใช้ในการเผาอย่างละ 5 กิโลกรัม ทำการเก็บข้อมูลค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนทำการวัดด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด ทุก ๆ 5 นาที ทั้งหมดเป็นเวลา 30 นาที โดยทำการทดลองเผาชีวมวลโดยทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุด จากการทดลองพบว่า เศษไม้สามารถนำมาใช้เป็นชีวมวลได้ ไม้เงาะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 684.3 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ ไม้ขนุน และไม้ยางพารา มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 650 และ 632.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สรุปได้ว่าชีวมวลจากเศษไม้สามารถให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ดีและเหมาะสมแก่การนำไปประยุกต์เพื่อสร้างเตาต้นแบบและถ่านไม้ชีวมวลที่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงต่อไป

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, ชีวมวล, เตาเผาชีวมวล

Abstract

This research is to study the biomass thermal efficiency from the prototype biomass burner Including rambutan, jackfruit, and rubber wood by using the amount of each type of wood for burning were used 5 kilograms. The collecting data for thermal efficiency with infrared thermometer was measured every 5 minutes for 30 minutes. The optimal Biomass burning experiments were repeated 5 times. The results showed that a various type of woods was possible for burning biomass. The highest temperature of biomass thermal efficiency was rambutan with 684.3 °C, The second highest temperature of biomass thermal efficiency was jackfruit and rubber wood were 650, and 632.1 °C, respectively. Biomass derived from wood chip could be provided the highest thermal efficiency. It is suitable for further application to create the burner reactor for biomass charcoal with high thermal efficiency.

Keywords : Thermal efficiency, Biomass, Biomass burner

1. บทนำ

ปัจจุบันประชากรไทยที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีจำนวน 13.48 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 34.78 ของประชากรที่มีงานทำทั้งหมด 38.76 ล้านคน [3] จึงทำให้มีเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเป็นจำนวนมาก การกำจัดเศษไม้ของเหลือทิ้งจากการเกษตรกรรมมาใช้ประโยชน์ โดยการนำมาทำเป็นถ่านนั้น นิยมใช้กระบวนการคาร์บอนเซชัน โดยกระบวนการนี้เป็นการเผาไหม้ท่อนไม้ในสภาพอับอากาศ หรือจำกัดอากาศ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน [2]

- 1) ขั้นตอนการไล่ความชื้น (Dehydration)
- 2) ขั้นตอนการเปลี่ยนไม้เป็นถ่าน (Carbonization)
- 3) ขั้นตอนการทำถ่านให้บริสุทธิ์ (Refinement technique) และ
- 4) ขั้นตอนการทำถ่านให้เย็น (Cooling) [7]

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมามีการสร้างเตาเผาถ่านชีวมวลขึ้นมาเป็นจำนวนมากหลายหลายรูปแบบ แต่ชีวมวลที่นำมาผลิตถ่านนั้น ยังให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควร ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของไม้ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไม้เงาะ ไม้ขนุน และไม้ยางพารา ที่หาได้ง่ายในชุมชน โดยทำการเผาในเตาเผาชีวมวลต้นแบบ อัตราส่วนในการเผาอย่างละ 5 กิโลกรัม และเก็บข้อมูลค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรดทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที โดยจะทำการทดลองเผาชีวมวลทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดของไม้แต่ละชนิด การศึกษานี้จึงเสนอค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของไม้ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไม้เงาะ ไม้ขนุน และไม้ยางพารา เพื่อใช้ในการประยุกต์สร้างถ่านไม้ชีวมวลที่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาขั้นค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบื้องต้นในการสร้างถ่านชีวมวล
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาชีวมวลต้นแบบ

3. แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชีวมวลไม้ 3 ชนิด เพื่อให้ทราบถึงการให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของไม้เงาะ ไม้ขนุน และไม้ยางพารา และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเลือกใช้ไม้ที่จะนำมาทำเป็นถ่านชีวมวล

3.1 การเกิดเพลิงไหม้

การเกิดเพลิงไหม้ มีองค์ประกอบด้วยกัน 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ออกซิเจน เชื้อเพลิง และความร้อน โดยเกิดปฏิกิริยาร่วมกันในสภาวะที่เหมาะสมแล้วให้พลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานแสงสว่าง สิ่งที่ทำให้ไฟลุกติดได้อย่างต่อเนื่องคือปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) [6] ดังนั้นการเกิดเพลิงไหม้อย่างต่อเนื่องจึงประกอบด้วย เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งการเกิดความร้อนนั้นจะถูกส่งผ่านไปยังบริเวณอื่น โดยอาศัยกลไกหลัก 4 วิธี [5] ได้แก่

1) การสัมผัสความร้อนโดยตรง (direct flame contact) คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านทางเปลวไฟโดยตรง เป็นการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญในช่วงเริ่มต้นของการลุกไหม้

2) การนำความร้อน (conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุที่มีสถานะเป็นของแข็งจากจุดหนึ่งไปสู่จุดหนึ่ง

3) การพาความร้อน (convection) คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุที่มีสถานะเป็นของเหลวและแก๊ส เป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่

4) การแผ่รังสี (radiation) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยคลื่นความร้อนอินฟราเรด การแผ่รังสีจะเท่ากันทุกทิศทาง การลุกไหม้จึงเป็นการลุกไหม้แบบการกระโดดข้ามไปยังอีกจุดหนึ่ง [4]

3.2 กระบวนการเผาถ่าน

กระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิตถ่าน คือ กระบวนการคาร์บอนเซชัน เป็นกระบวนการทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน โดยการให้ความร้อนแก่ไม้ในสภาวะจำกัดอากาศ มีด้วยกัน 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) การไล่ความชื้น (Dehydration) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 20 - 270 องศาเซลเซียส เป็นช่วงสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ออกมาเป็นควันสีขาวปะปนกับไอน้ำ

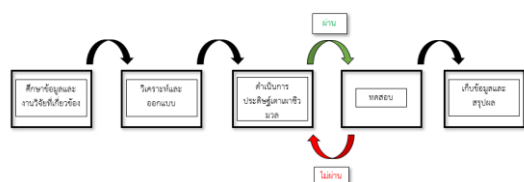
2) การเปลี่ยนไม้เป็นถ่าน (Carbonization) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 270 - 400 องศาเซลเซียส เป็นช่วงสลายตัวของเซลลูโลส (Cellulose) ควันจะมีสีขาวและมีกลิ่นฉุน

3) การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (Refinement technique) เกิดขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป

4) การทำถ่านให้เย็น (Cooling) เป็นการทิ้งถ่านให้อุณหภูมิเย็นลงถึงอุณหภูมิปกติ [1] ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของถ่านนั้นยังขึ้นอยู่กับชีวมวลที่นำมาผลิตเป็นถ่านด้วย

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มีด้วยกัน 5 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนการดำเนินการวิจัย

4.1 การออกแบบเตาเผาชีวมวล

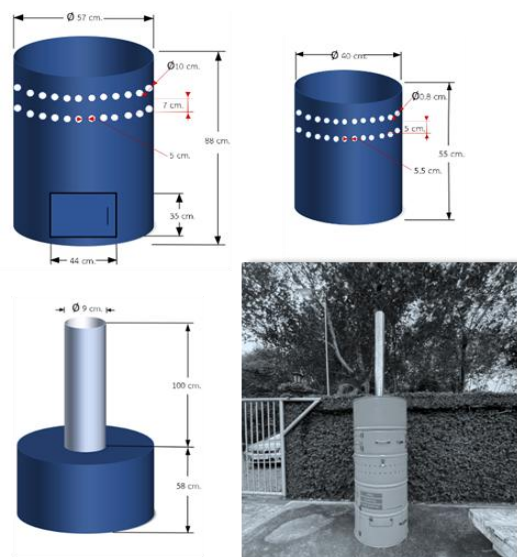
การออกแบบเตาเผาชีวมวลในงานวิจัยนี้ ใช้ถัง 200 ลิตร จำนวน 2 ถัง และถัง 50 ลิตร จำนวน 1 ถัง โดยเตาเผาชีวมวลจะมีลักษณะเตาแบบ 2 ชั้น ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1) ผนังเตาชั้นนอก ฝาเปิดฝาดัง 200 ลิตร แล้วเจาะรูขนาด 10 มิลลิเมตร รอบถังจำนวน 2 แถว แถวละ 32 จุด ระยะห่างระหว่างจุด จุดละ 5 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 7 เซนติเมตร

2) ตัวถังเผาขนาด 50 ลิตร ฝาถังถัง 50 ลิตร แล้วเจาะรูขนาด 8 มิลลิเมตร จำนวน 2 แถว แถวละ 22 จุด ระยะห่างระหว่างจุด จุดละ 5.5 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 5 เซนติเมตร จะถูกใส่ลงไปในตัวผนังเตา

3) ชุดฝาดังและท่อปล่องควัน ขนาดความยาว 1 เมตร ฝาดัง 200 ลิตร เพื่อทำฝาด้านบน จากนั้นนำท่อสแตนเลสมาเชื่อมติดเพื่อเป็นรูระบายควัน ตัดท่อสแตนเลสความยาว 1 เมตร เพื่อสวมท่อสแตนเลสระบายควัน

4) ชุดฐานรองถังเผา นำเหล็กฉากเชื่อมเป็นบารองตัวถังเผาแบบรายละเอียดของเตาเผาชีวมวล ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบรายละเอียดเตาเผาชีวมวล

ทำการทดลองเผาชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ในเตาเผาชีวมวลจำนวน 5 รอบ เพื่อเก็บข้อมูลค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชีวมวลด้วยเครื่อง เทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด ทั้ง 3 ชนิด นำมาเฉลี่ยหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชีวมวลแต่ละชนิด ดังแสดงในภาพที่ 3

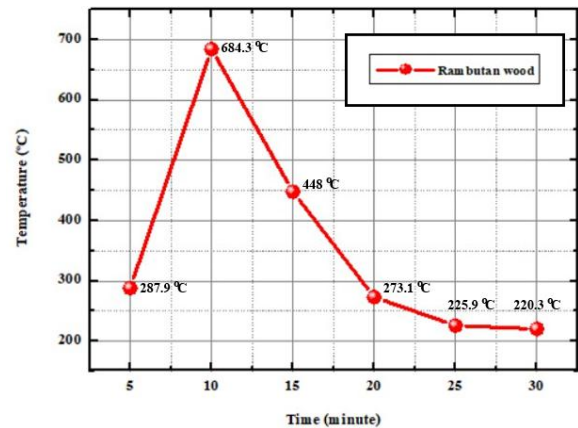


ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง วัดอุณหภูมิและบันทึกผล

4.2 ผลการวิจัย

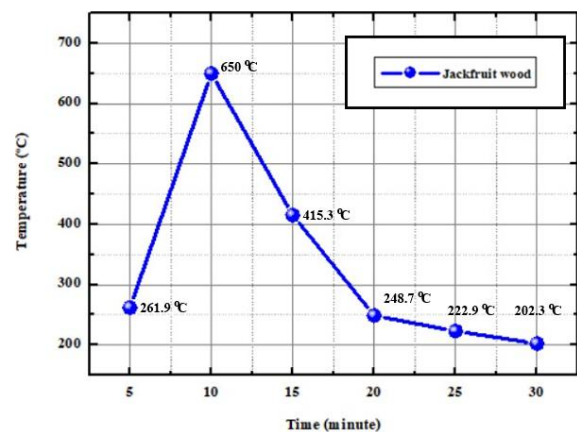
จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของไม้ทั้ง 3 ชนิด โดยการทำการเผาไหม้ในเตาเผาชีวมวลต้นแบบ อัตราส่วนในการเผาอย่างละ 5 กิโลกรัม และเก็บข้อมูลค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด ทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที โดยทำการทดลองเผาชีวมวลทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดของไม้แต่ละชนิด อัตราส่วนในการเผาอย่างละ 5 กิโลกรัม และเก็บข้อมูลค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด ทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที โดยจะทำการทดลองเผาชีวมวลทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดของไม้แต่ละชนิด มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังนี้

1) ไม้เงานะ ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 684.3 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาที่ 10 นาที และเริ่มลดลงในเวลาต่อมา ดังแสดงในกราฟที่ 1



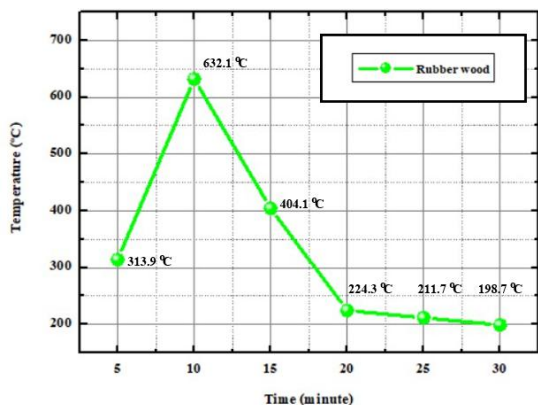
กราฟที่ 1 แสดงอุณหภูมิไม้เงานะ

2) ไม้ขนุน ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 650 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาที่ 10 นาที และเริ่มลดลงในเวลาต่อมา ดังแสดงในกราฟที่ 2



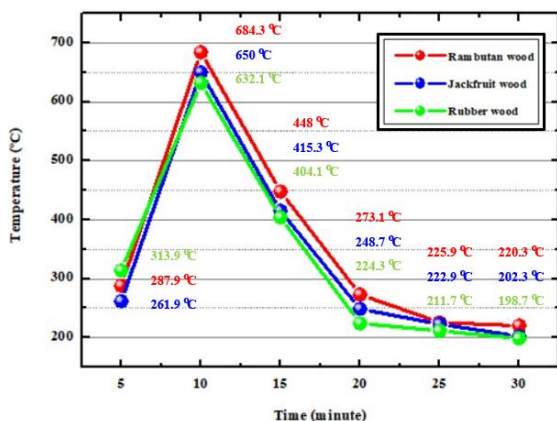
กราฟที่ 2 แสดงอุณหภูมิของไม้ขนุน

3) ไม้ยางพารา ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 632.1 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาที่ 10 นาที และเริ่มลดลงในเวลาต่อมา ดังแสดงในกราฟที่ 3



กราฟที่ 3 แสดงอุณหภูมิไม้ยางพารา

จากการทดลองจะพบว่า ไม้เงาะ ไม้ขนุน และ ไม้ยางพารา ให้ความร้อนสูงสุดในนาที่ที่ 10 อยู่ที่ 714.3, 650, และ 632.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่จะพบว่า ไม้ยางพารา จะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในนาที่ที่ 5 สูงกว่าไม้ชนิดอื่น แสดงให้เห็นว่า ไม้ยางพารามีการติดไฟที่ดีกว่าไม้เงาะ และไม้ขนุน ดังแสดงในกราฟที่ 4



กราฟที่ 4 แสดงอุณหภูมิของ ไม้เงาะ ไม้ขนุน และไม้ยางพารา

4.3 อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไม้เงาะ ไม้ขนุน และไม้ยางพารา โดยการเผาในเตาเผาชีวมวล พบว่าไม้เงาะจะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด อยู่ที่ 714.3 องศาเซลเซียส รองลงมา

คือ ไม้ขนุน ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ที่ 650 องศาเซลเซียส และ อันดับสุดท้าย คือ ไม้ยางพารา ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 632.1 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่า ไม้ทั้ง 3 ชนิดนี้ ไม้เงาะเหมาะสมแก่การนำไปผลิตเป็นถ่านชีวมวลมากที่สุด และเตาเผาชีวมวลเครื่องต้นแบบอยู่ในเกณฑ์สามารถใช้งานได้จริง

ข้อเสนอแนะ และการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

จากงานวิจัยในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงค่าพลังงานความร้อนของไม้ 3 ชนิดนี้ ในการวิจัยครั้งต่อไปจะเพิ่มตัวควบคุมในการเผาไหม้ และชนิดของไม้ เพื่อให้ได้ผลที่แน่นอนและหลากหลาย เหมาะแก่การนำไปทำถ่านไม้ชีวมวลต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนชีวมวลไม้ 3 ชนิด ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธัญชัย สาทะกลาง, ปริญ คงกระพันซ์ และอักรินทร์ อินทนิเวศน์. (ม.ป.ป.). การศึกษาเตาเผาถ่านไร้ควัน ด้วยการติดตั้งครีบน้ำความร้อนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประหยัดพลังงาน. เชียงใหม่: วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [2] ธราพงษ์ วิจิตรานต์. (2554). ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมีเทคนิคจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] สำนักงานสถิติแห่งชาติกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (ม.ป.ป.). สรุปผลการสำรวจ ภาพการณ์ทำงานของประชากร เดือนธันวาคม พ.ศ.2563. สืบค้น 20 เมษายน 2564, จาก <http://www.nso.go.th>

- [4] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2548). *คู่มือการป้องกัน และระงับอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรม* โรงงาน ผลิตภัณฑ์จากพืช. กรุงเทพฯ: ไพร์เทคโนโลยีโนเวชั่นจำกัด.
- [5] Karlsson, B. & Quintiere, J.G. (1999). *Enclosure fire dynamics*. USA: CRC Press LLC.
- [6] Nicholas, P.C & Tatyana, A.D. (1998). *Fire and explosion hazards hand book of industrial chemicals*. USA: Noyes Publication.
- [7] Thomas G., Jurgen A. and Stefan S. (2012). *Charcoal from agricultural residues as alternative reducing agent in metal recycling*. Forestry Department: Biomass and bioenergy.

เครื่องล้างมันขี้หนูต้นแบบ

Hausa potato (*Coleus parvifolius*) washing machine

พีรพล บุญเนื่อง¹, ไชยิต ยุมาดีน¹, วชิรินทร์ วิเชียรวงศ์¹, วิมล พรหมแช่ม¹, ชินอรส ละอองวรรณ¹, ภูษิต พรหมศรีแก้ว¹

นรานันท์ ขำมณี², อภิชาติ หาจตุรัส³, พีรพงศ์ หนูช่วย^{1*}

Peerapol Boonnuang¹, Saiyid Yumadeen¹, Watcharin Wichianwong¹, Wimol Promcham¹, Chinoros Laongwan¹, Pusit Promsrikawe¹, Naranun Khammanee², Apicharti Hajaturus³, Peerapong Nucuay^{1*}

¹สาขาไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

³สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะและหุ่นยนต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

*Corresponding author, E-mail: peerapong.nuc@sru.ac.th

บทคัดย่อ

การสร้างเครื่องล้างมันขี้หนูต้นแบบมีประโยชน์เพื่อนำมาล้างมันขี้หนูซึ่งมีความสำคัญต่อร้านอาหารในภาคใต้เป็นส่วนใหญ่ เครื่องล้างมันขี้หนูต้นแบบสามารถช่วยประหยัดเวลา และสะดวกต่อการนำไปใช้ประกอบอาหาร เครื่องล้างมันขี้หนูต้นแบบใช้มอเตอร์กำลัง 1/2 แรงม้า (0.4 กิโลวัตต์) แรงดันไฟฟ้าขนาด 1 เฟส 220 โวลต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที เป็นตัวต้นกำลัง สามารถควบคุมแรงบิดได้ง่ายและใช้สายพานกับมู่เลย์เป็นตัวส่งกำลังไปยังถังล้างมันขี้หนู ควบคุมการทำงานโดยใช้สวิตช์เบรกเกอร์เป็นตัวควบคุม เพื่อทดสอบการหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องล้างมันขี้หนูต้นแบบ โดยใช้ระยะเวลาในการล้างที่ต่างกัน (1, 2, 3, และ 4 นาที) เพื่อทำความสะอาดหัวมันขี้หนู และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการล้างมันขี้หนูด้วยมือเปล่า ผลการทดลองพบว่าการล้างมันขี้หนูด้วยมือเปล่าจะทำการล้างซ้ำประมาณ 3 - 4 รอบ ใช้เวลาเท่ากับ 20 นาที ต่อหัวมันขี้หนู 1 กิโลกรัม จากผลการสำรวจและ ทำแบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องล้างมันขี้หนูต้นแบบจากประชากรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 10 ราย พบว่าความสะอาดจากการเริ่มล้างมันขี้หนูปริมาณเท่ากับ 1 กิโลกรัม ที่ช่วงเวลา 1 นาทียังพบสิ่งสกปรกจากดินปะปนอยู่ ประชากรกลุ่มตัวอย่างให้ระดับความสะอาดอยู่ที่ 55 เปอร์เซ็นต์ การทำล้างเป็นเวลา 2 นาทีพบว่ามันขี้หนูมีความสะอาดอย่างเห็นได้ชัด ประชากรกลุ่มตัวอย่างให้ระดับความสะอาดอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ การทำล้างเป็นเวลา 3 นาทีพบว่ามันขี้หนูมีความเสียหายบางส่วน ประชากรกลุ่มตัวอย่างให้ระดับความสะอาดอยู่ที่ 85 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่สามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากเกิดความเสียหายต่อผิวมันขี้หนู ทำการล้างที่ 4 นาที พบว่าผิวหัวมันขี้หนูเสียหายมากกว่าที่ 3 นาที แต่สามารถนำไปประกอบอาหาร เช่นนำไปทำเป็นแกง จากการศึกษาประสิทธิภาพเครื่องล้างมันขี้หนูต้นแบบ และความเห็นจากประชากรกลุ่มตัวอย่าง สรุปได้ว่าเครื่องล้างมันขี้หนูต้นแบบทำงานได้ดีที่สุดในช่วงเวลา 2 นาที

คำสำคัญ : มันขี้หนู, ความเร็วรอบของมอเตอร์, มู่เลย์

Abstract

To create Hausa potato (*Coleus parvifolius*) washing machine by using a power motor 1/2 HP (0.4 kw) with 1 phase 220 Volts of electric pressure and 1,450 rpm of speed as power source. The torque can be easily controlled and use the belt and the pulley to transmit the power to the tank of Hausa potato. It was operated by switch breaker as control to test for the efficiency of Hausa potato

washing machine. Experimental designs were to vary duration time for washing Hausa potato (1, 2, 3, and 4 minutes) and to compare manual and operating machine. Results showed that manual washing Hausa potato was taken time for 20 minutes per a kilogram. The satisfaction questionnaire of machines found that Hausa potato was still dirty for 1 minute of washing, with 55% of satisfaction. Washing Hausa potato for 2 minutes could clean it well, which was 80% satisfaction. Washing Hausa potato for 3 minutes could clean it but damage some surface of Hausa potato with 85% of satisfaction. Washing Hausa potato for 4 minutes could clean and it was suitable for cooking. But, it was more damage than of that 3 minutes.

Keywords : Hausa potato, Motor speed, Pulley

1. บทนำ

ปัจจุบันการทำอุตสาหกรรมเกษตรในประเทศไทยมีการพัฒนาเป็นอย่างมาก จึงได้กลายมาเป็นอุตสาหกรรมที่จำเป็นในการพัฒนาเศรษฐกิจเป็นอย่างมากไม่ว่าทั้งในประเทศหรือต่างประเทศ อุตสาหกรรมเกษตรจึงมีส่วนในการผลักดันระบบเศรษฐกิจ ทั้งทางด้านการส่งออกหรือการบริโภคภายในประเทศ และเนื่องด้วยประเทศไทย มีที่ตั้งอยู่บริเวณในคาบสมุทรอินโดจีนซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย จึงทำให้สภาพอากาศเหมาะแก่การทำการเกษตรเป็นอย่างมาก โดยการปลูกพืชที่นิยมในประเทศไทยนั้นได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ยางพารา และปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

โดยพืชที่มีความสำคัญต่อประเทศที่มีการนำมาแปรรูปและบริโภคสูง อย่างมันสำปะหลังนั้นมีความต้องการที่สูง โดยมันสำปะหลังนั้นมีอยู่หลายชนิดหลายสายพันธุ์ ตัวอย่างเช่น มันสำปะหลังเป็นพืชท้องถิ่นมีหัวที่นิยมปลูกและรับประทานมากในภาคใต้ เนื่องจาก หัวมันสำปะหลังนิยมนำมาประกอบอาหาร อาทิ แกงส้มปลาใส่หัวมันสำปะหลัง แกงจืด หัวมันสำปะหลัง แกงเหือง และแกงไตปลา เป็นต้น [7] รวมถึงนำไปอ่อน และยอดอ่อนมาลวกรับประทานหรือทำอาหาร นอกจากนั้นหัวมันสำปะหลังยังใช้ทำแป้งสำหรับทำขนมหวานชนิดต่าง ๆ ได้ด้วย จึงทำให้มีความต้องการมันสำปะหลังสูงมาก แต่เนื่องด้วยมันสำปะหลังมีขนาดเล็กกว่ามันชนิดอื่นมากและผิวของมันสำปะหลังไม่เรียบ จึงทำให้การล้างทำความสะอาดนั้นเป็นไปอย่างยากลำบากมาก

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงคิดสร้างเครื่องล้างมันสำปะหลัง เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการที่จะประหยัดเวลาในการล้างมันสำปะหลัง ให้มีความรวดเร็วและประหยัดเวลามากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องล้างมันสำปะหลังต้นแบบ
2. เพื่อเพิ่มปริมาณมันสำปะหลังในการล้างทำความสะอาดที่เหมาะสม
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและเวลาที่เหมาะสมในการล้างมันสำปะหลัง

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องล้างมันสำปะหลัง ด้วยระบบการหมุนของมอเตอร์ จากการศึกษา ลักษณะทางกายภาพ (Morphology) โครงสร้าง (Structure) และคุณสมบัติต่างๆ นอกจากนี้ยังศึกษาข้อมูลสำคัญต่อการศึกษา แสดงรายละเอียดในบทนี้

โครงสร้างโดยรวมของระบบนั้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จัดเข้ากันเป็นเครื่องล้างมันสำปะหลัง ซึ่งประกอบไปด้วย โครงเหล็ก ถังเหล็ก มอเตอร์ สายพาน เซอร์กิตเบรกเกอร์ และอื่น ๆ รวมทั้งชุดอุปกรณ์แสดงการทำงานที่จัดทำขึ้นมาเพื่อใช้งานควบคู่ไปกับตัวอุปกรณ์ด้วย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างอุปกรณ์เพื่อลดระยะเวลาในการล้างมันช์หนูและลดพลังงานคนที่ใช้ในการล้างมันช์หนู โดยเครื่องล้างมันช์หนู สามารถล้างมันช์หนูได้ด้วยระบบการหมุนของมอเตอร์ โดยไม่ต้องควบคุมตลอดเวลา เครื่องล้างมันช์หนูจะทำความสะอาดมันช์หนูตามความต้องการของผู้ใช้งาน หลักการทำงานเริ่มต้นจากอุปกรณ์ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของตัวเครื่องล้างมันช์หนู โดยหากผู้ใช้งานต้องการใช้งานก็เปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์หลังจากนั้นมอเตอร์ก็จะทำงานโดยการหมุน แรงหมุนจะถูกส่งไปยังถังเหล็กผ่านทางสายพานของตัวเครื่อง และทำให้แกนหมุนภายในถังหมุน จึงทำให้มันช์หนูถูกปั่นภายในถังโดยจะถูกตะแกรงเหล็กและฝอยเหล็กเป็นตัวขัดมันช์หนูให้สะอาดตามความต้องการของผู้ใช้อุปกรณ์

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องล้างทำความสะอาดอ้อยสำหรับทำอ้อยคั้นน้ำ เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับกระบวนการล้างท่อนอ้อยที่ผ่านการปอกเปลือกหรือการขัดผิวมาแล้ว เพื่อเพิ่มความสะดวกในกระบวนการล้างให้มีประสิทธิภาพและความสะดวกให้อยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ โดยออกแบบแปรงล้างที่ทำงานพร้อมกับน้ำที่ฉีดผ่านด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง วางแนวการทำงานของแปรงล้างตามแนวขวางของท่อนอ้อย และพัฒนาชุดลำเลียงเพื่อให้ท่อนอ้อยเข้าสู่ชุดแปรงล้างอย่างต่อเนื่อง การทดลองกำหนดความเร็วรอบชุดป้อนไม้ค้ำที่ คือ 16 rpm ความเร็วรอบของชุดแปรงล้าง 3 ระดับ คือ 720, 864 และ 960 rpm ตามลำดับ อัตราการไหลของน้ำ 3 ระดับ คือ 5, 7.5 และ 10 lpm จากผลการทดลอง พบว่า ความเร็วรอบของชุดแปรงล้าง 864 rpm ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 lpm เป็นชุดการทำงานที่ดีที่สุด เพราะอ้อยมีความสะอาดมากที่สุด แม้จะใช้น้ำน้อยลงก็ยังสามารถทำความสะอาดท่อนอ้อยได้ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง นอกจากนี้ยังมีอัตราการการทำงานที่สูงกว่าการล้างด้วยแรงงานคนถึง 3 เท่า [4]

วิจัยออกแบบเครื่องทำความสะอาดขิง เครื่องทำความสะอาดขิง ที่ออกแบบและพัฒนา ขึ้น มีขนาดกว้าง

138 ซม. ยาว 320 ซม. สูง 162 ซม. เป็นแบบสายพานลำเลียงยิ่งผ่านหัวฉีดน้ำซึ่งส่ายไปมา ได้ สายพานลำเลียงใช้ลวดสแตนเลสถักตาสี่เหลี่ยมขนาด 1.9 ซม. หน้ากว้าง 80 ซม. สายพานลำเลียงนี้ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/2 แรงม้า ปรับความเร็วสายพานได้ในช่วง 1.5-6.0 ม./นาที่ หัวฉีดน้ำมี ทั้งหมด 8 ชุด วางขนานกับสายพานลำเลียงโดยทำมุม 65° กับทิศทางการเคลื่อนที่ของสายพานอยู่เหนือสายพาน ลำเลียงและอยู่ใต้สายพานลำเลียงอย่างละ 4 ชุด ชุดหัว นี้ แต่ละชุดจะโยกไปมาได้เพื่อทำให้ฉีดล้างได้ทุกซอก ทุกมุม โดยจะส่ายทำมุมได้ 70° ขับเคลื่อนผ่านระบบโซ่ เกียร์ทด และชุดลูกเบี้ยวใช้มอเตอร์ ขนาด 1/4 แรงม้า เครื่องล้างจึงใช้ล้างขิงอ่อนขิงกระเทียม และยังแก้ ได้ใน อัตรา 1 ต้น/ชม โดยต่อเข้ากับปั้มน้ำแรงดันสูงใช้ปริมาณ น้ำ 150-450 ลิตร/นาที่ที่แรงดัน 7-21 กก./ชม. (100300 ปอนด์/นิ้ว) ขิงที่ล้างแล้วนำไปใส่ตะกร้าพลาสติกไปสัลด น้ำโดยเครื่องสัลดน้ำที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น เป็นแบบ ใช้แรงเหวี่ยงหมุนด้วยความเร็วรอบ 115 รอบ/นาที่ ใช้ มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า สัลดน้ำออกจากขิงได้ครั้งละ 4 ตะกร้า จำนวน 30 กก. ใช้เวลา 1 นาที ในกรณีนี้ขิงจะ บรรจุกล่องเพื่อส่งออกต่างประเทศ จะต้องแห้งสนิท โดยนำไปเป่าแห้งโดยใช้ชุดเป่าแห้งที่ได้พัฒนาขึ้น ใช้ แบบสายพานลวดถักขับผ่านอุโมงค์กลม ตัวเครื่องมีขนาด กว้าง 110 ซม. ยาว 70 ซม. สูง 160 ซม. ภายในอุโมงค์ สมจะมีลมร้อนและลมเย็นเป่าสวนทิศทางการเคลื่อนที่ ของซึ่งลมร้อนใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง มีพัดลม 3 ชุด แต่ละชุดใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า ชุดเป่าแห้ง มีอัตราการการทำงานประมาณ 900-1300 กก./ชม. [5]

การประยุกต์ใช้พีแอลซีในการควบคุมเครื่องบดถั่วเหลืองให้ทำงานโดยอัตโนมัติ โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องบดถั่วเหลืองจากเดิมที่ทำงานเป็นแบบแมนนวลให้ทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งเดิมทีเครื่องบดถั่วเหลืองแบบแมนนวลนั้นต้องใช้คนเฝ้าอยู่ตลอดเวลาที่เครื่องทำงาน การพัฒนาเครื่องบดถั่วเหลืองให้ทำงานแบบอัตโนมัตินี้ จะควบคุมการชั่งน้ำหนัก

ถั่วเหลือง ปริมาณน้ำและเวลาในการแช่ถั่วเหลือง ปริมาณ การฉีดน้ำผสมในขณะที่ปิดถั่วเหลือง การหมุนของมอเตอร์ หินบดให้ทำงานและหยุดด้วยตัวเองเมื่อถึงเวลาที่กำหนด ตลอดจนการฉีดน้ำล้างทำความสะอาดหน้าหินบด เครื่องบดถั่วเหลืองที่พัฒนาขึ้นมานี้จะควบคุมอัตราส่วน ระหว่างเม็ดถั่วเหลืองตั้งต้นกับน้ำที่ใช้ผสมในกระบวนการบด อยู่ที่ 1.0 กิโลกรัมต่อ 5.0 กิโลกรัม เนื่องจากเป็นอัตราส่วน ที่ดีที่สุดในการผลิตถั่วเหลืองบด โดยได้มีการชั่งน้ำหนัก เม็ดถั่วเหลืองตั้งต้นก่อนบด และถั่วเหลืองที่ผ่านการบด แล้วเพื่อทำการคำนวณหาอัตราส่วนดังกล่าวเป็นการพิสูจน์ ยืนยันความเชื่อถือได้ของระบบควบคุมอัตโนมัติ เครื่องบด ถั่วเหลืองนั้นใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 0.5 แรงม้า เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง โดยใช้ล้อยาสายพานอัตราทด 1:1 ส่งกำลังงานโดยใช้สายพานลิ้มเพื่อใช้ขับเคลื่อนหินบดขนาด ของหินบดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร โดยใช้ปั้มน้ำและถังเก็บน้ำเป็นตัวจ่ายน้ำให้กับระบบ ซึ่งควบคุมด้วย สวิตซ์ความดันและมีโซลินอยด์วาล์ว 3 ตัว คอยควบคุมการจ่ายน้ำ การควบคุมจะเป็นการควบคุม ระบบการทำงานด้วยพีแอลซีทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผล และสั่งการไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มปล่อยถั่วเหลือง จนกระทั่งได้ถั่วเหลืองบดในที่สุด [3]

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องล้างไข่เค็ม พอกดินแบบแปรปรังทรงกระบอก เครื่องล้างไข่เค็มถูก พัฒนาขึ้น มีโครงสร้างขนาดความกว้าง 50 cm ความยาว 80 cm และความสูง 113 cm การออกแบบกลไกสำหรับ กระบวนการล้างไข่เค็มประกอบด้วยชุดเกลียวลำเลียงหุ้ม ด้วยแผ่นล้างจานเพื่อลำเลียงไข่เค็มเข้าสู่กระบวนการล้าง และชุดแปรปรังทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 cm และยาว 70 cm จำนวน 2 ชุด ทำหน้าที่เป็นตัวขัดและ ทำความสะอาดดินที่พอกไข่เค็ม ซึ่งด้านบนจะมีการสเปรย์ น้ำตลอดทั้งกระบวนการเพื่อช่วยให้ล้างได้ง่ายขึ้น โดยทำ การทดสอบปัจจัยในการล้างอยู่ 3 ปัจจัย คือ ความเร็ว รอบของแปรปรังทรงกระบอก ปริมาณน้ำที่ใช้ และทิศทาง การหมุนของแปรปรัง จากการทดสอบพบว่า ความเร็ว ของแปรปรังที่สูงขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการล้าง

ดินสอพองและประสิทธิภาพการล้างไข่เค็มมีค่าสูงขึ้น ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างไข่เค็มมากขึ้นมีผลต่อปริมาณดินสอพองที่ล้างได้ และทำให้จำนวนไข่เค็มที่ล้างไม่สะอาดมี แนวโน้มน้อยลง แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ทิศทางการหมุนของแปรปรังที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ ไข่เค็มที่ไม่สะอาดหลังล้าง ปัจจัยที่ดีที่สุดในการล้างไข่เค็ม ด้วยเครื่องต้นแบบ คือ ความเร็วรอบของแปรปรังที่ 10 rpm ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 300 cm³ s⁻¹ และทิศทางการหมุนของ แปรปรังตัวที่สองหมุนในทิศทางเดียวกันกับแปรปรังตัวที่หนึ่ง ซึ่งมีประสิทธิภาพการล้างดินสอพองเท่ากับ 100% และ ประสิทธิภาพการล้างไข่เค็มเท่ากับ 96.67% [6]

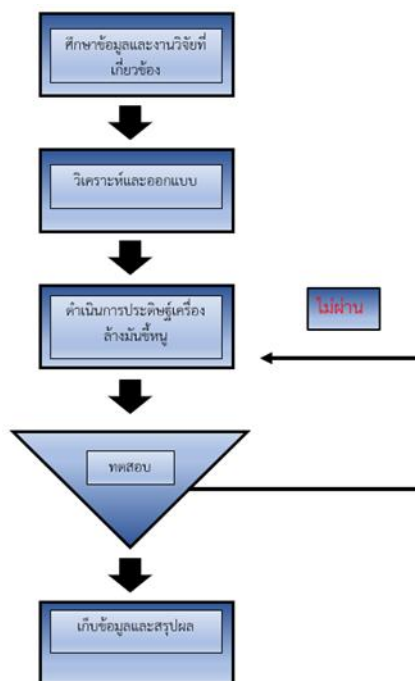
การออกแบบโดยใช้พลศาสตร์เครื่องจักรกลและ กลศาสตร์ของไหลเพื่อลดต้นทุนค่าไฟฟ้าทางเศรษฐศาสตร์ ของมอเตอร์ กรณีศึกษา: เครื่องล้างเมล็ดพริกไทยแบบ ถาดสั่นสะเทือน งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ออกแบบ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลและกลศาสตร์ของไหล เพื่อสร้าง เครื่องล้างเมล็ดพริกไทยแบบถาดสั่นสะเทือนสำหรับล้าง เปลือกของเมล็ดพริกไทยเพื่อผลิตพริกไทยขาว โดยการ ออกแบบได้หาขนาดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่เล็กสุด ที่สามารถงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ลูกเบี้ยวแต่ละถาดสั่น และขนาดของท่อฉีดน้ำ ซึ่งทุกชิ้นส่วนมีความสำคัญต่อ ปัจจัยตัวแปรของการออกแบบและที่สำคัญมากที่สุดคือ ขนาดของมอเตอร์ และ ขนาดของปั้มน้ำ เนื่องจากมีผลต่อ ต้นทุนค่าไฟฟ้าในระยะยาวตลอดอายุการใช้งานของ เครื่องจักรกล ถ้าผู้ออกแบบใช้การลองผิดลองถูก โดยไม่ได้ คำนึงถึงหลักของการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและ กลศาสตร์ของไหล กล่าวคือถ้ามอเตอร์ขนาดเล็กเกินไป ถาดสั่นของเครื่องจักรจะไม่สามารถขับเคลื่อนได้ หรือ ถ้าขับเคลื่อนได้ในกรณีที่มีขนาดใหญ่เกินไปจริงจะทำให้ สิ้นเปลืองมาก การออกแบบได้แยกออกเป็นสองส่วนโดยมี การหาอัตราการใช้ของไหลต่ำสุดของน้ำที่ฉีดให้เมล็ดพริกไทย สะอาด โดยกำหนดอัตราการผลิตที่สามารถล้างเมล็ด พริกไทยได้ไม่น้อยกว่า 200 kg/hr จึงได้นำมาออกแบบลูกเบี้ยว ชุดพูลเลย์ สายพาน เกียร์ทด และขนาดต้นกำลังขับเคลื่อน มอเตอร์ เป็นอันดับสุดท้าย ผลการทดลองได้มีการเปรียบเทียบ

เชิงต้นทุนค่าไฟฟ้าของการออกแบบที่ใช้หลักของ
พลศาสตร์ และการออกแบบชิ้นส่วน [1]

การมีส่วนร่วมในการพัฒนาเครื่องล้างหัวมันเทศของ
ชุมชนทับน้ำ อำเภอบางปะหัน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
การมีส่วนร่วมของเกษตรกรชุมชนทับน้ำ อำเภอบางปะหัน
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อพัฒนาเครื่องล้างหัวมันเทศ
โดยใช้แรงดันน้ำ เป็นการแก้ไขปัญหาในกระบวนการล้าง
หัวมันเทศ ซึ่งเริ่มจากนำหัวมันเทศที่ได้จากแปลง
เพาะปลูกแช่น้ำ ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอ่อนตัว
จากนั้นนำหัวมันเทศที่แช่น้ำแล้วบรรจุลงถุงตาข่ายถุงละ
ประมาณ 30 กิโลกรัมแล้วยกขึ้น ฉีดน้ำเพื่อทำความสะอาด
และตรวจสอบความสะอาดของหัวมันเทศ ซึ่งผลจากการ
สร้างเครื่องล้างหัวมันเทศโดยใช้แรงดัน น้ำพบว่าปริมาณ
การทำงานต่อวัน (8 ชั่วโมงทำงาน) สามารถทำงานได้
24,338 กิโลกรัมต่อวัน เทียบกับการทำงานปัจจุบันของ
เกษตรกรสามารถทำได้ 1,920 กิโลกรัมต่อวันส่งผลให้
ต้นทุนในกระบวนการผลิตของเกษตรกรลดลงจาก 0.30
เป็น 0.03 บาทต่อกิโลกรัม และสามารถลดกระบวนการ
ในการทำงานลงได้ 1 ขั้นตอน โดยเครื่องจักรมีต้นทุนใน
การสร้าง 35,000 บาท เมื่อนำต้นทุนที่เกษตรกรสามารถ
ลดได้หากใช้เครื่องจักรมาคำนวณ จะพบว่าเกษตรกร
สามารถคืนทุนการสร้างเครื่องจักร ภายใน 15 วันหลังจาก
ที่เริ่มใช้งาน ซึ่งจากการทำงานพบว่ากระบวนการสำคัญ
ที่ทำให้การสร้างเครื่องล้างหัวมันเทศตรงกับ ความต้องการ
ตามบริบทของพื้นที่และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต้อง
อาศัยการมีส่วนร่วมของชุมชนตั้งแต่กระบวนการแรก
จนถึงกระบวนการสุดท้าย กล่าวคือตั้งแต่ร่วมกัน วิเคราะห์
ปัญหา สาเหตุ แนวทางการแก้ปัญหา ร่วมกัน และ
จำเป็นต้องมีกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีร่วมด้วย
เพื่อทำให้เกิดการเรียนรู้และความเข้าใจในการพัฒนา
เครื่องล้างหัวมันเทศ ซึ่งจะ ทำให้กระบวนการมีส่วนร่วม
นั้นเกิดประสิทธิภาพ [2]

4. วิธีดำเนินการวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีด้วยกัน 5 ขั้นตอน
ดังแสดงในภาพที่ 1



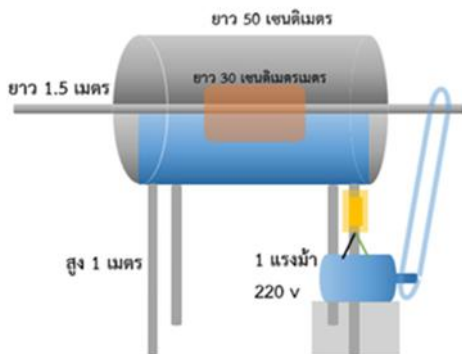
ภาพที่ 1 แผนการดำเนินการวิจัย

การออกแบบเครื่องล้างหัวมันชี่หนู

การออกแบบเครื่องล้างหัวมันชี่หนูในงานวิจัยนี้
มีส่วนประกอบดังนี้

- 1) มอเตอร์ กำลัง 1/2 แรงม้า (0.4 กิโลวัตต์) 1 เฟส 220 โวลต์ ความเร็วรอบ 1,450 RPM
- 2) ใช้ถังเหล็กขนาด 50 ลิตร
- 3) ใช้ตั้บลูกปืนตุ้กตาแกน 1 นิ้ว 2 อัน
- 4) พูเลย์ร่อนวี 2 อัน
- 5) ใช้เหล็กกล่อง 1 นิ้ว ความยาว 5 เมตร
- 6) ใช้เหล็กแกนขนาด 1 นิ้วความยาว 1.5 เมตร
- 7) ใช้ตะแกรงเหล็กมาเชื่อมเป็นกล่องขนาดความยาว 50 cm
- 8) Safety Breaker 220 โวลต์
- 9) สายพานร่อนวีขนาดความยาว
- 10) ใช้ฝอยเหล็กและสก็อตไบร์ทอย่างละ 2 ชิ้น

ประกอบขึ้นโครงสร้างตามแบบที่วางไว้ ดังแสดงใน
ภาพที่ 2



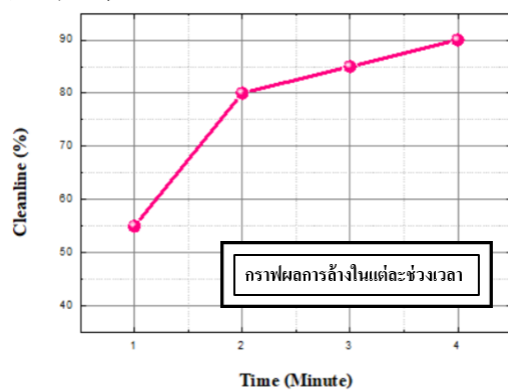
ภาพที่ 2 ภาพรวมและโครงสร้างระบบ

กำหนดประชากรกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรกลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็น
เกษตรกร ที่มีอาชีพเพาะปลูกมันขี้หนูจำนวน 10 ราย
จากชุมชนเขาดอก อำเภอกี๋นซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

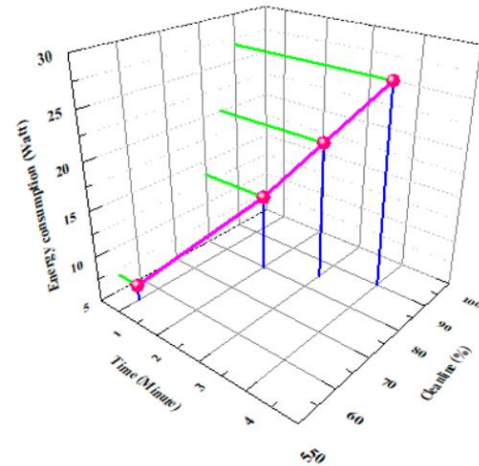
ขั้นตอนการทดลอง

ทำการทดลองล้างมันขี้หนู 1 กิโลกรัม ด้วยเครื่องล้าง
มันขี้หนูต้นแบบ แล้วตรวจเช็คดูความสะอาดทุก ๆ 1 นาที
เป็นเวลา 4 นาที การให้เปอร์เซ็นต์ความสะอาดขึ้นอยู่กั
ประชากรกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงผลการล้างมันขี้หนูในแต่ละช่วงเวลา

จากนั้นนำค่าเวลามาคำนวณหาค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า
ของเครื่องล้างมันขี้หนู แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้ ดังแสดง
ในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา
ความสะอาด และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ผลการวิจัย

จากการทดลองหาค่าประสิทธิภาพเครื่องล้างมันขี้หนู
โดยการสอบถามความพึงพอใจของประชากรกลุ่มตัวอย่าง
พบว่า

ที่เวลา 1 นาทีแรก มันขี้หนูยังมีเศษดินปะปนอยู่
ประชากรกลุ่มตัวอย่างให้ค่าความสะอาดอยู่ที่ 55 เปอร์เซ็นต์
ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 มันขี้หนูที่ล้างในเวลา 1 นาที

ที่เวลา 2 นาที มันขี้หนูมีความสะอาดอย่างเห็น
ได้ชัด ประชากรกลุ่มตัวอย่างให้ค่าความสะอาดอยู่ที่
80 เปอร์เซ็น ดังแสดงในภาพที่ 6



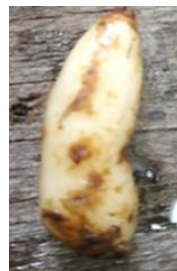
ภาพที่ 6 มันขี้หนูที่ล้างในเวลา 2 นาที

ที่เวลา 3 นาที พบว่าผิวของมันขี้หนูมีความเสียหาย
บางส่วน ประชากรกลุ่มตัวอย่างให้ค่าความสะอาดอยู่ที่
85 เปอร์เซ็น แต่ไม่สามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากเกิดความ
เสียหายต่อผิวมันขี้หนู ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 มันขี้หนูที่ล้างในเวลา 3 นาที

ที่เวลา 4 นาที พบว่าผิวของมันขี้หนูมีความเสียหาย
อย่างเห็นได้ชัด ประชากรกลุ่มตัวอย่างให้ค่าความสะอาด
อยู่ที่ 90 เปอร์เซ็น เกิดความเสียหายต่อผิวมันขี้หนู แต่เหมาะ
แก่การนำไปประกอบอาหาร เช่น นำไปทำเป็นแกง ดังแสดง
ในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 มันขี้หนูที่ล้างในเวลา 4 นาที

อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องล้างมัน
ขี้หนู ในเวลาที่ 1 นาที ความสะอาดของมันขี้หนูอยู่ที่ 55
เปอร์เซ็น ใช้ค่าพลังงานไปทั้งหมด 6.7 วัตต์ ในเวลาที่ 2 นาที
ความสะอาดของมันขี้หนูอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็น ใช้ค่าพลังงาน
ไฟฟ้าทั้งหมด 13.4 วัตต์ ในเวลาที่ 3 นาที ความสะอาด
ของมันขี้หนูอยู่ที่ 85 เปอร์เซ็น ลักษณะผิวของมันขี้หนู
เกิดความเสียหาย ใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 20.1 วัตต์ และ
ในเวลาที่ 4 นาที ความสะอาดอยู่ที่ 90 เปอร์เซ็น ลักษณะ
ผิวของมันขี้หนูเกิดความเสียหายไม่เหมาะแก่การนำไปต้ม
เพื่อบริโภค แต่เหมาะแก่การนำไปประกอบเป็นอาหาร
ใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 26.8 วัตต์ สรุปได้ว่า ช่วงเวลา
ของเครื่องล้างมันขี้หนูที่ดีที่สุดคือ ช่วงเวลา 2 นาที

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1. ออกแบบโครงสร้างให้มีขนาดใหญ่และแข็งแรงขึ้น
2. เพิ่มปริมาณในการล้างมันขี้หนูในแต่ละครั้ง
3. เพิ่มฟังก์ชันต่างๆ เช่น สามารถตั้งเวลา เปิด/ปิดได้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ได้เนื่องจาก
ได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ดร. พิระพงษ์ หนูช่วย
อาจารย์วิมล พรหมเข้ม และอาจารย์ชินโรส ละอองวรรณ
คณะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ
ปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ด้วยความเอาใจใส่
อย่างยิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเท

ของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ
ที่นี้

ขอบคุณ เพื่อน และรุ่นพี่นักศึกษาที่มหาวิทยาลัย
ราชภัฏสุราษฎร์ธานีที่ให้คำปรึกษาแลกเปลี่ยนแนวคิดและ
ให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้า นายพีระพล บุญเนื่อง นายไชยหิต
ยุมาติน และนายวัชรินทร์ วิเชียรวงศ์ ขอกราบขอบพระคุณ
บิดามารดา ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยห่วงใย
แม่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด หากประโยชน์อันใดที่เกิดจาก
งานวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลจากความกรุณาของท่านที่กล่าวมา
มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิรเมธา สังข์เกษม, ธนู ฉุยฉาย, สุนันท์ ศรีณนิตย์
และทวีศักดิ์ มั่นชวนนท์. (2561). การออกแบบโดยใช้
พลศาสตร์เครื่องจักรกลและกลศาสตร์ของไหล
เพื่อลดต้นทุนค่าไฟฟ้าทางเศรษฐศาสตร์ของมอเตอร์
กรณีศึกษา: เครื่องล้างเมล็ดพริกไทยแบบลาด
สันสะเทือน. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 8(1), 57-
70.
- [2] ฉัตรพล พิมพา. (2560). การมีส่วนร่วมในการพัฒนา
เครื่องล้างหัวมันเทศของชุมชนตำบลน้ำ อำเภอบางปะ
หัน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่*, 9(2), 81-89.
- [3] น้ามนต์ โชติวิศรุต, ประพันธ์ วัฒนศิริโชติ และ
ทนต์เกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2559). การประยุกต์ใช้
พีแอลซีในการควบคุมเครื่องบดถั่วเหลืองให้ทำงาน
โดยอัตโนมัติ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, 1(1), 59-64.
- [4] พิมพ์พรรณ ปรี่องาม, นงลักษณ์ เล็กรุ่งเรืองกิจ และ
ภวิทย์ ธัญภัทรานนท์. (2560). เครื่องล้างทำความสะอาด
อ้อยสำหรับทำอ้อยคั้นน้ำ. *วารสารสมาคม
วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 23(2), 52-58.

- [5] วิบูลย์ เทเพนทร์, ไมตรี แนวพนิช, สุภัทร หนูสวัสดิ์,
อุทิศ แสงวงษา และเวียง อากรสี. (2542). วิจัย
ออกแบบเครื่องทำความสะอาดขิง. *วารสารวิชาการ
เกษตร*, 17(3), 284-293.
- [6] อาทิตย์ พวงสมบัติ และแก้วกานต์ พวงสมบัติ.
(2562). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องล้างไข่
เค็มพอกดินแบบแปรปรังขัดทรงกระบอก. *วารสาร
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 25(1), 38-
45.
- [7] Puechkaset. (2559). มั่นชี้หนูประโยชน์ และ
สรรพคุณมันชี้หนู. สืบค้น 20 เมษายน 2564, จาก
<https://puechkaset.com/มันชี้หนู>.

การออกแบบอาคารจอดรถอัตโนมัติกรณีศึกษา : ตลาด 4 มุมเมือง
Automatic Parking Building Design Case Study Research:
SI MUM MURANG Market

ปานพุงค์ จันเพชร¹, ชัชวาล ชินวิทย์², กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์²

Panupong Janpetch¹, Chatchawan Chinwigai², Kanokporn Sripathomswat²

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

panu_engineer@hotmail.com

บทคัดย่อ

ตลาด 4 มุมเมืองถือเป็นตลาดขนาดใหญ่มีจำนวนรถหมุนเวียน 6,000 คันต่อวัน ซึ่งปัญหาด้านที่จอดรถไม่เพียงพอถือเป็นปัญหาหลักที่ตลาดต้องการแก้ไข โดยมีโครงการสร้างอาคารจอดรถอัตโนมัติ บนพื้นที่ 4,000 ตร.ม. เดิมเป็นพื้นที่โล่งสามารถจอดรถได้ 190 คัน ให้เพิ่มเป็น 300 คัน ภายใต้งบประมาณโครงการที่ 120 ล้านบาท และสามารถรื้อถอนเคลื่อนย้ายได้ งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกอาคารจอดรถอัตโนมัติให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์โครงการ เปรียบเทียบต้นทุน และนำมาออกแบบก่อนนำเสนอให้เจ้าของโครงการ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์สำรวจพื้นที่ตลาด ศึกษาข้อกฎหมาย รวมถึงศึกษาเทคโนโลยีอาคารจอดรถอัตโนมัติเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน จากนั้นนำมาออกแบบตามทฤษฎีกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งผลการศึกษาพบว่า อาคารจอดรถอัตโนมัติที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และเป็นไปตามข้อกำหนดกำหนด มีทั้งหมด 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ Rotary parking, ระบบ Puzzle parking และระบบ Stacking parking และหากเปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสีย ทางเทคนิคและเทียบงบประมาณแต่ละระบบพบว่า อาคารจอดรถอัตโนมัติแบบจักรกลโดยใช้ระบบ Puzzle parking เหมาะสมกับโครงการมากที่สุด เนื่องจากใช้ต้นทุนที่น้อยกว่า และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์โครงการ

คำสำคัญ : อาคารจอดรถอัตโนมัติ, ระบบเคลื่อนย้ายรถแบบจักรกล

Abstract

Si Mum Mueang Market is a large market. There are circulation of 6,000 cars in and out per day. The major problem is parking space. And the market owner wants to solve this problem with the Automatic parking project. From open area of 4,000 Sqm with capacities of 190 cars increase the ability to 300 cars with a budget of 120 million baht to build. The purpose of this research is to select the appropriate to the project objectives, costing comparison and design before presentation to the owner We have also interviewed and entered the survey area and studied legal regulations, including exploring the technology of the current commercial automated parking buildings, before design according to the theory of the engineering design process. We found that the automatic parking building is appropriate for the purpose and in accordance with the law there are 3 systems, 1 rotary parking system, 2 puzzle parking systems and 3 stack parking systems. The researcher has done an in-depth study by comparing technical advantage and disadvantage and budget. The puzzle parking system is suitable for this project.

Keywords : Automatic car parking building. Mechanical system to move the car

1. บทนำ

ตลาดสี่มุมเมือง ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2525 บนเนื้อที่กว่า 453 ไร่ มีจำนวนแผงทั้งสิ้น 1,911 แผง และมีพื้นที่บริการด้านที่จอดรถเฉลี่ยที่ 4,000 คัน ปัจจุบันบริหารจัดการโดยทนายท่งที่ 2 ของตระกูลภัทรประสิทธิ์เป็นตลาดที่สามารถเข้าไปหาซื้อสินค้าทุกชนิดได้ตลอด 24 ชั่วโมง มีมูลค่าการค้าต่อวัน 300-400 ล้านบาท มูลค่าการค้าต่อปี 1.0 แสนล้านบาท ซึ่งมีจำนวนรถหมุนเวียนของผู้ค้าต่อวันมากกว่า 1,500 คัน โดยช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการภายในตลาดมากที่สุดคือเวลา 20.00-00.00 น. มีจำนวนรถหมุนเวียนอยู่ที่ 6,000 คัน แต่พื้นที่ให้บริการที่จอดรถสามารถให้บริการได้อยู่ที่ 4,000 คัน ผู้ซื้อจึงใช้วิธีการวนรถยนต์เพื่อรอให้มีพื้นที่ว่างในการเข้าจอด

ทั้งนี้ภายในอนาคตทางตลาดจะปรับปรุงพื้นที่ด้านหน้า (เขต 1) ซึ่งการปรับปรุงพื้นที่จะส่งผลกระทบด้านการจราจร โดยปัจจุบันพื้นที่เขต 1 มีรถยนต์เข้าจอดประเภท 4 ล้อ จำนวน 461 คัน และ 2 ล้อ จำนวน 100 คัน ดังนั้นระหว่างการปรับปรุงก่อสร้าง ย่อมส่งผลกระทบต่อที่ที่เคยเข้าจอดบริเวณนี้ไม่สามารถจอดรถในพื้นที่เขต 1 ได้ทางเจ้าของตลาดจึงมีความประสงค์ เพิ่มจำนวนที่จอดรถประเภท 4 ล้อ จาก 190 คัน เป็นจำนวน 300 คัน เพื่อป้องกันปัญหาการจราจร ล้นไปจอด ณ ลานจอดอื่น ๆ ผู้บริหารตลาดจึงมีแนวความคิดที่จะสร้างอาคารที่จอดรถอัตโนมัติบนพื้นที่ 4,000 ตร.ม. และกำหนดงบประมาณในการออกแบบก่อสร้าง เป็นจำนวน 120 ล้านบาท ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาเปรียบเทียบรวมถึงออกแบบอาคารจอดรถอัตโนมัติให้เหมาะสมกับพื้นที่และงบประมาณที่ได้รับ



ภาพที่ 1 แผนผังพื้นที่เขต 1 ที่จะทำการปรับปรุงรวมถึงอัตราการเข้าจอดรถยนต์ภายในพื้นที่

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและเขียนแบบจำลองที่จอดรถอัตโนมัติให้เป็นไปตามความต้องการของเจ้าของโครงการ
2. เพื่อศึกษาและประเมินต้นทุนในการก่อสร้างอาคารจอดรถอัตโนมัติพื้นที่ 4,000 ตร.ม. ให้เป็นไปตามงบประมาณจำนวน 120 ล้านบาท

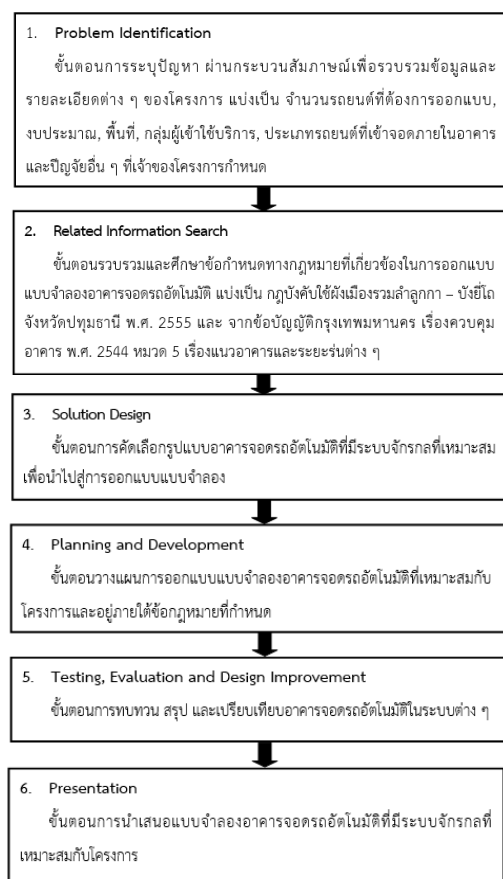
3. วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้บริหารตลาดสี่มุมเมือง รวมถึงผู้ซื้อและผู้ค้าภายในตลาด

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่สามารถให้ข้อมูลภายในโครงการ ซึ่งประกอบด้วย ผู้อำนวยการสายงานบริการพื้นที่ บริษัทดอนเมืองพัฒนา จำกัด, ผู้อำนวยการสายงานรักษาความปลอดภัย บริษัทดอนเมืองพัฒนา จำกัด และผู้จัดการฝ่ายจัดพื้นที่อาวุโส บริษัทดอนเมืองพัฒนา จำกัด

กระบวนการออกแบบแบบจำลองอาคารจอดรถอัตโนมัติ ตามหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม (ENGINEERING DESIGN PROCESS)



เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ขั้นตอนการออกแบบและเขียนแบบจำลอง

ผู้วิจัยทำการออกแบบลานจอดรถอัตโนมัติโดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เจ้าของโครงการ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพื้นที่จริงและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องมาประกอบการออกแบบผังอาคารจอดรถอัตโนมัติ โดยมีเครื่องมือในการออกแบบ ดังนี้

- โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนแบบและสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Auto-cad
- Spec sheet และ ขนาดมาตรฐานของอาคารจอดรถแต่ละรุ่น

4. ผลการวิจัย

4.1 Problem Identification การระบุปัญหา

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้อง 3 ท่าน ได้แก่

- ผู้อำนวยการสายงานบริการพื้นที่ บริษัท ดอนเมืองพัฒนา จำกัด (สัมภาษณ์ 22 มีนาคม 2564)
 - ผู้อำนวยการสายงานรักษาความปลอดภัย บริษัทดอนเมืองพัฒนา จำกัด (สัมภาษณ์ 26 มีนาคม 2564)
 - ผู้จัดการฝ่ายจัดพื้นที่อาวุโส บริษัทดอนเมืองพัฒนา จำกัด (สัมภาษณ์ 26 มีนาคม 2564)
- สามารถสรุปข้อมูลด้านวัตถุประสงค์ได้ตัวแปรดังต่อไปนี้
1. ตัวแปรด้านจำนวนที่ต้องการในการนำรถเข้าจอด คือ 300 คัน
 2. ตัวแปรด้านงบประมาณในการออกแบบและก่อสร้าง คือ 120 ล้านบาท
 3. ตัวแปรด้านขนาดพื้นที่ในการออกแบบ คือ 4,000 ตร.ม
 4. ตัวแปรรูปแบบแบบตัวอาคาร คือ สามารถรื้อถอนเคลื่อนย้ายได้

4.2 Related Information Search การรวบรวม

และศึกษาข้อมูล โดยการออกแบบมีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง คือ

กฎบังคับใช้ผังเมืองรวมลำลูกกา-บึงยี่โถ จังหวัดปทุมธานี พ.ศ. 2555

จากการตรวจสอบพื้นที่ที่ เมื่อดูตามกฎบังคับใช้ผังเมืองรวมลำลูกกา-บึงยี่โถ จังหวัดปทุมธานี พ.ศ. 2555 พบว่าตลาดสี่มุมเมืองพื้นที่ทั้งหมด 453 ไร่ มีพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในตลาดทั้งหมด 4 สีประกอบด้วย

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ตารางที่ 1 แสดงเขตสีการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดปทุมธานี

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน		
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย (สีเหลือง)	ย 1	บริเวณที่อยู่อาศัยส่งเสริมสภาพแวดล้อมของการอยู่อาศัยในเมือง
	ย 2	บริเวณที่อยู่อาศัยส่งเสริมสภาพแวดล้อมของการอยู่อาศัยในเมืองที่อยู่ใกล้พื้นที่เส้นทางคมนาคม คือ ถนน (ทางด่วน ทางหลวง ทางหลวงชนบท) แม่น้ำ ทางรถไฟ
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง (สีส้ม)	ย 3	บริเวณที่อยู่อาศัยใกล้แหล่งงาน บริเวณพื้นที่ต่อเนื่องกับชุมชนชานเมือง ศูนย์พาณิชยกรรมชุมชน และเขตอุตสาหกรรม
	ย 4	บริเวณที่อยู่อาศัยรองรับการขยายตัวจากชานเมืองที่อยู่ในเขตการให้บริการของระบบขนส่งมวลชน
พาณิชยกรรม และที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก (สีแดง)	พ 1	บริเวณที่อยู่อาศัยรองรับการขยายตัวจากชานเมืองที่อยู่ในเขตการให้บริการของระบบขนส่งมวลชน
	อ 1	บริเวณที่เป็นเขตอุตสาหกรรมเพื่อการบริการ และการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม เป็นอุตสาหกรรมที่มีมลพิษน้อย
ชนบท และเกษตรกรรม (สีเขียว)	ก 1	บริเวณพื้นที่เกษตรกรรม การสงวนรักษา สภาพทางธรรมชาติ และการส่งเสริมเศรษฐกิจการเกษตร
	ก 2	บริเวณที่เป็นชุมชน และศูนย์กลางการให้บริการทางสังคม และส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชนในพื้นที่ชนบท และเกษตรกรรม
	ก 3	บริเวณที่เป็นพื้นที่รองรับการขยายตัวของที่อยู่อาศัยจากศูนย์กลางเมือง และชานเมือง

โดยที่ดินที่จะทำการสร้างอาคารจอดรถอัตโนมัติขนาดกว้าง 50 x 80 เมตร โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 4,000 ตร.ม. ในเขตที่ 1 นั้น เมื่อทำการสำรวจดูแล้วพบว่าเป็นที่ดินประเภท ย3 ซึ่งเป็นที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง (สีส้ม) โดยมีข้อกำหนด ดังต่อไปนี้

- ค่าFAR (Floor to Area Ratio) = 1.5
- ค่าOSR (Open Space Ratio) = 30%

จากข้อมูลดังกล่าวนำมาคำนวณหาพื้นที่เพื่อใช้ประกอบการออกแบบระบบที่จอดรถอัตโนมัติที่ตลาดสี่มุมเมืองได้ดังนี้

สูตรการคำนวณค่า FAR และ OSR

FAR คือ อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน
สูตรการคำนวณที่ดินขนาด 50x80 (4,000 ตร.ม.) FAR = 1.5

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่อาคารสูงสุดที่สร้างได้} &= \text{ค่า FAR} \times \text{ขนาดพื้นที่ดินเป็น ตร.ม.} \\ &= 1.5 \times 4,000 \\ &= 6,000 \text{ ตร.ม.}\end{aligned}$$

OSR คือ อัตราส่วนของพื้นที่ว่างต่อพื้นที่อาคารรวม
สูตรการคำนวณ ขนาดที่ดินตาม FAR = 6,000 ตร.ม. (สมการที่ 1)

อยู่ในพื้นที่ตามข้อกำหนด OSR = 30%

พื้นที่เปิดโล่งบนที่ดิน = ค่า OSR x ขนาด

พื้นที่ดินเป็นตารางเมตร = 30 % x 6,000

ต้องมีพื้นที่เปิดโล่งไม่มีสิ่งปกคลุมไม่น้อยกว่า = 1,800 ตร.ม.

กฎกระทรวงฉบับที่ 41 (พ.ศ. 2537)

จากข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 หมวด 5 เรื่องแนวอาคารและระยะร่นต่าง ๆ

ข้อ 6 “อาคารจอดรถซึ่งติดตั้งระบบเคลื่อนย้ายรถด้วยเครื่องจักรกลที่ได้รับการคำนวณออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์ในการจอดโดยเฉพาะจะต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้”

1. ต้องมีระยะของทางเดินจากปากทางเข้าถึงอาคารไม่น้อยกว่า 20 เมตร

2. พื้นหรือผนังของอาคาร ต้องอยู่ห่างจากเขตที่ดินของผู้อื่นและถนนสาธารณะ ดังนี้

(ก) ในกรณีที่มีความสูงของอาคารจากพื้นดินตั้งแต่ 23.00 เมตร ขึ้นไปต้องอยู่ห่างไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร

(ข) ในกรณีที่มีความสูงของอาคารจากพื้นดินน้อยกว่า 23.00 เมตร ต้องอยู่ห่างไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร

4.3 Solution Design การเลือกรูปแบบอาคารจอดรถอัตโนมัติให้เหมาะสมเพื่อนำไปสู่การออกแบบผู้วิจัยได้ศึกษาอาคารจอดรถอัตโนมัติเชิงพาณิชย์จาก 4 บริษัท ได้แก่

1. บริษัทที่จอดรถอัตโนมัติทั่วไป จำกัด (G-PARK)
2. บริษัทปาร์คพลัส จำกัด (P-PLUS)
3. บริษัทเอ็มพี เม็ก จำกัด (MP-MEC)
4. บริษัทลอจิสติกส์ โซลูชั่น โปรไวเดอร์ จำกัด (LSP)

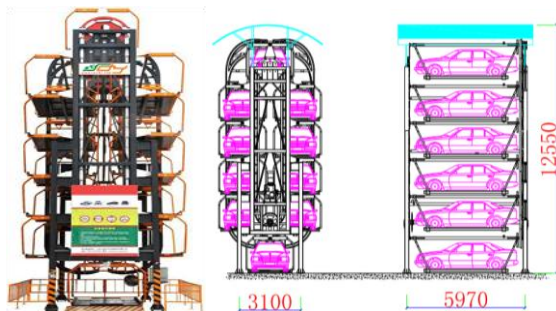
และนำมาเปรียบเทียบตามตัวแปรของโครงการสามารถเลือกระบบอาคารจอดรถอัตโนมัติได้ 3 ระบบในการออกแบบ คือ

1. อาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Rotary parking

2. อาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Puzzle parking

3. อาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Stacking parking

4.4 Planning and Development การวางแผน ออกแบบแบบจำลองอาคารจอดรถอัตโนมัติที่เหมาะสม กับโครงการและอยู่ภายใต้ข้อกำหนดที่กำหนด ทั้ง 3 ระบบอาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Rotary parking



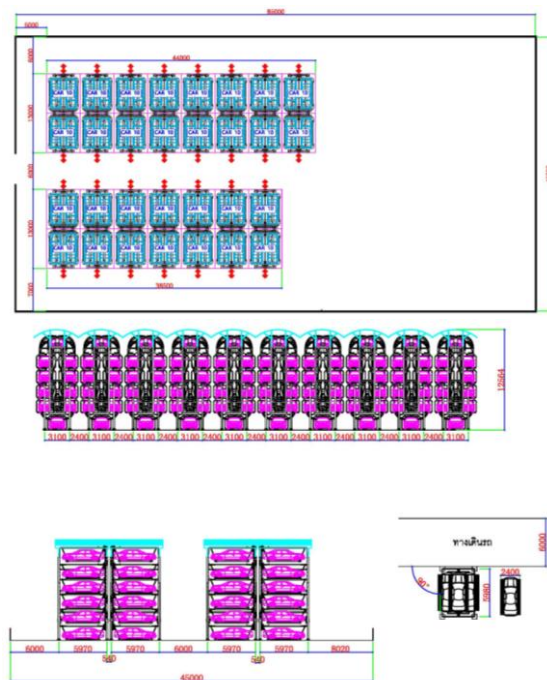
พิจารณาตามข้อกำหนดได้ดังนี้

OSR = พื้นที่ปราศจากสิ่งปกคลุมต้องไม่น้อยกว่า 30% = 1,800 ตร.ม.

FAR = พื้นที่ใช้ประโยชน์สูงสุดตามกฎหมายคือ $4,000 \times 1.5 = 6,000$ ตร.ม.

พื้นที่ใช้สอยต่อชุดคือ $2.4 \times 5.97 = 14.33 \times 10 = 143.3$ ตร.ม.

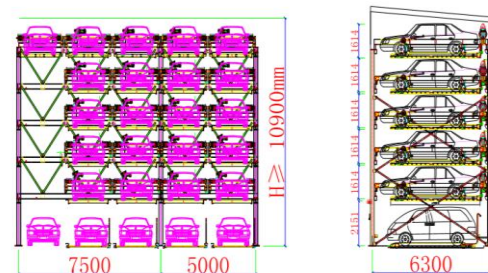
ดังนั้นพื้นที่ตามกฎหมายสามารถสร้างระบบนี้ได้ สูงสุดคือ $6,000 / 143.3 = 41$ ชุด พื้นที่ใช้สอยสามารถ สร้างได้ 41 ชุดสามารถจอดได้ 410 คัน แต่ตามวัตถุประสงค์ ของผู้บริหารโครงการ ต้องการอาคารจอดรถที่สามารถ จอดได้ 300 คัน ผู้วิจัยจึงคำนวณแล้วและสามารถ ออกแบบอยู่จำนวน 30 ชุด เพื่อให้จอดรถได้ 300 คัน



ภาพที่ 2 แสดงการออกแบบอาคารจอดรถอัตโนมัติ ระบบ Rotary parking จำนวน 300 คัน ในพื้นที่ขนาด 50x80 เมตร ภายในตลาดสี่มุมเมือง

งบประมาณการดำเนินการ 115,927,150 บาท

อาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Puzzle parking



พิจารณาตามข้อกำหนดได้ดังนี้

OSR = พื้นที่ปราศจากสิ่งปกคลุมต้องไม่น้อยกว่า 1,800 ตร.ม.

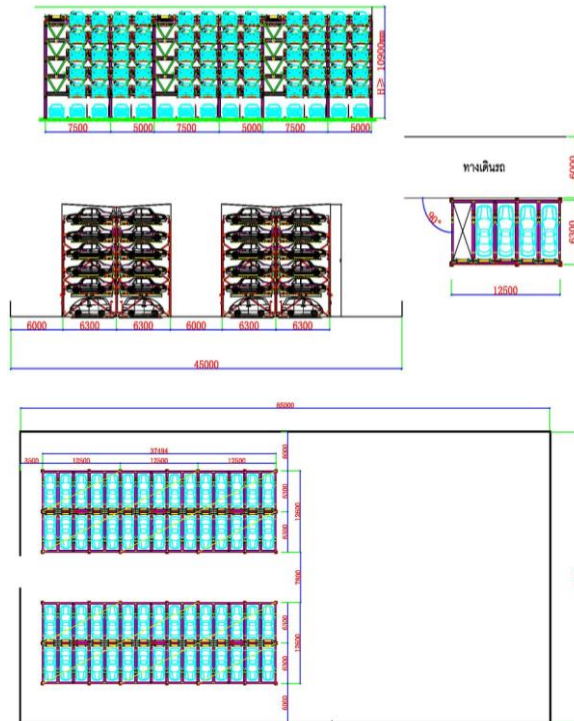
FAR = พื้นที่ใช้ประโยชน์สูงสุดตามกฎหมายคือ $4,000 \times 1.5 = 6,000$ ตร.ม.

พื้นที่ใช้สอยต่อชั้นคือ $12.5 \times 6.3 = 78.75$ ตร.ม.

พื้นที่ใช้สอยรวม 6 ชั้น $78.75 \times 6 = 472.5$ ตร.ม.

ดังนั้นพื้นที่ตามกฎหมายสามารถสร้างระบบนี้ได้ สูงสุดคือ $6,000 / 472.5 = 12.6$ ชุด

สรุปได้คือพื้นที่ใช้สอย สามารถสร้างได้ 12 ชุด สามารถจอดได้ 300 คัน ตามวัตถุประสงค์ของผู้บริหารโครงการ



พิจารณาตามข้อกำหนดได้ดังนี้

OSR = พื้นที่ปราศจากสิ่งปกคลุมต้องไม่น้อยกว่า 1,800 ตร.ม.

FAR = พื้นที่ใช้ประโยชน์สูงสุดตามกฎหมายคือ $4,000 \times 1.5 = 6,000$ ตร.ม.

พื้นที่ใช้สอยต่อ 1 ชั้นของระบบคือ $12.5 \times 5.7 = 15.39$ ตร.ม.

พื้นที่ใช้สอยรวม 3 ชั้นของระบบคือ $15.39 \times 3 = 46.17$ ตร.ม.

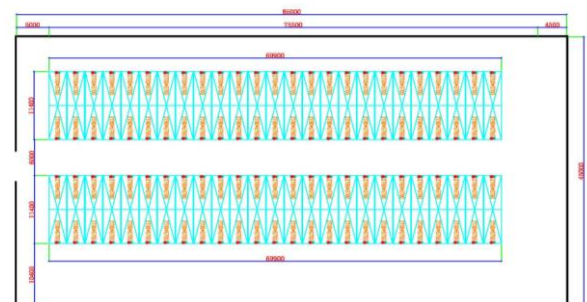
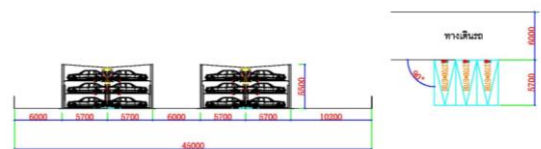
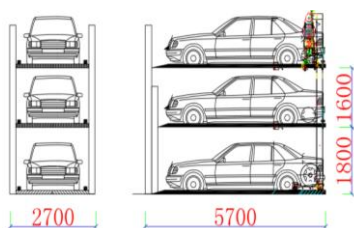
ดังนั้นพื้นที่ตามกฎหมายสามารถสร้างระบบนี้ได้ สูงสุดคือ $6,000 / 46.7 = 128.4$ ชุด สรุปได้คือพื้นที่ใช้สอย สามารถสร้างได้ 12 ชุด สามารถสร้างได้ 128 ชุด สามารถจอดได้ 384 คัน แต่ตามวัตถุประสงค์ของผู้บริหารโครงการ ต้องการอาคารจอดรถที่สามารถจอดได้ 300 คัน ผู้วิจัย จึงคำนวณการออกแบบอยู่ที่จำนวน 100 ชุดเพื่อให้จอดรถได้ 300 คัน ตามวัตถุประสงค์ของผู้บริหารโครงการ



ภาพที่ 3 แสดงการออกแบบอาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Puzzle parking จำนวน 300 คัน ในพื้นที่ขนาด 50x80 เมตร ภายในตลาดสี่มุมเมือง

งบประมาณการดำเนินการ 99,780,450 บาท

อาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Stacking parking



ภาพที่ 4 แสดงแบบอาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Stack parking จำนวน 300 คัน ในพื้นที่ขนาด 50x80 เมตร ภายในตลาดสี่มุมเมือง

งบประมาณการดำเนินการ 99,780,450 บาท

4.5 Testing, Evaluation and Design Improvement การทบทวน สรุป และเปรียบเทียบอาคารจอดรถอัตโนมัติทั้ง 3 ระบบ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอาคารจอดรถอัตโนมัติทั้ง 3 ระบบ

ข้อมูลเปรียบเทียบ	ที่จอดรถแบบจักรกลด้วยระบบ Rotary	ที่จอดรถแบบจักรกลด้วยระบบ Puzzle	ที่จอดรถแบบจักรกลด้วยระบบ Stacking
ขนาดพื้นที่ที่กำหนด	50 x 80 เมตร	50 x 80 เมตร	50 x 80 เมตร
ความจุรถลานหลวงปูขาว(เดิม)	190 ที่จอด	190 ที่จอด	190 ที่จอด
ความต้องการของโครงการกำหนดที่ 300 คัน	ได้300 คัน	ได้300 คัน	ได้300 คัน
พื้นที่ว่างที่เหลือ	2,927 ตารางเมตร	3,055 ตารางเมตร	2,461 ตารางเมตร
ประเภทรถยนต์ที่สามารถให้บริการ	Sedan	Sedan และ Mini SUVเฉพาะชั้น 1	Sedan Mini SUVเฉพาะชั้น 1
รูปแบบการรับ - ส่งรถในแต่ละระบบ	เคลื่อนย้ายด้วยระบบเฟือง โดยรับ - ส่งในลักษณะหมุนเป็นวงกลมเฉลี่ยความเร็วในการรับรถ 120 วินาที	เคลื่อนย้ายด้วยระบบโซ่ สลิง โดยรับ - ส่งในลักษณะจากซ้ายไปขวา และบนลงล่างเฉลี่ยความเร็วในการรับรถ 180 วินาที	เคลื่อนย้ายด้วยระบบบันไดเลื่อน โดยรับ - ส่งในลักษณะบนลงล่าง กล่าวคือ หากจะนำรถขึ้นบนออก ต้องนำรถขึ้นล่างและ ชั้น 2 ออกก่อนเสมอ (ซึ่งในกรณีตลาดที่ไม่ได้เก็บค่าของรถค่า อาจทำให้ผู้จอดรถด้านบนต้องรอเป็นระยะเวลานาน)
กลุ่มผู้ใช้บริการ	ลูกค้าที่มาใช้บริการ,ผู้ขาย,ผู้เช่ารายเดือน	ลูกค้าที่มาใช้บริการ,ผู้ขาย,ผู้เช่ารายเดือน	เช่าจอดรถเดือน
กฎหมายข้อบังคับ	ผ่านทั้งหมด	ผ่านทั้งหมด	ผ่านทั้งหมด
ค่าใช้จ่ายในโครงการ	115,927,150 บาท	99,780,450 บาท	55,650,400 บาท

สรุปผลการศึกษา

ระบบที่เหมาะสมกับโครงการ คือ อาคารจอดรถอัตโนมัติระบบ Puzzle Parking เนื่องจาก ทั้ง 3 ระบบถูกออกแบบที่จำนวนที่จอดรถ 300 คัน เท่ากัน แต่ระบบ Puzzle Parking ใช้งบประมาณในโครงการ น้อยกว่า ระบบ Rotary Parking อีกทั้ง สามารถจอดรถได้ทั้ง Sedan และ SUV กระนั้น ระบบ Puzzle Parking หากเทียบด้านงบประมาณในโครงการเป็นระบบที่ต้นทุนสูงกว่า ระบบ Stacking Parking แต่ด้วยระบบนี้ขาดความคล่องตัวในการรับ-ส่งรถ ผู้วิจัยจึงมองว่าไม่เหมาะสมกับการนำระบบนี้มาสร้างเป็นอาคารจอดรถอัตโนมัติเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

งานวิจัยเล่มนี้ผู้วิจัยไม่ได้ศึกษาความคุ้มค่าในการคืนทุน เนื่องจากการกำหนดอัตราค่าเข้าใช้บริการอาคารจอดรถอัตโนมัติทางเจ้าของโครงการเป็นผู้กำหนด ดังนั้นงานวิจัย

เล่มต่อไปควรมีการคำนวณปัจจัยดังกล่าวเพื่องานที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารตลาด 4 มุมเมือง สำหรับข้อมูลต่างๆ ผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน รวมถึง ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ และผศ.ชัชวาล ชินวิทย์ ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] กฎกระทรวง ฉบับที่ 41 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
- [2] พระพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
- [3] จิรัฐติษฐ์ จันทรหอม. (2562). การศึกษาเปรียบเทียบระบบจอดรถอัตโนมัติระบบ TOWER PARKING และระบบ MULTI-STOR PARKING. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

- [4] ตลาดสี่มุมเมืองยุคใหม่. สืบค้น พฤศจิกายน 2563,
จาก <https://www.simummuangmarket.com/>
- [5] นพรัตน์ พิริยเลิศศักดิ์. (2555). *ที่จอดรถในย่าน
ศูนย์กลางธุรกิจของเมืองเก่า กรณีศึกษาย่านเยาวราช
กรุงเทพมหานคร (วิทยานิพนธ์เคหพัฒนศาสตร์
มหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์).*
กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] มนัส สินสอน. (2558). *การศึกษาความเป็นไปได้ใน
การลงทุน โครงการสร้างลานจอดรถยนต์ให้เข้าใน
พื้นที่ Free Zone กรณีศึกษา บริษัท เอ็ม เอส เอส
โลจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (วิทยานิพนธ์วิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และ
โซ่อุปทาน).* ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

การปรับปรุงเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน

Improve productivity and reduce costs

นางสาวนริศรา มารู¹ และอาจารย์เริงทิwa ทัพยศักดิ์²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: rerngtiwa.t@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ผู้จัดทำได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการซื้อเครื่องจักรใหม่ เพื่อเพิ่มโอกาสในการทำกำไรให้กับบริษัทอีกด้วย โดยเครื่องจักรใหม่ที่ทางโรงงานจะซื้อเข้ามาจะส่งผลให้เกิดการใช้ประโยชน์สูงสุด โดยจำนวนคนงานที่ไม่มีความจำเป็นออก และหวังให้ค่าแรงงานในตอนสุดท้ายจะลดลง โดยการวิเคราะห์ปัญหาจากการใช้ สัดส่วนค่าจ้าง และทำการคำนวณหาค่าจาก Balance Sheet, Financial Statement, Income Statement, Cash Flow, Cost of goods sold

Abstract

This project therefore aims to analyze the feasibility of buying new machinery to increase the opportunity to make profits for the factory as well. The new machine that the factory will purchase will result in maximum utilization. By the number of workers without memory and hope that the final wages will be reduced by studying the factors that are expected to result in the factory being able to produce more quality products. The authors therefore brought this problem to study and improve by analyzing problems from using wage ration and calculate the value from Balance Sheet, Financial Statement, Income Statement, Cash Flow, Cost of goods sold.

1. บทนำ

ปัจจุบันทางบริษัทเล็งเห็นว่าระบบการผลิตเดิมให้กำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นต้นทุนค่าเสียโอกาสในการทำกำไรของโรงงาน ดังนั้นทางบริษัทจึงมีแนวคิดที่จะซื้อเครื่องจักรใหม่เข้ามาเพิ่มกำลังการผลิต วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการซื้อเครื่องจักรใหม่ เพื่อเพิ่มโอกาสในการทำกำไรให้กับโรงงานอีกด้วย โดยเครื่องจักรใหม่ที่ทางโรงงานจะซื้อเข้ามาจะส่งผลให้เกิดการใช้ประโยชน์สูงสุด โดยลดจำนวนคนงานที่ไม่มีความจำเป็นออก และหวังให้ค่าแรงในตอนสุดท้ายจะลดลง ดังนั้นผู้จัดจึงได้มีวัตถุประสงค์ในการแก้ไขปัญหาดังนี้

- 1) ทำกำไรบริษัทให้เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มผลผลิต

- 2) วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโดยรวมเพื่อตรวจสอบสถานะโดยรวม

- 3) ลดค่าแรงของบริษัท โดยการลดคนงานที่ไม่จำเป็นออก

2. วิธีการดำเนินโครงการ

ในการทำการวิจัยนี้ทำการศึกษาแผนการผลิตกล่องว่าอัตราการสูญเสียต่าง ๆ ในโรงงานเกิดขึ้นจากอะไรบ้าง จากนั้นนำมาวิเคราะห์และออกแบบวิธีการแก้ไขจำนวนในการผลิตสินค้าในแผน เพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้น ขั้นตอนการดำเนินงานเป็นไปตามรูปที่ 1

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม



รูปที่ 1 แผนการดำเนินโครงการ

3. ผลการดำเนินโครงการและวิจารณ์

3.1 ตารางเงินเดือนและค่าจ้างแรงงาน

เงินเดือนค่าจ้างแรงงานที่ Fixed Cost รวมได้ เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกที่ดีกว่าโดยใช้เทคนิคทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และการวิเคราะห์ต้นทุนทางอุตสาหกรรม ในการหาค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเงินเดือนและค่าจ้างแรงงาน

Salary and Wages		Rate	Rate Use	Previous #	Previous Mth Total	Current #	Current Mth Total
No. Position							
Fixed							45,000
1 Management	200,000	200,000	1	0	0	0	0
2 Manager	20,000-25,000	20,000	1	0	20,000	1	20,000
3 Accountant	20,000	20,000	0	0	0	0	0
4 Admin Staff	15,000	15,000	1	0	15,000	1	15,000
5 Maid	10,000	10,000	1	0	10,000	1	10,000
6 Security	15,000	15,000	0	0	0	0	0
7 Chief	18,000	18,000	0	0	0	0	0
8 Driver Staff	10,000-15,000	12,000	0	0	0	0	0
Variable							260,000
1 Worker	12,000-15,000	13,000	20	260,000	20	260,000	
TOTAL					305,000		305,000

3.2 ข้อมูลโรงงานที่ใช้ในการคำนวณ

ปัจจุบันโรงงานมีการผลิตกล่องอยู่ที่ 300,000 unit/เดือน และคิดเป็นผลได้ 3,600,000 unit/ปี รายได้ต่อปีคือ 28,800,000 บาท และมีราคาขายเฉลี่ยอยู่ที่ 8 บาท ต้นทุนเฉลี่ยอยู่ที่ 70%

กำลังการผลิตเครื่องจักรใหม่สามารถผลิตได้ 600,000 unit/เดือน แต่ผลผลิตจริงหรือผลผลิตตามออเดอร์ได้แค่ 450,000 unit/เดือน คิดเป็นผลได้ 5,400,00 unit/ปี และทำรายได้ต่อปีได้ 43,200,000 บาท

ค่าเครื่องจักรอยู่ที่ 2,000,000 บาท ภาษี 20% ค่าใช้จ่ายกองทุน 7 % ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเขียนตัวแปรเริ่มต้น

Assumption and Basic Information for Calculation				
1 Project				
Company Name				
2 Revenue				
	Before Buy	ค่าเครื่องจักรใหม่	ผลจริง	
Produce (Unit/month)	300,000	200,000	450,000	
Produce (Unit/yr)	3,600,000	2,400,000	5,400,000	
Revenue (Bht Per Yr)	28,800,000			
Avg Selling price	8			
COGS (ค่าต้นทุนเฉลี่ย)	70%			
3 Growth				
	Previous Yr	Y01	Y02	Y03
Growth		1	20%	20%
# Multiplier	1	1	1	2
4 Cost				
Sales and Admin Fixed	45,000			
Sales and Admin Variable Total	200,000			
Sales and Admin Variable per Unit	200,000			
5 Investment				
Land	0			
Machine/Equipment-Bht	2,000,000			
New Building-Bht	0			
Plant Build (B Plant)	0			
Plant Build Total (Bht)	0			
Term-Year	10			
6 Rate				
Tax Rate	20%			
Cost of Fund	7%			
7 Others				
Unit				
Unit				

3.3 ปริมาณการต้นทุน

ยอดขายต่อปีคือ 450,000 unit/เดือน คิดเป็นผลได้ 2,400,00 unit/ปี ASP Average

Selling Price อยู่ที่ประมาณ 8 บาท เวลาลูกค้าซื้อของมัดจำ 30 % จ่ายเป็น credit 70% อีก 30 วัน ค่อยจ่ายเวลาเราซื้อเขามัดจำ 20% อีก 30 วัน ค่อยจ่ายดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณการต้นทุน

(Basic Financial Statement Estimation/Forecasting)			
1. Project Description			
Type of business			
Business concept			
Representative of industry and related to the industry (related to the industry)			
Product of Project example			
2. Operational Assumptions			
Production Date	1/1/2020	Unit/Unit	Month
Unit Volume		Unit/Unit	Month
ASP of merchandise		Unit/Unit	Month
Average Unit Cost		Unit/Unit	Month
Operating Cost (not included Depreciation)		Unit/Unit	Month
Corporate Income Tax	20.00%	Profit before income tax	100%
3. Financial Assumptions			
	Proportion	Period	
Cost Ratio	70.00%	1 (Step 1)	
Capital Ratio	70.00%	1 (Step 1)	
4. Financial Statement Assumptions			
	Period		
Unit/Unit	1 (Step 1)		
Profit to Finance	0	1 (No financing cost)	
Financial Ratio	0		
5. Depreciation Assumptions			
	Proportion	Period	
Cost Ratio	70.00%	1 (Step 1)	
Capital Ratio	70.00%	1 (Step 1)	
6. Non-Current Assets			
	Value	Period	Step
Type of Non-Current Assets	10,000,000	1 (Step 1)	
Land & Improvement			
Building/Buildings			
Office Buildings			
Plant/Equipment			
Office Equipment			
Pre-Opening Expenses			
7. Depreciation Assumptions			
	Period	Period	
Cost of Depreciation	10,000,000	1 (Step 1)	

-654-

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

3.8 เงินลงทุน

ลดอัตราการสูญเสียให้น้อยลง ทำให้เวลาการทำงานของเครื่องจักรเพิ่ม และสุดท้ายจะได้กำไรเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 ตารางแสดงเงินลงทุน

Investment Structure		
Type of Investment	Amount	
Invest in assets		
5.1 Land & Improvement		0
5.2 Factory Buildings		0
5.3 Office Buildings		0
5.4 Machinery	2,000,000	
5.5 Office Equipments		0
5.6 Pre Operating Expenses	0	2,000,000
Invest in working capital		
Account receivable	2,520,000	
Inventory	0	
Account payable	(2,016,000)	504,000
Total investment		2,504,000

3.9 Balance Sheet

ตารางที่ 9 ตารางแสดง Balance Sheet

Annual Balance Sheet: BS						
Year	0	1	2	3	4	5
Assets						
1. Cash	5,719,673	11,845,819	11,845,819	11,845,819	11,845,819	11,845,819
2. Account Receivable	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000
3. Ending Inventory (5.1 + 5.2 + 5.3)	0	0	0	0	0	0
3.1 Raw material	0	0	0	0	0	0
3.2 Work in process	0	0	0	0	0	0
3.3 Finished goods	0	0	0	0	0	0
4. Other current assets						
A. Total current assets	8,239,673	14,365,819	14,365,819	14,365,819	14,365,819	14,365,819
Investment assets						
5. Land, building and equipment						
5.1 Land & Improvements	0	0	0	0	0	0
5.2 Factory Buildings	0	0	0	0	0	0
5.3 Office Buildings	0	0	0	0	0	0
5.4 Machinery	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000
5.5 Office Equipments	0	0	0	0	0	0
5.6 Pre Operating Expenses	0	0	0	0	0	0
Total land, building and equipment (5.1 + 5.2 + 5.3 + 5.4 + 5.5 + 5.6)	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000
6. Accumulated depreciation	(2,000,000)	(2,000,000)	(2,000,000)	(2,000,000)	(2,000,000)	(2,000,000)
7. Net land, building and equipment (5 - 6)	0	0	0	0	0	0
B. Total investment assets	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000
C. Total assets	10,239,673	16,365,819	16,365,819	16,365,819	16,365,819	16,365,819
Liabilities and Owner's Equity						
Liabilities						
10. Current liabilities						
10.1 Current liabilities	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000
10.2 Non-current liabilities	0	0	0	0	0	0
10.3 Total liabilities	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000
Owner's Equity						
11. Owner's Equity						
11.1 Common Equity	7,719,673	13,845,819	13,845,819	13,845,819	13,845,819	13,845,819
11.2 Retained Earnings	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000	2,520,000
11.3 Total Owner's Equity	10,239,673	16,365,819	16,365,819	16,365,819	16,365,819	16,365,819
D. Total liabilities and owner equity	10,239,673	16,365,819	16,365,819	16,365,819	16,365,819	16,365,819

4. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการคำนวณจะได้ค่ากำไรเพิ่มขึ้น โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ภายในโรงงานก่อนซื้อเครื่องจักร และหลังซื้อเครื่องจักร โดยได้ข้อสรุปในตอนท้ายว่าเลือกซื้อเครื่องจักรใหม่เป็นทางเลือกที่ดีกว่า จากการศึกษาโรงงานของบริษัทได้แก้ไขปัญหการผลิตคอขวดโดยการเพิ่มเครื่องจักรเข้าไป หนึ่งเครื่อง เพื่อเพิ่มคุณภาพการผลิต

5. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาโรงงานของบริษัทได้แก้ไขปัญหการผลิตคอขวดโดยการเพิ่มเครื่องจักรเข้าไปหนึ่งเครื่องเพื่อเพิ่มคุณภาพการผลิต ลดอัตราการสูญเสียให้น้อยลง ทำให้เวลาการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มและสุดท้ายจะได้กำไรเพิ่มขึ้นโดยการใช้การวิเคราะห์ต้นทุนในอุตสาหกรรมในการจัดซื้อ และการใช้เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการคำนวณ

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมอุตสาหการฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงได้ขอขอบพระคุณ อ.เริงทิวา ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ช่วยเสนอแนะและให้คำปรึกษา ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชนะ รักษ์ศิริ และ ผศ.ดร.จักรพันธ์ อร่ามพันธ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ และชี้แนะจุดผิดพลาดในโครงการของข้าพเจ้า ตลอดจน อ.พัชร โตแก้ว ทองรัตน์ ที่ให้คำแนะนำและชี้แนะในการอบรม ประสานงานในการทำรูปเล่มโครงการจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณนายบัญญัติ ว่องธวัชชัย และบริษัท ที่ได้ให้ข้อมูลคำแนะนำ และความช่วยเหลือ รวมถึงอำนวยความสะดวกเพื่อให้โครงการเล่มนี้ของข้าพเจ้าเสร็จสมบูรณ์ จึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

David Burrell. Cost Analysis templates. [ออนไลน์] ค้นหามื่อ วันที่ 3มกราคม พ.ศ. 2562 จาก <https://www.eloquens.com/category/finance/cost-analysis-spreadsheets-templates/621>

โพธิ์ชัย แก้วเมือง. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. [ออนไลน์] ค้นหามื่อ วันที่ 3มกราคม พ.ศ. 2562 จาก <https://www.se-ed.com/product/%E0%B9%80%E0%B8%A8%E0%B8%A3%E0%B8%A9%E0%B8%90%E0%B8%A8%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%A8%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1-Engineering-Economy.aspx?no=9789742122812>

ชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

Series Circuit and Parallel Circuit Trial Kits for DC Circuits Subjects Using Augmented Reality Technology

พัชรี ปักมาต¹ พัชรารัตน์ บุญฤทธิ์² และดวงกมล โพนาค³

Patcharee Pakmat¹, Patcharat Boonyarit², and Duangkamol Phonak³

^{1,2,3} ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

S6002041620071@email.kmutnb.ac.th, S6002041620063@email.kmutnb.ac.th

and duangkamol.p@fite.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม และ 2) ประเมินความเหมาะสมของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 15 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม และแบบประเมินความเหมาะสม นำไปเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) ชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมที่พัฒนาขึ้น เป็นแอปพลิเคชันใช้งานผ่านระบบแอนดรอยด์ สามารถแสดงโมเดลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงคำถามให้เลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ถูกต้อง และแสดงคำถามให้ต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและขนาน มีการพัฒนาชุดทดลองด้วยโปรแกรม Unity โปรแกรม Vuforia Engine ออกแบบหน้าชุดทดลองด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CC และออกแบบโมเดล 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Autodesk Maya และ 2) ความเหมาะสมด้านการออกแบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 70.4$, S.D. = 49.0 ความเหมาะสมด้านการใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 66.4$, S.D. = 51.0 ความเหมาะสมด้านการนำไปประยุกต์ใช้งานอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 46.4$, S.D. = 75.0 และนอกจากนี้ชุดทดลองยังสามารถช่วยให้ผู้ใช้มีความปลอดภัยในการใช้งาน และพัฒนาทักษะทางด้านการเรียนวิชาวงจรไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ชุดทดลอง, วงจรไฟฟ้า, เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

Abstract

The objectives of this research are to 1) develop a series of experimental circuits of series and parallel circuits for DC circuit subjects using augmented reality technology and 2) to assess the suitability of the developed experiments. The sample used in this research was 15 experts. The research instruments included series and parallel circuit experiments for DC circuit subjects using augmented reality technology and a suitability assessment. To collect data with the sample The data was analyzed by fundamental statistics including mean and standard deviation. The results of the research were as follows: 1) an experimental set of series and parallel circuits for DC circuit subjects using augmented reality technology developed. The Android application can display the electronic

model, display questions, select the correct electronic device, and display questions for serial and parallel circuits, and develop an experimental kit with Unity program and Vuforia Engine. Designing an experimental page with Adobe Photoshop CC and designing 3D models with Autodesk Maya and 2) The design suitability was at the highest level ($\bar{X}$ = 70.4, S.D. = 49.0. The suitability for use was at the highest level ($\bar{X}$ = 66.4, S.D. = 51.0. The suitability of the application is at a high level ($\bar{X}$ = 46.4, S.D. = 75.0, and the experimental kit can also help ensure user safety. And to develop even more skills in the field of electrical circuit studies.

Keywords : Experiment, Circuit, Augmented Reality

1. บทนำ

ไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งกับยุคการเปลี่ยนแปลงที่ทันสมัยของเทคโนโลยีในปัจจุบัน การศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งกับทุกคนที่มีโอกาสได้ศึกษาเพื่อหาความรู้และประสบการณ์ของงานไฟฟ้า [1] ปัจจุบันไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นในด้านการสื่อสาร การคมนาคม การศึกษา และยังเป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจทางด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมที่ทันสมัย รวมถึงการสร้างความสามารถในการแข่งขันในด้านการผลิตและการขายสินค้า ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาประเทศ ทำให้จำเป็นอย่างมากในการศึกษาทางด้านงานวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น [2]

ปัจจุบันได้มีการเรียนการสอนวิชาไฟฟ้าเบื้องต้นโดยมีวัตถุประสงค์ให้ผู้เรียนมีทักษะในการประกอบและตรวจสอบวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น [3] เพื่อให้มีความรู้พื้นฐานในการตรวจสอบและต่อวงจรเบื้องต้น ซึ่งอุบัติเหตุจากไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในด้านการตรวจสอบและการต่อวงจรมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์และอันตรายแก่ผู้เรียน อาทิเช่น ผู้เรียนขาดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับไฟฟ้า ผู้เรียนขาดความระมัดระวังไม่เห็นถึงอันตรายของไฟฟ้า ทำด้วยความเคยชินจนกลายเป็นความประมาท จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดอันตราย การปฏิบัติการต่อวงจรไฟฟ้า มีสื่อการสอนที่ยังไม่ทันสมัยทำให้ผู้เรียนฝึกฝนได้ไม่เต็มที่ อุปกรณ์การเรียนขาดแคลนไม่เพียงพอต่อผู้เรียน ดังนั้นจึงเกิดปัญหาต่อการเรียนรู้ ผู้เรียนไม่ได้มีการพัฒนาในการลงมือปฏิบัติ และอุปกรณ์

ที่ใช้งานมานานอาจเกิดความชำรุดเสียหายระหว่างเรียนหรือจากผู้เรียนก่อนหน้า ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานอุปกรณ์นั้น และระหว่างการสอนผู้สอนเข้าถึงผู้เรียนพร้อมกันได้ยาก อาจทำให้เกิดอันตรายจากการต่อวงจรไฟฟ้าได้ [4]

เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (AR : Augmented Reality) คือ เทคโนโลยีที่นำเอาภาพกราฟฟิกของคอมพิวเตอร์ทั้งในรูปแบบที่เป็นสามมิติสองมิติหรือ วิดีโอ มาซ้อนทับเข้ากับฉากหลังซึ่งเป็นภาพในเวลาจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่ได้รับการจัดกลุ่มให้อยู่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว อาทิเช่น สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นก็ได้มีการนำเทคโนโลยี เอ อาร์ มาใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันซึ่งแนวคิดนี้เริ่มมีการพัฒนาตั้งแต่ปี 1990 โดยใช้คอมพิวเตอร์ สร้างวัตถุเสมือนคล้ายตัวละครรวมกับพื้นหลังที่เป็นพื้นผิวของวัตถุจริงบนพื้นฐานของหลักการ แกน 3 มิติ (x-y-z) ที่ผสมผสานพื้นผิวของวัตถุทั้งสองเข้าไว้ด้วยกัน [5] ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความรู้และทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ คิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ ประยุกต์ใช้เป็น สามารถแก้ปัญหาเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ความเป็นพลเมืองดีที่มีความรับผิดชอบ มีคุณธรรม และจริยธรรม มีขีดความสามารถในการแข่งขันกับคนอื่น ๆ ได้ จึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง การพัฒนาสื่อการเรียนรู้อสามมิติแบบมีปฏิสัมพันธ์เสมือนจริงโดยใช้เทคโนโลยี Augmented Reality (AR) เป็นนวัตกรรมการเรียนการสอนที่กำลังได้รับความสนใจ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีการนำระบบความเป็นจริงเสมือนมาผนวกกับเทคโนโลยีเพื่อสร้าง

สิ่งที่เสมือนจริง โดยกระบวนการวิเคราะห์ภาพ การคำนวณค่าตำแหน่งเชิง 3 มิติ และกระบวนการสร้างภาพ 2 มิติ [6] และถ้าสามารถทำให้การเรียนรู้วิชาไฟฟ้าเบื้องต้นอยู่ในรูปแบบของเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (AR : Augmented Reality) จะทำให้ผู้เรียนสามารถลดการเกิดอันตรายจากการต่อวงจรไฟฟ้าได้ และเป็นเทคโนโลยีที่แปลกใหม่ในการนำมาใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้า จึงมีความน่าสนใจมากกว่าการเรียนแบบเดิม ทำให้ผู้เรียนมีสมาธิจดจ่ออยู่กับการเรียน มีความพยายามที่จะทำความเข้าใจได้มากขึ้น[7]

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำชุดประกอบการสอนวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเพื่อแก้ปัญหาได้ในระยะยาวและเป็นกิจกรรมเสริมให้กับผู้เรียน และเป็นชุดประกอบการสอนที่มีความปลอดภัยกับผู้เรียนขณะลงมือปฏิบัติงาน ลดปัญหาการชำรุดของอุปกรณ์ไฟฟ้า มีการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน ทันสมัยในยุคปัจจุบัน และเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้ทันตามยุคตามสมัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ตามความต้องการ และพัฒนาทักษะทางด้านการเรียนวิชาวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

2.2 เพื่อประเมินความเหมาะสมของชุดทดลอง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมที่พัฒนาขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ด้านครุศาสตร์ไฟฟ้า ด้านเทคโนโลยีการศึกษา ด้านการพัฒนาหลักสูตรทางเทคโนโลยี ด้านนวัตกรรมการศึกษา ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นต้น

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ด้านครุศาสตร์ไฟฟ้า ด้านเทคโนโลยีการศึกษา ด้านการพัฒนาหลักสูตร

ทางเทคโนโลยี ด้านนวัตกรรมการศึกษา ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นต้น เลือกมาแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวนทั้งหมด 15 คน

เนื้อหาของชุดทดลอง

เป็นเนื้อหาวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) หัวข้อที่นำมาใช้ในการจัดทำชุดทดลอง ได้แก่ 1) วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น และ 2) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบการนำเสนอของชุดทดลอง

เป็นชุดทดลองวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น อยู่ในรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์โฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชัน 5.0 ขึ้นไป สามารถแสดงภาพแบบ 3 มิติ ติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางจอภาพระบบสัมผัส มีเสียงเอฟเฟกต์ประกอบ

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ การใช้ชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

ตัวแปรตาม คือ ความเหมาะสมของชุดทดลอง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1. ชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม
2. แบบประเมินความเหมาะสมของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น แบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการออกแบบ 2) ด้านการใช้งาน และ 3) ด้านการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งเป็นแบบประเมินที่มีลักษณะแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert Scale)

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมิน และแปลความหมายดังนี้ [8]

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50-5.00 หมายความว่า มีความเหมาะสม มากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50-4.49 หมายความว่า มีความเหมาะสม มาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50-3.49 หมายความว่า มีความเหมาะสม ปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50-2.49 หมายความว่า มีความเหมาะสม น้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00-1.49 หมายความว่า มีความเหมาะสม น้อยที่สุด

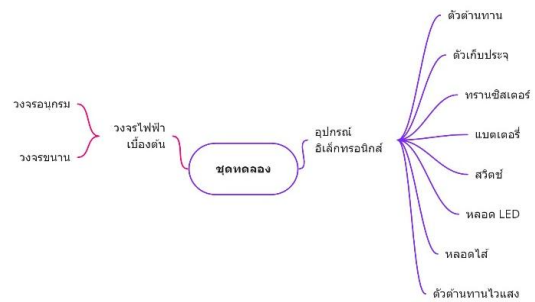
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรม และขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของชุดทดลองวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม ศึกษาข้อมูลทรัพยากรต่าง ๆ ด้านซอฟต์แวร์ รวมถึงเก็บข้อมูลจริงจากนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ที่เรียนวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ครูผู้สอน และบุคคลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาชุดทดลองวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

2. วิเคราะห์เนื้อหา ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เนื้อหาที่นำมาใช้ในการจัดทำชุดทดลอง ในรายวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) โดยในแต่ละหัวข้อมีการให้ความรู้ความเข้าใจและเน้นกิจกรรมเป็นฐานให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์กับชุดทดลองแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์เนื้อหาที่ใช้ในการพัฒนาชุดทดลอง

3. ขั้นตอนการการออกแบบและพัฒนา แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

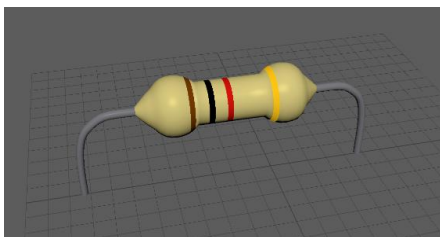
3.1 ขั้นตอนการสร้าง Marker ผู้วิจัยได้ออกแบบ Marker สำหรับใช้ในชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม จำนวน 6 Marker ออกแบบ Marker โดยใช้รูปร่างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับชุดทดลอง เลือกใช้สีพื้นหลังที่สีสดใสทำให้สะดุดตาสวยงาม ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การออกแบบ Marker

เมื่อออกแบบ Marker ชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม จำนวน 6 Marker ครบถ้วนแล้วและนำ Marker ที่สร้างแล้วมาทำการ generate ผ่านเว็บไซต์ Vuforia

3.2 ขั้นตอนการสร้างโมเดล โดยผู้วิจัยได้สร้างโมเดลในรูปแบบ 3 มิติ โดยใช้รูปร่างตามอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้กำหนดไว้ จำนวน 18 โมเดล ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการสร้างโมเดล 3 มิติ

3.3 การเขียนโปรแกรม ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม ตามรูปแบบการพัฒนา Waterfall โมเดล 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) Requirement ความต้องการของชุดทดลอง สามารถแบ่งความต้องการทำงานของโปรแกรมออกเป็น การแสดงโมเดลที่สัมพันธ์กับคำถามการเลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พร้อมเฉลย และชุดทดลองต้องมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เล่น

2) Design นำความต้องการในขั้นตอน Requirement วิเคราะห์และออกแบบชุดทดลองและออกแบบ User Interface

3) Implementation ผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมตามที่ออกแบบไว้โดยการพัฒนาชุดทดลองนี้ได้ใช้ภาษา C# ในการพัฒนา ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

4) Verification นำชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมมาทำการทดสอบหาข้อผิดพลาด

5) Maintenance ปรับปรุงแก้ไขชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์

ตอนที่ 2 การประเมินความเหมาะสมของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยนำแบบประเมินความเหมาะสมและชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรมและขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยผู้ให้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 ท่าน ประเมินความเหมาะสมของชุดทดลอง พร้อมให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงชุดทดลอง

4. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้

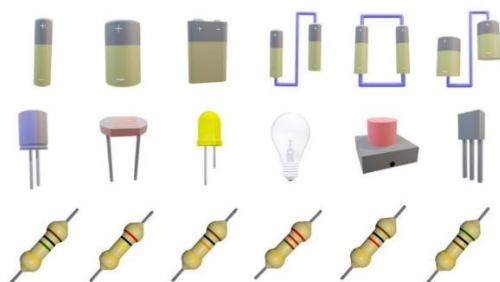
4.1 ผลการพัฒนาชุดทดลองโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดทดลองโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม ได้ผลลัพธ์ 3 ส่วนประกอบด้วย

1) Marker ที่ใช้ในชุดทดลองวงจรไฟฟ้าอนุกรม และขนานสำหรับวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม จำนวน 6 รูป ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพ Marker

2) โมเดลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 3 มิติ จำนวน 18 โมเดล ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 โมเดลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 3 มิติ

3) แอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ชื่อ AR_Circuit ที่สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้จนแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
AR_Circuit

4.2 ผลการประเมินความเหมาะสมของชุดทดลอง โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมที่พัฒนาขึ้น

ผู้วิจัยได้นำชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินความเหมาะสมของชุดทดลอง พร้อมแบบประเมินความเหมาะสม จำนวนทั้งหมด 15 ท่าน แสดงผลในตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ความเหมาะสมด้านการออกแบบ

รายการ	ระดับความเหมาะสม		
	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าความ เบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	ระดับ ความ เหมาะสม
1. ความสวยงามของแอปพลิเคชัน	4.75	0.44	มากที่สุด
2. ความทันสมัยของแอปพลิเคชัน	4.64	0.56	มากที่สุด
3. ความน่าสนใจของแอปพลิเคชัน	4.79	0.42	มากที่สุด
4. การจัดรูปแบบในแอปพลิเคชัน ง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	4.68	0.55	มากที่สุด
5. ขนาดตัวอักษรและรูปแบบ ตัวอักษร อ่านง่าย	4.64	0.49	มากที่สุด
6. ความสวยงามของโมเดล 3 มิติ	4.71	0.46	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.70	0.49	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมด้านการออกแบบ โดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.70 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยรวมเท่ากับ 0.49 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

ตารางที่ 2 ความเหมาะสมด้านการใช้งาน

รายการ	ระดับความเหมาะสม		
	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าความ เบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	ระดับ ความ เหมาะสม
1. ความเข้าใจในเนื้อหา	4.64	0.49	มากที่สุด
2. ความถูกต้องของเนื้อหา	4.71	0.46	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมของเนื้อหา	4.57	0.63	มากที่สุด
4. ความสะดวกในการใช้งาน	4.68	0.48	มากที่สุด
5. ความน่าสนใจของเนื้อหา	4.71	0.53	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.66	0.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมด้านการใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.66 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยรวมเท่ากับ 0.51 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

ตารางที่ 3 ความเหมาะสมด้านการนำไปประยุกต์ใช้งาน

รายการ	ระดับความเหมาะสม		
	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความเหมาะสม
1. สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเรียนการสอนได้จริง	4.36	0.87	มาก
2. เพิ่มความปลอดภัยจากการต่ออุปกรณ์จริง	4.57	0.63	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.46	0.75	มาก

จากตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.46 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยรวมเท่ากับ 0.75 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

5. ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การวิจัยในครั้งต่อไป ผู้วิจัยจะนำชุดทดลองที่ได้พัฒนาและปรับปรุงไปใช้ร่วมกับในการจัดการเรียนสอน โดยเฉพาะการจัดการเรียนการสอนทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ ทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและจัดกิจกรรมเป็นฐานและหาประสิทธิภาพของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น นอกจากนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปอาจเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมกับรายวิชาอื่นๆ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง พัฒนาสื่อการเรียนรู้เชิงปฏิบัติร่วมกับเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเพื่อให้ผู้เรียนได้ศึกษาวิธีการขั้นตอนก่อนลงมือปฏิบัติจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] โรงเรียนประสาทรัฐประชากิจ. คำอธิบายรายวิชา กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี. จาก : <http://electricity1957.blogspot.com/p/blog-page.html>

- [2] โรงเรียนขุนซัน. ความหมายและความสำคัญของไฟฟ้า. จาก https://sites.google.com/a/khukhan.ac.th/supannee/subject/unit01/unit01_01
- [3] กระทรวงศึกษาธิการ. (2562). จุดประสงค์รายวิชา งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: กรม.
- [4] บริษัทพีดีเอสอินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด. สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุจากไฟฟ้า. จาก <https://www.pdsthailand.com/message/view.php?id=170&fbclid=IwAR0xMPomaTI-WesJopmRJ4f1yBknk9i-2M5zXBS2EiQNLwbNLWY7sTcgxaA>.
- [5] จินตนา ดาวใส. (2561). การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศสามมิติเชิงแนะนำสำหรับผลิตภัณฑ์ฟาร์มเกษตร ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [6] ดุสิต ขาวเหลือง และอภิชาติ อนุกุลเวช. (2561). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้สามมิติแบบมีปฏิสัมพันธ์เสมือนจริงโดยใช้เทคโนโลยี ความเป็นจริงเสริม Augmented Reality (AR) เพื่อพัฒนาทักษะการคิดของนักศึกษาอาชีวศึกษา ที่มีระดับการคิดอย่างมีวิจารณญาณต่างกัน. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [7] นวรัตน์ แซ่ไคว้ และสุรัชย์ ประเสริฐสรวย. (2558). การพัฒนาแบบจำลองโลกเสมือนจริง สำหรับบทเรียน มัลติมีเดียปฏิสัมพันธ์ เรื่อง การท่องเที่ยวโลกอุปกรณ์คอมพิวเตอร์. วารสารวิจัยและพัฒนา วลัยลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- [8] บุญชม ศรีสะอาด. (2545). การวิจัยเบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.