วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ
Thaksin University Journal

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2560
Vol.20 No.2 July – December 2017 ISSN 0859–9807

TSU
Journal

รูปแบบวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

วัตถุประสงค์
1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความทางด้านสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่างๆ
2. เป็นสื่อประชาสัมพันธ์ข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
3. เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

กำหนดการออก ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม)

จำนวนพิมพ์ 300 ฉบับ

รูปแบบเล่ม ขนาด B5 (18x25.5 ซ.ม.)
ปกอาร์ตมัน 250 แกรม พิมพ์ 4 สี เคลือบ มัน (UV)
เนื้อใน กระดาษปอนด์ 80 แกรม พิมพ์ 1 สี 112 หน้า

การเผยแพร่ จัดจำหน่ายและสมัครสมาชิก
มอบเป็นอภินันทนาการแก่ห้องสมุดของหน่วยงานรัฐและเอกชน สถาบันการศึกษา

การบอกรับเป็นสมาชิก ค่าสมาชิก ปีละ 200 บาท ชำระผ่านทางธนาคารไทยพาณิชย์
ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9
สาขามหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง) พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายัง
กองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ทางระบบออนไลน์ https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal

การติดต่อ กองจัดการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อำเภอป่าพะยอม
จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242
E-mail address: tsujournal@gmail.com หรือ research.tsu@gmail.com

โรงพิมพ์ อาร์ต เวิร์ค แอนด์ มีเดีย
โทรศัพท์ 089-925-8455, 085-440-5398

บรรณาธิการแถลง

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal) ฉบับนี้ เป็นวารสารที่ออกโดย มหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นปีที่ 20 ฉบับที่ 2 (ประจำเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2560) สำหรับวารสารฉบับนี้ได้นำเสนอบทความวิจัย จำนวน 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาสาระที่น่าสนใจและมีความเกี่ยวข้องกับด้านสหวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเฉพาะ บทความวิจัย เรื่อง การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลปาล์ม *(Elaeis guineensis)* หลังการเก็บเกี่ยวและการประยุกต์ใช้ไลเปสจากปาล์มในการผลิตไบโอดีเซล และ บทความวิจัย เรื่อง ผลของโปรแกรมการให้ความรู้โดยใช้สื่อที่มีต่อตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์การระบาดของโรคเลปโตสไปโรซีส ซึ่งทางเจ้าของบทความวิจัยทั้งสองฉบับได้ให้เกียรติเขียนบทความวิจัยเป็นภาษาอังกฤษ ต้องขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย ทางคณะทำงานประจำกองบรรณาธิการของวารสารใคร่ขอเชิญชวนให้นักวิจัยและผู้ที่สนใจทุกท่านที่จะส่งบทความวิจัย บทความวิชาการ บทความรับใช้สังคม และจดหมายถึงบรรณาธิการ เพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ สามารถ Download แบบฟอร์มการส่งเรื่องเพื่อตีพิมพ์และคำแนะนำในการเขียนต้นฉบับได้ที่ website "https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal" เพื่อที่ทุกท่านจะได้มีส่วนร่วม ในการพัฒนาวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณให้ก้าวหน้ายิ่งๆ ขึ้นไป นอกจากนี้ หากท่านผู้อ่านมีข้อเสนอ แนะเชิงสร้างสรรค์เกี่ยวกับวารสารดังกล่าวนี้ กรุณาจัดส่งข้อเสนอแนะต่างๆของท่านมายังกองบรรณาธิการวารสารเพื่อที่จะได้พิจารณาพัฒนา ปรับปรุง และแก้ไขในฉบับต่อ ๆ ไป

ทางวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ใคร่ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้เกียรติ และเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการกลั่นกรอง พิจารณา แก้ไข และให้ข้อเสนอแนะแก่งานเขียนดังกล่าวเพื่อประโยชน์สูงสุดทางวิชาการที่ได้นำเสนอในวารสารฉบับดังกล่าวนี้ ขอขอบพระคุณต่อคณะที่ปรึกษา กองบรรณาธิการและกองจัดการทุกท่าน รวมทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมด โดยเฉพาะสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานของวารสารด้วยดีตลอดมา แล้วพบกันใหม่ฉบับหน้าครับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ เกษราธิคุณ
บรรณาธิการประจำฉบับ

สารบัญ

มหาวิทยาลัยทักษิณ THAKSIN UNIVERSITY

บทความวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลปาล์ม *(Elaeis guineensis)* หลังการเก็บเกี่ยว และการประยุกต์ใช้ไลเปสจากปาล์มในการผลิตไบโอดีเซล

Study of Chemical Constituents from Palm Fruit *(Elaeis guineensis)* After Harvesting and the Application of Palm Lipase for Biodiesel Production

ภัทรวดี กิ้มตั้น[1] เทวัญ หยู่หนู[2] นิษา ไพจิตร[2] สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า[3] พูนสุข ประเสริฐสรรพ์[4] และกนกพร สังขรักษ์[5*]

Pattarawadee Kimtun[1], Tewan Yunu[2], Nisa Paichid[2], Sappasith Klomklao[3], Poonsuk Prasertsan[4] and Kanokphorn Sangkharak[5*]

บทคัดย่อ

เมื่อนำผลปาล์มหลังการเก็บเกี่ยวที่ 0 ชั่วโมงมาสกัดด้วยเมทานอลจะให้สารสกัดหยาบสูงสุด คิดเป็นค่าประสิทธิภาพการสกัด 21.64 เปอร์เซ็นต์ ในสารสกัดเมทานอลจากผลปาล์มหลังการเก็บเกี่ยว 0 ชั่วโมงจะพบสารกลุ่มซาโปนิน ฟีนอล และแทนนินในปริมาณสูง เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีหลังการเก็บเกี่ยวของผลปาล์ม 0-240 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสารฟีนอลิก วิตามินอี โปรตีน และแคโรทีน จะลดลงตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่กิจกรรมของไลเปสจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยจะมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดที่ 120 ชั่วโมง เมื่อนำไลเปสมาแยกและทำบริสุทธิ์บางส่วนพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์จะเพิ่มเป็น 4.76 ยูนิต/มิลลิกรัม ไลเปสจากผลปาล์มจะถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งในการผลิตไบโอดีเซลโดยมีน้ำมันใช้แล้วเป็นสารตั้งต้น จากการทดลองพบว่าการใช้เอนไซม์ทำบริสุทธิ์บางส่วนในการผลิตไบโอดีเซล ปฏิกิริยาจะให้ผลผลิตสูงสุดที่ 6 ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับการเร่งปฏิกิริยาด้วยไลเปสทางการค้า ในขณะที่การใช้สารสกัดหยาบของเอนไซม์จะใช้เวลาสูงกว่า (12 ชั่วโมง) ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 96.5-98 เปอร์เซ็นต์ และคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากการทดลองนี้ยังผ่านมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM)

คำสำคัญ: ชีวมวลรุ่นที่สอง ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พลังงานทางเลือก เมทิลเอสเทอร์

---

[1] นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[2] นักวิชาชีพ สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[3] รศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[4] ศ.ดร., สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 92110

[5] รศ.ดร., สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[1] Graduate Student, M.Sc. (Applied Chemistry), Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

[2] Scientist, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

[3] Assoc. Prof. Dr., Department of Food Science and Technology, Faculty of Technology and Community Development, Thaksin University, Phatthalung, 93210

[4] Prof. Dr., Department of Industial Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Songkla, 92110

[5] Assoc. Prof. Dr., Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Patthalung, 93210

[*] Corresponding author: Tel/Fax: +66-76-609-634. E-mail address: skanokphorn@yahoo.com

Abstract

Palm fruit after 0 h of harvesting was collected and extracted. Extraction with methanol gave the highest yield with the value of recovery yield at 21.64%. High saponin, phenol and tannin were also detected. The chemical composition of palm fruit after 0-240 h of harvesting was characterized. The results showed that phenolic, vitamin E, protein and carotene decreased as harvesting time increased. In contrast, enzyme activity in lipase increased as harvesting time increased. The highest lipase activity was achieved at 120 h of harvesting and the activity increased to 4.76 U/mg after partial purification. Therefore, palm lipase was used as the catalyst for biodiesel production using waste cooking oil as substrate. Purified enzyme reached the optimal reaction time for biodiesel production after 6 h. A similar result was also obtained from commercial lipase. A longer incubation time (12 h) was observed in crude enzyme. Highest methyl ester content (96.5-98%) was achieved in this study and biodiesel specifications were characterized and passed Thailand's fuel and American Society for Testing and Materials (ASTM) standards.

Keywords: Second Generation Biomass, Transesterification, Alternative Energy, Methyl Ester

Introduction

Currently, the highest yielding edible oil crop in the world is oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). It is cultivated in 42 countries, consuming approximately 11 million ha worldwide [1]. Palm oil contains both saturated and unsaturated fatty acids [2] and also 1% of minor constituents with nutritional and beneficial health properties [3]. Carotenes in palm oil range between 400-3,500 mg/L. However, it contains about 15-300 times more retinol equivalents (vitamin A) than carrots and tomatoes [4]. Small amounts of phytosterols (300-620 ppm), squalene (250-540 ppm), phospholipids (20-100 ppm), co-enzyme Q10 (20-80 ppm) and polyphenolics (40-70 ppm) are also observed in palm oil.

Intense development of the palm oil industry in Thailand contributes to the country's economic growth mainly through the trading of crude palm oil and its products [5]. However, there is an abundance of illegal entry of palm from Malaysia and Indonesia which makes palm prices in Thailand volatile. In addition, the other problem in the palm oil industry is habitat degradation. Once the oil palms have started to produce, the fruit must be harvested at the right moment to avoid natural degradation. If palm fruit becomes too ripe suddenly after harvest, many clusters will drop and the quality of the fruit will be poor. To our knowledge, many researchers have reported about chemical compositions in palm oil [1-5]. However, there have been no reports documenting the chemical compositions, including phenolic acids, tocols (tocopherol and tocotrienol), carotene and lipase profile of the palm fruit after the harvesting and ripening stages. Such information is necessary for better understanding of the physical and biochemical events. Therefore, this paper aims to determine the biochemical constituents, phytochemical compositions and antioxidant activity of oil palm fruit cultivated in southern Thailand after 0-240 h of harvesting. In addition, lipase profile of oil palm fruit was investigated and the possible application of enzyme for biodiesel production was also determined.

Materials and methods

Plant Collection

Oil palm fruit (*E. guineensis*) were collected from the Faculty of Science, Thaksin University, Thailand and used as the sample for this study. Oil palm fruit was collected following an oil palm fresh fruit bunch (FFB) grading standard guideline (ARDA, Thailand). Orange mesocarp with a weight around 15.29 ± 3.0 g were classified during the ripen stage. The ripen fruits were picked from different parts of bunches and left for 0-240 h after harvesting under room temperature (28 ± 2°C). Afterward, the samples were separated under specific time, washed thoroughly under running tap water, cut into smaller pieces and blended under suitable solvent [6].

Solvent Extraction

Five organic solvents (acetone, ethanol, methanol, chloroform and hexane) and 0.05 mM Tris-HCl buffer (pH 8) were used to extract chemical compositions in oil palm. Fifty grams of sample were dissolved in respective solvents (500 mL) using sonication for 10 minutes. The extract was filtered through filter paper (Whatman No.1 with pore size of 11 µm) using a vacuum pump and the extraction process was repeated two times. The extract from organic solvent was concentrated at 40°C and 90 rpm using a rotary evaporator [6]. The samples obtained were kept at -20°C for further study. Extraction yields were weighed and calculated using the following formula:

$$\text{Extraction yield (\%)} = \frac{\text{Dry weight of extract}}{\text{Dry weight of plant powder}} \text{x100}$$

Chemical Composition Study

Chemical composition studies were determined for qualitative analysis to identify the presence of biochemical constituents. Total phenolic content was measured by the Folin-Ciocalteu method [6]. Qualitative analysis was done following the basic protocols [7]. Ash and moisture were analyzed by oven assay [8]. The total amount of palm oil was determined by solvent extraction [9]. Protein was determined following AOAC procedures [10]. Vitamin E, tocopherol, tocotrienol and carotenes content were analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) followed the method of Schieber et al. [11]. The activity of lipase was determined for the absorbance at 410 nm compared with *p*-nitrophenol standard curve at concentrations ranging from 0-1.0 µg/mL [12].

Scavenging Activity

DPPH scavenging radical activity of oil palm extract against stable DPPH was assessed [13]. In addition, the ABTS and ABTS radical cations (ABTS+) and the FRAP were determined at 734 and 593 nm, respectively. The results were expressed as grams of Trolox equivalents per 100 g of dry weight (DW) [13-14].

Lipase Preparation for Biodiesel Production

Lipase was extracted by 50 mM Tris-base buffer (pH 8.0) from oil palm fruit after 120 h of harvesting [12]. The enzyme was determined for protein and lipase activity. Afterward, enzyme solution was freeze dried and utilized as “crude enzyme”. For partial purification of enzyme, Aqueous Two Phase System (ATPS) with 20% of polyethyleneglycol (PEG) 1000 and 15% of NaH_2PO_4 were employed. Therefore, purified lipase was

collected and characterized. The enzyme solution after ATPS was freeze dried and utilized as "partial purification enzyme".

Transesterification Reaction for Biodiesel Production

Waste cooking oil and lipase from oil palm fruit was utilized as substrate and catalyst, respectively. The enzymatic transesterification reactions were carried out in a test tube that contained 2 g of waste frying oil, 5.6 Unit of enzyme/10 g oil and 6:1 alcohol-to-oil molar ratio. The reaction was carried out in an incubator at 35ºC with constant stirring at 200 rpm. Experiments were carried out to optimize the reaction conditions varying reaction time. At the end of the reaction period, samples were taken from the reaction mixture and centrifuged in order to obtain the upper layer that was analyzed.

Determination of Biodiesel Properties

Biodiesel from lipase was characterized for viscosity, acid value and free fatty acid content. The viscosity was analyzed by the gravity method. In addition, acid value and free fatty acid content were determined by the titration method [12]. The Fatty Acid Methyl Ester (FAME) content in the product liquid was analyzed by a Shimadzu GC-2010 equipped with a hydrogen flame ionization detector. The separation was carried out on a DB-1HT capillary column (30 m × 0.25 mm id, Agilent Tech). The operating conditions were set as following: the temperature of sampling inlet was 370°C and detector temperature was 375°C; the starting temperature of the column was 150°C, increasing at 10 °C/min up to 205°C, then increasing at 2°C/min up to 215°C, finally increasing at 10 °C/min up to 360°C and then maintained at 360°C for 10 min. The split ratio was 1:50 and the carrier gas was nitrogen at a pre-column pressure of 100 kPa. Peaks in the chromatograms were identified by comparing retention times with the standards of known substances such as methyl salicylate, methyl palmitate, methyl stearate, methyl oleate, methyl linoleate and methyl linoleate [14].

Results and Discussion

Effect of Solvent on Extraction Yield

Oil palm fruit gave the highest amount of recovery yield (21.64%) with methanol extraction. However, the other solvents yielded only 4.80-14.32% (Table 1). Bioactive compounds from plants belong to various chemical groups. Methanol is an amphiphilic compound which has a polarity index of 5.1. The molecule of methanol consists in a single atom of a tetrameric carbon, linked to 3 hydrogens, and a hydroxyl (-OH) group. The hydroxyl group is the polar group, and the three hydrogens, the water-insoluble hydrocarbon chain [15]. Therefore, methanol gave the highest extraction yield because it can dissolve both polar and also non-polar molecules. The biologically active constituents of the plants were extracted using methanol through standard methods. During extraction, plant material was dispersed and solubilized by solvents with similar polarity [6]. Polyphenols were frequently recovered from the plants by polar solvents such as ethanol and methanol. Ethanol is safe for human consumption. Methanol and aqueous acetone have been recognized to be suitable for lower molecular weight polyphenols and higher molecular weight flavanols, respectively [17].

Chemical Composition

The highest chemical composition was observed in oil palm fruit after 0 h of harvesting. The sample contained moisture, carbohydrate and protein content at 30.24%, 9.86% and 5.12% on a dry matter (DM) basis, respectively. While the lipid content and ash were 52.94% and 1.84%. The level of moisture, protein and ash were similar to those of African oil palm fruit as reported by Atchley [16]. It has been known that nutritional composition and antioxidant activity are influenced by several parameters such as cultural practices, climatic conditions, locations, soil types, temperature, water stress, nutrient availability and fertilization parameters [18].

Table 1 Yield of oil palm fruit (50 g) extracted using different types of solvents.

Solvents	Yield		Solvents	Yield	
	gram	% recovery		gram	% recovery
Acetone	$4.84 \pm 0.10^{(c)}$	$9.68^{(c)}$	Methanol	$10.82 \pm 0.25^{(e)}$	$21.64^{(e)}$
Ethanol	$7.16 \pm 0.10^{(d)}$	$14.32^{(d)}$	Chloroform	$2.40 \pm 0.11^{(a)}$	$4.80^{(a)}$
0.05 mM Tris-HCl buffer (pH 8)	$7.16 \pm 0.10^{(d)}$	$14.32^{(d)}$	Hexane	$2.90 \pm 0.10^{(b)}$	$5.80^{(b)}$

(a), (b),(c),(d),(e) - Statistical analysis. Different letter(s) in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

Phytochemical Study

The qualitative analysis of phytochemical constituents of oil palm fruit with methanol extraction are indicated in Table 2. The presence of different biochemical constituents in oil palm fruit may indicate their possible use in pharmacology application. For example, alkaloids can increase blood circulation and nutrient absorption. In addition, phenolic compounds are playing an important role in food and medical applications due to their capacity to stimulate some cellular enzyme functions [19]. Likewise, flavonoids are a significant compound that affects various biological systems [6].

Table 2 Group of phytochemical, method and phytochemical content in oil palm fruit at 0 h of harvested.

Group of phytochemical	Method	Unit	Oil palm fruit (This study)	Oil palm fruit[a]	Oil palm leaves[b]
Alkaloids	Bromocresol green method	mg/g dry weight, DW	$1.60 \pm 0.10^{(b)}$	5.15	5.00
Saponin	Uematsu method		$3.50 \pm 0.20^{(c)}$	108.24	24.00
Flavonoid	The Dowd method		$0.30 \pm 0.10^{(a)}$	118.03	257.00
Phenolic	Folin-Ciocalteu method		$3.60 \pm 0.01^{(c)}$	Not report	70.07
Tannin	Konate and Souza method		$3.50 \pm 0.10^{(c)}$	85.87	165.00

a, b Data obtained from [22] and [6], respectively.
(a), (b),(c) - Statistical analysis. Different letter(s) in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

The Chemical Composition of Oil Palm Fruit at Various Time of Harvesting

Phenolic contents were also determined from oil palm fruit after 0-240 h of harvesting. The highest phenolic content for methanolic extract was 3.60 ± 0.01 mg gallic acid equivalents (GAE)/g DW after 0 h of harvesting. The phenolic content gradually decreased during 0-240 h after harvesting to a relatively low level (2.80 ± 0.01 mg GAE/g DW) (Table 3). Oil palm fruit at 0 h of harvesting yielded the highest vitamin E content (0.10 ± 0.01 mg/g DW) and protein (2.40 ± 0.01 mg/g DW). The level of tocols and carotene during various times after harvesting were also investigated. The highest tocopherol (850 mg/kg), tocotrienol (800 mg/kg) and carotene (790 mg/kg) were observed at 0 h after harvesting. However, oil palm fruit (this study) contained low amounts of tocopherol when compared to the other reports [1-4]. It was due to many physical and environment factors such as palm varieties and cultivation area that affected the tocols contents [2, 6].

Table 3 Phenolic content, vitamin E, lipase, tocopherol, tocotrienol and carotene of the methanolic extract from oil palm fruit after 0-240 h of harvesting.

Hour after harvested (h)	Phenolic content (mg GAE/g DW)	Vitamin E content (mg/g DW)	Protein content (mg/g DW)	Lipase activity (U/mg)	Total tocopherol (mg/kg)	Total tocotrienol (mg/kg)	Total carotene (mg/kg)
0	3.60 ± 0.01$^{(d)}$	0.10 ± 0.01$^{(d)}$	2.40 ± 0.01$^{(e)}$	0.30 ± 0.01$^{(a)}$	850 ± 1.20$^{(h)}$	800 ± 2.40$^{(h)}$	790 ± 7.00$^{(k)}$
24	3.20 ± 0.01$^{(c)}$	0.09 ± 0.01$^{(d)}$	1.00 ± 0.01$^{(d)}$	0.60 ± 0.01$^{(b)}$	845 ± 2.10$^{(g)}$	789 ± 2.10$^{(g)}$	720 ± 1.30$^{(j)}$
48	3.20 ± 0.01$^{(c)}$	0.09 ± 0.01$^{(d)}$	0.90 ± 0.01$^{(d)}$	0.80 ± 0.01$^{(c)}$	820 ± 2.00$^{(f)}$	750 ± 1.90$^{(f)}$	680 ± 2.00$^{(i)}$
72	3.00 ± 0.01$^{(b)}$	0.08 ± 0.01$^{(c,d)}$	0.80 ± 0.01$^{(c,d)}$	1.00 ± 0.01$^{(d)}$	780 ± 1.50$^{(e)}$	751 ± 2.40$^{(f)}$	650 ± 4.00$^{(h)}$
96	3.00 ± 0.01$^{(b)}$	0.08 ± 0.01$^{(c,d)}$	0.80 ± 0.01$^{(c,d)}$	1.20 ± 0.01$^{(e)}$	700 ± 2.10$^{(d)}$	700 ± 2.40$^{(e)}$	580± 8.00$^{(g)}$
120	3.00 ± 0.01$^{(b)}$	0.07 ± 0.01$^{(c)}$	0.70 ± 0.01$^{(c)}$	1.40 ± 0.01$^{(f)}$	650 ± 1.80$^{(c)}$	680 ± 2.10$^{(d)}$	530 ± 5.00$^{(f)}$
144	3.00 ± 0.01$^{(b)}$	0.07 ± 0.01$^{(c)}$	0.70 ± 0.01$^{(c)}$	1.10 ± 0.01$^{(d,e)}$	650 ± 1.80$^{(c)}$	650 ± 1.50$^{(c)}$	450 ± 7.00$^{(e)}$
168	2.80 ± 0.01$^{(a)}$	0.06 ± 0.01$^{(b)}$	0.60 ± 0.01$^{(b)}$	1.00 ± 0.01$^{(d)}$	600 ± 1.00$^{(b)}$	600 ± 2.10$^{(b)}$	340 ± 2.00$^{(d)}$
192	2.80 ± 0.01$^{(a)}$	0.05 ± 0.01$^{(b)}$	0.60 ± 0.01$^{(b)}$	1.00 ± 0.01$^{(d)}$	600 ± 1.50$^{(b)}$	600 ± 1.90$^{(b)}$	260 ± 2.00$^{(c)}$
216	2.80 ± 0.01$^{(a)}$	0.03 ± 0.01$^{(a)}$	0.50 ± 0.01$^{(a)}$	1.00 ± 0.01$^{(d)}$	600 ± 1.00$^{(b)}$	600 ± 1.80$^{(b)}$	200 ± 3.00$^{(b)}$
240	2.80 ± 0.01$^{(a)}$	0.03 ± 0.01$^{(a)}$	0.50 ± 0.01$^{(a)}$	0.80 ± 0.01$^{(c)}$	580 ± 1.50$^{(a)}$	589 ± 1.90$^{(a)}$	130 ± 1.00$^{(a)}$

(a), (b),(c)...(j) - Statistical analysis. Different letter(s) in the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

Antioxidant Activity using Radical Scavenging Activity

The activity of methanolic extract from oil palm fruit after 0-240 h of harvesting was determined by three *in vitro* methods. The highest content of antioxidant activity was observed in oil palm fruit at 0 h after harvesting. The level of antioxidant from oil palm fruit based on FRAP, ABTS and DPPH assay (IC50) was 10.05 mmol TE/100 g DW, 3.21 mmol TE/100 g DW and 5.0 µg/mL, respectively. High antioxidant activity corresponded with high phenolic as well as flavonoid content in oil palm fruit. Phenolic compounds, carotenoids, tocols and other phytochemicals from oil palm fruit exhibit antioxidant capacity causing the reduction of oxidative stress

attributed to chronic disease, heart disease, neurodegenerative disease, cancers and diabetes [20]. Palm carotenes have been known for their antioxidant activities such as preventing chromosomal damage in bone marrow, reducing on white blood cell counts and enhancing survival after X-ray irradiation [20].

Lipase Activity in Oil Palm and Its Application for Biodiesel Production

The lipase significantly increased from 0-120 h after harvesting (Table 3). The highest lipase activity (1.40 U/mg) was observed at 120 h after harvesting then the activity remained constant up to 216 h. Therefore, lipase was extracted from palm fruit at 120 h after harvesting. Afterwards, 20% of polyethylene glycol (PEG) 1000 and 15% sodium dihydrogen phosphate (NaH_2PO_4) were utilized to purify lipase from oil palm fruit. Lipase activity increased significantly from 1.40 U/mg to 4.76 U/mg after the purification step (data not shown). Crude and partial purified enzymes were utilized as catalysts for biodiesel production using the transesterification method. The optimal reaction time for biodiesel production using crude enzyme was 12 h while partial purified enzyme reached the highest methyl ester content (96.5%) after 6 h of incubation time. Generally, the suitable time for enzymatic reaction was around 6-24 h due to the source of enzyme and substrate. In this study, the highest methyl ester content (98%) was achieved from biodiesel using crude lipase as the catalyst. It may due to the stable of enzyme in transesterification process. Normally, the longer an enzyme is incubated with its substrate, the greater the amount of product that will be formed. However, the rate of formation of product is not a simple linear function of the time of incubation. All proteins suffer denaturation, and hence loss of catalytic activity, with time. Some enzymes, especially in partially purified preparations, may be noticeably unstable, losing a significant amount of activity over the period of incubation. Purified enzymes in diluted solutions are denatured more rapidly than enzymes in crude extracts [20]. Biodiesel from lipase catalyst was characterized for the specifications according to Thailand's fuel and ASTM standards. An acid value (0.45 mg/g KOH), the viscosity (3.97 mm^2/s) and free fatty acid content (0.21%) of biodiesel from lipase were not significantly different from commercial biodiesel and it also passed Thailand's fuel and ASTM standards.

Conclusion

The presence of different biochemical constituents in oil palm fruit may indicate their possible use in pharmacology application. Palm fruit contained high content of antioxidant activity, saponin, phenol, tannin, phenolic, vitamin E, protein and carotene. In addition, lipase activity (1.40 U/mg) was achieved in palm fruit at 120 h of harvesting and the activity can be increased to 4.76 U/mg after partial purification. Palm lipase showed a possibility to catalyst transesterification reaction using waste cooking oil as substrate. The biodiesel with 96.5% methyl ester content was achieved after 6 h of reaction and biodiesel specifications were characterized and passed Thailand's fuel and ASTM standards.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Research and Development Institute at Thaksin University and Thailand Research Fund (RTA6080010) for financial support. Finally, we would like to thank Mr. Christopher Joseph Forti for useful comments and suggestions on the language and structure of our manuscript.

References

[1] Abdul Khalil, H.P.S., Siti Alwani, M., Ridzuan, R., Kamarudin, H. and Khairul, A. (2008). "Chemical composition, morphological characteristics, and cell wall structure of Malaysian oil palm fibers", **Polymer-Plastics Technology and Engineering**. 47, 273-280.

[2] Kok, S., Ong-Abdullah, M., Ee, G.C. and Namasiyayam, P. (2011). "Comparison of nutrient composition in kernel of tenera and clonal materials of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)", **Food Chemistry**. 129, 1343-1347.

[3] Edem, D.O. (2002). "Palm oil: biochemical, physiological, nutritional, hematological and toxicological aspects: a review", **Plant Foods for Human Nutrition**. 57, 319-341.

[4] Ahmad, A.L., Chan, C.Y., Abd Shukor, S.R. and Mashitah, M.D. (2008). "Recovery of oil and carotenes from palm oil mill effluent (POME)", **Chemical Engineering Journal**. 141, 383-386.

[5] Rhein, M. (2014). **Industrial Oil Palm Development : Liberia's Path to Sustained Economic Development and Shared Prosperity Lessons from the East**. Washington, DC: Rights and Resources Initiative.

[6] Yin, N.S., Abdullah, S. and Phin, C.K. (2013). "Phytochemical constituents from leaves of *Elaeis guineensis* and their antioxidant and antimicrobial activities", **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science**. 5, 137-140.

[7] Konate, K., Souza, A., Therese, K.Y., Dibala, I.C., Barro, N., Millogo, R.J. and Nacoulma, O.G. (2011). "Phytochemical composition, antioxidant and anti-inflammatory potential of bioactive fractions from extracts of three medicinal plants traditionally used to treat liver diseases in *Burkina Faso*", **International Journal of Phytomedicine**. 3, 406-415.

[8] Razavi, S.M.A. and Taghizadeh, M. (2007). "The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature and variety", **Journal of Food Engineering**. 79, 158–167.

[9] Teixeira, C.B., Macedo, G.A., Macedo, J.A., Da Silva, L.H.M., Da, C. and Rodrigues, A.M. (2013). "Simultaneous extraction of oil and antioxidant compounds from oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) by an aqueous enzymatic process", **Bioresource Technology**. 129, 575-581.

[10] AOAC. (1990). **Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists (14th ed)**. Washington, DC.

[11] Schieber, A., Marx, M. and Carle, R. (2002). "Simultaneous determination of carotenes and tocopherols in ATBC drinks by high-performance liquid chromatography", **Food Chemistry**. 76, 357-362.

[12] Kimtun, P., Choonut, O., Yunu, T., Paichid, N., Klomklao, S. and Sangkharak, K. (2015). "Biodiesel production using lipase from oil palm fruit as a catalyst", **Energy Procedia**. 79, 822-826.

[13] Bouhlali, Ed.T., Alem, C., Ennassir, J., Benlyas, M., Mbark, A.N. and Zegzouti, Y.F. (2015). "Phytochemical compositions and antioxidant capacity of three date (*Phoenix dactylifera* L.) seeds varieties grown in the South East Morocco", **Journal of the Saudi Society of Agricultural Science**. In pressed, available online 11 November 2015, from http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.11.002.

[14] Chen, Y., Xiao, B., Chang, J., Fu, Y., Lv, P. and Wang, X. (2009). "Synthesis of biodiesel from waste cooking oil using immobilized lipase in fixed bed reactor", **Energy Conversion and Management**. 50(3), 668-673.

[15] Eloff, J.N. (1998). "Which extractant should be used for the screening and isolation of antimicrobial components from plant?", **Journal of Enthnophamacology**. 60(1), 1-8.

[16] Atchley, A.A. (1984). "Nutritional value of palms", **Principles**. 28, 138-143.

[17] Dai, J. and Mumper, R.J. (2010). "Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties", **Molecules**. 15, 7313–7352.

[18] Amira, E.A., Behija, S.E., Beligh, M., Lamia, L., Manel, I., Mohamed, H. and Lotfi, A. (2012). "Effect of the ripening stage on phenolic profile, phytochemical composition and antioxidant activity of date palm fruit", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 60, 10896-10902.

[19] Ong, H.C. (2004). **Tumuhan liar. Khasiat Ubatan Dan Kegunaan Lain**. Utusan Publication and Distributor, Kuala Lumpur.

[20] Neo, Y.P., Ariffin, A. and Tan, C.P. (2010). "Phenolic acid analysis and antioxidant activity assessment of oil palm (*E. guineensis*) fruit extract", **Food Chemistry**. 122, 353-359.

[21] Bruice, T.C. and Benkovic, S.J. (2000). "Chemical basis for enzyme catalysis", **Biochemistry**. 39, 6267-6274.

[22] Ajayi, O.E., Awala, S.I., Ogunleye, A.G. and Okogbue, F.N. (2016). "Antimicrobial screening and phytochemical analysis of *Elaeis guineensis* (Ewe Igi Ope) against *Salmonella* strains", **British Journal of Pharmaceutical Research**. 10(3), 1-9.

บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว de Mann Rogasa Sharpe (MRS) เพื่อตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติก

Application of Petrifilm™ Aerobic Count Plate Associated with de Mann Rogasa Sharpe (MRS) Broth for Enumeration Lactic Acid Bacteria

มณฑล เลิศคณาวนิชกุล[1, 2*] กิจติศักดิ์ ชววิสิฐ[1] ภานุวัฒน์ นันทะกูล[3] และรวิวรรณ เนาว์สุวรรณ์[3] วรัญญา ปังสี[3]
Monthon Lertcanawanichakul[1, 2*], Kittisak Chawawisit[1, 2], Panuwat Nantakoon[3], Rawiwan Noasuwan[3] and Warunya Pangsee[3]

บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แผ่นตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว de Mann Rogasa Sharpe (MRS) เพื่อตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์ที่นำมาศึกษาจำนวน 4 ชนิด [*Pediococcus pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *Ped. acidilactici* L25 (L25) *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26) และ *Enterococcus faecium* N15 (N15)] โดยเปรียบเทียบกับวิธีตรวจนับแบบการกระจายเชื้อ ด้วยการใช้ระดับเซลล์ตั้งต้น 1.5×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร รวมทั้งตัวอย่างจากนมหมักพบว่าวิธีการทั้ง 2 สามารถตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกที่นำมาศึกษาทุกชนิดได้ที่ระดับการเจือจาง 10^{-6} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับผลิตภัณฑ์นมหมัก นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกต่ำสุดของ L25 L26 และ N15 ได้ที่ระดับการเจือจาง 10^{-8} ในขณะที่สามารถตรวจนับจำนวนของแบคทีเรียกรดแลคติกต่ำสุดของ L14/1 ที่ระดับการเจือจาง 10^{-7} เมื่อตรวจนับด้วยวิธีการใช้แผ่นตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผ่นตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS สามารถนำไปใช้ในเบื้องต้นเพื่อตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์

คำสำคัญ: การตรวจนับแบคทีเรีย แบคทีเรียกรดแลคติก ผลิตภัณฑ์นมหมัก เพททริฟิล์ม

[1] รศ.ดร., สาขาเทคนิคการแพทย์ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161
[2] หน่วยวิจัยการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161
[3] นักเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80161
[1] Assoc. Prof. Dr., Division of Medical Technology, School of Allied Health Sciences, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161
[2] The Research Unit of Natural Products Utilization, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161
[3] Medical Technologist, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, 80161
[*] Corresponding author: Tel./Fax. 075672104 / 075672106. E-mail address: lmonthon55@gmail.com

Abstract

This study was aimed to compare the enumeration of Lactic Acid Bacteria (LAB) between spread plate method and using of Petrifilm™ Aerobic Count Plate associated with de Mann Rogasa Sharpe (MRS) broth. They were used to enumerate of 4 tested LABs [*Pediococcus pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1), *Ped. acidilactici* L25 (L25), *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26), *Enterococcus faecium* N15 (N15)] and LABs from fermented milks. The results indicated that both methods could be enumerated the tested LAB from starter (1.5×10^{8} cfu/ml) at dilution rate of 10^{-6} are not statistically different ($p < 0.05$) but are statistically different when enumerated from yoghurts at dilution rate of 10^{-6} and 10^{-8}. However, the detection limit of colonies of LAB could be enumerated, using Petrifilm™ Aerobic Count Plate associated with MRS broth, at dilution rate of 10^{-8}. From the results it may imply that Petrifilm™ Aerobic Count Plate associated with MRS broth could be efficaciously used for enumeration of LABs.

Keywords: Enumeration Method, Lactic Acid Bacteria, Fermented Milks, Petrifilm

บทนำ

โปรไบโอติก (Probiotic) มักถูกกล่าวถึงชนิดของแบคทีเรียกรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่ มีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นในด้านการช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร [1-2] แบคทีเรียกรดแลคติกสามารถต้านจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้เนื่องจากกรดแลคติกที่แบคทีเรียกรดแลคติกผลิตขึ้นมา จึงได้มีการนำเอาแบคทีเรียกรดแลคติกไปใช้ประโยชน์ในแง่ของการนำไปเป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการหมักเพื่อให้อาหารมีรสชาติและกลิ่นที่มีลักษณะเฉพาะรวมไปถึงคุณประโยชน์อื่นๆและยังช่วยเพิ่มคุณค่าอาหารเหล่านั้นที่อยู่ในรูปลักษณ์ที่เรียกว่า “อาหารฟังก์ชัน” [2-3] แต่การที่จะได้รับประโยชน์อย่างสูงสุดจากอาหารฟังก์ชันจำเป็นต้องมีปริมาณเชื้ออยู่ในระดับ 10^{8}-10^{11} เซลล์ต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) หรือโดยเฉลี่ย 10^{6} CFU/ml เป็นอย่างน้อย [4] โดยการตรวจนับเชื้อแบบดั้งเดิม คือ การกระจายเชื้อหรือการเกลี่ยเชื้อ (Spread Plate) ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับกันว่าเป็นวิธีที่มีความไวสูงและประหยัด แต่บางครั้งวิธี spread plate อาจขาดความถูกต้องแม่นยำเนื่องจากใช้ปริมาณตัวอย่างค่อนข้างน้อย (0.1 มิลลิลิตร) ในการกระจายเชื้อในจานเพาะเชื้อ [4-5] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ตัวอย่างมีเซลล์หรือจุลินทรีย์อยู่ในปริมาณต่ำ นอกจากนี้การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ การเพาะเชื้อลงบนจานเพาะเชื้อ การนับจำนวนโคโลนี และการดูลักษณะเฉพาะทางชีวเคมี มีความจำเป็นต้องใช้ทักษะความชำนาญของผู้ที่มีประสบการณ์และต้องใช้แรงงานมาก จึงได้มีการพัฒนาคิดค้นวิธีที่ทันสมัยเพื่อตรวจหาและตรวจนับจำนวนแบคทีเรียด้วยเทคนิค real-time PCR ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาหาปริมาณของเชื้อแบคทีเรียที่มีปะปนอยู่ในตัวอย่างศึกษา โดยจะเป็นวิธีที่มีความไวสูง มีความแม่นยำ สะดวกรวดเร็วกว่าวิธีดั้งเดิม แต่ค่าใช้จ่ายในการทดลองสูงมาก [6] จึงได้มีการหาวิธีการใหม่หรือทางเลือกใหม่ในการตรวจหาและตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกด้วยการประยุกต์ใช้แผ่น Petrifilm™ ที่อาศัยหลักการของ agar-poured plate สามารถนับโคโลนีบนแผ่นฟิล์มได้ด้วยตาเปล่า [7-9] อย่างไรก็ตามแผ่น Petrifilm™ ที่ใช้สำหรับตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกโดยตรงยังไม่มีวางจำหน่าย แต่ได้มีคำแนะนำจากคู่มือการแปลผลให้มีการประยุกต์ใช้แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ไปใช้เพื่อตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก [10] ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว de Mann Rogosa Sharpe (MRS) ดังนั้นจึงสนใจตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์ รวมถึงแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์นมหมักไปเปรียบเทียบกับ

วิธีการตรวจนับแบบดั้งเดิมเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการตรวจนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียกรดแลคติกจากการประยุกต์ใช้แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate รวมทั้งระยะเวลาและความสะดวกในการใช้งาน อันอาจจะได้ข้อมูลยืนยันเกี่ยวกับการนำเอาแผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate มาประยุกต์ใช้ในงานตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วัสดุ วิธีการวิจัย

แบคทีเรียกรดแลคติคและผลิตภัณฑ์นมหมัก

Pediococcus pentosaceus 1 L14/1 (L14/1), *Ped. acidilactici* L25 (L25), *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26) และ *Enterococcus faecium* N15 (N15) [11-14] ใช้เป็นแบคทีเรียกรดแลคติกมาตรฐาน ส่วนผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์นมหมัก (โยเกิร์ต นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม) ใช้เป็นตัวแทนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากแบคทีเรียกรดแลคติก

การเตรียมแบคทีเรียกรดแลคติก

นำแบคทีเรียกรดแลคติก มาแยกขีดลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (°ซ) ใน candle jar (5% CO_2) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ชม.) หรือจนกระทั่งปรากฏโคโลนี แล้วเลือกโคโลนีเดี่ยวมาแยกขีดซ้ำลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS อีกครั้ง โดยบ่มเลี้ยงเชื้อไว้ที่สภาวะเช่นเดียวกับข้างต้น จากนั้นยืนยันเชื้อด้วยการย้อมสีแบบแกรมและวินิจฉัยเชื้อเบื้องต้นด้วยการนำไปทดสอบเอนไซม์คะตาเลส [1-2]

การเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจนับเซลล์

1. แบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์

นำแบคทีเรียกรดแลคติกที่เตรียมได้จากข้างต้นมาแยกปรับเทียบความขุ่นให้เท่ากับ McFarland No.0.5 (1.5×10^8 CFU/ml) ในสารละลายน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% (0.85% NaCl) แล้วเจือจางแบบ 10 เท่า จนถึง 10^{-8} แล้วนำสารแขวนลอยเชื้อที่ระดับความเจือจาง 10^{-4}-10^{-6} ไปตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก

2. ผลิตภัณฑ์นมหมัก (โยเกิร์ต นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม)

สุ่มเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นมหมัก ชนิดละ 3 ขวด แล้วนำชนิดที่เหมือนกันไปผสมรวมกันเพื่อเพิ่มอัตราการตรวจพบเชื้อ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์นมหมักปริมาตร 25 มิลลิลิตร (มล.) ใส่ลงใน 0.85% NaCl ปริมาตร 225 มล. และเจือจางแบบ 10 เท่าต่อไปจนถึง 10^{-8} จากนั้นนำผลิตภัณฑ์นมหมักที่ระดับความเจือจาง 10^{-6}-10^{-8} ไปตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก

การตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติก

1. วิธีการกระจายเชื้อ (spread plate method)

ดูดสารแขวนลอยเชื้อจากระดับความเจือจางที่ 10^{-4}-10^{-6} ที่เตรียมไว้แล้วในข้างต้นมาปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร (มล.) ไปเกลี่ยลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS ด้วยเทคนิคการกระจายเชื้อ นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ^{0}ซ ใน candle jar เป็นเวลา 48 ชม.และตรวจนับโคโลนี และทำซ้ำวิธีการเดิมแต่เปลี่ยนชนิดของตัวอย่างไปเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่ถูกเจือจางแล้วในข้างต้นที่ระดับความเจือจาง 10^{-6}-10^{-8} ทำการทดสอบทั้งหมด 2 ซ้ำและทำการทดสอบ 3 ครั้งในแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์และผลิตภัณฑ์นมหมัก

2. Petrifilm™ Aerobic Count Plate

นำสารแขวนลอยเชื้อที่ระดับความเจือจาง 10^{-4}-10^{-6} ของแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์และที่ระดับความเจือจาง 10^{-6}-10^{-8} ของผลิตภัณฑ์นมหมักไปผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ความเข้มข้น 2 เท่าจากสูตรปกติ (2x MRS) อย่างละครึ่ง (อัตราส่วน 1:2) แล้วดูดสารแขวนลอยเชื้อปริมาตร 1 มล. ถ่ายลงบนแผ่น Petrifilm [10] บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ^{o}ซ ใน candle jar เป็นเวลา 48 ชม. แล้วตรวจนับโคโลนีสีแดง ตามคำแนะนำของคู่มือการแปลผล [10]

จำนวนต่ำสุดของแบคทีเรียกรดแลคติกที่สามารถตรวจนับได้ด้วยแผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS

นำสารแขวนลอยเชื้อและสารแขวนลอยผลิตภัณฑ์นมหมักที่ระดับความเจือจางตั้งแต่ 10^{-1}-10^{-8} ไปแยกตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกด้วยวิธีการตรวจนับเช่นเดียวกันกับในหัวข้อการตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกเปรียบเทียบจำนวนโคโลนีที่ปรากฏบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS และแผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ Paired T-test ของเพียร์สัน (Pearson) และดูค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ [Correlation coefficient (r)] ของวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS เปรียบเทียบกับวิธีการกระจายเชื้อ

ผลการวิจัย

การตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติก

1.การตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์

การตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์ด้วยการกระจายเชื้อบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS เปรียบเทียบกับวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่ระดับการเจือจาง 10^{-4} ถึง 10^{-6} ของจำนวนเซลล์ตั้งต้น 1.5×10^{8} เซลล์ต่อมิลลิลิตร พบว่าสามารถตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดที่นำมาศึกษาจากทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับการเจือจาง 10^{-6} ($p < 0.05$) แต่ที่ระดับการเจือจาง 10^{-4} พบว่าจำนวนโคโลนีที่นับได้จากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์เมื่อตรวจนับโดยวิธีการกระจายเชื้อบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS เปรียบเทียบกับวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS

ระดับการเจือจาง	วิธีการ	จำนวนเซลล์ ($\times10^{8}$) ต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) Mean ± SD			
		L14/1	L25	L26	N15
10^{-4}	Spread	1593.33 ± 676.72	2052.67 ± 158.92	2231.67 ± 144.70	1365.00 ± 786.28
	Petrifilm	476.00 ± 0.00*	476.00 ± 0.00*	476.00 ± 0.00*	476.00 ± 0.00*
10^{-5}	Spread	240.00 ± 95.28	231.67 ± 60.80	250.00 ± 65.42	190.00 ± 50.60
	Petrifilm	200.00 ± 133.49	168.33 ± 32.95	158.67 ± 23.00*	133.33 ± 39.27*
10^{-6}	Spread	38.33 ± 13.29	35.00 ± 25.10	30.00 ± 14.14	43.33 ± 15.06
	Petrifilm	25.00 ± 16.33	24.00 ± 4.20	36.33 ± 13.05	43.50 ± 13.53

L14/1, *Ped. pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1); L25, *Ped. acidilactici* L25 (L25); L26, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26); N15,: *Enterococcus faecium* N15 (N15); Spread, วิธีการกระจายเชื้อในจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS; Petrifilm: วิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS; *, $p < 0.05$ vs วิธีการกระจายเชื้อ

2. การตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกจากผลิตภัณฑ์นมหมัก

การตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกจากผลิตภัณฑ์นมหมักโดยวิธีการตรวจนับแบบการกระจายเชื้อในจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS เปรียบเทียบกับวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ตั้งแต่ระดับการเจือจาง 10^{-6}-10^{-8} พบว่า ผลิตภัณฑ์นมหมักให้ผลการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรด แลคติกทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์นมหมักเมื่อตรวจนับโดยวิธีการกระจายเชื้อบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS เปรียบเทียบกับวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS

ระดับการเจือจาง	วิธีการ	จำนวนเซลล์ ($\times 10^8$) ต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) Mean ± SD		ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	
		นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม	โยเกิร์ต	นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม	โยเกิร์ต
10^{-6}	Spread	> 300.00	26.00 ± 2.91	ND	ND
	Petrifilm	3.30 ± 0.20	0.45 ± 0.27*		
10^{-7}	Spread	123.33 ± 23.16	123.33 ± 7.02	r=0.003	r=0.643
	Petrifilm	5.67 ± 0.83*	2.13 ± 1.14*		
10^{-8}	Spread	673.33 ± 234.59	596.67 ± 104.08	r=0.006	r=0.500
	Petrifilm	16.00 ± 7.21*	7.33 ± 4.16*		

Spread, วิธีการกระจายเชื้อในจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS; Petrifilm: วิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS; ND, ไม่พบความสัมพันธ์; *, $p < 0.05$ vs วิธีการกระจายเชื้อ

ความสัมพันธ์ของวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS กับวิธีการกระจายเชื้อ

การหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS กับวิธีการกระจายเชื้อในแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์ ที่ระดับการเจือจาง 10^{-4}-10^{-6} พบว่าเชื้อ *Ped. pentosaceus* 1 L14/1 มีความสัมพันธ์กันสูงที่ระดับการเจือจาง 10^{-5}(r=0.949) เชื้อ *Ent. faecium* N15 มีความสัมพันธ์กันน้อยที่ระดับการเจือจาง 10^{-5} (r=0.517) และ 10^{-6} (r=0.491) เชื้อ *Lc. lactis* ssp. *lactis* 1 L26 มีความสัมพันธ์กันน้อยที่ระดับการเจือจาง 10^{-6} (r=0.368) และ *Ped. acidilactici* L25 ไม่มีความสัมพันธ์ (r=-0.490 ที่ 10^{-5}, r=-0.760 ที่ 10^{-6})

สำหรับผลิตภัณฑ์นมหมักพบว่าทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันปานกลางถึงน้อยที่ระดับการเจือจาง 10^{-7} (r=0.643) และ 10^{-8} (r=0.500) ในโยเกิร์ต แต่ในนมเปรี้ยวพร้อมดื่มทั้งสองวิธีไม่มีความสัมพันธ์ (r=0.003 ที่ 10^{-7}, r=0.006 ที่ 10^{-8})

ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกต่ำสุดที่สามารถตรวจนับได้

จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกต่ำสุดที่สามารถตรวจนับได้โดยวิธีการกระจายเชื้อบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS พบว่าสามารถตรวจนับโคโลนีได้ที่ระดับการเจือจาง 10^{-6} ยกเว้นเชื้อ *Ent. faecium* N15 สามารถตรวจนับจำนวนโคโลนีได้ที่ระดับการเจือจาง 10^{-8} ส่วนการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกด้วยวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS พบว่าสามารถตรวจนับจำนวนโคโลนีได้ที่ระดับการเจือจาง 10^{-8} ยกเว้นเชื้อ *Ped. pentosaceus*1 L14/1 สามารถตรวจนับจำนวนโคโลนีได้ที่ระดับการเจือจาง10^{-7} (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์ต่ำสุดที่สามารถตรวจนับได้โดยวิธีการกระจายเชื้อบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS กับวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS

ระดับการเจือจาง	วิธีการ	จำนวนเซลล์ (X10^8) ต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) Mean ± SD			
		L14/1	L25	L26	N15
10^{-4}	Spread	1593.33 ± 676.72	2051.67 ± 158.92	2231.67 ± 144.70	1365.00 ± 786.28
	Petrifilm	476.00 ± 0.00	476.00 ± 0.00	476.00 ± 0.00	476.00 ± 0.00
10^{-5}	Spread	240.00 ± 95.29	231.67 ± 60.80	250.00 ± 65.42	190.00 ± 50.60
	Petrifilm	200.00 ± 133.49	168.33 ± 32.95	158.67 ± 23.00	133.33 ± 39.27
10^{-6}	Spread	38.33 ± 13.29	35.00 ± 25.10	30.00 ± 14.14	43.33 ± 15.06
	Petrifilm	25.00 ± 16.33	24.00 ± 4.20	36.33 ± 13.05	43.50 ± 13.53
10^{-7}	Spread	10.00 ± 10.95	0	0	20.00 ± 16.73
	Petrifilm	7.00 ± 6.16	4.33 ± 2.34	5.33 ± 3.01	10.67 ± 4.13
10^{-8}	Spread	0	0	0	6.67 ± 12.11
	Petrifilm	0	2.67 ± 1.63	1.67 ± 1.97	5.00 ± 2.76

L14/1, *Ped. pentosaceus* 1 L14/1 (L14/1); L25, *Ped. acidilactici* L25 (L25); L26, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 L26 (L26); N15, *Enterococcus faecium* N15 (N15); Spread, วิธีการกระจายเชื้อในจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MRS; Petrifilm: วิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS

อภิปรายผลการวิจัย

การตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติก

จากผลการทดลองสามารถตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์ที่มีจำนวนเซลล์เริ่มต้น 1.5×10^8 CFU/ml ได้ตั้งแต่ที่ระดับการเจือจาง 10^{-4}-10^{-6} จากทั้ง 2 วิธี และให้ผลการตรวจนับจำนวนโคโลนีไม่แตกต่างกันที่ระดับการเจือจาง 10^{-6} แต่ที่ระดับการเจือจาง 10^{-4} ให้ผลการตรวจนับจำนวนโคโลนีจากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 1) อาจเนื่องมาจากมีปริมาณของแบคทีเรียกรดแลคติกมากเกินไปและมีข้อจำกัดของการตรวจนับจำนวนโคโลนีโดยวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ซึ่งกำหนดจำนวนโคโลนีที่สามารถนับได้ไม่ควรเกิน 250 CFU/ml [10] แต่อย่างไรก็ตามการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกโดยวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate มีความรวดเร็วและใช้แรงงานน้อยกว่าเนื่องจากไม่ต้องเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อในปริมาณมากๆ และได้มีรายงานเกี่ยวกับการใช้แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ในการตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติก lactococci ไม่พบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจนับโดยวิธีการกระจายเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ Elliker และ M17 [16] อีกทั้งสามารถสรุปได้ว่าสามารถใช้วิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plates เป็นวิธีเริ่มต้นในการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์เพราะเป็นวิธีที่ประหยัดเวลา และคล้ายคลึงกับวิธีการเขย่าจานเพาะเชื้อ (Pour Plate Method) เพราะใช้ปริมาตรในการตรวจนับจำนวนเท่ากับ 1 มล. นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการตรวจนับแบคทีเรียที่เจริญโดยใช้อากาศใน goate's cheese ด้วยการใช้วิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate เปรียบเทียบกับวิธีแบบดั้งเดิมด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Aagar (PCA) มีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน ($t = 1.33$, $p = 0.193$) และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นของ

ข้อมูลไม่แตกต่างกัน (r=0.971, p= 0.0001) [7] หรือการนำแผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ไปตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในนมดิบเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมแบบเขย่าจานเพาะเชื้อ (Pour Plate Method) ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS, KF และ KFS พบว่ามีดัชนีความสัมพันธ์ที่ดีมาก (r= 0.97) สำหรับ MRS และดีสำหรับ KFS (r= 0.84) และ KF (r= 0.82) แต่อาจมีผลรบกวนเล็กน้อยจากกรดแลคติกที่เชื้อผลิตออกมา อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการใช้วิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate เป็นทางเลือกหนึ่งที่สะดวก รวดเร็ว และเหมาะสำหรับเป็นวิธีมาตรฐานในการตรวจนับทั้ง Aerobic Bacteria และแบคทีเรียกรดแลคติกในน้ำนม [7, 15]

การศึกษาในครั้งนี้พบว่าทั้งสองวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถตรวจนับจำนวนโคโลนีได้จากผลิตภัณฑ์นมหมักที่ระดับการเจือจาง 10^{-6}-10^{-8} แต่ให้ผลการตรวจนับโคโลนีของทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามวิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ยังไม่เหมาะสมกับการนับจำนวนแบคทีเรียจากผลิตภัณฑ์นมหมักโดยตรงเพราะยังไม่มีแหล่งอาหารที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียกรดแลคติก จึงได้ปรับปรุงการใช้งานโดยการผสมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ลงไปพร้อมกับผลิตภัณฑ์นมหมักตามคำแนะนำของคู่มือการใช้งานเพื่อช่วยกระตุ้นให้แบคทีเรียกรดแลคติกเจริญได้ดีขึ้น แต่เมื่อมีการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกอาจทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะเป็นกรดและอาจส่งผลต่อการตรวจนับจำนวนของแบคทีเรียกรดแลคติก [8, 15] หรืออาจจะเกิดจากองค์ประกอบของสารเคมีที่มีอยู่ในแผ่น Petrifilm™ ไปยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติก จึงทำให้ในบางค่าของการเจือจางมีจำนวนของการตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติดได้แตกต่างกันจากทั้งสองวิธี แต่ถ้าหากไม่คำนึงถึงชนิดของกลุ่มแบคทีเรียก็จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ในการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งจากแบคทีเรียกรดแลคติคบริสุทธิ์หรือผลิตภัณฑ์นมหมัก ซึ่งจากรายงานการใช้แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว M17 หรืออาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ที่ pH 5.4 มีความเหมาะสมในการตรวจ *Strep. salivarius* แต่ยังไม่เหมาะสมมากนักที่จะนับไปตรวจนับจำนวนของ *Lb. bulgaricus* อาจเนื่องมาจากสภาวะกรดของอาหารเลี้ยงเชื้อ [8] โดยอาจเนื่องมาจากความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมของเชื้อแต่ละชนิดแตกต่างกัน

การหาปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกต่ำสุดที่สามารถตรวจนับได้

แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate เมื่อใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS สามารถให้ผลการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกต่ำสุดได้ที่ระดับการเจือจาง 10^{-8} (≤10 CFU/ml) ที่ระดับเซลล์ตั้งต้น 1.5×10^{8} CFU/ml ซึ่งต่างจากการตรวจนับด้วยวิธีการกระจายเชื้อ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าแผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate สามารถตรวจนับแบคทีเรียที่มีปริมาณเชื้อน้อย หรืออาจเนื่องมาจากการใช้ปริมาตรของการตรวจนับจากทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันคือ วิธีการกระจายเชื้อจะใช้ปริมาตรเพียง 0.1 มล.แต่ วิธี Petrifilm™ Aerobic Count Plate ใช้ปริมาตร 1 มล. จึงทำให้จำนวนโคโลนีที่นับจากทั้งสองวิธีแตกต่างกันแต่มีรายงานสนับสนุนว่าแผ่น Petrifilm™ มีประสิทธิภาพในการตรวจนับแบคทีเรียในปริมาณเชื้อน้อยได้โดยพบว่ามีการประยุกต์แผ่น Petrifilm™ *E. coli* สามารถตรวจนับเชื้อ *Escherichia coli* จากดิน และมูลสุกรในปริมาณเซลล์เพียง 10 CFU/g [17]

สรุปผลการวิจัย

แบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์ที่นำมาศึกษาที่ระดับเซลล์ตั้งต้น 1.5×10^{8} CFU/ml สามารถถูกตรวจนับได้ด้วยแผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ที่ระดับเซลล์ 10-10^{5} CFU/ml โดยพบว่าไม่มีความแตกต่างกับการตรวจนับแบบวิธีการกระจายเชื้อที่ระดับเซลล์ 10^{2} CFU/ml แต่สำหรับการตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติกจากผลิตภัณฑ์นมหมักจากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอาจเนื่องมาจากองค์ประกอบที่มีอยู่

ในผลิตภัณฑ์นมหมักไปบดบังการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติก อย่างไรก็ตามการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกด้วยแผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS แสดงผลการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกได้มีความใกล้เคียงกับวิธีการตรวจนับแบบกระจายเชื้อ และหากไม่คำนึงถึงชนิดของแบคทีเรียกรดแลคติกจะเห็นได้ว่าแผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate สามารถตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกต่ำสุดได้ที่ระดับเซลล์ 10 CFU/ml ซึ่งดีกว่าการตรวจนับแบบวิธีการกระจายเชื้อ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ที่ใช้ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS มีความรวดเร็วและง่ายในการนำไปใช้ปฏิบัติเพื่อตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์เพราะให้ค่าของการตรวจนับของแบคทีเรียกรดแลคติกแต่ละชนิดมีความใกล้เคียงกัน รวมทั้งสามารถตรวจนับจำนวนเซลล์ต่ำสุดได้ดีกว่าการตรวจนับแบบวิธีการกระจายเชื้อ จึงอาจมีความเป็นไปได้ที่จะใช้แผ่น Petrifilm™ Aerobic Count Plate ร่วมกับอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS ไปประยุกต์ใช้เป็นวิธีการเบื้องต้นในตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกบริสุทธิ์ได้ แต่หากจะนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจนับจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมหมักอาจต้องมีการปรับค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์นมหมักให้มีความเหมาะสมก่อนจะนำไปทดสอบ

คำขอบคุณ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากโครงการความร่วมมือเพื่อพัฒนางานวิจัยเชิงพื้นที่ ระหว่าง มวล. และ สกว. (ABC มวล. สกว.) รหัสทุน WU-TRF_ABC5901

เอกสารอ้างอิง

[1] Alvarez-Olmos, M.I. and Oberhelman, R.A. (2001). “Probiotic agents and infectious diseases: a modern perspective on a traditional therapy”, **Clinical Infectious Disease**. 32,1567-76.

[2] Roberfroid, M.B. (2000). Prebiotics and probiotics: are they functional foods? **American Journal of Clinical Nutrition**. 71(Suppl), 1 682S-7S.

[3] Bellisle, F., Diplock A.T. and Hornstra, G. (1998). “Functional food science in Europe. **British Journal of Nutrition**. 80(Suppl1), S3-4.

[4] Jain, S., Yadav, H. and Sinha. P.R. (2009). Antioxidant and cholesterol assimilation activities of selected lactobacilli and lactococci cultures”, **Journal Dairy Research**. 76, 385-91.

[5] Jackson, T.G., Taylor, G.R.J., Clohessy, A.M. and William, C.M. (1999). The effects of the daily intake of insulin on fasting lipid, insulin and glucose concentrations in middle-aged men and women. **British Journal of Nutrition**. 89, 23-30.

[6] Garcia, C.T., Tabasco, R., Pelaez, C. and Requena, T. (2009). “Simultaneous detection and enumeration of viable lactic acid bacteria and bifidobacteria in fermented milk by using propidium monoazide and real-time PCR”, **International of Dairy Journal**. 19, 405-409.

[7] de Sousa, G.B., Tamagnini, L.M., Gonzalez, R.D. and Budde, C.E. (2005). “Evaluation of Petrifilm method for enumerating aerobic bacteria in Crottin goat’s cheese”, **Revista Argentina De Microbiologia**. 37, 214-216.

[8] Gonçalves, M.M., Freitas, R., Nero, L.A. and Carvalho, A.F. (2009). "Enumeration of starter cultures during yogurt production using Petrifilm AC plates associated with acidified MRS and M17 broths", **Journal Dairy Research**. 76, 229-233.

[9] Wu, S., Chouliara, E., Jensen, L.B. and Dalsgaard, A. (2008). "Evaluation of Petrifilm™ Select *E. coli* Count Plate medium to discriminate antimicrobial resistant *Escherichia coli*", **Acta Veterinaria Scandinavica**. 50, 1-7.

[10] Interpretation Guide 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate Use for Growing Lactic Acid Bacteria. St. Paul, MN, USA, nd, np.

[11] Lertcanawanichakul, M. (2005). "Isolation and selection of anti-*Candida albicans* producing lactic acid bacteria", **Walailak Journal of Science & Technology**. 2(2), 179-187.

[12] Suchira, G. (2002). **Characterization and Antimicrobial Spectrum of Bacteriocin C3 Produced by *Lactococcus lactis* C3**. Thesis in Biopharmaceutical Science: Mahidol University, Bangkok : 105.

[13] Smet, D.I., Boever, P.D. and Verstraete, W. (1998). "Cholesterol lowering in pigs through enhanced bacterial bile salt hydrolase activity", **British Journal of Nutrition**. 79, 185-194.

[14] Losteinkit, C.H., Uchiyama, K.E., Ochi, S.H., Takaoka, T.O., Nagahisa, K.E. and Shioya, S.U. (2001). "Characterization of bacteriocin N15 produced by *Enterococcus faecium* N15 and cloning of the related genes", **Journal of Bioscience and Bioengineer**. 91, 390-395.

[15] Ortolani, M.B., Viçosa, G.N., Beloti, V. and Nero, L.A. (2007). "Screening and enumeration of lactic acid bacteria in milk using three different culture media in PAC and conventional pour plate methodology", **Journal of Dairy Research**. 74, 387-391.

[16] Champangne, C.P., Gardner, N., Piette, M. and Gelais, D.S. (2003). "The use of Petrifilm™ for the Enumeration of *Lactococci*", **International Dairy Journal**. 4, 789-795.

[17] Samarajeewa, A.D., Glasauer, S.M. and Dunfield, K.E. (2010). "Evaluation of Petrifilm EC method for enumeration of *E. coli* from soil", **Letter of Applied Microbiology**. 50, 457-461.

บทความวิจัย

ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ จากขยะอินทรีย์ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

The Nutrient Content of Various Compost from Organic Garbage in Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

วัฒนณรงค์ มากพันธ์[1*] เกษมสันติ์ คำบุญมา[2] และปิยะ ขวดแก้ว[2]

Wattananarong Markphan[1], Kasemsan Khambunma[2] and Piya Kardkeaw[2]

บทคัดย่อ

ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ จากขยะอินทรีย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช พบว่า ปริมาณธาตุอาหารปุ๋ยหมักแบบกลับกองในปุ๋ยหมักมูลสุกร และปุ๋ยหมักมูลแพะ แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบมากที่สุดในปุ๋ยหมักมูลแพะ คิดเป็นร้อยละ 0.00005 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดพบมากที่สุดในปุ๋ยหมักมูลสุกร คิดเป็นร้อยละ 0.000022 และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดพบมากที่สุดในปุ๋ยหมักมูลแพะ คิดเป็นร้อยละ 0.000308 ส่วนปริมาณธาตุอาหารแต่ละธาตุในปุ๋ยหมักน้ำแต่ละชนิดนั้นไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยนี้ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมักในน้ำ ปุ๋ยหมักแบบกลับกอง ธาตุอาหาร ขยะอินทรีย์

Abstract

Nutrient contents from organic garbage in Nakhon Si Thammarat Rajabhat University were studied and presented. It was found that the difference of nutrient contents on of the turned pile compost which were a pig and a goat manures, were statistically significant. The total amount of nitrogen in composting of the goat manure was found and equal to 0.00005%, the total amount of phosphorus in composting of the pig manure was found and equal to 0.000022% and the total amount of potassium in composting of the goat manure was also found in maximum value and equal to 0.000308%. Furthermore, the nutrient contents in the turned pile liquid compost were also studied and found not significant different. The total amount of nitrogen, phosphorus and potassium in turned pile liquid compost were found and equal to 0.2, 0.04 and 0.6 mg/l, respectively.

Keywords: Liquid Compost, Turned Pile Compost, Nutrients, Organic Garbage

[1] อ., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 80280

[2] นักศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช 80280

[1] Lecturer, Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat, 80280

[2] Undergraduate, Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat, 80280

[*] Corresponding author: E-mail address: Wattananarong@gmail.com. Tel. 0856743686

บทนำ

จากวิกฤตการณ์ขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายจากชุมชนที่มีปริมาณมากและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จนกระทั่งมีการสะสมตกค้างเป็นจำนวนมากในลักษณะการกองทิ้ง (Open Dump) ในพื้นที่ต่าง ๆ โดยไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ส่งผลให้เกิดเหตุไฟไหม้อันกระทบต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสุขภาพอนามัยของคนโดยรอบ จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556 พบว่า มีปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนเกิดขึ้นประมาณ 26.774 ล้านตัน โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการบริหารจัดการขยะมูลฝอย ตั้งแต่การจัดเก็บเคลื่อนย้าย รวมทั้งการทำลาย สามารถดำเนินการกำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกต้องได้เพียง 7.421 ล้านตัน และสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียง 5.1 ล้านตัน ในขณะที่ยังคงมีปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างสะสมอยู่ถึง 19.94 ล้านตัน ซึ่งการจัดการปัญหาดังกล่าวในระยะเวลาที่ผ่านมาถือว่าไม่ค่อยประสบผลความสำเร็จเท่าที่ควร ปัญหาที่เกิดขึ้นมีหลายประการ อาทิ การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายจากชุมชน ข้อจำกัดด้านงบประมาณและบุคลากร ข้อจำกัดด้านสถานที่ ข้อจำกัดด้านสมรรถนะองค์กร ปัญหาด้านการผลักดันนโยบายสู่การปฏิบัติ ปัญหาผลกระทบของสารเคมีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ปัญหาด้านการประชาสัมพันธ์ ปัญหาด้านระเบียบกฎหมาย ปัญหาขาดการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี [1] ขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลต่างๆ ถูกผลิตขึ้นเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน โดยมนุษย์และนับวันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณประชากรโลกเพิ่มมากขึ้นทำให้การบริโภคอุปโภคของมนุษย์สูงขึ้น กิจกรรมดังกล่าวส่งผลให้เกิดขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลซึ่งกำลังมีปัญหาทั้งด้านปริมาณและพิษของมัน แม้ว่าความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจะสูงขึ้น แต่การกำจัดของเหลือใช้เหล่านี้ยังไม่สามารถทำให้ปริมาณและพิษภัยของขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลเหล่านี้ลดไปได้ [2]

ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในช่วงต้นปี 2558 พบว่ามีปริมาณทั้งสิ้น 30.4 ล้านตัน และเมื่อสิ้นปี 2558 มีปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างคงเหลือ 10.46 ล้านตัน ซึ่งลดลงไปประมาณร้อยละ 66 เนื่องจากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการไม่ถูกต้อง บางแห่งได้แก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยตกค้างในเบื้องต้นด้วยการกลบทับขยะมูลฝอยดังกล่าวด้วยดิน รวมทั้งสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยบางแห่งได้ปิดดำเนินการ เช่น จังหวัดอุตรดิตถ์ เดิมในปี 2557 มีปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างทั้งสิ้น 23,218 ตัน แต่ ณ สิ้นปี 2558 จากการสำรวจพบว่าไม่มีขยะมูลฝอยตกค้างคงเหลืออยู่ เนื่องจากการจัดการขยะมูลฝอยตกค้างดังวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับพื้นที่ 6 จังหวัดเร่งด่วนที่ต้องดำเนินการกำจัดขยะมูลฝอยตกค้าง ได้แก่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นครปฐม สระบุรี ลพบุรี สมุทรปราการ และปทุมธานี มีการกำจัดขยะมูลฝอยตกค้าง โดยพบว่าจังหวัดพระนครศรีอยุธยามีขยะมูลฝอยตกค้างเหลืออยู่ 486,714 ตัน จังหวัดนครปฐม มีขยะมูลฝอยตกค้างเหลืออยู่ 131,343 ตัน จังหวัดสระบุรี มีขยะมูลฝอยตกค้างเหลืออยู่ 81,781 ตัน จังหวัดลพบุรี มีขยะมูลฝอยตกค้างเหลืออยู่ 274,534 ตัน จังหวัดสมุทรปราการ มีขยะมูลฝอยตกค้างเหลืออยู่ประมาณ 1,300,000 ตัน และจังหวัดปทุมธานี มีขยะมูลฝอยตกค้างเหลืออยู่ประมาณ 116,296 ตัน ซึ่งวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยคือการคัดแยกขยะ และใช้ประโยชน์จากขยะอินทรีย์ ขยะมูลฝอยประเภทนี้จะมีปริมาณมาก แต่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วน โดยการนำขยะประเภทเศษอาหาร พืช ผัก ผลไม้ต่างๆ ไปทำปุ๋ยหมักอินทรีย์ น้ำหมักชีวภาพสำหรับการใช้บำรุงดินเพื่อการเกษตร การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์เพื่อทดแทนพลังงานเชื้อเพลิง เป็นอาหารสัตว์ ประมาณ 1.04 ล้านตันหรือร้อยละ 21 [3] การกำจัดขยะด้วยวิธีการหมักทำปุ๋ย ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งนอกจากเป็นการกำจัดขยะแล้วยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ในรูปของปุ๋ยซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ แต่อย่างไรก็ดี การนำขยะมาหมักทำปุ๋ยไม่สามารถกำจัดขยะทุกประเภทให้หมดไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะมูลฝอยประเภทที่ย่อยสลายได้ยาก ขยะมูลฝอยที่สามารถนำมาหมักทำปุ๋ย ได้แก่ เศษอาหาร ใบไม้ กิ่งไม้ กระดาษ มูลสัตว์ ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ขี้เลื่อย และอื่นๆ [4] กล่าวได้ว่าปุ๋ยหมักเป็นการวัสดุในการบำรุงดิน เนื่องจากการใส่ปุ๋ยหมักลงในดินจะช่วยปรับปรุงลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดิน รวมไปถึงสมบัติทางชีวภาพของดิน ทำให้ดินมีสภาพที่

เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ช่วยเพิ่มการระบายอากาศในดิน และช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นปุ๋ยหมักยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งไม่มีส่วนประกอบของปุ๋ยเคมี [5]

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ก็เป็นอีกสถานที่หนึ่ง ที่มีขยะในปริมาณที่มาก ส่วนใหญ่เป็นขยะอินทรีย์ที่มาจากโรงอาหาร โดยปริมาณขยะจะเพิ่มตามจำนวนนักศึกษาที่เข้าไปใช้บริการ ซึ่งส่งผลระทบต่อสิ่งแวดล้อม กลิ่น ภาพลักษณ์ และทัศนียภาพในมหาวิทยาลัย ปริมารขยะที่เพิ่มขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ในการบำรุงดินในมหาวิทยาลัย สามารถลดการใช้สารเคมีหรือปุ๋ยเคมีได้ ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญและสนใจที่จะศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ให้มีคุณภาพดี โดยการหมัก 2 แบบ คือ ปุ๋ยหมักในน้ำ และปุ๋ยหมักแบบกลับกอง โดยใช้ขยะอินทรีย์จากโรงอาหารในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช เป็นการจัดการและสามารถลดปริมาณของขยะขยะอินทรีย์ ลงอีกช่องทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) ที่ได้จากการหมักขยะมูลฝอยแต่ละชนิด

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์และวิธีการ

1.1 ทำการรวบรวมเศษอาหารจากโรงอาหารในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชเป็นระยะเวลา 3 วัน ส่วนมูลสัตว์ ซึ่งได้แก่ มูลวัว มูลสุกร มูลแพะ โดยรวบรวมมูลสัตว์ต่างๆ ที่หาได้จากพื้นที่ในท้องถิ่น จังหวัดนครศรีธรรมราช

2. กระบวนการทำปุ๋ยหมัก โดยปุ๋ยหมักแต่ละชนิด มี 3 ชุดการทดลอง [6]

2.1 ปุ๋ยหมักแบบกลับกอง แต่ละสูตรมีส่วนผสมระหว่างมูลสัตว์ : กากน้ำตาล : น้ำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM : Effective Microorganism) : รำ : แกลบ เท่ากับ 6 : 0.5 : 0.25 : 2 : 2 กิโลกรัม เท่ากัน แต่ละสูตรมีส่วนผสม ดังนี้

1) มูลวัว + กากน้ำตาล + น้ำ EM + รำ + แกลบ
2) มูลสุกร + กากน้ำตาล + น้ำ EM + รำ + แกลบ
3) มูลแพะ + กากน้ำตาล + น้ำ EM + รำ + แกลบ

ทำการหมักปุ๋ยโดยเทกองบนพื้นดินที่รองด้วยแผ่นพลาสติก พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE : High Density Polyethylene) คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน ควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-60% จากนั้นกระจายปุ๋ยให้ทั่วแผ่นรอง ให้มีความหนาไม่เกิน 1 นิ้ว ทำการกลับกองทุกวันจนกว่าอุณหภูมิจะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน

2.2 ปุ๋ยหมักในน้ำ แต่ละสูตรมีส่วนผสมระหว่างเศษอาหาร : น้ำ : กากน้ำตาล : น้ำ EM เท่ากับ 3 กิโลกรัม : 20 : 10 : 1 : ลิตร เท่ากัน แต่ละสูตรมีส่วนผสม ดังนี้

1) เศษผัก : น้ำ : กากน้ำตาล : น้ำ EM
2) เศษอาหาร : น้ำ : กากน้ำตาล : น้ำ EM
3) ไส้ปลา : น้ำ : กากน้ำตาล : น้ำ EM

ทำการหมักปุ๋ยโดยบรรจุลงในถังพลาสติกแบบมีฝาปิดมิดชิด ขนาด 50 ลิตร คนหรือกวนส่วนผสมให้เข้ากัน ปิดฝาทิ้งไว้ ทำแบบเดียวกันนี้ทุกวัน วันละ 1 ครั้ง ครั้งละประมาณ 3-5 นาที ปิดฝาทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน

3. กระบวนการวิเคราะห์

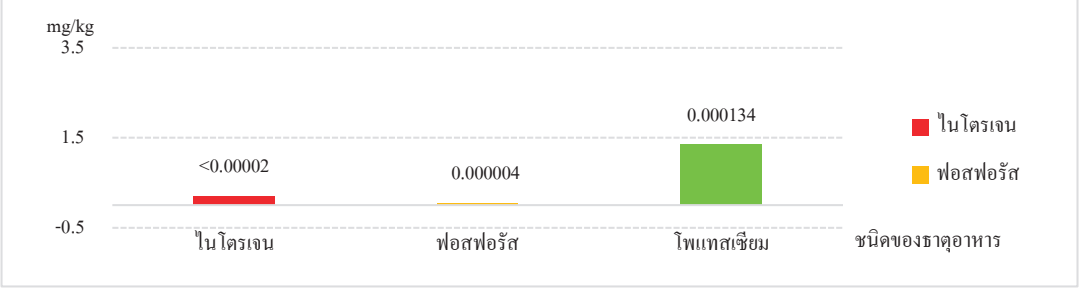
ตารางที่ 1 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ธาตุอาหารหลัก	วิธีการวิเคราะห์
ไนโตรเจน	(1) การย่อยสลาย (Digestion) (1) ปิเปตตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร เติมลงหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร (2) เติม Reagent N-1K 1 ช้อนและ Reagent N-2K 6 หยด (3) นำไปเขย่า ให้สาร N-1K ละลายจนหมด (4) นำไปย่อยด้วยเครื่อง Hcat ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (5) นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วกรอง (6) ปิเปตมา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Reaction Cell แล้วเติม Reagent N-3K 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที (7) นำไปวัดค่าดูดคลื่นแสง
ฟอสฟอรัส	(1) ปิเปตสารตัวอย่างมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรีเอเจ้นท์สีใส (2) เติม Reagent PO4-1 1.2 มิลลิลิตรแล้วกรอง (3) นำไปวิเคราะห์การดูดคลื่นแสง
โพแทสเซียม	(1) ปิเปตตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร (2) เติม Reagent K-1K 6 หยดและ เติม Reagent K-2K 1 ช้อน (3) เขย่าด้วย Vortex Mixer ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที (4) นำไปวิเคราะห์ความดูดคลื่นแสง
การคำนวณ	ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) = "a×b" a = มิลลิกรัมต่อลิตร ของการวัดการดูดคลื่นแสงของตัวอย่าง b = การเจือจาง

ผลการวิจัย

1. ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยแบบกลับกอง โดยใช้ปริมาณตัวอย่างละ 5 กรัม มาทำการวิเคราะห์

1.1 ปริมาณธาตุอาหารจากปุ๋ยหมักมูลวัว จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักได้ผลดังนี้ พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้จากการหมักปุ๋ยหมักมูลวัว มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนน้อยกว่าร้อยละ 0.00002 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีปริมาณร้อยละ 0.000004 และปริมาณธาตุอาหาร โพแทสเซียมมีปริมาณร้อยละ 0.000134

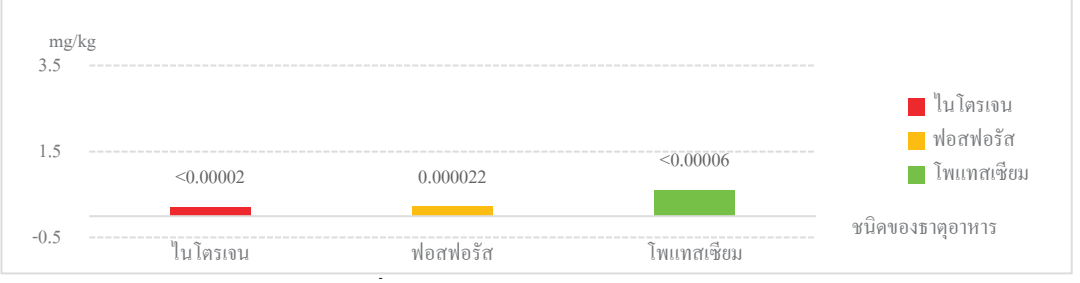


ภาพที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารที่พบจากปุ๋ยหมักมูลวัว

1.2 ปริมาณธาตุอาหารจากปุ๋ยหมักมูลแพะ จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้จากการหมักปุ๋ยหมักมูลแพะ มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนร้อยละ 0.00005 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีปริมาณร้อยละ 0.000004 และปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมมีปริมาณร้อยละ 0.000308

ภาพที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารที่พบจากปุ๋ยหมักมูลแพะ

1.3 ปริมาณธาตุอาหารจากปุ๋ยหมักมูลสุกร จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้จากการหมักปุ๋ยหมักมูลสุกรมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนน้อยกว่าร้อยละ 0.00002 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีปริมาณร้อยละ 0.000022 และปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.00006

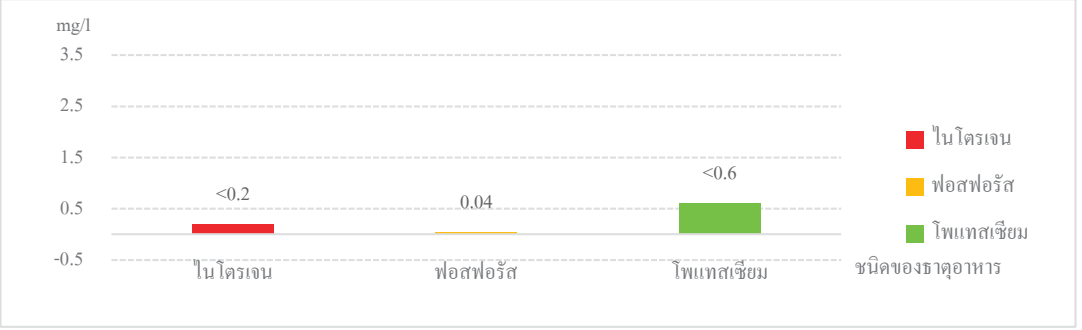


ภาพที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารที่พบจากปุ๋ยหมักมูลสุกร

ปริมาณธาตุอาหารหลักแต่ละสูตร พบว่า สูตรปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ สูตรปุ๋ยที่หมักด้วยมูลสุกร มีปริมาณร้อยละ 0.000022 รองลงมา คือ สูตรปุ๋ยที่หมักด้วยมูลแพะกับมูลวัว ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.000004 ส่วนสูตรปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนมากที่สุด คือ สูตรปุ๋ยที่หมักด้วยมูลแพะ มีปริมาณร้อยละ 0.00005 รองลงมา คือ สูตรปุ๋ยที่หมักด้วยมูลสุกรกับมูลวัว ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.00002 และสูตรปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมมากที่สุดคือ สูตรปุ๋ยที่หมักด้วยมูลแพะ มีปริมาณร้อยละ 0.000308 รองลงมา คือ สูตรปุ๋ยที่หมักด้วยมูลวัว มีปริมาณร้อยละ 0.000134 ส่วนสูตรปุ๋ยที่หมักด้วยมูลสุกรมีปริมาณโพแทสเซียมน้อยที่สุด คือ น้อยกว่าร้อยละ 0.00006

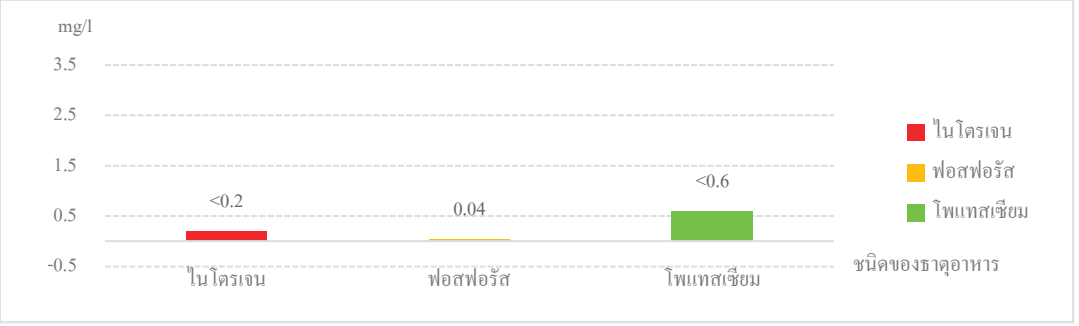
2. ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยชนิดน้ำ โดยใช้ปริมาณตัวอย่างละ 5 มิลลิลิตร มาทำการวิเคราะห์

2.1 ปริมาณธาตุอาหารจากการปุ๋ยหมักเศษอาหาร จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้จากการหมักปุ๋ยเศษอาหาร มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนน้อยกว่าร้อยละ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีปริมาณร้อยละ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมมีปริมาณน้อยกว่า ร้อยละ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร



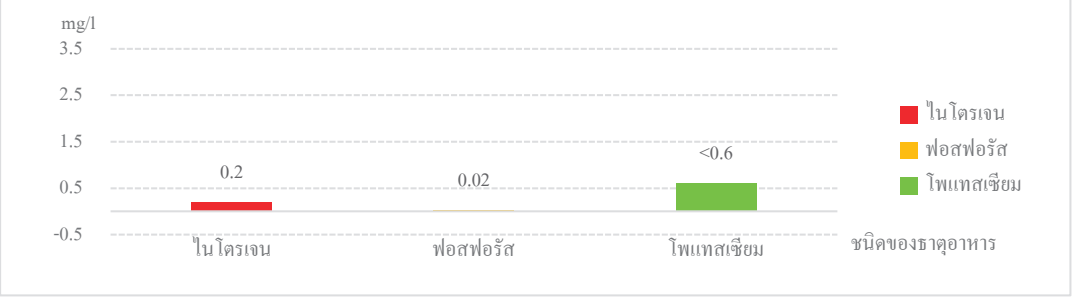
ภาพที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารที่พบจากปุ๋ยหมักเศษอาหาร

2.2 ปริมาณธาตุอาหารจากการปุ๋ยหมักเศษผักจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้จากการหมักปุ๋ยเศษผัก มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนน้อยกว่าร้อยละ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีปริมาณร้อยละ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารที่พบจากปุ๋ยหมักเศษผัก

2.3 ปริมาณธาตุอาหารจากการปุ๋ยหมักไส้ปลา การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้จากการหมักปุ๋ยหมักไส้ปลา มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนร้อยละ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีปริมาณร้อยละ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารที่พบจากปุ๋ยหมักไส้ปลา

ปริมาณธาตุอาหารหลักแต่ละสูตร พบว่า สูตรปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ ปุ๋ยที่หมักด้วยเศษอาหารกับเศษผัก มีปริมาณร้อยละ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ ปุ๋ยที่หมักด้วยไส้ปลา ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนมากที่สุด คือ ปุ๋ยที่หมักไส้ปลา มีปริมาณร้อยละ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ ปุ๋ยที่หมักด้วยเศษอาหารกับเศษผัก ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณธาตุอาหาร โพแทสเซียม พบว่า ปุ๋ยที่หมักด้วยเศษอาหาร เศษผักและไส้ปลา มีปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมเท่ากัน คือ มีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร

อภิปรายผล

1. คุณลักษณะด้านกายภาพ

ลักษณะของปุ๋ยหมักซึ่งการหมักจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ปุ๋ยหมักแบบกลับกองกับปุ๋ยหมักในน้ำ โดยลักษณะของปุ๋ยหมักแบบกลับกองนั้นมีลักษณะ สีคล้ายและมีกลิ่นเหมือนกับดิน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่าลักษณะของปุ๋ยที่หมักแบบกลับกองจะสอดคล้องกับ งานวิจัยของ สุธีรา สุนทรารักษ์ [7] การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ลักษณะของปุ๋ยคือเนื้อปุ๋ยหมักมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ย ขาดง่าย มีกลิ่นคล้ายดินและสีของวัสดุ หมักมีสีน้ำตาลเข้มและมีการย่อยสลายได้ดีกว่าทุกตำรับทดลองทั้งๆ ที่ไม่มีการตัดย่อยเศษวัสดุก่อนทำการหมัก ส่วนปุ๋ยหมักแบบน้ำจะเห็นฝ้าสีขาวขึ้นตามเศษอาหารที่อยู่ด้านบน เนื่องจากช่วงที่ทำการหมักเศษอาหารได้ลอยขึ้นมาทำให้มีบางส่วนไม่ได้อยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สมเกียรติ สุวรรณคีรี [8] พบว่า เมื่อทำการหมักเศษผัก หรือ เศษวัสดุหมักไปได้ประมาณ 2-3 วัน จุลินทรีย์จะเริ่มทำงาน แล้วทำการย่อยสลายเศษวัสดุหมักเหล่านั้น ภายในภาชนะถังหมักผิวด้านบนของเศษวัสดุหมักจะเริ่มมี เส้นใยของเชื้อจุลินทรีย์สีขาวเกิดขึ้นมากมายและมีกลิ่นหอมอมเปรี้ยว

2. รูปแบบการหมัก

การทำปุ๋ยหมักมีการหมักแบบไม่เติมอากาศ ซึ่งทำให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสารอินทรีย์ที่นำมาหมักได้ช้าลง แต่การหมักยังมีการเพิ่มอากาศโดยการกลับกองของปุ๋ยหมัก เพื่อให้เพิ่มปริมาณอากาศให้จุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักจะทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วขึ้น ซึ่งสอดคลองกับงานวิจัยของ นคร สุริยานนท์ [9] ผลการศึกษาพบว่า วัสดุหมักภายในถังหมักใบที่ 1 ถึง 6 ใช้ระยะ เวลาในการหมักจนวัสดุหมักเข้าสู่สภาวะเสถียรที่อายุการหมักเท่ากับ 77 77 70 56 77 และ 91 วันตามลำดับ หลังวัสดุหมักเต็มถัง ถังหมักใบที่ 4 ใช้เวลาในการย่อยสลายขยะอินทรีย์สั้นที่สุด โดยใช้ เวลาในการหมักประมาณ 56 วัน หลังจากวัสดุหมักเต็มถังและมีการลดลงของมวลและสัดส่วนของปุ๋ยหมักที่มีขนาดเล็กกว่า 12.5 มิลลิเมตร และแตกต่างกันกับปุ๋ยหมักในน้ำ ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ยาก จะมีเศษผักผลไม้ขนาดใหญ่อยู่จำนวนพอสมควร ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ อภิญญา แสงสุวรรณ [10] พบว่า การหมักแบบเติมอากาศทำให้เศษผักมีการย่อยสลายร้อยละ 88.04 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเร็วกว่าการหมักแบบไม่เติมอากาศที่มีการย่อยสลายเพียงร้อยละ 53.34 ของน้ำหนักแห้ง

3. วัสดุที่นำมาหมักเป็นปุ๋ย

งานวิจัยในครั้งนี้มีการนำวัสดุในการหมักที่แตกต่างกัน ปุ๋ยที่หมักด้วยเศษผักจะให้ปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจนสูง ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธันวดี ศรีธาวิรัตน์ [5] ผลสรุปพบว่า ปุ๋ยที่ได้จากผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนสูงสุดคือ 2.70 ส่วนเศษผักกับฟางมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.18 และ 1.77 โดยปุ๋ยหมักทุกชุดมีค่าไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐาน เหมือนกับงานวิจัยของ เสาวนิตย์ แดงทองดี และ สุรางค์รัตน์ พันแสง [11] พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเฉลี่ยร้อยละ 1.28 0.41 และ 2.7 โดยน้ำหนักทั้งหมด งานวิจัย

ครั้งนี้มีความแตกต่างกับงานวิจัยของ สุทธี พลรักษา [12] การทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาผสมมูลวัวโดยใช้สารเร่งชีวภาพ และการใช้น้ำมาทำเป็นปุ๋ยหมักก็แตกต่างกับงานวิจัยของ อุดมพรปางนคร และคณะ [13] การประยุกต์ใช้น้ำส้มควันไม้ในการหมักปุ๋ยของเหลวทางชีวภาพเพื่อการเกษตรอินทรีย์ถั่วเหลือง และวัสดุที่นำมาหมักเป็นปุ๋ยจะให้ปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน

4. อัตราส่วนในการหมัก

งานวิจัยนี้ การทดลองวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร โดยใช้สารเร่งชีวภาพในการหมัก ซึ่งจะใช้สารเร่งในการหมักในปริมาณที่แตกต่างกันของการหมักระหว่างปุ๋ยหมักแบบกลับกองและปุ๋ยหมักในน้ำ ซึ่งทำให้อัตราการย่อยสลายจึงแตกต่างกัน สอดคล้องกับผลสรุปของ สุทธี พลรักษา [12] พบว่า การใช้สารเร่งชีวภาพที่อัตราส่วนความเข้มข้นมากจะทำให้เกิดการย่อยสลายเร็ว กว่าและมีอุณหภูมิสูงกว่าการใช้สารเร่งชีวภาพที่อัตราส่วนความเข้มข้นน้อย แต่อัตราส่วนของสารเร่งชีวภาพไม่มีผลต่อปริมาณของธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) การใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ EM มีการใช้อัตราส่วนที่แตกกับงานวิจัยของ พูนศิริ หอมจันทร์ [14] การศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบ (เปลือกกล้วย เปลือกแตงโม เปลือกสับปะรด กะหล่ำ และผักกาดขาว) ต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ (EM) พบว่า อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์คือ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ให้ปริมาณธาตุอาหารหลักมากที่สุด

5. ปริมาณธาตุอาหาร

ผลการวิเคราะห์ของปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งปุ๋ยหมักแบบกลับกอง สูตรที่หมักด้วยมูลแพะมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากที่สุด โดยใช้แกลบเป็นส่วนผสม รวมถึงใช้รำข้าวเหมือนกันแต่ไม่ได้ผสมปุ๋ยยูเรีย จึงทำให้มีผลของปริมาณธาตุอาหารหลักที่แตกต่างกันกับผลสรุปของ ศิริลักษณ์ ใจบุญทา [15] การย่อยสลายวัตถุดิบที่มีส่วนผสมแกลบ พบว่าการใช้รำข้าวเป็นแหล่ง N ทั้งที่ใช้ 100 เปอร์เซ็นต์ และเสริมร่วมกับปุ๋ยยูเรียอย่างละ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ C:N Ratio ลดลงเร็วกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรียเป็นแหล่ง N 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการลดลงของ C:N Ratio เป็นไปอย่างรวดเร็วในเดือนแรกของการหมัก แล้วลดลงอย่าง ต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งปุ๋ยหมักแกลบที่ได้มีคุณสมบัติดังนี้คือ N 0.94 เปอร์เซ็นต์ P 2.12 เปอร์เซ็นต์ K 0.81 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ปุ๋ยหมักในน้ำ จะมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากระยะเวลาในการหมักอาจทำให้จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ในปุ๋ยหมักในน้ำอาจจะย่อยสลายได้น้อยทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่น้อยตามไปด้วย ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลสรุปของ เปรมสุดา จิ๊วนอก [16] ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไนโตรเจนกับเวลาการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก พบว่าระยะเวลาในการหมักที่มีการย่อยสลายของปุ๋ยหมักทำให้ได้ปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ส่วนวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักจะทำให้ได้ปริมาณธาตุอาหารหลักแต่ละชนิดที่ไม่เท่ากัน รวมถึงขนาดของวัสดุที่นำมาทำเป็นปุ๋ยหมัก ซึ่งสอดคล้องกับผลสรุปของ สุธีรา สุนทรารักษ์ [7] การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่าการตัดย่อยวัสดุก่อนทำการหมักมีผลต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้จะได้ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นและวัสดุที่นำมาหมักจะให้ปริมาณธาตุอาหารหลักที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ จากผลที่สรุปมีปริมาณธาตุอาหารที่น้อยเพราะระยะเวลา วัสดุรวมถึงอัตราส่วนของการหมักปุ๋ย ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ นริสรา พานพ่วง และ สาวิตรี จันทรานุรักษ์ [17] การศึกษาเปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยหมักธรรมชาติ การเก็บรักษาของปุ๋ยหมักไม่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารหลักและจุลินทรีย์

ข้อเสนอแนะ

1. ในการหมักแต่ละครั้งควรจะทำการหมักปุ๋ยเป็นเวลาอย่างน้อย 3 เดือน จะทำให้ได้ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัสมากขึ้น
2. หากต้องการให้การหมักรวดเร็วขึ้นหรือสมบูรณ์ควรเพิ่มปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ EM และกากน้ำตาล
3. ควรทำวัสดุที่นำมาทำเป็นปุ๋ยหมักให้มีขนาดเล็กจะทำให้การหมักของปุ๋ยดียิ่งขึ้น
4. ช่วงฤดูฝนไม่ควรหมักปุ๋ย เพราะจะทำให้เกิดความชื้นเพิ่มมากขึ้น มีผลต่อการหมักปุ๋ย

เอกสารอ้างอิง

[1] Sillapasuwan, P. (2014). **Municipal Solid Waste: The Significant Problem of Thailand**. Retrieved 15 December 2015, from http://library.senate.go.th/document/Ext9853/9853519_0002.PDF.

[2] Dara, K and Theerapuncharoen, N. (2007). **Maharaj Municipality's Garbage Administration through Participatory Action Research Amphur Maharaj Phranakhon Sri Ayutthaya Province**. Master of Science. Phranakhon Sri Ayutthaya: Phranakhon Sri Ayutthaya Rajabhat University.

[3] Pollution Control Department. (2015). **Thailand State of Pollution Report 2015**. Bangkok: Pollution Control Department.

[4] Kajitvichyanukul, P. (1999). **Water Supply and Sanitary Engineering 2542 (2)**. Bangkok: Ruenkaew Printing.

[5] Srithavirat, T. (2004). **The Study on Composting Processes from Food and Agricultural Waste**. Phitsanulok: Pibulsongkram Rajabhat University.

[6] Agri-nature Foundation. (2010.). **Feed the Soil and Let the Soil Feed the Plant**. Bangkok: Eastern Printing.

[7] Suntararak, S. (2010). **Quantitative analysis of macronutrients in the mixed of food scraps and agricultural waste compost**. Retrieved 15 December 2015, from http://kukr.lib.ku.ac.th/db/BKN/search_detail/result/12238.

[8] Suwanakeree, S. (2004). **Bio fFrtilizer or Bio Extract and Using Application on Effective Microorganism (EM) Agricultural & Environmental**. Center for Agricultural Resource Systems Research. Chiang Mai: Chiang Mai University.

[9] Suriyanon, N. (2009). **Effects of Passive Aeration on Household Organic Waste Composting**. Master of Engineering. Chiang Mai: Chiang Mai University.

[10] Saengsuwan, A. (2003). **Liquid Organic Fertilizer Production from Organic Wastes.** Master of Science. Bangkok: Kasetsart University.

[11] Dengtongdee, S. and Panseng, S. (2006). C**omposting of Vegetable Waste**. Phetchabun: Phetchabun Rajabhat University.

[12] Polruksa, S. (2009). **The Decomposting from Water Hyacinth Mixed with Manure Dropping and Bio-Catalyst**. Master of Public Health. Maha Sarakham : Maha Sarakham University.

[13] Pangnakorn, U. (2009). Application of wood vinegar to fermented liquid bio-fertilizer for organic agriculture on soybean. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**. Special Issue, 189-196.

[14] Hormchan, P. (2012). **Determination of Nutrient Content (Nitrogen, Phosphorus and Potassium) from Biological Fermentation**. Surin: Rajamangala University of Technology Isan.

[15] Jaibuntha, S. (2007). **Effects of Rice Bran on Organic Material Decomposition in Compost Production Process**. Master of Science. Chiang Mai: Chiang Mai University.

[16] Jiwnog, P. (2007). **Relation between Nitrogen Sources and Compost Maturation Time**. Master of Science**.** Bangkok: Chulalongkorn University.

[17] Panpuang, N. and Chuntranuluck, S. (2012). **A Comparative Study of Macronutrients in The Natural Compost, Vermicompost by Eudrilus eugeniae and Compost Pd 1**. Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Sciences, Natural Resources and Environment.Bangkok: Kasetsart University.

บทความวิจัย

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิต มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ปีการศึกษา 2557

Factors Related to Exercise Behavior among Students in Thaksin University, Phatthalung Campus Academic Year 2014

ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์[1*] สมเกียรติยศ วรเดช[2] และจิรนันท์ ช่วยศรีนวล[3]

Bhunyabhadh Chaimay[1*], Somkiattiyos Woradet[2] and Jiranan Chuaysrinual[3]

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ กลุ่มตัวอย่าง คือ นิสิตจำนวน 400 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นครอนบาชแอลฟาด้านเจตคติ การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้อุปสรรค แรงจูงใจ และการปฏิบัติต่อการออกกำลังกาย เท่ากับ 0.71 0.81 0.91 0.83 และ 0.91 ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและสถิติถดถอยโลจิสติกพหุตัวแปร ผลการศึกษาพบว่า เพศ ดัชนีมวลกาย การไม่มีสถานที่ออกกำลังกาย การรับรู้ประโยชน์ การปฏิบัติต่อการออกกำลังกายมีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาดังกล่าว ผู้บริหารมหาวิทยาลัยควรจัดกิจกรรมการส่งเสริมการออกกำลังกายและการปรับพื้นที่ให้เหมาะสมกับการออกกำลังกาย เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ต่อไป

คำสำคัญ: การออกกำลังกาย นิสิต มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

[1] รศ.ดร., สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[2] ผศ.ดร., สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[3] กลุ่มงานเวชปฏิบัติครอบครัวและชุมชน โรงพยาบาลชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช 80180

[1] Assoc. Prof. Dr., Department of Public Health, Faculty of Health and Sports Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

[2] Asst. Prof. Dr., Department of Public Health, Faculty of Health and Sports Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

[3] Department of Community and Family Medicine, Cha-uat Hospital, Nakhon Si Thammarat, 80180

[*] Corresponding author: Tel/Fax 074-609613, E-mail address: bchaimay@gmail.com

Abstract

This study aimed to investigate factors related to exercise behavior among students in Thaksin University, Phatthalung Campus. Of these, 400 students were simply selected. The data was gathered by using questionnaire which Cronbach 's alpha coefficient of attitude, perceived benefits, perceived barriers, motivations and practice towards exercise were 0.71, 0.81, 0.91, 0.83, and 0.91, respectively. Data was analyzed by using descriptive statistics and multiple logistics regression. The results found that gender, body mass index, lacking of exercise place, perceived benefit and practice towards exercise behavior were statistically related to exercise among students. Results suggested that the university administrator should promote and provide the appropriate place for physical exercise activities among students in Thaksin University, Phatthalung Campus.

Keywords: Exercise, Students, Thaksin University, Phatthalung Campus

บทนำ

การออกกำลังกายเป็นกิจกรรมสำคัญของการดำเนินวิถีชีวิตที่ก่อให้เกิดการส่งเสริมสุขภาพทั้งทางร่างกายและจิตใจ [1] แม้ว่าการออกกำลังกายมีประโยชน์อย่างมาก แต่วิถีการดำเนินชีวิตในปัจจุบันส่งผลให้ประชาชนขาดการออกกำลังกาย จากรายงานการสำรวจสุขภาพของประชากรไทย พบว่า คนไทยประมาณ 3 ใน 4 คน มีการออกกำลังกายอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (ร้อยละ 74.6) ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาสาธารณสุข ฉบับที่ 11 พ.ศ. 2555 – 2559 (ร้อยละ 60) [2]

การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอส่งเสริมให้ผู้ออกกำลังกายมีสมรรถภาพการทำงานของปอดเพิ่มสูงขึ้น [3] นอกจากนี้ การมีกิจกรรมการออกกำลังกายที่ถูกต้องเหมาะสมส่งผลต่อการมีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรงด้วยเช่นกัน [4] อย่างไรก็ตาม มีปัจจัยต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสุขภาพโดยเฉพาะในวัยรุ่น เช่น การบริโภคอาหาร การสูบบุหรี่ และการออกกำลังกาย [5] เมื่อพิจารณาจากปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญ พบว่า การขาดการออกกำลังกายเป็นปัจจัยที่สำคัญและสาเหตุของการเกิดปัญหาโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดหัวใจและสมอง เป็นต้น [6] และเป็นสาเหตุของการเสียชีวิต 10 อันดับแรก ซึ่งประเทศไทยมีอัตราตายด้วยโรคเรื้อรังเท่ากับ 55.2 ต่อประชากรแสนคน [6]

วัยรุ่นเป็นวัยที่ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระร่างกาย จิตใจและสังคม [7] การสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการออกกำลังกายเป็นประจำส่งผลให้มีร่างกายสุขภาพแข็งแรง สมส่วน สุขภาพจิตดี และไม่เจ็บป่วยด้วยโรคต่างๆ การส่งเสริมให้มีการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอเป็นการสร้างเสริมความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อให้มีสมรรถภาพที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการ ได้รับบาดเจ็บ จากการสำรวจโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ [8] พบว่า ในปี พ.ศ. 2546 2547 และ 2550 ประชาชนอายุ 11 ปีขึ้นไป มีสัดส่วนของการออกกำลังกายประมาณ 1 ใน 3 คิดเป็นร้อยละ 29.0 29.1 และ 29.6 ตามลำดับ และพบว่า กลุ่มวัยรุ่นอายุ 15-24 ปี มีการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอประมาณร้อยละ 45.4

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง เพื่อให้ทราบถึงสถานการณ์ปัจจุบันและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายในนิสิตปีการศึกษา 2557 ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายที่ทำการศึกษาในมหาวิทยาลัยขอนแก่น [9] และมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง [10] อย่างไรก็ตาม การศึกษาการออกกำลังกายในมหาวิทยาลัยขอนแก่นเป็นการศึกษาเชิงพรรณนาเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การศึกษาที่มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ครั้งที่ผ่านมาเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการออกกำลังกายของ

นิสิตในปี 2554 [10] จากช่วงระยะเวลาที่ผ่านมามหาวิทยาลัยทักษิณมีการเปลี่ยนแปลงระบบโครงสร้างทางกายภาพจำนวนมาก รวมทั้งการปรับพื้นที่ในการทำกิจกรรมต่างๆ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาตัวแปรอื่นๆ ที่สำคัญเพิ่มเติม เพื่อให้ครอบคลุมกับปัจจัยต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการออกกำลังกาย เช่น การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้อุปสรรค และแรงจูงใจต่อพฤติกรรมการออกกำลังกาย ทั้งนี้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมพฤติกรรมสุขภาพและการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

การศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (Analytic Cross-sectional Study) ครั้งนี้ใช้ประชากรในการศึกษา คือ นิสิตที่กำลังศึกษาในมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2557 จำนวนทั้งหมด 4 คณะ คือ วิทยาศาสตร์ วิทยาการสุขภาพและการกีฬา เทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน และนิติศาสตร์ จำนวน 2,494 คน คำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรประมาณค่าสัดส่วนในกรณีทราบจำนวนประชากร [11] โดยกำหนดให้จำนวนประชากร (N) เท่ากับ 2,494 คน กำหนดพื้นที่ใต้โค้งปกติ ($Z_{a/2}$) เท่ากับ 1.96 ค่าความคลาดเคลื่อนของการศึกษา (e) เท่ากับ 0.045 และสัดส่วนของการออกกำลังกาย (P) เท่ากับ 0.28 [10] ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างไม่น้อยกว่า 382 คน และเพื่อป้องกันการสูญหายหรือได้รับแบบสอบถามไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ จึงเพิ่มขนาดตัวอย่างเป็น 400 คน ทำการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการอย่างง่ายตามสัดส่วนของแต่ละคณะ

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย 6 ส่วน คือ 1) คุณลักษณะของประชากร 2) ความรู้เกี่ยวกับการออกกำลังกาย 3) เจตคติเกี่ยวกับการออกกำลังกาย 4) การรับรู้ประโยชน์และการรับรู้อุปสรรคเกี่ยวกับการออกกำลังกาย 5) แรงจูงใจเกี่ยวกับการออกกำลังกาย และ 6) การปฏิบัติต่อการออกกำลังกาย ในส่วนของแบบสอบถามด้านความรู้จำนวน 20 ข้อ แบบสอบถามด้านเจตคติ การรับรู้ประโยชน์และอุปสรรค แรงจูงใจจำนวน 30 ข้อ และแบบสอบถามด้านการปฏิบัติต่อการออกกำลังกายจำนวน 15 ข้อ เป็นแบบสอบถามแบบประมาณค่า (Rating Scale) ชนิด 5 ตัวเลือก ทำการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence Index: IOC) อยู่ระหว่าง 0.66 - 1.00 ตรวจสอบความเที่ยงของแบบสอบถามโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (Cronbach 's Alpha Coefficient) เท่ากับ 0.71 0.81 0.91 0.83 และ 0.91 ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาจัดกลุ่มของข้อมูลความรู้ เจตคติ การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้อุปสรรค แรงจูงใจและการปฏิบัติต่อการออกกำลังกายด้วยวิธีการกำหนดค่าพิสัย [(ค่าคะแนนสูงสุด – ค่าคะแนนต่ำสุด)/จำนวนอันตรภาคชั้น] โดยจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ระดับสูง ระดับปานกลาง ระดับต่ำ

จากวัตถุประสงค์การวิจัยข้างต้น ตัวแปรตาม คือ พฤติกรรมการออกกำลังกาย ซึ่งเป็นข้อมูลแบบแจงนับชนิด 2 ตัวเลือก (Dichotomous Outcome) จำแนกเป็นมีการออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ โดยใช้เวลาครั้งละไม่น้อยกว่า 30 นาที และไม่มีการออกกำลังกาย การวิเคราะห์ข้อมูลคุณลักษณะทางประชากร ระดับความรู้ เจตคติ การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้อุปสรรค แรงจูงใจและพฤติกรรมเกี่ยวกับการออกกำลังกายด้วยสถิติเชิงพรรณนา และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติถดถอยลอจิสติกอย่างง่าย (Simple Logistic Regression Analysis) [12] เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการออกกำลังกายเบื้องต้นทีละปัจจัยระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม และพิจารณาจากตัวแปรที่มีค่า p-value ของ Wald test น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.25 เพื่อนำตัวแปรดังกล่าววิเคราะห์สถิติถดถอยโลจิสติกพหุตัวแปร (Multiple Logistic Regression Analysis) นำตัวแปรออกจากสมการด้วยวิธี Backward Elimination ด้วยการพิจารณาตัวแปรใดที่ให้ค่า p-value มากกว่า 0.05 ให้นำออกจากสมการ นำเสนอด้วยค่า Odd ratios และ 95% Confident interval เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการออกกำลังกายของนิสิต การศึกษาครั้งนี้ผ่านการพิจารณาและได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณลักษณะของประชากรนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง พบว่า นิสิตเป็นเพศหญิง (ร้อยละ 58.75) มีอายุเฉลี่ย 21 ปี (SD = 1.09) ศึกษาคณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬามากที่สุด (ร้อยละ 27.00) รองลงมาศึกษาในคณะวิทยาศาสตร์ (ร้อยละ 25.50) ศึกษาในชั้นปีที่ 3 (ร้อยละ 39.00) ส่วนใหญ่พักอาศัยอยู่ภายในมหาวิทยาลัย (ร้อยละ 84.71) มีดัชนีมวลกายปกติ (ร้อยละ 56.00) ดัชนีมวลกายเกิน (ร้อยละ 20.25) มีรอบเอวเกิน (เส้นรอบเอวในเพศชายเกิน 90 ซม. และเพศหญิงเกิน 80 ซม.) (ร้อยละ 16.25) มีโรคประจำตัว (ร้อยละ 10.50) มีสถานที่ออกกำลังกายบริเวณที่พัก (ร้อยละ 95.75) ส่วนใหญ่ออกกำลังกายในระยะเวลา 6 เดือนที่ผ่านมา (ร้อยละ 87.50) กิจกรรมในการออกกำลังกายส่วนใหญ่ คือ วิ่ง (ร้อยละ 78.25) รองลงมา คือ เล่นฟุตบอล (ร้อยละ 28.50) และเหตุผลที่นิสิตเลือกมาออกกำลังกายส่วนใหญ่เพื่อให้ร่างกายแข็งแรง (ร้อยละ 94.00) และได้พบปะเพื่อนฝูง (ร้อยละ 41.75) ตามลำดับ

สำหรับปัจจัยด้านความรู้และเจตคติในการออกกำลังกาย พบว่า ความรู้ (Mean ± SD : 15.05 ± 2.44) และเจตคติ (37.24 ± 4.66) อยู่ในระดับปานกลาง ในส่วนการรับรู้ประโยชน์การออกกำลังกาย (42.53 ± 5.90) พบว่าอยู่ในระดับสูง การรับรู้อุปสรรค (26.82 ± 8.25) แรงจูงใจ (38.11 ± 6.69) และการปฏิบัติต่อการออกกำลังกาย (31.89 ± 7.10) อยู่ในระดับปานกลาง

จากผลการวิเคราะห์ทีละตัวแปร พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ปัจจัยด้านเพศ โดยที่นิสิตหญิงมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายน้อยกว่าเพศชายร้อยละ 96 (OR = 0.04, 95% CI : 0.18 ถึง 0.72) สำหรับนิสิตที่มีน้ำหนักเกินเกณฑ์มีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายร้อยละ 57 เมื่อเปรียบเทียบกับนิสิตที่มีดัชนีมวลกายต่ำกว่าเกณฑ์ (0.43, 0.22 ถึง 0.86) นอกจากนี้นิสิตที่มีรอบเอวเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 ซม. มีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายลดลงร้อยละ 61 (0.39, 0.20 ถึง 0.77) สำหรับการไม่มีสถานที่ออกกำลังกายทำให้มีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายลดลงร้อยละ 82 (0.18, 0.07 ถึง 0.77) อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านอายุ (p-value = 0.252) คณะที่ศึกษา (p-value = 0.251) ชั้นปีที่ศึกษา (p-value = 0.498) ที่พักอาศัยของนิสิต (p-value = 0.881) และการมีโรคประจำตัว (p-value = 0.069) ไม่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกาย

สำหรับความรู้ เจตคติ และการรับรู้ประโยชน์การออกกำลังกาย พบว่า เมื่อนิสิตมีคะแนนความรู้เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 คะแนน นิสิตมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายลดลงร้อยละ 12 (0.88, 0.79 ถึง 0.98) เมื่อเจตคติเกี่ยวกับการออกกำลังกายเพิ่มขึ้น 1 คะแนน นิสิตมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายลดลงร้อยละ 9 (0.91, 0.85 ถึง 0.98) และเมื่อคะแนนการรับรู้ประโยชน์การออกกำลังกายเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 คะแนน นิสิตมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายลดลงร้อยละ 7 (0.93, 0.88 ถึง 0.96) อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านการรับรู้อุปสรรค (p-value = 0.401) แรงจูงใจ (p-value = 0.477) และการปฏิบัติต่อการออกกำลังกาย (p-value = 0.226) พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกาย

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์พหุตัวแปรปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ปัจจัย	Odds ratio	95 % CI	p-value
เพศ			0.001
ชาย	Ref.		
หญิง	0.28	0.13 ถึง 0.59	
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)			0.032
น้อยกว่า 18.49 กิโลกรัม/เมตร^2 (ผอม)	Ref.		
18.50–22.99 กิโลกรัม/เมตร^2 (ปกติ)	0.33	0.13 ถึง 0.86	
23 ขึ้นไป กิโลกรัม/เมตร^2 (น้ำหนักเกิน)	0.42	0.20 ถึง 0.88	
สถานที่ออกกำลังกาย			0.009
มี	Ref.		
ไม่มี	0.21	0.07 ถึง 0.68	
การรับรู้ประโยชน์การออกกำลังกาย (คะแนน)	0.92	0.88 ถึง 0.97	0.002
การปฏิบัติต่อการออกกำลังกาย (คะแนน)	1.05	1.01 ถึง 1.10	0.045

สำหรับการวิเคราะห์พหุปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง พบว่า ปัจจัยด้านเพศ ดัชนีมวลกาย สถานที่ออกกำลังกาย การรับรู้ประโยชน์ และการปฏิบัติต่อการออกกำลังกายมีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่นิสิตเพศหญิงมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายน้อยกว่านิสิตเพศชายร้อยละ 72 (0.28, 0.13 ถึง 0.59) นิสิตที่มีดัชนีมวลกายเกินเกณฑ์และมีดัชนีมวลกายในระดับปกติมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายลดลงร้อยละ 58 และ 67 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับนิสิตที่มีดัชนีมวลกายต่ำกว่าเกณฑ์ (0.42, 0.20 ถึง 0.88 และ 0.33, 0.13 ถึง 0.86) สำหรับปัจจัยสถานที่ออกกำลังกาย พบว่า การไม่มีสถานที่ออกกำลังกายมีโอกาสให้นิสิตมีพฤติกรรมการออกกำลังกายลดลงร้อยละ 79 (0.21, 0.07 ถึง 0.68) และเมื่อนิสิตมีคะแนนการรับรู้ประโยชน์การออกกำลังกายเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 คะแนน นิสิตมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายลดลงร้อยละ 8 (0.92, 0.88 ถึง 0.97) ส่วนการมีคะแนนการปฏิบัติต่อการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 คะแนน พบว่า นิสิตมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 (1.05, 1.01 ถึง 1.10) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1

อภิปรายผล

โดยสรุปจากการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง พบว่า ปัจจัยด้านเพศ (0.28, 0.13 ถึง 0.59) นิสิตที่มีดัชนีมวลกายปกติ (0.33, 0.13 ถึง 0.86) นิสิตที่มีดัชนีมวลกายเกิน (0.42, 0.20 ถึง 0.88) การไม่มีสถานที่ออกกำลังกาย (0.21, 0.07 ถึง 0.68) การรับรู้ประโยชน์การออกกำลังกาย (0.92, 0.88 ถึง 0.97) และการปฏิบัติต่อการออกกำลังกาย (1.05, 1.01 ถึง 1.10) มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับปัจจัยด้านเพศมีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่เพศหญิงมีการออกกำลังกายน้อยกว่าเพศชายร้อยละ 72 ทั้งนี้ จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ประมาณ 2 ใน 3 กลุ่มตัวอย่างเป็นหญิง (ร้อยละ 58.80) และการที่นิสิตเพศหญิงมีสัดส่วนของการออกกำลังกายน้อยกว่าเพศชาย เนื่องจากนิสิตหญิงส่วนใหญ่นิยมการควบคุมการบริโภคอาหารและบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เพื่อลดน้ำหนัก แทนการออกกำลังกาย [13] ซึ่งส่งผลให้สัดส่วนของการออกกำลังกายในเพศหญิงน้อยกว่าเพศชาย

การศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ สมเกียรติยศ วรเดช และปุญญพัฒน์ ไชยเมล์ [10] ที่พบว่า นิสิตเพศหญิงมีโอกาสของการออกกำลังกายน้อยกว่าเพศชายร้อยละ 57 (0.43, 0.22 ถึง 0.81) สำหรับการศึกษาของ ศิริพร รุ่งเรือง และคณะ [9] ที่ศึกษาการออกกำลังกายของนักศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่า ประมาณ 3 ใน 4 ของกลุ่มนักศึกษาที่ไม่ออกกำลังกายเป็นนักศึกษาเพศหญิง (ร้อยละ 77.5) และสอดคล้องกับการสำรวจพฤติกรรมการออกกำลังกายของประชากร พ.ศ. 2550 [8] ตั้งแต่ พ.ศ. 2546 2547 และ 2550 ที่พบว่า ในกลุ่มประชาชนเพศชายมีการออกกำลังกายมากกว่าเพศหญิง โดยที่ในกลุ่มประชาชนชายมีสัดส่วนการออกกำลังกายเท่ากับร้อยละ 33.5 32.8 และ 32.7 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มประชาชนหญิงมีสัดส่วนการออกกำลังกายเท่ากับร้อยละ 25.3 25.4 และ 26.7 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ สร้อยสวรรค์ เกตุไทย และคณะ [14] ที่ทำการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการออกกำลังกายของคนพิการทางการเคลื่อนไหวในอำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท โดยพบว่า ปัจจัยด้านเพศสามารถเป็นปัจจัยในการทำนายความสัมพันธ์ต่อการออกกำลังกายได้เพียงร้อยละ 0.25 ($r = 0.025$, p-value = 0.690) และการศึกษาของ มาริสา เกตุขาว และคณะ [15] ที่ศึกษาสภาพและความต้องการการออกกำลังกายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสาธิต ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า นักศึกษาเพศชายและหญิงมีความต้องการในการออกกำลังกายไม่แตกต่างกัน

ในส่วนของปัจจัยด้านดัชนีมวลกายที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิต โดยที่นิสิตที่มีดัชนีมวลกายปกติและดัชนีมวลกายเกินมีโอกาสของพฤติกรรมการออกกำลังกายน้อยกว่านิสิตที่มีดัชนีมวลกายต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 67 และร้อยละ 58 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า นิสิตที่มีร่างกายผอมมักชอบออกกำลังกาย เมื่อพิจารณาจากกิจกรรมการออกกำลังกายแล้ว พบว่า กิจกรรมการออกกำลังกายส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมการออกกำลังกายประเภทการใช้แรง เช่น วิ่ง (ร้อยละ 78.40) ฟุตบอล (ร้อยละ 28.50) และเต้นแอโรบิค (ร้อยละ 26.00) เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อาพรรณชนิต ศิริแพทย์ [16] ที่ศึกษาพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตที่เรียนรายวิชาการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ และพบว่ากิจกรรมการออกกำลังกายที่ปฏิบัติบ่อยครั้งที่สุด คือ การวิ่ง เต้นแอโรบิคและแบดมินตัน ตามลำดับ นอกจากนี้ การศึกษาของ นลินี แข็งสาริกิจ และคณะ [17] พบว่า การออกกำลังกายมีความสัมพันธ์ต่อดัชนีมวลกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับสถานที่ออกกำลังกายพบว่ามีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การไม่มีสถานที่ออกกำลังกายมีโอกาสทำให้ไม่มีการออกกำลังกายประมาณร้อยละ 79 ทั้งนี้ประมาณร้อยละ 4.25 นิสิตไม่มีสถานที่ออกกำลังกายบริเวณที่พัก และอาจเป็นไปได้ว่า นิสิตกลุ่มดังกล่าวเป็นกลุ่มนิสิตที่พักอาศัยภายนอกมหาวิทยาลัย (ร้อยละ 15.30) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กาญจนา บุญภักดิ์ [18] ที่ศึกษาพฤติกรรมการออกกำลังกายของประชาชนในสวนสาธารณะในกรุงเทพมหานคร พบว่า ปัจจัยเสริมที่สำคัญในการออกกำลังกาย ได้แก่ สถานที่ออกกำลังกาย และสอดคล้องกับการศึกษาของ นลินี แข็งสาริกิจ และคณะ [17] ที่พบว่า การไม่มีสถานที่ออกกำลังกายมีความสัมพันธ์ต่อการออกกำลังกายน้อยลง และการศึกษาของ ยงยุทธ ฮิ้นเจริญ [19] ที่พบว่านักศึกษามีความต้องการสถานที่ในการออกกำลังกายในระดับที่สูง

นอกจากนี้ ปัจจัยด้านการรับรู้ประโยชน์การออกกำลังกายที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่การมีคะแนนการรับรู้ประโยชน์การออกกำลังกายเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 คะแนน มีโอกาสให้นิสิตออกกำลังกายลดลงร้อยละ 8 ทั้งนี้ เนื่องจากนิสิตส่วนใหญ่จะทราบและรับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกายเป็นอย่างดี ซึ่งเมื่อเข้าเรียนในชั้นปีที่ 1 จะมีการบรรจุรายวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพเพื่อคุณภาพชีวิตเป็นวิชาศึกษาทั่วไป ซึ่งส่งผลให้นิสิตมีการรับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกายในระดับที่สูง (ร้อยละ 77.30) และสอดคล้องกับการมีพฤติกรรมการออกกำลังกายในระดับปานกลาง (ร้อยละ 62.10) ซึ่งเหตุผลดังกล่าวเป็นไปได้ว่าส่งผลให้นิสิตมีการออกกำลังกายลดลง อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้แตกต่างกับการศึกษาของ ธิติพร เกียรติกังวาน และคณะ [20] ที่ทำการศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมการออกกำลังกายของพยาบาลสตรีวัยกลางคนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า การรับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกายมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อพฤติกรรมการออกกำลังกาย ($r = 0.25$) ทั้งนี้อาจจะเกิดจากกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกัน

การศึกษาครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ สร้อยสวรรค์ เกตุไทย และคณะ [14] ที่ทำการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการออกกำลังกายของคนพิการทางการเคลื่อนไหวในอำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท โดยพบว่า การรับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกายมีความสัมพันธ์กับการออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยคะแนนการรับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกายสามารถทำนายได้เพียงร้อยละ 40 ($r = 0.40$, p-value < 0.001) นอกจากนี้ การศึกษาของ ธาริน สุขอนันต์ และคณะ [21] ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลเมืองบ้านสวน จังหวัดชลบุรี พบว่า การรับรู้ประโยชน์มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ (p-value < 0.001)

สำหรับปัจจัยการปฏิบัติต่อการออกกำลังกาย ที่พบว่า การมีคะแนนการปฏิบัติต่อการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 คะแนน มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ทั้งนี้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นไปได้ว่านิสิตส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 58.80) และเป็นกลุ่มที่มีสัดส่วนของการออกกำลังกายน้อยกว่าเพศชาย และคะแนนภาพรวมของการปฏิบัติต่อการออกกำลังกายอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 62.10) ซึ่งอาจส่งผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนิสิตได้ ในทางกลับกันการศึกษาของ พัชรินทร์ บุญรินทร์ และคณะ [22] ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนักศึกษาพยาบาล พบว่า ปัจจัยเสริมด้านการได้รับแรงสนับสนุนจากบุคคลต่างๆ และทัศนคติต่อการออกกำลังกาย และการได้รับข่าวสารเกี่ยวกับการออกกำลังกายจากสื่อต่างๆ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับพฤติกรรมการออกกำลังกาย นอกจากนี้ การศึกษาของ ธรรมนูญ ชามทอง [23] พบว่า ระดับความรู้ เจตคติและแรงจูงใจมีผลต่อการออกกำลังกายในกลุ่มสมาชิกชมรมสร้างเสริมสุขภาพ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช

จากการศึกษาครั้งนี้ กลุ่มงานพัฒนานิสิตและคณะต่างๆ ของมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ควรจัดกิจกรรมส่งเสริมพฤติกรรมการออกกำลังกายให้กับนิสิตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการส่งเสริมการออกกำลังกายในกลุ่มนิสิตเพศหญิง นอกจากนี้ ควรจัดโปรแกรมการออกกำลังกายในกลุ่มนิสิตที่มีน้ำหนักตัวเกิน เพื่อส่งเสริมพฤติกรรมสุขภาพของนิสิตกลุ่มดังกล่าวให้ดีขึ้น รวมทั้งการจัดสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับลักษณะการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Sullum, J., Clark, M.M. and King, T.K. (2000). "Predictors of exercise replace in a collage population", **Journal of American College Health**. 48(4), 175-180.

[2] Bureau of Policy and Strategy, Office of Permanent Secretary, Ministry of Public Health. (2011). **Strategic Framework, National Health Promotion and Disease Prevention 2011 – 2015 BE**. Bangkok: Samcharoen Panich (Bangkok) Co., Ltd.

[3] Khrisanapant W., Suttitum, T. and Tunkamnerdthai, O. (2011). "Lung volume and function in male adolescents in Northeast, Thailand: students form Khon Kean Sports School in comparison with other schools in Khon Kaen Province", **Srinagarind Medical Journal**. 26(2), 98-105.

[4] Taylor, W.C., Blair, S.N., Cummings S.S., Wun C.C. and Malina R.M. (1999). "Childhood and adolescent physical activity patterns and adult physical activity", **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 31(1), 118-123.

[5] Coulson, N.S., Eiser, C. and Eiser, J.R. (2007). "Diet, smoking and exercise: interrelationships between adolescent health behaviors", **Child: Care, Health and Development**. 23(3), 207-216.

[6] Bureau of Policy and Strategy, Office of Permanent Secretary, Ministry of Public Health. (2016). **Health Statistics 2015 BE**. Bangkok: Samcharoen Panich (Bangkok) Co., Ltd.

[7] Tarokh, L., Saletin, J.M. and Carskadon, M.A. (2016). "Sleep in adolescence: Physiology, cognition and mental health", **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**. 70,182-188.

[8] National Statistical Office, Ministry of Information and Communication Techonology. (2016). **A Survey of Exercise Behavior of Population 2007**. Retrieved November 21, 2016, from http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/service/survey/excercise50.pdf.

[9] Rungruang, S., Pattanittum, P. and Kamsa-ard, S. (2006). Physical exercise of Khon Kaen University students. **Journal of Health Science**. 15(2), 315-322.

[10] Woradet, S. and Chaimay, B. (2014). "Factors associated with exercise among students in Thaksin Uiversity, Phatthalung Campus", **Journal of Public Health**. 44(3), 288-299.

[11] Chaimay, B. (2013). "Sample size determination in descriptive study in public health", **Thaksin University Journal**. 16(2), 9-18.

[12] Chaimay, B. (2014). "Choosing statistics in data analysis for health science research", **Thaksin University Journal**. 17(1), 68-76.

[13] Pichainarong, N., Mahaweerawat, U., Chaelinfa, K., Khamkodsoon, J., Prarop, P., Kamsorn, W. and Faonongdu, S. (2013). "Exercise, diet and supplementary food product to resuse weight among female undergraduate students, Department of Performing Arts, Fauclty of Fine Arts and Applied Arts, Mahasarakham University", **Journal of Science and Technology Mahasarakham University**. 32(2), 213-219.

[14] Gatethai, S., Homsin, P. and Leelukkanaveera, Y. (2015). "Factors related to physical exercise among of people with mobility impairment in Sapphaya District, Chai Nat Province", **Journal of Nursing and Education**. 8(1), 27-40.

[15] Ketkhaw, M., Suthiphan, W. and Lawan, N. (2011). "The state and need for exercise of junior secondary school students in demonstration schools of Bangkok Metropolitan in academic year 2011", **SDU Research Journal Sciences and Technology**. 7(3), 103-113.

[16] Siripatt, A. (2012). "Exercise behaviors of exercise for health's students", **Journal of Faculty Physical Education**. 15(Suppl.), 452-458.

[17] Kangsarigit, N., Khampolsiri, T. and Lasuka, D. (2009). "Effects of Fawn Jeng Mor Chor Exercise on level of cholesterol among elders with dyslipidemia", **Nursing Journal**. 36(4), 35–45.

[18] Boonphak, K. (2014). "Exercise behaviors of people in public parks in the Bangkok Metropolitan Area", **Journal of Industrial Education**. 13(2), 74-80.

[19] Hincharoen, Y. (2003). **State and Needs of Exercise among Students at Nakhon Pathommm Rajabhat University**. Nakhon Pathom Rajabhat University.

[20] Kiadkangwan, T., Arpannatikul, M. and Malathum, P. (2012). "Factors predicting exercise behavior of middle-age female nurses in the Northeast of Thailand", **Ramathibodi Nursing Journal**. 18(1), 24-42.

[21] Sukanun, T., Subprasert, J., Jariyasilp, S. and Vongsala, A. (2014). "Factors affecting exercise behaviors of the elderly people in Bansuan Municipality Chonburi", **The Public Health Journal of Burapha University**. 9(2), 66-75.

[22] Boonrin, P., Choeychom, S. and Nantsupawat, W. (2015). "Predictive factors on exercise behaviors of nursing students", **Journal of Nursing and Health Care**. 33(2), 176-186.

[23] Chamthong, T. (2014). "Exercise behaviors among members of health club at Nopphitam District, Nakhon Sri Thamarat Province", **Southern Region Primary Health Care Journal**. 28(2), 25–30.

บทความวิจัย

การตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{222}Rn ในตัวอย่างน้ำดื่มบริเวณชุมชนตลาดเก่าเขตอำเภอเมือง จังหวัดยะลา

Measurement and Analysis of Specific Activities ^{222}Rn in Drinking Water Samples Collected from the Community Old Market Area at Amphur Meaung, Yala Province

ไมมูน อินตัน[1*] ไซนับ ดอเลาะ[1] ดาริกา จาเอาะ[1] อดุลย์สมาน สุขแก้ว[1] และฮูเซ็ง ชายดานา[2]
Maimoon Intan[1*], Sainap Dorloh[1], Darika Jaaoh[1], Adulsman Sukkeaw[1] and Huseng Chiydana[2]

บทคัดย่อ

ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ เรดอน-222 (^{222}Rn) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จำนวน 50 ตัวอย่างบริเวณชุมชนตลาดเก่า อำเภอเมืองจังหวัดยะลา โดยใช้เครื่องวัดก๊าซเรดอน RAD7 ที่มี RAD H_2O จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ^{222}Rn มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.016 Bq/L และค่ารังสีขนาดเสี่ยงจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกาย คือ 0.023 mSv/y จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ^{222}Rn ในน้ำบริโภค และค่ารังสีขนาดเสี่ยงของประชาชนที่ใช้น้ำดื่มตลอดทั้งปีมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : USEPA)

คำสำคัญ: เรดอน-222 น้ำดื่ม ชุมชนตลาดเก่ยะลา เทคนิค RAD H_2O

Abstract

Specific Activities of Radon-222 (^{222}Rn) in 50 drinking water samples collected from the community old market area at Meaung district in Yala province were measured and analyzed by using the RAD7 Radon Detector with RAD H_2O. It was found that the average value of specific activities of ^{222}Rn is 0.016 Bq/L and average risk of committed effective dose for people was found to be 0.023 mSv/y. Thus, the average value of specific activities of ^{222}Rn and the annual effective dose for people in drinking water were lower than the recommended values which were announced by United States Environmental Protection Agency (USEPA).

Keywords: Radon-222, Drinking Water, The Yala Community Old Market, RAD H_2O Techniqne

---

[1] อ., สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000
[2] นักวิทยาศาสตร์สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000
[1] Lecturer, Department of Physics Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala , 95000
[2] Scientist, Department of Physics Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, 95000
[*] Corresponding author: Tel.0872950665. E-mail address: maimoon.i@yru.ac.th

บทนำ

เนื่องจากนิวเคลียสของธาตุต่าง ๆ ในธรรมชาติบางชนิดเป็นนิวเคลียสเสถียร (Stable Nucleus) และบางชนิดเป็นนิวเคลียสไม่เสถียร (Unstable Nucleus) นิวเคลียสไม่เสถียรนี้จะมีการสลาย (Decay) ปล่อยอนุภาคแอลฟาหรืออนุภาคบีตา ออกมา ทำให้โครงสร้างของนิวเคลียสเปลี่ยนไป เกิดเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ กระบวนการนี้เรียกว่า การสลายกัมมันตรังสี (Radioactive Decay) การที่นิวเคลียสของธาตุหนึ่งเกิดการสลายเป็นนิวเคลียสใหม่เราเรียกนิวเคลียสที่เกิดการสลายว่า นิวเคลียสตั้งต้น (Parent Nucleus) นิวเคลียสใหม่ที่เกิดจากการสลายตัวเรียกว่า นิวเคลียสลูก (Daughter Nucleus) นิวเคลียสลูกและรังสีที่ถูกปล่อยออกมาเราเรียกว่า ผลผลิตการสลาย (Decay Products) ซึ่งในบรรดาลูกของนิวเคลียสต่าง ๆ นั้นพบว่า ธาตุเรดอน-222 (^{222}Rn) เป็นสารกัมมันตรังสีที่สลายมาจากธาตุเรเดียม-226 (^{226}Ra) ซึ่งอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม โดยเรดอนที่เกิดขึ้นนั้น จะสะสมอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ หิน พืช และอาหาร เป็นต้น [2, 4]

น้ำที่ปรากฏอยู่ในแหล่งต่าง ๆ จะมีการถ่ายเทหมุนเวียนไปมาตลอดเวลาเริ่มจากไอน้ำในบรรยากาศรวมตัวเป็นหมอก เมฆ กลั่นตัวเป็นน้ำ ตกลงสู่พื้นโลก (Precipitation) บางสภาวะอาจอยู่ในสภาพของแข็ง เช่น ลูกเห็บ น้ำฝนบางส่วนได้รับความร้อนจากผิวโลกจะระเหย (Evaporation) กลับสู่บรรยากาศก่อนถึงผิวโลก น้ำฝนที่ตกถึงพื้นจะถูกดูดซับโดยดิน จนเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะเอ่อและไหลเป็น น้ำท่า (Run off) ไปตามผิวดินลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ น้ำบางส่วนจะระเหยจากดินหรือผิวน้ำกลับสู่บรรยากาศ อีกส่วนจะถูกพืชดูดไว้และระเหยออกทางใบ (Transpiration) กลับสู่บรรยากาศเช่นกัน น้ำฝนส่วนที่เหลือจะซึมลงดิน (Infiltration) จนถึงชั้นน้ำอิ่มตัว เรียกว่า ชั้นน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล (Ground Water) เมื่อรวมกับน้ำบาดาลเดิมแล้ว อาจมีการไหลตามแนวราบ (Percolation) ไปตามความลาดเอียงของระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Table) ถ้าระดับน้ำใต้ดิน ณ จุดใดอยู่สูงกว่าระดับพื้นดิน น้ำจะไหลซึมออกมาทำให้เกิดเป็นน้ำซับ (Spring) ทะเลสาบ (Lake) หรือบึง (Swamp) แหล่งน้ำดิบคือน้ำที่ถูกกักเก็บหรือสะสมตัวอยู่ใต้ดิน อาจสะสมตัวอยู่ตามรอยแตก รอยแยกของชั้นหิน หรืออาจสะสมตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดกรวด หรือเม็ดทรายใต้ผิวดิน น้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลแย่งออกได้เป็น 2 โซนคือ Unsaturated Zone เป็นโซนที่มีทั้งน้ำและอากาศ และ Saturated zone เป็นโซนที่มีแต่น้ำเท่านั้น โดยส่วนนี้จะเป็นส่วนของน้ำใต้ดินที่แท้จริง

ปัจจุบันได้มีกลุ่มนักวิจัยในประเทศไทยได้ให้ความสนใจทางด้านการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณ (^{222}Rn) ในน้ำ อาทิเช่นการศึกษาแก๊สเรดอนปริมาณสูงในน้ำพุร้อน [10] การศึกษาตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ด้วยเทคนิคและปล่อยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR -39 [11] การตรวจวัดเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วย RAD H_2O [12] การตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา [13] การสำรวจแก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทยที่จังหวัดเชียงใหม่ [15] เป็นต้น ถึงแม้เรดอนจะมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่สะสมอยู่ แต่ถ้ามีการเก็บสะสมในร่างกายในปริมาณมาก ๆ แล้วก็จะส่งผลต่อสุขภาพ โดยถ้าประชาชนดื่มน้ำที่มีเรดอนละลายในปริมาณสูง จะเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด ตับ ไต และต่อมอวัยวะเพศ จากรังสีแอลฟาที่สลายตัวมาจากเรดอนจะทำลายเนื้อเยื่อปอด อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งปอด ซึ่งการที่ก๊าซเรดอนจะเข้าสะสมในร่างกายได้มีอยู่แค่สองทางคือ การหายใจ และการบริโภค ไม่ว่าจะเป็นจากน้ำหรืออาหาร ล้วนจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งสิ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาในเรื่องนี้ เพื่อทำการสำรวจปริมาณ ^{222}Rn ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากแหล่งน้ำธรรมชาติคือ แม่น้ำปัตตานี ที่ไหลผ่านจังหวัดยะลา ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ประชากรส่วนใหญ่ใช้ในการอุปโภค และบริโภค และเป็นแหล่งน้ำวัตถุดิบในการผลิตน้ำประปาอีกด้วย โดยผู้วิจัยได้ตระหนัก และเล็งเห็นความสำคัญของอันตรายที่เกิดจากการได้รับรังสีของ ^{222}Rn ในน้ำ ซึ่งอันตรายที่เกิดจากการได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากนั้น จะส่งผล

ทั้งภายนอก และภายใน เช่น ผมร่วง ผิวหนังไหม้เกรียมเป็นแผลเรื้อรัง เป็นมะเร็ง เป็นอันตรายต่อระบบประสาท หัวใจ เม็ดเลือด และทำให้การหมุนเวียนโลหิตเสียไป ถ้าได้รับรังสีเข้าไปในปริมาณ 400-500 เร็ม ทั่วร่างกาย (REM = Radiation Equivalent Measurement = เป็นหน่วยวัดมาตรฐานของ ICRU วัดความรุนแรงของผลรังสีต่อสิ่งมีชีวิต) มีโอกาสตาย ร้อยละ 50 แต่ถ้าได้รับรังสีในปริมาณ 1,000 เร็ม จะตาย ร้อยละ 100 และอันตรายของรังสีที่มีผลต่อเซลล์ในร่างกาย ก็จะส่งผลให้เกิดโรคมะเร็งในระบบต่าง ๆ ได้ อาทิเช่น มะเร็งเม็ดเลือดขาวมะเร็งที่กระดูก มะเร็งปอด และมะเร็งที่ต่อมไทยรอยด์และรังสียังส่งผลทำให้คนอายุสั้น เซลล์สืบพันธุ์ผิดปกติ ทำให้เด็กคลอดก่อนกำหนด เด็กเกิดมาพิการ อ่อนแอไม่แข็งแรง เป็นต้น สาเหตุที่สามารถทำให้ประชาชนเป็นโรคมะเร็งได้นั้น ก็มาจากการได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากเกินไปโดยอาจจะได้จากน้ำ อากาศ อาหาร หรือแม้แต่การสัมผัสสิ่งของที่มีการปนเปื้อนของรังสีอยู่ ก็สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ทั้งสิ้น [5-7] โดยเฉพาะน้ำ ซึ่งประชาชนมีความจำเป็น หรือขาดไม่ได้เลยในการดำรงชีวิต และถ้าประชาชนขาดข้อมูลว่าน้ำที่ใช้กันอยู่เป็นประจำนั้น มีการปนเปื้อนของ ^{222}Rn อยู่ ก็จะทำให้ประชาชนเหล่านั้นได้รับอันตรายที่จะเกิดจากรังสี โดยไม่รู้ตัวเลย

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงต้องการที่จะตรวจวัดหาปริมาณรังสีของ ^{222}Rn ที่ปะปนในแม่น้ำปัตตานี ซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติของประชาชนในเขตจังหวัดยะลา โดยเลือกที่จะศึกษาตัวอย่างน้ำปัตตานีที่ไหลผ่านหมู่บ้านต่าง ๆ เพื่อที่จะเป็นตัวชี้วัดถึงความปลอดภัยของการใช้น้ำในการบริโภค และนำค่าความเข้มข้นของ ^{222}Rn เหล่านั้น มาทำเป็นค่ามาตรฐานของแหล่งน้ำธรรมชาติที่ประชาชนในหมู่บ้านนั้น ๆ ในเขตจังหวัดยะลา ได้ใช้ในการบริโภคได้อย่างปลอดภัยด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{222}Rn ที่ปะปนอยู่ในน้ำดื่มจากครัวเรือนในเขตพื้นที่ บริเวณชุมชนตลาดเก่าเขตอำเภอเมือง จังหวัดยะลา

2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ ^{222}Rn ในน้ำดื่มจากครัวเรือน กับค่ามาตรฐานสากล องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดค่ามาตรฐานสากล สำหรับเรดอนในน้ำดื่มควรไม่เกิน 11Bq/L

3. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ ^{222}Rn ในน้ำดื่มจากครัวเรือนกับค่ารังสีขนาดเสี่ยงของประชาชนที่ใช้น้ำดื่มตลอดทั้งปีมีค่าไม่เกิน 0.1 mSv/y

วัสดุอุปกรณ์

1. หัววัดชนิด RAD7 Electronic radon detector พร้อมด้วยอุปกรณ์ RAD H_2O
2. ขวดแก้วขนาด 500 มิลลิลิตร
3. ถุงพลาสติกสำหรับปิดฝาขวด
4. ฉลากติดขวด
5. ปากกาเคมี

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research) โดยศึกษาความเสี่ยงที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณ ย่านชุมชนตลาดเก่า ในเขตจังหวัดยะลา ซึ่งความเสี่ยงนั้นมาจากผลของการปนเปื้อนของธาตุ ^{222}Rn บริเวณแม่น้ำปัตตานี นักวิจัยสามารถแจ้งผลการวิจัยที่ได้ต่อชุมชน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการป้องกันอันตรายที่เกิดจาก^{222}Rn ในน้ำดื่ม ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1.วิธีดำเนินการเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำดื่ม

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดื่มจากบ้านเรือนของประชาชนที่อาศัยในบริเวณชุมชนตลาดเก่า เขตอำเมือง จังหวัดยะลา โดยทำการสุ่มเก็บทั้งหมด 50 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างน้ำ ปริมาตร 500 ml ต่อ 1ตัวอย่าง ก่อนทำการเก็บตัวอย่างน้ำจะต้องเปิดน้ำทิ้ง 5-10 นาที [8] เก็บน้ำให้เต็มขวด ปิดฝาให้สนิทจากนั้นนำตัวอย่างน้ำดื่มมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค RAD H_2O จากเครื่องวัดชนิด RAD7 Electronic Radon Detector ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ โดยเร็วที่สุด (ไม่ควรเกิน 1 สัปดาห์) เพื่อไม่ให้ก๊าซเรดอนในน้ำสูญเสียไปมากโดยผลที่ตรวจวัดจะถูกคำนวณย้อนกลับไปที่เวลาเก็บตัวอย่างเสมอ สามารถคำนวณหาความแรงรังสีได้จากสมการ [1, 3]

$$A = A_o e^{-\lambda t} \tag{1}$$

เมื่อ
- A คือ กัมมันตภาพเมื่อเวลา t ใดๆ มีหน่วย แบคเคอเรล (Bq)
- A_o คือ กัมมันตภาพเมื่อเวลาเริ่มต้น (t=0) มีหน่วยแบคเคอเรล (Bq)
- λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว มีหน่วย ต่อวินาที (s^{-1})
- t คือ เวลาตั้งแต่เก็บตัวอย่างจนถึงวันที่ทำการตรวจวัด มีหน่วยวินาที (s)

2. วิธีดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซ ^{222}Rn ในตัวอย่างน้ำดื่ม ด้วย RAD H_2O

ใช้ตัวอย่างน้ำในการตรวจวัดปริมาตร 250 ml โดยเครื่องจะปั๊มน้ำเพื่อให้เกิดฟองอากาศไล่ก๊าซเรดอนให้เข้าสู่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ต่อเข้ากับเครื่องวัดชนิด RAD7 Electronic Radon Detector ซึ่งเครื่องนี้จะทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นนิวไคลด์ลูกของเรดอน คือ ^{218}Po แล้วเครื่องจะทำการคำนวณย้อนกลับให้กลายเป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซเรดอน เนื่องจากเครื่องวัดจะตรวจวัด 3 ซ้ำ ต่อ 1ตัวอย่าง โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 20 นาที ซึ่งจะได้ค่าความแรงรังสีเฉลี่ยของก๊าซเรดอนในแต่ละตัวอย่างน้ำออกมาในหน่วย Bq/m^3 (จะต้องทำการแปลงค่าให้เป็น Bq/L เนื่องจากตัวอย่างในการตรวจวัดเป็นของเหลว) ในการคำนวณค่ารังสีขนาดเสี่ยงจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายสามารถใช้สมการได้จาก

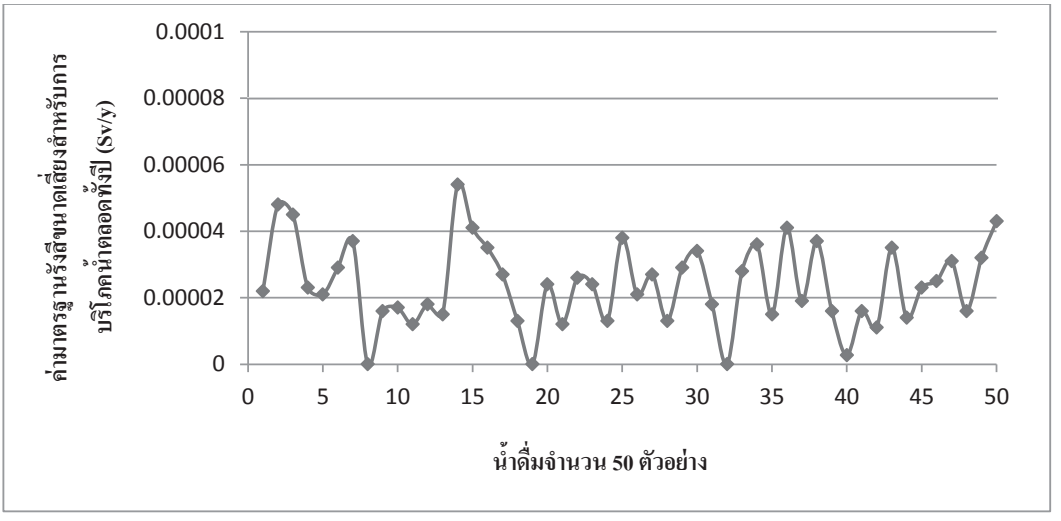
$$\text{Committed Effective Dose} = \text{AM (Bq/m}^3\text{)} \times 0.4 \times a(\text{day}) \times 10^{-8}\left(\frac{\text{Sv}}{\text{Bq/m}^3}\right)/\text{day} \tag{2}$$

เมื่อ AM (Arithmetic Means) คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณเรดอนในน้ำดื่ม หน่วยเป็นแบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตร (Bq/m^3)

a คือ ระยะเวลา 1ปี (365 วัน) ที่ประชาชนได้รับปริมาณเรดอน หน่วยเป็นวัน (day)

0.4 คือ แฟกเตอร์สมดุล (Equilibrium Factor) สำหรับเรดอนในบ้าน กำหนดโดย United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [3]

$10^{-8}(\frac{Sv}{Bq/m^3})$/day คือ แฟกเตอร์การเปลี่ยน (Conversion Factor) โดยคิดว่าเมื่อบุคคลได้ดื่มน้ำจำนวน 1 ลิตร ที่มีเรดอน 1 Bq/m^3 ในเวลา 1 วัน จะก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการดูดกลืนรังสี 10^{-8} Sv



ภาพที่ 1 ค่ารังสีขนาดเสี่ยงสำหรับการบริโภคน้ำตลอดทั้งปีเทียบกับค่ามาตรฐาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการวิจัย พบว่าค่าความแรงรังสีเฉลี่ยของ ^{222}Rn ในน้ำดื่ม บริเวณชุมชนตลาดเก่าเขตอำเภอเมือง จังหวัดยะลา มี 0-0.018 Bq/L และมีค่าเฉลี่ย 0.016 Bq/L เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับเรดอนในน้ำดื่ม ควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/L [4] ซึ่งผลการตรวจวัดในตัวอย่างน้ำดื่มทั้งหมด มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อทำการประเมินค่าความเสี่ยงจากการดูดกลืนรังสีสำหรับผู้บริโภคน้ำตลอดทั้งปี พบว่าอยู่ในช่วง 0- 0.054 mSv/y และมีค่าเฉลี่ย 0.023 mSv/y แล้วนำไปเปรียบเทียบค่ามาตรฐานความเสี่ยงจากการดูดกลืนรังสีสำหรับผู้ที่บริโภคน้ำตลอดทั้งปีมีค่าไม่เกิน 0.1 mSv/y [4] ซึ่งผลที่ได้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งนั้น แต่พอทำการวิเคราะห์ค่าความแรงรังสีเฉลี่ยของเรดอนโดยการคำนวณ ตามสมการที่ (2) ให้กลายเป็นค่าความเสี่ยงจากการดูดกลืนรังสีสำหรับผู้ที่บริโภคน้ำตลอดทั้งปี แล้วนำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ผลที่ได้ คือ ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ดังแสดงในภาพที่1) จะเห็นได้ว่าในบริเวณที่มีค่าความแรงรังสีของเรดอนที่ตรวจวัดได้ในน้ำดื่ม ที่สูงกว่าบริเวณอื่น ๆ นั้น ในระยะเวลานาน ๆ อย่างต่อเนื่อง เรดอนจะสามารถสะสมตัวในร่างกายให้มีปริมาณสูงขึ้นได้ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่ใช้น้ำในการบริโภคบริเวณดังกล่าวดังนั้นจึงควรเฝ้าระวัง และหาทางป้องกันความเสี่ยงที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชน ในชุมชนย่านตลาดเก่า อย่างต่อเนื่อง และสังเกตพฤติกรรมของเรดอนในตัวอย่างน้ำดื่มว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง เกิดการสะสมตัวมากน้อยเพียงใดเพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับประชาชนในการใช้น้ำดื่ม แต่ถ้าประชาชนไม่มั่นใจว่าน้ำที่ใช้ดื่มนั้นมีเรดอนปนเปื้อนอยู่ สามารถหาทางป้องกันได้โดยการกรองน้ำก่อนใช้ผ่านเครื่องกรองชนิดประจุลบ หรือใช้ไส้กรองที่ทำมาจากเส้นใยอะคริลิคเคลือบด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ก็จะสามารถสกัดกั้นธาตุ ^{226}Ra (เป็นสารกัมมันตรังสีแม่ที่สลายตัวให้สารกัมมันตรังสีลูก) เป็นการกำจัดเรดอนตั้งแต่ต้นทางไม่ให้ปนเปื้อนในน้ำดื่มได้ [8-9]

เอกสารอ้างอิง

[1] R. C. P. A. Rebers (1990). "Radon Radium and Uranium in Drinking Water", **Lewis Publishers**. 14(3), 225 – 247.

[2] US EPA (United States Environmental Protection Agency). (1991). **National Primary Drinking Water Regulation**. Radionuclides (Proposed Rules), Federal Register 56, US EPA.

[3] National Academy Press. (1999). **Risk Assessment of Radon in Drinking Water**. Washington (DC).

[4] UNSCEAR (United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2000). **Sources and Effects Ofionization Radiation**. Report to the General Assembly of the United Nation,with Scientific Annexes. New York.

[5] WHO (World Health Organization). (2008). **Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition Incorporating the First and Second Addenda**.WHO, Volume 1, Geneva.

[6] ICRP. Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk. (2005). "ICRP Publication 99", **Annual ICRP**. 35(4), 431-439.

[7] M. Tirmarche, J.D. Harrison, D.Laurier, F. Paquet, E. Blanchardon and J.W. Marsh. (2010). "Lung Cancer Rick from Radon and Progeny and Statement on Radon", **Annual ICRP Publication**. 40(1), 1-64.

[8] Atyotha, V. (2013). "The Study of Factors that Cause Cancer of the Concentration of Radium 226 in Nam Pong River at Khon Kaen Province", **Journal of Nurses' Association of thailand, North-Eastern Division** 31(4), 136-143.

[9] Atyotha, V. (2013). "Determination of Radium-226 in Nam Pong river at Khonkaen province via manganese fibers using Gamma-spectrometry", **Thaksin University Journal**. 16(3), 83-91.

[10] Sola, P., Srisuksawad, K., O-Manee, A., Issarapan, P., and Thummagarun, L. (2011). "Radon Concentration in Air, Hot Springs, and Bottled Mineral Water in Hot Spring, SuanPhueng District, Ratchaburi Province", **The 12th Conference on Nuclear Science and Technology**, 20. 6-7 July 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand.

[11] Pongsuwan, T. (1998). "Radioactivity radon in homes", **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. 20(2), 235-244.

[12] Atyotha,V. and Sola, P. (2015). "Measurement of Radom in drinking water at AmphurMeaung, Khonkhaen province with RAD H_2O", **The 7th National Science Research Conference**, 19. 30-31 March 2015, Naresuan University.

[13] Sirijarukut, S. (2000). **The Investigation of Radon Gas in Ground Water around Songkhla Lake Basin Using Nuclear Track Etching Technique**. Master's Thesis. Songkla: Prince of Songkla University.

[14] Wanabongse, P. and Bovornkitti, S. (2004). "Radon Gas in Natural Hot Springs in Thailand", **Journal of Health Science**. 13(4), 689-695.

[15] Srisuwan, T. (2006). "Radon: Tphe Hidden Hazard in Buildings", **Journal of Architectural/Planning Research and Studies**. 4(2), 23-37.

บทความวิจัย

การผลิตแผ่นกันความร้อนจากเศษฉลากเครื่องดื่มผสมเส้นใยชานอ้อย

Manufacturing of Thermal Insulation Sheet from Beverage Labelling Waste and Bagasse fiber

ณัฐพร เคียงคู่[1] สิรินารี เงินเจริญ[2*] และชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ[3]

Nuttaporn Kiangkoo[1], Sirinaree Ngencharoen[2*] and Chailoek Tanghengjarern[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตแผ่นกันความร้อนจากเศษฉลากของอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มและเส้นใยชานอ้อยของอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทราย ดำเนินการโดยแช่เศษฉลากและเส้นใยชานอ้อยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1% โดยมวลต่อปริมาตรเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนระหว่างเศษฉลากต่อเส้นใยชานอ้อย เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 โดยมวล ทุกอัตราส่วนผสมกับกาวลาเท็กซ์ 50 กรัม ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เป็นชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 9 x 10 x 1.5 เซนติเมตร ผึ่งแดด 7 วันจนแห้งสนิท แล้วเชื่อมต่อเป็นแผ่นกันความร้อนขนาด 45 x 100 x 1.5 เซนติเมตรเมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าแผ่นกันความร้อนซึ่งเตรียมจากเศษฉลากและเส้นใยชานอ้อยในอัตราส่วน 75:25 นั้นเหมาะสมสำหรับใช้เป็นแผ่นกันความร้อนมากที่สุด โดยพบว่า วัสดุดังกล่าวมีสีเทาอ่อนแกมเขียว (Light Greenish Gray) น้ำหนัก ความหนาแน่น และความชื้นต่ำสุดเมื่อเทียบกับแผ่นกันความร้อนอัตราส่วนอื่น คือ 44.66 ± 4.10 กรัมต่อชิ้นงาน 0.17 ± 0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 8.35 ± 0.15% ตามลำดับ การทดสอบดัชนีการแตกร่วนและอัตราการเผาไหม้ให้ผลว่าแผ่นกันความร้อนไม่แตกร่วนและสามารถหยุดเผาไหม้ได้เอง อย่างไรก็ตามหากแผ่นกันความร้อนเปียกจะพองตัวทางความหนา 9.40 ± 2.55% และเสียสภาพได้ เมื่อนำแผ่นกันความร้อนในอัตราส่วนดังกล่าวไปทดสอบเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างระบบจำลองที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งแผ่นกันความร้อน พบว่า อุณหภูมิภายในระบบจำลองที่ติดตั้งแผ่นกันความร้อนแตกต่างกับระบบจำลองที่ไม่ติดตั้งแผ่นกันความร้อน ($P < 0.05$) โดยสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 1.17 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: แผ่นกันความร้อน เศษฉลาก เส้นใยชานอ้อย

[1] นิสิตวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สระแก้ว 27160

[2] อ.ดร., คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สระแก้ว 27160

[3] อ., คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

[1] Bachelor of Science Student, Faculty of Science and Social Science, Burapha University, Sakaeo 27160

[2] Lecturer, Dr., Faculty of Science and Social Science, Burapha University, Sakaeo, 27160

[3] Lecturer, Faculty of Science at Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi, 20230

[*] Corresponding author: E-mail address: sirinaree.th@gmail.com

Abstract

This research studied the manufacturing of thermal insulation sheet composed of labeling waste from beverage industrial mixed with bagasse fiber from sugar industry. The procedure was carried on by immersed the labeling waste and bagasse fiber into sodium hydroxide solution (NaOH) 1% (m/v) for 4 hours after that thoroughly mixed the labeling waste with the bagasse fiber as 3 proportions, 25:75, 50:50 and 75:25. All proportions of prepared waste were combined with latex adhesive 50 g and molded the thermal insulation specimen as the rectangular shape, 9 x 10 x 1.5 cm. Dried the thermal insulation at the ambient condition for 7 days then attached together as thermal insulation sheet, 45 x 100 x 1.5 cm. Afterward, the physical properties were analyzed. It was indicated the thermal insulation manufactured from labeling waste and bagasse proportion as 75:25 was the most appropriate to use. Implied from its properties as it was light greenish grey. The value of mass, density, including moisture content compared with the other proportion were lowest that was equal to 44.66 ± 4.10 g, 0.17 ± 0.03 g/cm^3 and 8.35 ± 0.15% respectively. The shatter index and combustion rate were tested and found thermal insulation specimen could not fragile also it could be stopped combustion. However, when the thermal insulation was wet, it would swell such the thickness swell was equal to 9.40 ± 2.55 % then it was disintegrated later. Furthermore, the comparison of temperature between the simulation system which was installed and not installed the developed thermal insulation was analyzed. The result revealed that temperatures were significantly different ($P < 0.05$). Simulation system also installed the thermal insulation from labeling waste and bagasse fiber, 75:25 proportion was able to reduce the temperature down most effectively as 1.17 °C.

Keywords: Thermal Insulation, Labeling Waste, Bagasse

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นปัญหาที่ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญ เนื่องจากตั้งแต่ช่วงปลายศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมาอุณหภูมิพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1.1 องศาเซลเซียส (°C) [1] นอกจากนี้การประเมินสถานการณ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบุว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวโลกจะเพิ่มขึ้น 1.4-5.8 °C ในศตวรรษที่ 21 [2] เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งการดำรงชีวิตของมนุษย์ ด้วยเหตุนี้มาตรการแนวทางความร่วมมือป้องกัน แก้ไข ตลอดจนบรรเทาผลกระทบจากโลกร้อนจึงถูกกำหนดขึ้นอย่างแพร่หลาย แนวทางในการบรรเทาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของมนุษย์ คือ การลดความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหรือแผ่นกันความร้อนในสิ่งปลูกสร้างต่างๆ เพื่อให้มีอุณหภูมิอากาศเหมาะสมต่อการดำเนินชีวิตอย่างสบาย (Comfort Temperature)

วัสดุที่ใช้ผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนหรือแผ่นกันความร้อน จำแนกได้ 4 ประเภท ได้แก่ วัสดุอนินทรีย์ (Inorganic Materials) วัสดุอินทรีย์ (Organic Materials) วัสดุผสมผสาน (Combined Materials) และวัสดุจากเทคโนโลยีการผลิตแบบใหม่ (New Technology Materials) [3] ทั้งนี้จากการสำรวจข้อมูลพบว่าในปัจจุบันนิยมใช้วัสดุอินทรีย์จำพวกเส้นใยจากธรรมชาติเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นแนวทางการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [4] ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Biodegradable) มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย [5-6] วัสดุอินทรีย์ที่นำมาผลิตเป็น

แผ่นกันความร้อนมีหลากหลาย อาทิ ใยมะพร้าว ชานอ้อย [7] เส้นใยลำต้นอินทผลัม [8] รวมถึงกากอุตสาหกรรมจากกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่งมีแนวโน้มนำมาพัฒนาร่วมกันมากขึ้นเพราะการพัฒนาแผ่นกันความร้อนจากกระบวนการดังกล่าวข้างต้นเป็นการเพิ่มมูลค่า ลดปริมาณกากอุตสาหกรรมหรือวัสดุเหลือทิ้งในสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเป็นทางเลือกเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นกันความร้อนจากวัสดุอื่นๆ ที่ต่างจากเดิม

ผู้วิจัยเห็นประโยชน์และสนใจแนวคิดเพื่อการพัฒนาดังกล่าวจึงศึกษาความเป็นไปได้การในนำกากอุตสาหกรรมพัฒนาเป็นแผ่นกันความร้อน โดยเลือกใช้เส้นใยชานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทรายซึ่งมีปริมาณสูงมากเป็นวัสดุหลัก เนื่องจากสมบัติของเส้นใยชานอ้อยที่มีลักษณะคล้ายกับเส้นใยของไม้ [9] มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญ [10] จึงเป็นเส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำมาผสมเป็นวัสดุเชิงประกอบ (Composite Material) [11] อย่างไรก็ตามยังไม่พบว่ามีการพัฒนาเส้นใยชานอ้อยร่วมกันกับเศษฉลากซึ่งเป็นกากอุตสาหกรรมประเภทกระดาษจากขั้นตอนการล้างขวดของอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม ผู้วิจัยจึงดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ดังกล่าว มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตแผ่นกันความร้อนที่ดำเนินการด้วยอุปกรณ์ต้นทุนต่ำและใช้กรรมวิธีที่ไม่ซับซ้อน โดยการนำกากอุตสาหกรรมทั้ง 2 ชนิดข้างต้น ได้แก่ เส้นใยชานอ้อยและเศษฉลากมาเชื่อมประสานกันด้วยกาว การสำรวจเอกสารวิจัยพบว่ากาวที่สามารถใช้เป็นวัสดุประสานสำหรับแผ่นกันความร้อนมีหลายชนิด อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เลือกศึกษาความเป็นไปได้จากการใช้กาวลาเท็กซ์เนื่องจากเป็นวัสดุประสานที่มีความโปร่งใส น้ำหนักเบา กันน้ำ กันแมลง [12] มีคุณสมบัติของการยึดเกาะจับติดเป็นเนื้อเดียวกับชิ้นงานเหมาะสม [13] และมีต้นทุนต่ำ ใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปวัสดุดังกล่าวด้วยมือแล้วเชื่อมต่อเป็นกันความร้อนด้วยลวดเย็บกระดาษ ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นกันความร้อนด้วยการจำลองระบบที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งแผ่นกันความร้อน ผลที่ได้นอกจากเป็นประโยชน์ต่อพัฒนากากอุตสาหกรรมเป็นแผ่นกันความร้อนแล้วยังเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไปอีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

การเตรียมเส้นใยชานอ้อยและเศษฉลากเป็นแผ่นกันความร้อน

แช่เส้นใยชานอ้อยและเศษฉลากดังภาพที่ 1 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เตรียมจาก NaOH 50 กรัม (g) และน้ำ 5,000 มิลลิลิตร (ml) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วนำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยชานอ้อยต่อเศษฉลาก เท่ากับ 25:75 50:50 และ 75:25 ใช้กาวลาเท็กซ์ปริมาณเท่ากัน คือ 50 g เป็นวัสดุประสาน ผสมวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันจนเป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้งแล้วนำมาขึ้นรูปเป็นขนาดทดสอบ (Test size) โดยใช้แม่พิมพ์พลาสติก ขนาดกว้าง 9 เซนติเมตร (cm) ยาว 10 cm และ หนา 1.5 cm ดังภาพที่ 2 โดยตั้งวางแม่พิมพ์บนพื้นเรียบ เทวัสดุลงไปในแม่พิมพ์จนเต็ม อัดเนื้อวัสดุด้วยมือแล้วดึงแม่พิมพ์ขึ้นตามแนวตั้ง ตกแต่งชิ้นงานด้วยเกรียงให้เรียบร้อย จากนั้นตากชิ้นงานภายใต้อุณหภูมิปกติและความดันบรรยากาศจนชิ้นงานแห้งสนิท

ก. เศษฉลาก

ข. เส้นใยชานอ้อย

ภาพที่ 1 วัสดุที่ใช้ผลิตแผ่นกันความร้อน

ภาพที่ 2 แม่พิมพ์สำหรับผลิตแผ่นกันความร้อน

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นกันความร้อนที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่างเส้นใยชานอ้อยและเศษฉลากทั้ง 3 อัตราส่วน ได้แก่ สี โดยใช้ Munsell Soil Color Book (Revised 2012) รายงานผลเป็นสี [14] ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวทางความหนา ประยุกต์ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.966-2547 รายงานผลเป็นอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของชิ้นงาน % ความชื้น และ % การพองตัวทางความหนา ตามลำดับ [15] อัตราการเผาไหม้ โดยการประยุกต์วิธี ASTM D 635 (2014) วิเคราะห์ผลจากเวลาหลังจากดึงเปลวไฟออกจากชิ้นงานจนกระทั่งไฟดับ รายงานผลเป็นระดับไม่เกิดการเผาไหม้ สามารถหยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง หรือคำนวณและรายงานผลอัตราการเผาไหม้ต่อเวลา [16] และดัชนีการแตกร่วนซึ่งประยุกต์ใช้วิธี Drop shatter test ตามวิธี ASTM D 3038 (2010) รายงานผลซึ่งคำนวณจากน้ำหนักก่อนการทดสอบต่อน้ำหนักหลังทดสอบ [17]

การศึกษาอุณหภูมิที่ลดลงด้วยระบบจำลองแบบห้องทดสอบ (Test Chamber)

วางระบบจำลองแบบที่ไม่ติดตั้ง (Blank) และติดตั้งแผ่นกันความร้อนในพื้นที่กลางแจ้ง รัศมีในระยะ 5 เมตร ไม่มีสิ่งกีดขวาง สำหรับการทดสอบนี้เลือกพื้นที่ตั้งที่รับแสงจากดวงอาทิตย์ได้มากที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2559 ซึ่งดวงอาทิตย์โคจรแบบอ้อมเหนือ คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ [18] ติดตั้งแผ่นฉนวนที่เตรียมจากการนำชิ้นงานแผ่นกันความร้อนมาเชื่อมต่อด้วยกาวร้อนและลวดเย็บกระดาษให้มีขนาดเท่ากับขนาดตามแนวระนาบของระบบจำลองที่ทำจากโครงเหล็ก ขนาดกว้าง 50 ยาว 100 สูง 65 cm ไว้ภายในระบบจำลองโดยวางใต้แผ่นหลังคากระเบื้อง ปิดด้านข้างและด้านล่างของระบบด้วยพลาสติกทึบแสง ดังภาพที่ 2

ก. แผ่นกันความร้อน

ข. ภายนอกของระบบจำลอง

ค. ภายในของระบบจำลอง

ภาพที่ 2 ระบบจำลองแบบห้องทดสอบ

บันทึกข้อมูลอุณหภูมิด้วย Data Logger ที่ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของระบบจำลองในช่วงรอบวัน ตั้งแต่เวลา 06.00 -18.00 น. ระหว่างดำเนินการตรวจวัดในทุก 1 ชั่วโมง ตรวจวัดระดับความเข้มแสงอาทิตย์ ณ จุดตรวจวัดบันทึกข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่ตรวจวัดจากแผ่นกันความร้อนแต่ละอัตราส่วน ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เส้นใยชานอ้อยและเศษฉลากที่นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกันความร้อนโดยใช้กาวลาเท็กซ์ซึ่งเป็นวัสดุประสาน สามารถขึ้นรูปได้ทุกอัตราส่วนทดสอบ เนื่องจากกาวลาเท็กซ์มีโพลิไวนิลอะซิเทต (Polyvinyl Acetate; PVAC) เป็นองค์ประกอบสำคัญ ทำให้การยึดเกาะดีและแข็งแรง เหมาะต่อการประสานวัสดุที่มีความพรุน [19] ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม [20] ระยะเวลาตากแห้งเท่ากัน คือ 7 วัน เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพให้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของแผ่นกันความร้อนจากเศษฉลากและเส้นใยชานอ้อย

สมบัติทางกายภาพของชิ้นงานแผ่นกันความร้อน	อัตราส่วนระหว่างเศษฉลากต่อเส้นใยชานอ้อย		
	25:75	**50:50**	**75:25**
สี	5Y6/3 หรือสีมะกอกอ่อน (Pale Olive)	5Y7/4 หรือสีเหลืองอ่อน (Pale Yellow)	10Y7/1 หรือ สีเทาอ่อนแกมเขียว (Light Greenish Gray)
น้ำหนักต่อชิ้นงาน (g)	54.79 ± 2.79	49.44 ± 4.30	44.66 ± 4.07
ความหนาแน่นต่อชิ้นงาน (g/cm^3)	0.23 ± 0.02	0.21 ± 0.03	0.17 ± 0.02
ความชื้น (%)	9.38 ± 0.17	8.96 ± 0.24	8.35 ± 0.15
ดัชนีการแตกร่วน	ไม่แตกร่วน	ไม่แตกร่วน	ไม่แตกร่วน
อัตราการเผาไหม้	สามารถหยุดการเผาไหม้ได้เอง	สามารถหยุดการเผาไหม้ได้เอง	สามารถหยุดการเผาไหม้ได้เอง
การพองตัวทางความหนา (%)	6.80 ± 2.09	8.68 ± 2.19	9.40 ± 2.55

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า ปริมาณของเส้นใยชานอ้อยและเศษฉลากที่ใช้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีของแผ่นกันความร้อนแตกต่างกัน แผ่นกันความร้อนมีสีค่อนข้างเหลืองหากใช้เส้นใยชานอ้อยปริมาณมาก แต่เมื่อปริมาณเศษฉลากมากแผ่นกันความร้อนมีสีค่อนข้างเทา ปริมาณวัสดุหรือกากอุตสาหกรรมที่ใช้แปรผกผันต่อน้ำหนัก ความหนาแน่นและความชื้นของชิ้นงานแผ่นกันความร้อนด้วย โดยชิ้นงานแผ่นกันความร้อนที่ใช้เศษฉลากปริมาณมากที่สุด มีน้ำหนัก และความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ 54.79 ± 2.79 g และ 0.23 ± 0.02 g/cm3 ตามลำดับ เนื่องจากลักษณะของเศษฉลากที่เป็นขุยสามารถอัดด้วยมือเพื่อขึ้นรูปได้ง่ายกว่าเส้นใยชานอ้อยที่เป็นเส้นใยแข็ง ปริมาณของเส้นใยและชนิดของเส้นใยยังมีผลต่อการดูดซึมน้ำด้วย [21] กล่าวคือ เศษฉลากสามารถดูดซับน้ำได้ง่ายกว่าเส้นใยชานอ้อยซึ่งมีองค์ประกอบเคมีหลักเป็นเซลลูโลสจากธรรมชาติ มีความเหนียว ผนังเซลล์แข็งและหนา [22] จึงดูดซับน้ำได้น้อยกว่าเศษฉลากจากกระดาษซึ่งเป็นเซลลูโลสผสมสารเติมแต่ง (Additive) ที่ไม่ใช่เส้นใย [23] เป็นผลให้ความชื้นของชิ้นงานแผ่นกันความร้อนที่ขึ้นรูปจากเศษฉลากและเส้นใยชานอ้อย อัตราส่วนเท่ากับ 75:25 มีค่าความชื้นมากที่สุด คือ 9.38 ± 0.17% ด้วย สอดคล้องกับผลทดสอบการพองตัวด้วยการแช่น้ำที่ชิ้นงานแผ่นกันความร้อนพองหรือมีความหนามากขึ้นตามปริมาณเศษฉลากที่ใช้ เนื่องจากเศษฉลากสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าเส้นใยชานอ้อยที่เป็นเส้นใยแข็งดังกล่าวมาข้างต้น ผลทดสอบการพองตัวด้วยการแช่น้ำยังให้ผลว่าชิ้นงานแผ่นกันความร้อนทุกอัตราส่วนไม่คงสภาพเมื่อเปียกเนื่องจากเสียสภาพได้หลังแช่น้ำ

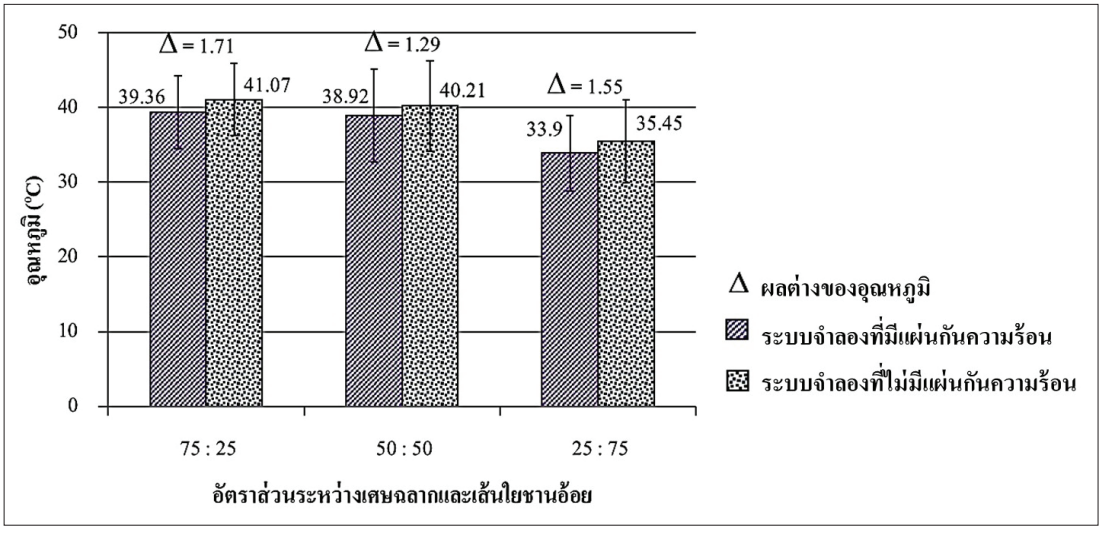
ผลทดสอบดัชนีการแตกร่วน ไม่พบว่าแผ่นกันความร้อนแต่ละอัตราส่วนแตกหัก แสดงให้เห็นว่าแผ่นกันความร้อนที่ผลิตจากเศษฉลากและเส้นใยชานอ้อยมีความคงทน แข็งแรง และไม่แตกร่วนง่าย สำหรับการทดสอบอัตราการเผาไหม้นั้น พบว่าแผ่นกันความร้อนทุกอัตราส่วนติดไฟได้และเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ผิวเป็นส่วนใหญ่ การเผาไหม้เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน โดยแผ่นกันความร้อนที่ขึ้นรูปจากเศษฉลากต่อเส้นใยชานอ้อยด้วยอัตราส่วนเท่ากับ 25:75 ติดไฟได้ง่ายกว่าเล็กน้อย สอดคล้องกับข้อมูลจากการวิจัยที่ระบุว่าเมื่ออัตราการเผาไหม้ของแผ่นกันความร้อนแปรผกผันกับความหนาแน่น [24] ผลทดสอบตามวิธี ASTM D 635 (2014) ในงานวิจัยนี้ พบว่าชิ้นงานแผ่นกันความร้อน

ทุกอัตราส่วนซึ่งมีความยาวในการทดสอบ 75 มิลลิเมตร ติดไฟเพียงครึ่งทางแล้วดับ จึงรายงานว่าอัตราการเผาไหม้นั้นอยู่ในระดับสามารถหยุดการเผาไหม้ได้เอง สำหรับสมบัติทางกายภาพของแผ่นกันความร้อนดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าแผ่นกันความร้อนจากเศษฉลากและเส้นใยชานอ้อยแต่ละอัตราส่วนมีความเป็นไปได้ต่อการนำไปใช้ กล่าวคือ มีสมบัติทางกายภาพไม่เกินมาตรฐาน JIS A 5905 (2003) ได้แก่ ความหนาแน่นไม่เกิน 350 kg/m3 ปริมาณความชื้นมีค่าระหว่าง 5-13% และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ไม่เกิน 10% [25] อย่างไรก็ตามจากข้อมูลทุติยภูมิที่ระบุว่าแผ่นกันความร้อนที่ดีควรมีน้ำหนักเบา อัตราการดูดซึมความชื้นต่ำ [26] มีความหนาแน่นน้อย ประกอบด้วยรูพรุนเล็กๆ จำนวนมากที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บความร้อนที่ไหลผ่านไว้ภายในทำให้ต้านทานการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ดีหรือมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) น้อย [27] จากสมบัติดังที่กล่าวมาจึงมีความเป็นไปได้ว่าแผ่นกันความร้อนที่ขึ้นรูปด้วยอัตราส่วนระหว่างเส้นใยชานอ้อยต่อเศษฉลากเท่ากับ 25:75 มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานมากที่สุด

อนึ่งงานวิจัยได้ทำการศึกษาสมบัติความเป็นฉนวนจากการสร้างระบบจำลองแบบห้องทดสอบโดยได้กำหนดพื้นที่สำหรับการทดสอบได้วางระบบจำลองในแนวขนานกันเพื่อป้องกันไม่ให้เงาของระบบจำลองบดบังกันเอง ดังภาพที่ 3 เมื่อตรวจวัดระดับความเข้มของแสงอาทิตย์ทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00-18.00 น. ที่ตำแหน่งดังกล่าว พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละวันมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. และต่ำสุดอยู่ในช่วงเวลา 06.00 - 07.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่พระอาทิตย์กำลังขึ้น และช่วงเวลา 17.00-18.00 น. เป็นช่วงที่พระอาทิตย์ตก แม้บางวันสภาพภูมิอากาศมีส่วนที่ทำให้ระดับความเข้มแสงอาทิตย์ลดลง เนื่องจากในบางวันมีเมฆมากและฝนตก แต่ระดับความเข้มแสงอาทิตย์ก็แนวโน้มเดียวกัน คือ เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเช้าจนกระทั่งอุณหภูมิสูงสุดตอนกลางวันแล้วลดลงในช่วงบ่าย

ภาพที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งของระบบจำลองแบบห้องทดสอบ

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิที่บันทึกเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งแผ่นกันความร้อนทั้ง 3 อัตราส่วน ให้ผลดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อุณหภูมิระหว่างระบบจำลองที่มีและไม่มีแผ่นกันความร้อน

จากภาพแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อระบบจำลองมีและไม่มีแผ่นกันความร้อนมีความแตกต่างกัน คือ ระบบจำลองที่มีแผ่นกันความร้อนสามารถลดอุณหภูมิลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยอัตราส่วนระหว่างเศษฉลากต่อเส้นใยชานอ้อยที่ 75:25 สามารถลดอุณหภูมิลดได้มากที่สุด คือ 1.71 °C

ผลการศึกษาข้างต้น สรุปได้ว่าเศษฉลากจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มและเส้นใยชานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทราย นำมาผ่านขั้นตอนต่างๆ แล้วผสมกับวัสดุประสาน ได้แก่ กาวลาเท็กซ์ สามารถขึ้นรูปและใช้เป็นแผ่นกันความร้อนได้โดยแผ่นกันความร้อนที่ขึ้นรูปจากเศษฉลากและเส้นใยชานอ้อยในอัตราส่วนเท่ากับ 75:25 มีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปด้วยอัตราส่วนอื่นๆ ทั้งยังลดอุณหภูมิได้มากที่สุดด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] National Aeronautics and Space Administration. (2017). **Climate change: How do we know?**. Retrieved May 4, 2017, from https://climate.nasa.gov/evidence/.

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). **IPCC 4th Assessment Report: Climate Change 2007**. Retrieved May 14 , 2017, from https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-spm-5.html.

[3] Aditya, L., Mahlia, T.M.I., Rismanchi, B., Ng, H.M. Hasan, M.H., Metselaar, H.S.C., Muraza, O. and Aditiya, H.B. (2017). “A review on insulation materials for energy conservation in buildings”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 73, 1352-1365.

[4] Rashed, H.M.M.A., Islam, M.A. and Rizvi, F.B. (2006). “Effects of process parameters on tensile strength of jute fiber reinforced thermoplastic composites”, **Journal of Naval Architecture and Marine Engineering**. 3(1), 1-6.

[5] Ali, M.E. and Alabdulkerem, A. (2017). "On thermal characteristics and microstructure of a new insulation material extracted from date palm trees surface fibers", **Construction and Building Materials**. 138, 276-284.

[6] Palumbo, M., Lacasta, A.M., Navarro, A., Giraldo, M.P. and Lesar, B. (2017). "Improvement of fire reaction and mould growth resistance of a new bio-based thermal insulation material", **Construction and Building Materials**. 139, 531-539.

[7] Panyakaew, S. and Fotios, S. (2011). "New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse", **Energy and Buildings**. 43, 1732-1739.

[8] Braiek, A., Karkri, M., Adili, A., Ibos, L. and Nasrallah, S.B. (2017). "Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building", **Energy and Buildings**. 140, 268-279.

[9] Doost-hoseini, K., Taghiyari, H.R. and Elyasi, A. (2014). "Correlation between sound absorption coefficients with physical and mechanical properties of insulation boards made from sugar cane bagasse", **Composites: Part B**. 58 (2014), 10-15.

[10] Jonoobi, M., Grami, M., Ashori, A. and Ebrahimi, G. (2016). "Effect of ozone pretreatment on the physical and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse", **Measurement**. 94, 451-455.

[11] Oliveira, F.B.D., Bras, J., Pimenta, M.T.B., Curvelo, A.A.S. and Belgacem, M.N. (2016). Production of cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse fibers and pith. **Industrial Crops and Products**. 93, 48-57.

[12] Saelee, S. and Sikkha, S. (2012). "The development of insulating ceiling boards and walls from plants in Thailand", **Art and Architecture Journal Naresuan University**. 3(1), 15-24.

[13] TOA Paint.(2013). **Material Safety Data Sheet: LA-22-S**. Retrieved May 19, 2017, from http://www.toagroup.com/ contents/files/product-data_sheet-20130111-154911-019143.pdf .

[14] Phuwanart Na Lampang. (1999). **Thermal Insulation Ceiling**. Senior Project of Construction Technology. Bachelor of Science, Program in Industrial Technology (Construction). Faculty of Science and Technology. Chiang Mai Rajabhat Institute.

[15] Thai Industrial Standards Institute. (2004). **Thai Industrial Standard: Medium Density Fibreboards (MDF)**. TIS. 966-2547.

[16] Chaisupakitsin, M., Pitoonthud, T., Putthachartsombut, P. and Surerngrit, R. (2010). "Properties of fiberboard made from coconut coir/polystyrene foam containing flame retardant", **Burapha Science Journal**. 15(2), 57-66.

[17] Tanpaiboonkul, N. and Budnumpetch, T. (2016). "Molding and binding method on properties of fuel from water hyacinth", **Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University**. 3(6), 86-100.

[18] National Astronomical Research Institute of Thailand. (2016). **21 June 2016: Longest day of the year**. Retrieved May 19, 2017, from http://www.narit.or.th/index.php/pr-news/2560-summer-solstice-june-2559.

[19] Chaabouni, O. and Boufi, S. (2017). "Cellulose nanofibrils/polyvinyl acetate nanocomposite adhesives with improved mechanical properties", **Carbohydrate Polymers**. 156, 64-70.

[20] Leejarkpai, T. (2003). "Knowledge of Adhesive", **Update**. 18(192), 89-92.

[21] Chaisupakitsin, M. and Arunchokwattana. (2000). "Mechanical properties, physical properties and sound absorption of composite fiberboard: Comparison between coconut fiber and coconut fiber", **Journal of Science Ladkrabang**. 17(1), 74-85.

[22] Padkoh, N. (2015). "The production and study property of insulation wall light board from bagasse fiber for using in architecture work", **Journal of Engineering, RMUTT**. 13(2), 11-21.

[23] Khantayanuwong, S. (2003). **Structure and Properties of Paper**. Retrieved May 19, 2017, from http://packaging. oie.go.th/new/admin_control/file_technology/6827549103.pdf.

[24] Churam, T., Usubharatana, P. and Phungrassami, H. (2016). **Development of Thermal Insulation from Agricultural Wastes**. In The 6th National research conference of Phuket Rajabhat University (unpaged). Phuket: Phuket Rajabhat University.

[25] Sakulpanich, A. (2016). "The development of building thermal insulation from corncob and natural rubber latex", **Veridian E-Journal, Silpakorn University**. 9(1), 1688-1702.

[26] Gonçalves , M.R.F. and Bergmann. C.P. (2007). "Thermal insulators made with rice husk ashes: Production and correlation between properties and microstructure", **Construction and Building Materials**. 21(12), 2059-2065.

[27] Termkoa, K. (2012). "Thermal conductivity test of composite insulation", **Journal of DSS, Ministry of Science and Technology**. 60(190), 9-11.

บทความวิจัย

สมบัติของยางธรรมชาติที่มีซิลิกาจากแกลบข้าวเคลือบพอลิเอทิลีนเป็นสารตัวเติม

Properties of Natural Rubber Filled with Silica from Rice Husk Coated with Polyethylene

กัญจน์รัตน์ สุขรัตน์[1] อดิศักดิ์ จตุรพิรีย์[2] เอกราชันย์ ไชยชนะ[2] และธนัญญา เสาวภาคย์[1*]

Kanjarat Sukrat[1], Adisak Jaturapiree[2], Ekrachan Chaichana[2] and Thanunya Saowapark[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ศึกษาสมบัติการคงรูปและความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่มีซิลิกาจากแกลบข้าวที่ปรับปรุงผิวด้วยการเคลือบด้วยพอลิเอทิลีนเป็นสารตัวเติม โดยการเตรียมซิลิกาจากแกลบข้าว (SC/RH) ทำได้โดยนำแกลบข้าวมาเผาที่ 700°C เมื่อนำไปวิเคราะห์ พบว่าประกอบด้วยซิลิกาถึงร้อยละ 99 และมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน หลังจากนั้นนำซิลิกาที่ได้ไปปรับปรุงโดยใช้พอลิเอทิลีน (PE) ผ่านกระบวนการอินซิทูพอลิเมอร์ไรเซชัน เปรียบเทียบกับซิลิกาเกรดการค้า (SC/com) พบว่า ซิลิกาทั้ง 2 ชนิดมี PE เคลือบอยู่ที่พื้นผิว เมื่อนำซิลิกาจากแกลบ และเกรดการค้าที่ยังไม่ได้ทำปรับปรุงพื้นผิว (SC/RH และ SC/com) และปรับปรุงพื้นผิวด้วย PE (SC/RH-PE และ SC/com-PE) มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่า การใช้ซิลิกาปรับปรุงพื้นผิวด้วย PE เป็นสารตัวเติมส่งผลให้ระยะเวลาการคงรูปลดลง ผลต่างของแรงบิดและค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PE ที่เคลือบบนพื้นผิวของซิลิกานั้นสามารถลดการดูดซับตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป อีกทั้งลดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมหรือซิลิกา ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติได้ดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของยางส่วนที่ติดกับอนุภาคของสารตัวเติม

คำสำคัญ: ซิลิกา แกลบข้าว พอลิเอทิลีน ยางธรรมชาติ

[1] อ.ดร., ศูนย์วิจัยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพ สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 73000

[2] ผศ.ดร., ศูนย์วิจัยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุชีวภาพ สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 73000

[1] Lecturer, Dr., Research Center of Agriculture Residue Products and Biomaterials, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

[2] Asst. Prof. Dr., Research Center of Agriculture Residue Products and Biomaterials, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

[*] Corresponding author: E-mail address: bbiirrddtt@hotmail.com

Abstract

This study aimed to investigate cure characteristics and tensile properties of natural rubber filled with silica from rice husk coated with polyethylene. The rice husk silica (SC/RH) was obtained after calcination rice husk at 700˚C. The results show that SC/RH containing 99% of silica with amorphous structure. The SC/RH was improved with polyethylene (PE) through in situ polymerization comparing with the commercial silica (SC/com). It was found that the silica surface was coated with PE. For further study, untreated silica (SC/RH and SC/com) and PE treated silica (SC/RH-PE and SC/com-PE) were introduced as filler into natural rubber (NR). The experimental results obviously show that the decrease in cure time and the increase in torque difference and tensile strength of NR composites with incorporation of PE treated silica. This is due to the reduction of the adsorption of curing accelerator and filler-filler interaction on the silica surface via PE leading to the improvement in rubber - filler interaction which corresponded well with bound rubber result.

Keywords: Silica, Rick Husk, Polyethylene, Natural Rubber

บทนำ

ซิลิกา (Silica) เป็นหนึ่งในสารตัวเติม (Filler) ที่สำคัญที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางธรรมชาติ (Natural Rubber หรือ NR) [1-2] ซิลิกาสามารถสังเคราะห์ได้จากวิธีการต่างๆ เช่น การตกตะกอนซิลิกาโดยใช้สารละลายซิลิเกต และซิลิกาจากทรัพยากรธรรมชาติ เช่น แกลบข้าว ชานอ้อย และเถ้าลอย ปัจจุบันมีการใช้ซิลิกาจากทรัพยากรธรรมชาติเป็นทางเลือกเสริมสารตัวเติมในยางธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตาม การนำซิลิกามาใช้ในอุตสาหกรรมยางก็ยังไม่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพเท่าที่ควรเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างซิลิกาที่แข็งแรงเนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไซลานอลที่ผิวของซิลิกา และมีความเป็นขั้วค่อนข้างสูง ทำให้เกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติที่ได้ยาก [2-4] โดยมีงานวิจัยมากมายที่พยายามปรับปรุงผิวของซิลิกาเพื่อลดปัญหาดังกล่าวโดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น การปรับปรุงด้วยสารคู่ควบ [5-7] และการปรับปรุงด้วยกระบวนการกราฟท์พอลิเมอร์บนผิวของซิลิกา (Graft Polymerization) [8-9] เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงพื้นผิวของซิลิกาจากแกลบข้าวโดยการเคลือบพอลิเอทิลีนลงบนพื้นผิวซิลิกาเพื่อลดปัญหาการเกิดอันตรกิริยาระหว่างซิลิกา และเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและซิลิกา ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของซิลิกาในการเสริมแรงยางได้ดีขึ้น

วิธีการดำเนินการ

การเตรียมซิลิกาจากแกลบข้าวและการเคลือบผิวของซิลิกาด้วยพอลิเอทิลีน

โดยนำแกลบดิบ ปรับสภาพด้วยกรด HCl จากนั้นนำไปอบแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 ˚C เมื่อได้ซิลิกาจากแกลบแล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ศึกษาความเป็นผลึก และลักษณะสัณฐานวิทยาของซิลิกาจากแกลบด้วยเทคนิค X – Ray Fluorescence (XRF) X-Ray Diffractrometer (XRD) และ Scanning Electron Microscope (SEM) จากนั้นนำซิลิกาที่เตรียมจากแกลบ และซิลิกาเกรดการค้ามาทำการเคลือบผิวด้วยพอลิเอทิลีน หรือ PE ผ่านปฏิกิริยา อินซิทูพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยเริ่มจากการเตรียมตัวรองรับสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Support)

โดยนำซิลิกาไปผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม MAO (Methyl Aluminoxane) ใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย จะได้ ซิลิกาที่มี MAO เคลือบฝังอยู่ และนำมาเริ่มการพอลิเมอร์ไรเซชันโดยการนำซิลิกาที่มี MAO เคลือบฝังอยู่ มาเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเมทัลโลซีนให้ความร้อนจนถึง 70 °C ป้อนเอทิลีนที่ควบคุมความดันไว้ที่ 50 psi และหยุดปฏิกิริยาโดยใช้ Acidic Methanol กรองพอลิเมอร์ที่ได้ หรือซิลิกาที่เคลือบผิวด้วยพอลิเอทิลีนนั่นเอง โดยนำมาวิเคราะห์การเคลือบผิวของซิลิกาด้วยพอลิเอทิลีนโดย XRD และ Differential Scanning Calorimeter (DSC)

การเตรียมยางธรรมชาติที่มีซิลิกาเป็นสารตัวเติม

โดยการผสมยางธรรมชาติและสารเคมีตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 1 โดยมีขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์ในขั้นตอนที่ 1 คือ ทำการผสมยาง สารตัวเติมหรือซิลิกา และสารเคมีอื่นๆ ยกเว้น TBBS (N-tert-butyl-2-benzothaiazole sulfernamide) และ Sulphurในเครื่องผสมแบบปิด Brabender (Cam Blade Rotor) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 40 รอบ/นาที ระยะเวลาในการผสม 9 นาที ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเติม TBBS และ Sulphur ลงในยาง Masterbatch ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเครื่องผสมระบบปิด Brabender เช่นเดิมใช้เวลาผสม 3 นาที จากนั้นนำยางผสมไปรีดโดยใช้เครื่องรีด 2 ลูกกลิ้ง (2 Roll Mill)

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางคอมพาวด์

องค์ประกอบ	Part per hundred rubber (phr)				
	Unfilled	**SC/RH**	**SC/Com**	**SC/RH -PE**	**SC/Com -PE**
Natural Rubber (STR 5L)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Zinc Oxide	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Stearic acid	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
สารตัวเติม	0.0	25.0	25.0	25.0	25.0
TBBS	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
Sulphur	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติที่มีซิลิกาเป็นสารตัวเติม

การศึกษาลักษณะการคงรูป

การศึกษาการคงรูปของยางคอมพาวด์โดยใช้เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR: TECHPRO, rheotech MD+) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 150 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการคงรูปต่อไป

อันตรกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและซิลิกาจากเถ้าแกลบ

อันตรกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและสารตัวเติมหรือซิลิกา (Rubber- Filler Interaction) สามารถทดสอบได้จากปริมาณของ Bound Rubber โดยการนำยางคอมพาวด์มาตัดให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมที่มีน้ำหนัก 1 กรัม จากนั้นนำไปแช่ โทลูอีนเป็นเวลา 7 วัน เก็บไว้ในที่มืด เมื่อครบกำหนดแล้วนำชิ้นส่วนของยางคอมพาวด์ที่ไม่ละลายในโทลูอีนมากรองแล้วชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณ % Bound Rubber ดังสมการ

$$\%\ \text{Bound Rubber} = \frac{\text{น้ำหนักยางหลังแช่โทลูอีน} - \text{น้ำหนักของสารตัวเติม}}{\text{น้ำหนักยางก่อนแช่ในโทลูอีน} - \text{น้ำหนักของสารตัวเติม}} \times 100$$

การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

ทำการขึ้นรูปยางคอมพาวด์เป็นแผ่น โดยแม่พิมพ์แบบอัดที่อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้เวลาคงรูปที่ได้จากการศึกษาลักษณะการคงรูปที่ได้การทดสอบก่อนหน้าทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (INSTRON 3366)

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

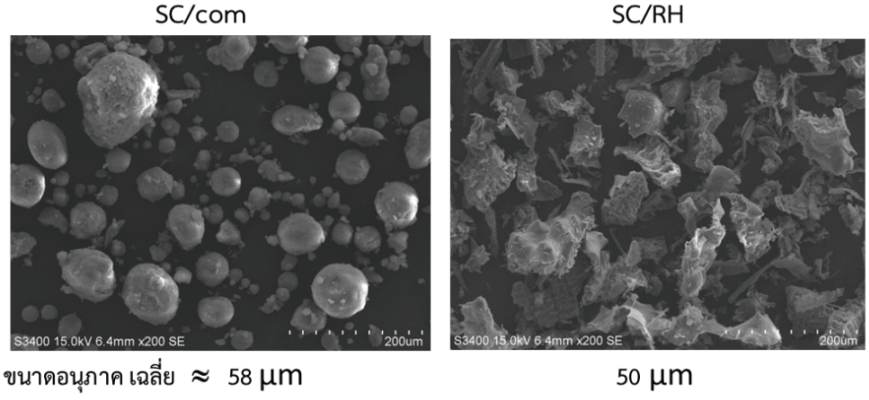
สมบัติของซิลิกาจากแกลบ

โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบในแกลบนั้นจะประกอบด้วยสามส่วนคือ ส่วนของอินทรีย์ประเภทเซลลูโลส ซิลิกา และ สารประกอบออกไซด์ โดยสารประกอบออกไซด์เหล่านี้ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดจะสามารถเกิดสารประกอบของโลหะช่วยในการละลายโลหะออกไซด์ที่อยู่ในแกลบออกไปได้ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรด HCl ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าเถ้าแกลบมีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกา (SiO_2) เช่นเดียวกับที่มีรายงานไว้ในงานวิจัยของ Chuayjuljit และคณะ [10] ในขณะที่ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ไม่ปรากฏอยู่เนื่องจากได้สลายตัวไปจากการได้รับความร้อน

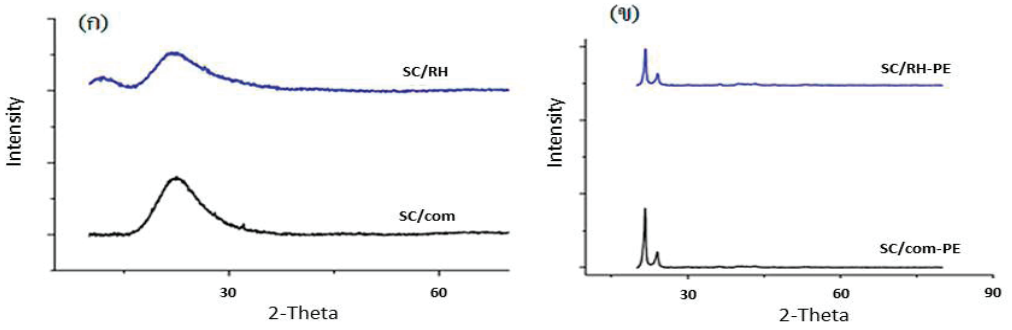
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบข้าวที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 °C

สารประกอบ	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	ZnO	Cl
ปริมาณ (%)	99.861	-	0.012	0.109	0.002	0.01	0.002	0.002	-

จากการตรวจวัดสัณฐาน (Morphology) ของซิลิกาด้วยเครื่อง SEM เปรียบเทียบซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าแสดงดังภาพที่ 1 พบว่า ซิลิกาที่เตรียมจากแกลบ (SC/RH) มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ลักษณะเป็นแผ่น ขณะที่ SC/com มีรูปร่างกลม เมื่อนำซิลิกาทั้ง 2 ชนิด ไปทดสอบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD ซึ่งผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 2(ก) พบว่าซิลิกาทั้ง 2 ชนิดไม่มีโครงสร้างแบบผลึกหรือมีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) โดยสังเกตจากพีคที่มีลักษณะกว้าง และพีคดังกล่าวขึ้นที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นถึงเอกลักษณ์ของซิลิกาซึ่งปรากฏอยู่



ภาพที่ 1 ลักษณะของซิลิกาจากแกลบและซิลิกาเกรดการค้าตรวจสอบจากเครื่อง SEM

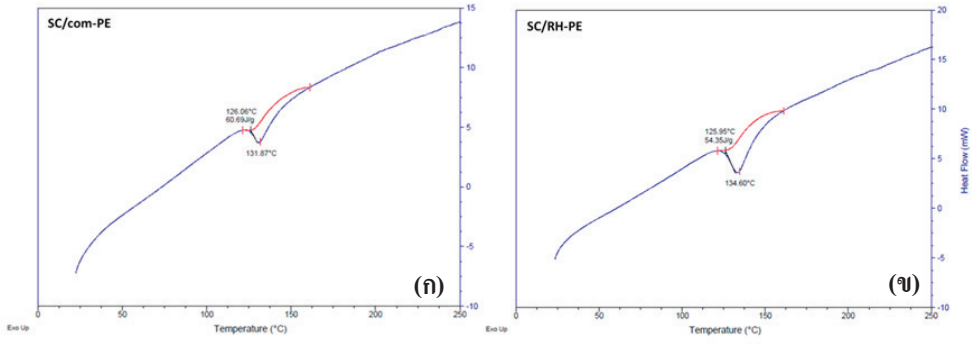


ภาพที่ 2 XRD pattern ของซิลิกาที่ (ก) ไม่ผ่าน และ (ข) ผ่านการเคลือบผิวด้วย PE

สมบัติของซิลิกาที่เคลือบผิวด้วยด้วยพอลิเอทิลีน

หลังการเกิดปฏิกิริยาอินซิทูพอลิเมอร์ไรเซชันจะได้ซิลิกาที่มีพอลิเอทิลีนเคลือบพื้นผิว ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ SC/com-PE และ SC/RH-PE โดยสามารถพิสูจน์ว่าพื้นผิวของซิลิกามีพอลิเอทิลีนเกิดขึ้นเคลือบผิวจริงจากผลการทดสอบ XRD และ DSC โดย XRD-Pattern ของซิลิกา แสดงดังภาพที่ 2(ข) ซึ่งพบว่าซิลิกาทั้ง 2 ชนิดปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 21.4° และ 24.1° ซึ่งเป็นพีคลักษณะเฉพาะของผลึกพอลิเอทิลีนที่เรียงตัวแบบออร์โธรอมบิก (Orthorhombic) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่ามีพอลิเอทิลีนเกิดขึ้นในการพอลิเมอร์ไรเซชันและเคลือบผิวของซิลิกาอยู่จากการทดสอบข้างต้น

สำหรับ DSC นั้นสามารถใช้บ่งบอกสมบัติทางความร้อนของวัสดุได้หลากหลายชนิด รวมทั้ง พอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีน โดยสมบัติที่ถูกทดสอบได้ เช่น อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg) และ อุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุ (Melting Temperature, Tm) เป็นต้น ผลการทดสอบตัวอย่างโดยเครื่อง DSC พบว่า กราฟซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างค่า Heat Flow และอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 3 ของซิลิกาเคลือบพอลิเอทิลีน พบว่า มีค่า Heat Flow เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า Heat Flow ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว คือ ค่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของวัสดุ ซึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิหลอมเหลว สำหรับอุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส ที่ปรากฏในซิลิกาดังกล่าวตรงกับอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเอทิลีน ดังนั้นจึงบ่งบอกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการหลอมเหลวของ พอลิเอทิลีนบนพื้นผิวของซิลิกา เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่ามีพอลิเอทิลีนคงอยู่ในผิวซิลิกาที่ผ่านการพอลิเมอร์ไรเซชัน



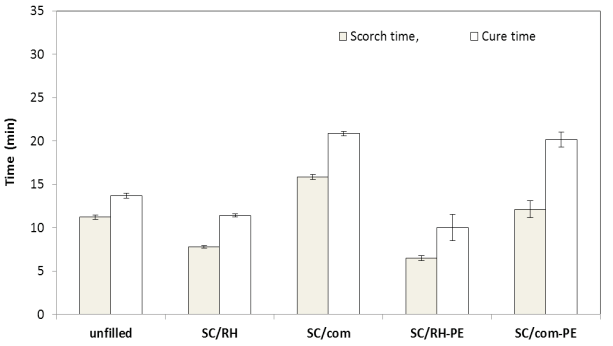
ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Heat Flow และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ของ
(ก) ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com-PE)และ (ข) ซิลิกาจากแกลบ (SC/RH-PE) ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย PE

การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติที่มีซิลิกาจากแกลบ (SC/RH) ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com) และซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE)

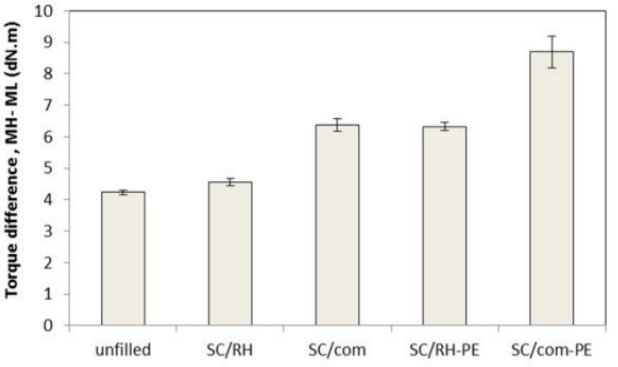
การศึกษาลักษณะการคงรูป (Cure characteristics)

ผลของการเติมซิลิกาเถ้าแกลบ (SC/RH) ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com) และ ซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE) ที่มีต่อเวลาการเริ่มคงรูป (Scorch Time) เวลาการคงรูป (Cure Time) และผลต่างของแรงบิด (Torque Difference) แสดงดังภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า การเติมซิลิกาลงไปไม่ว่าจะเป็นซิลิกาจากแกลบ หรือซิลิกาเกรดการค้าหลังปรับปรุงผิวด้วยพอลิเอทิลีนลงในยางธรรมชาติส่งผลให้เวลาการเริ่มคงรูป (Scorch Time) เวลาการคงรูป (Cure Time) นั้นลดลง หรือมีระยะเวลาที่เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาทั้งสองชนิดที่ไม่ได้มีการปรับปรุงผิว แสดงดังภาพที่ 4ก เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวของซิลิกาด้วยพอลิเอทิลีนนั้นพอลิเอทีลีน ทำหน้าที่ช่วยเคลือบผิวของซิลิกาช่วยลดการดูดซับตัวเร่งปฏิริยาการเกิดการคงรูปบนพื้นผิวของซิลิกาดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยากาคงรูปหรือ TBBS สามารถทำหน้าที่ได้อย่างเต็มที่จึงเกิดการเริ่มการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปของระบบสารตัวเติมซิลิกาได้เร็วขึ้น [11] นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ซิลิกาจากแกลบ (SC/RH, SC/RH-PE) เป็นสารตัวเติมนั้นแตกต่างจากกรณีที่ใช้ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com, SC/com-PE) นั่นคือซิลิกาจากแกลบมีระยะเวลาในการคงรูปน้อยกว่าหรือสั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกาจากแกลบมีองค์ประกอบของ Metal Oxide ซึ่ง Metal Oxide ดังกล่าว ส่งผลทำให้เกิดการคงรูปได้เร็วขึ้นและ ซิลิกาเกรดการค้ามีปริมาณของหมู่ไซลานอลจำนวนมากซึ่งสามารถดูดซับตัวเร่งปฏิกิริยาการคงรูปส่งผลให้การคงรูปใช้เวลานานขึ้น

เช่นเดียวกับค่าของผลต่างแรงบิด แสดงดังภาพที่ 4ข จะเห็นได้ว่าค่าผลต่างของแรงบิดของยางธรรมชาติที่เติมซิลิกาทั้งสองชนิดก่อนและหลังปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีน ก็สูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารตัวเติม (Unfilled) ซึ่งค่าผลต่างแรงบิดที่เพิ่มขึ้นเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม และการเกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางที่เพิ่มขึ้นด้วย (Crosslink Density) นอกจากนั้นพบว่าค่าผลต่างของแรงบิดของการใช้ซิลิกาทั้งสองชนิดที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE) มีค่าสูงกว่า ซิลิกาที่ไม่ได้มีการปรับปรุงพื้นผิว (SC/RH และ SC/com) ซึ่งหมายถึง อันตรกิริยาระหว่างยางกับซิลิกา และการเกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางมีมากขึ้น เมื่อใช้ซิลิกาที่มีการปรับปรุงพื้นผิวเนื่องจากบนพื้นผิวของซิลิกามีหมู่ ไซลานอล เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เมื่อซิลิกามาอยู่รวมกันสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนผ่านหมู่ไซลานอลส่งผลให้เกิดการเกาะกลุ่มกันเองของอนุภาคซิลิกาอาจทำให้มียางบางส่วนถูกกันเอาไว้ภายใน โครงสร้างของซิลิกา ยางดังกล่าวเสมือนถูกป้องไว้ไม่ให้เข้าสู่ปฏิกิริยาการคงรูปหรือเกิดพันธะเชื่อมขวางและการที่ตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปหรือ TBBS ก็สามารถถูกดูดซับบนพื้นผิวของซิลิกา เป็นผลให้การเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางและซิลิการวมถึงการเกิดพันธะเชื่อมขวางที่ลดลง ซึ่งเป็นปัญหาหลักของการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมโดยปัญหาลดดังกล่าวโดยการปรับปรุงพื้นผิวของซิลิกาโดยใช้พอลิเอทิลีนลดความเป็นขั้วบนพื้นผิวของซิลิกาและสามารถเกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติได้ดีขึ้นเนื่องจากมีโมเลกุลทั้งสองมีสภาพความไม่มีขั้วเช่นเดียวกันแต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อใช้ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com, SC/com-PE) เป็นสารตัวเติมมีผลต่างแรงบิดสูงกว่าการใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบ (SC/RH, SC/RH-PE) ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกาเกรดการค้าสามารถเกิด Filler Network Formation ได้ขณะทำการวัดการคงรูปภายในเครื่อง MDR ส่งผลให้เห็นค่าผลต่างของแรงบิดดังกล่าวชัดเจนในระบบที่มีซิลิกาเกรดการค้าที่มีขนาดอนุภาคเล็กจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก ส่งผลให้มี Actives Sites ในการเกิด filler network ได้มาก [12]



(ก)

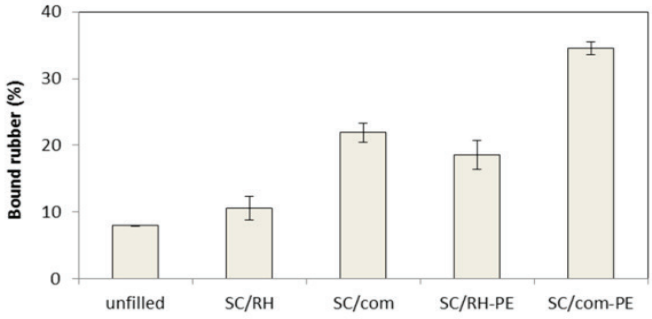


(ข)

ภาพที่ 4 (ก) เวลาการเริ่มคงรูป (Scorch Time) เวลาการคงรูป (Cure Time) และ (ข) ผลต่างแรงบิด (Torque Difference) ของยางธรรมชาติ เมื่อใช้ซิลิกาจากแกลบ(SC/RH) ซิลิกาเกรดการค้า(SC/com) และซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE) เป็นสารตัวเติม

อันตรกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและสารตัวเติม (Rubber-filler interaction)

การทดสอบ Bound Rubber หรือ ยางส่วนที่ติดกับอนุภาคของสารตัวเติมนั้น เป็นการทดสอบอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมและยาง โดยสารตัวเติม คือซิลิกาจากแกลบ(SC/RH) ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com) และซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE) โดยผลของ Bound Rubber แสดงในภาพที่ 5 จากผลการทดลองพบว่า กรณียางธรรมชาติที่ไม่ใช้ สารตัวเติมให้นั้นมีค่า % Bound Rubber เกิดขึ้นและค่าน้อยที่สุด อาจจะเป็นเพราะการเกิดจากเจลยางธรรมชาติที่ไม่ละลายในตัวทำละลายเนื่องจาก ไม่มีสารตัวเติมอยู่ในระบบนี้ เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่ใส่สารตัวเติมเนื่องจากยางสามารถละลายได้ในตัวทำละลายโทลูอีนได้บางส่วน ในขณะที่เมื่อใช้สารตัวเติมทั้ง 4 ชนิด พบว่าได้ปริมาณ Bound Rubber สูงขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง กรณีที่ไม่ปรับปรุงซิลิกาทั้งจากแกลบและเกรดการค้า พบว่า มีปริมาณ Bound Rubber ที่ต่ำกว่ากรณีปรับปรุงผิวซิลิกาทั้งสองชนิด เนื่องจาก Bound Rubber คือ ยางที่ไม่สามารถถูกละลายออกมาได้ด้วยตัวทำละลายโทลูอีน โดยสามารถเกิดได้ มี 3 ลักษณะคือ เจลยางที่ไม่ละลายตามที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ยางที่ถูกกักไว้ภายในโครงสร้างของสารตัวเติมซิลิกาและการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลซิลิกาโดยมีพอลิเอทิลีนเป็นสะพานเชื่อม ดังนั้นในกรณีเมื่อไม่ปรับปรุงผิวซิลิกาทั้งสองชนิด Bound Rubber ที่เกิดขึ้นจะมีเพียงแค่ยางที่ถูกกักไว้ภายในโครงสร้างของซิลิกาเท่านั้น ในขณะที่เมื่อมีการปรับปรุงผิวซิลิกาทั้งสองชนิด Bound Rubber ที่เกิดจะมีทั้งยางที่ถูกกักไว้ภายในโครงสร้างของ สารตัวเติมและส่วนที่เกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลซิลิกาโดยมีพอลิเอทิลีนเป็นสะพานเชื่อม [13]

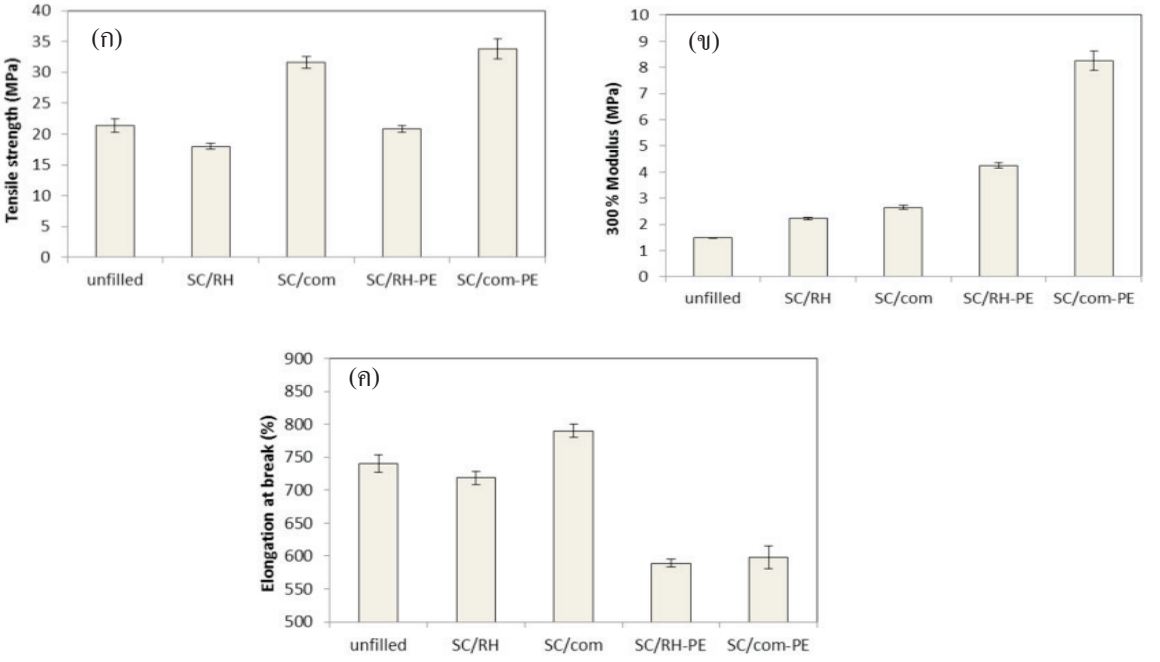


ภาพที่ 5 Bound Rubber ของยางธรรมชาติ เมื่อใช้ซิลิกาจากแกลบ(SC/RH) ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com) และซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE) เป็นสารตัวเติม

การทดสอบสมบัติความความต้านทานต่อการแรงดึง

ภาพที่ 6 แสดงสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 % ของยางธรรมชาติ เมื่อใช้ซิลิกาจากแกลบ(SC/RH) ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com) และซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และSC/com-PE) เป็นสารตัวเติม จากผลจากภาพที่ 6 (ก) จะเห็นได้ว่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใช้ซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าที่มีการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเป็นสารตัวเติมทั้งนี้เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างซิลิกา (จากแกลบและเกรดการค้า) และยางธรรมชาติที่เพิ่มมากขึ้นจากการที่มีพอลิเอทิลีนเป็นสะพานเชื่อม และการลดความเป็นที่บริเวณพื้นผิวของซิลิกาด้วย พอลิเอทีลีนทำให้ตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปถูกดูดซับได้น้อยลงส่งผลให้มีการเกิดพันธะเชื่อมขวางหรือเกิดการคงรูปได้ดี แต่อย่างไรก็ตามป

เมื่อใช้ซิลิกาเกรดการค้าทั้งที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ก็ยังคงส่งผลให้ความต้านทานต่อการดึงที่ดีขึ้น ในขณะที่การเติมเถ้าแกลบนั้นมีผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก นั่นอาจเป็นเพราะขนาดซิลิกาจากเถ้าแกลบมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าซิลิกาเกรดการค้าจึงส่งผลให้ไม่สามารถเสริมแรงได้ดีและอาจมีการกระจายตัวในยางธรรมชาติที่ไม่ดีมากนัก แต่ทั้งนี้ซิลิกาจากแกลบสามารถเพิ่มสมบัติทั้งสองได้เมื่อทำการปรับพื้นผิวด้วยพอลิเอทิลีน เช่นเดียวกันกับค่ามอดูลัส ดังแสดงในภาพที่ 6(ข) ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าผลต่างของแรงบิดเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารตัวเติมไม่ว่าจะเป็นซิลิกาจากแกลบหรือซิลิกาเกรดการค้าที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวด้วย พอลิเอทิลีน สอดคล้องกับผลต่างของแรงบิดในภาพที่ 4 และในกรณีของระยะยืด ณ จุดขาด ดังแสดงในภาพที่ 6(ค) ของยางธรรมชาติที่เติมซิลิกาทั้งสองชนิดที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวก็ไม่ต่างกันและพบว่ามีค่าลดลงเมื่อเติม ซิลิกาทั้งสองชนิดปรับปรุงพื้นผิวด้วยพอลิเอทิลีน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเติมซิลิกาที่มีการปรับปรุงพื้นผิวแล้วนั้นเกิดอันตรกิริยาและการคงรูปที่ดีขึ้นส่งผลให้ความแข็ง (Stiffness) ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ยางมีการยืดตัวที่ลดลง



ภาพที่ 5 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง
(ก) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) (ข) ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300% (300% Modulus) และ (ค) ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของยางธรรมชาติ เมื่อใช้ซิลิกาจากแกลบ (SC/RH) ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com) และซิลิกาจากแกลบและเกรดการค้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE) เป็นสารตัวเติม

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมซิลิกาจากแกลบข้าวสามารถทำได้โดยการนำแกลบมาทำปฏิกิริยากับกรด HCl และนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง (700°C) เมื่อนำเถ้าแกลบขาวที่ได้ไปวิเคราะห์ พบว่าเถ้าแกลบประกอบด้วยซิลิกาถึงร้อยละ 90 และมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน หลังจากนั้นนำเถ้าหรือซิลิกาที่ได้ (SC/RH) ไปปรับปรุงสมบัติโดยใช้พอลิเอทิลีน (PE) ผ่านกระบวนการอินซิทูพอลิเมอร์ไรเซชันซึ่งมีเมทัลโลซีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ซิลิกาเป็นตัวรองรับ พบว่า SC/RH สามารถใช้เป็นตัวรองรับในปฏิกิริยาดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงสามารถเตรียมซิลิกาที่มี PE เคลือบอยู่ที่พื้นผิวได้

เมื่อนำซิลิกาจากแกลบ ซิลิกาเกรดการค้าที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิว(SC/RH และ SC/com) และทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE) มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่าระยะเวลาการการคงรูปลดลง ผลต่างของแรงบิดและค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำการใช้ซิลิกาทั้งสองชนิดที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยพอลิเอทิลีน (SC/RH-PE และ SC/com-PE) โดยพอลิเอทิลีนบนพื้นผิวของซิลิกานั้น สามารถลดการดูดซับตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป อีกทั้งลดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมหรือซิลิกาส่งผลให้ซิลิกาเกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อใช้ซิลิกาเกรดการค้า (SC/com, SC/com-PE) เป็นสารตัวเติมจะมีค่าสมบัติที่ดีกว่าการใช้ ซิลิกาจากเถ้าแกลบ (SC/RH, SC/RH-PE) ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกาเกรดการค้ามีขนาดอนุภาคเล็ก มีพื้นที่ผิวมากกว่าสามารถเกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติได้ดี ส่งผลให้สมบัติของยางธรรมชาติดีขึ้นซึ่งก็สอดคล้องกับผลของปริมาณ Bound Rubber

เอกสารอ้างอิง

[1] Boonstra, B. B. (1973). **Filler review: Carbon Black and Nonblack. Rubber Technology**. New York: Van Nostrand Reinhold.

[2] Mark, J.E., Erman, B. and Eirich, F.R. (2005). **The Science and Technology of Rubber** (3rd edition). New York: Elsevier Academic.

[3] Hewitt, N. (2007). **Compounding Precipitated Silica in Elastomers** (1st edition). New York: William Andrew Inc.

[4] Choi, S., Chung, K.H. and Nah, C. (2003). "Improvement of properties of silica-filled styrene-butadiene rubber (SBR) compounds using acrylonitrile-styrene-butadiene rubber (NSBR)", **Polymer Advance Technology**. 14, 557-564.

[5] Ansarifar, A., Nijihawan, R., Nanapoolsin, T. and Song, M. (2003). "Reinforcing effect of silica and silane fillers on the properties of some natural rubber vulcanizates", **Rubber Chemistry Technolology**. 76, 1290-1310.

[6] Luginsland, H.D., Frohlich, J. and Wehmeier, A. (2002). "Influence of different silanes on the reinforcement of silica filled rubber compounds", **Rubber Chemistry Technolology**. 75, 563-579.

[7] Sae-Oui, P., Thepsuwan, U. and Hattapanit, K. (2004). "Effect of curing system on reinforcing efficiency of silane coupling agent", **Polymer Testing**. 23, 397-403.

[8] Sooyeon, K., Eunhye, K., Sungsoo, K. and Woosik, K. (2005). "Surface modification of silica nanoparticles by UV-induced graft polymerization of methyl methacrylate", **Journal of Colloid and Interface Science**. 292, 93-98.

[9] Jianfei, C., Baoyong, L., Xujie, Y., Lude, L. and Xin, W. (2005). "Graft polymerization onto nano-sized SiO2 surface and its application to the modification of PBT", **Journal of Materials Letters**. 59, 1603-1609.

[10] Chuayjuljit, S., Eiumnoh, S. and Potiyaraj, P. (2001). "Using silica from rice husk as a reinforcing filler in natural rubber", **The Journal of Scientific Research Chulalongkorn University**. 26, 127-138.

[11] Sombatsompop, N., Thongsang, S., Markpin, T. and Wimonmala, E. (2004). "Fly ash particles and precipitated silica as fillers in rubbers. I. Untreated fillers in natural rubber and styrene–butadiene rubber compound", **Journal of Applied Polymer Science**. 93(5), 2119–2130.

[12] Phewphong, P., Saeoui, P. and Sirisinha, C. (2008). "Mechanism of silica reinforcement in CPE/NR blends by the use of rheological approaches", **Journal of Applied Polymer Science**. 107, 2638-45.

[13] Choi, S. (2001). "Influence of the silica content on rheological behaviour and cure characteristics of silica filled styrene-butadienen rubber compound", **Polymer International**. 50, 525-530.

บทความวิจัย

การศึกษาแหล่งผลิตและชนิดเหล็กกล้าใบมีดตัดหญ้าทดแทน ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

A Study of Manufacturers and Steel Grades of Replacement Brush Cutter Blades in Surat Thani Province

เธียรศักดิ์ ชูชีพ[1*] นริศรา มหาธนินวงศ์[1] สมใจ จันทร์อุดม[2] ชาญชัย แฮวอู[3]
จรินรัตน์ อ้นทอง[4] จุฑารัตน์ สกุณา[4] อนุรัตน์ ทองแก้ว[4] และสุธาวี ไพจิตร[4]

Thiensak Chucheep[1*], Narissara Mahathaninwong[1], Somjai Janudom[2], Chanchai Haeoau[3],
Charinrat Onthong[4], Chutarat Sakuna[4], Anurat Thongkaew[4] and Suthawee Phaijit[4]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษารายละเอียดที่ฉลากและบรรจุภัณฑ์ของใบมีดตัดหญ้าทดแทน จำนวน 35 ตราสินค้า ที่จำหน่ายในจังหวัดสุราษฎร์ธานีและศึกษาเกรดเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้า จำนวน 7 ตราสินค้า ผลจากการศึกษาฉลากและบรรจุภัณฑ์ พบว่าสามารถจำแนกประเภทสินค้าตามแหล่งผลิตออกเป็น 3 ประเภท คือ ใบมีดตัดหญ้านำ เข้าใบมีดตัดหญ้าผลิตในประเทศ และใบมีดตัดหญ้าไม่ระบุแหล่งผลิต โดยแต่ละประเภทมีจำนวน 4 (11.4%) 15 (42.9%) และ 16 (45.7%) ตราสินค้าตามลำดับ สำหรับใบมีดตัดหญ้าผลิตภายในประเทศ ชนิดการผลิตอะไหล่เทียบจำนวน 14 ตราสินค้ามีการระบุข้อมูลสินค้าและผู้ผลิตที่ครบถ้วนเป็นภาษาไทยเพียงแค่ 2 ตราสินค้า ส่วนอีก 2 ตราสินค้าสามารถสืบค้นข้อมูลสอบกลับได้ไปยังผู้ผลิตทางอินเทอร์เน็ต และอีก 10 ตราสินค้าที่เหลือไม่สามารถสอบกลับได้ไปยังผู้ผลิตได้ นอกจากนี้การศึกษาเกรดเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้าพบว่าเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด 1050 1065 1070 และ 1080 ตามมาตรฐาน ASTM A682 ซึ่งไม่เป็นเหล็กกล้าเกรดเครื่องมือตามมาตรฐาน ASTM A686 และ JIS G4401

คำสำคัญ: ใบมีดตัดหญ้า เหล็กกล้าใบมีดตัดหญ้า

---

[1] อ.ดร., สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี 84000

[2] อ.ดร., ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90100

[3] อ.,แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี 84000

[4] อดีตนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี 84000

[1] Lecturer, Dr., Industrial Management Technology Division, Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani, 84000

[2] Lecturer, Dr., Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla, 90100

[3] Lecturer, Department of Metal Welding, Suratthani Technical College, Surat Thani, 84000

[4] Formerly Bachelor Student., Industrial Management Technology Division, Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani, 84000

[*] Corresponding author: E-mail address: thiensak.c@psu.ac.th. Tel./Fax.084-0670766/ 077-355453

Abstract

The purposes of this research were to study details of labeling and packaging of 35 brands of the replacement brush cutter blade purchased in Surat Thani province and to study the steel grades of the selected 7 brands. The samples could be classified by manufacturer into 3 product categories: Imported Blade (IB), Local Manufacturer Blade (LMB), and Unidentified Blade (UB). The numbers of IB, LMB, and UB were 4 (11.4%), 15 (42.9%) and 16 (45.7%) brands, respectively. Out of the 14 LMB brands, 2 brands had a completed details in Thai language details on labels, 2 brands were traceable by internet searching. Other brands were not traceable. In additions, the investigations of steel grades found that the blades were steel grades of 1050 1065 1070 and 1080, by referring to ASTM A682, which they were not tool steel grade as referred by ASTM A686 and JIS G4401.

Keywords: Brush Cutter Blade, Brush Cutter Steel

บทนำ

ใบมีดตัดหญ้าทดแทนนับเป็นวัสดุสิ้นเปลืองที่สำคัญของเกษตรกรที่ใช้ทางเลือกในการกำจัดวัชพืชในแปลงโดยไม่ใช้สารเคมี ซึ่งเกษตรกรโดยส่วนใหญ่ 34.7% เปลี่ยนใบมีดตัดหญ้าช่วง 6 – 12 เดือน โดยให้ความสำคัญกับเกณฑ์การเลือกซื้อด้านความทนทานและอายุการใช้งานมากที่สุด 32.0% และด้านตราสินค้า 11.2% ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด และมีบางตราสินค้าที่ได้รับความนิยมสูงสุดคิดเป็น 39.1% [1] แต่อย่างไรก็ตามในร้านจำหน่ายใบมีดตัดหญ้าทดแทนยังมีตราสินค้าอื่นๆ อีกจำนวนมาก ซึ่งนอกจากตราสินค้ามีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อ ข้อมูลรายละเอียดของใบมีดตัดหญ้าที่ระบุบนใบมีดตัดหญ้าและบรรจุภัณฑ์เป็นสารสนเทศที่สำคัญต่อเกษตรกรในการเลือกซื้อเพื่อใช้งาน ใบมีดตัดหญ้าซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ตัดหญ้าที่ความเร็วรอบสูง 6,800-8,000 รอบต่อนาที [2-3] หากใช้งานใบมีดตัดหญ้าคุณภาพไม่ดีอาจเกิดอันตรายจากการแตกหักต่อผู้ตัดและผู้อยู่บริเวณใกล้เคียงในรัศมี 15 เมตร [2] สำหรับบางประเทศ เช่น สาธารณรัฐเกาหลีมีมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับใบมีดตัดหญ้าแบบเคลื่อนย้ายได้ (Korean Standards of Safety Certification-Metal Blade for Portable) [3] โดยชนิดเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวเพื่อให้ต้านทานการสึกหรอได้ดีเป็นพิเศษ [4] ผลจากการสำรวจใบมีดตัดหญ้าทดแทนตามร้านค้าต่างๆ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานีโดยเบื้องต้นพบว่าข้อมูลของใบมีดตัดหญ้าและบรรจุภัณฑ์ มีความหลากหลายทั้งตราสินค้า ภาษาที่ใช้ แหล่งผลิตเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้า ความครบถ้วนของการระบุผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่าย การระบุแหล่งผลิตเหล็กกล้าชั้นดีจากต่างประเทศ

ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการให้ข้อมูลของใบมีดตัดหญ้าทดแทนที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งต่อไปในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า “ใบมีดตัดหญ้า” โดยศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าและผู้ผลิตจากฉลากและเครื่องหมายของแต่ละตราสินค้าที่ตัวใบมีดตัดหญ้าและบรรจุภัณฑ์ พร้อมทั้งจำแนกประเภท และศึกษาเปรียบเทียบเกรดของเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้า

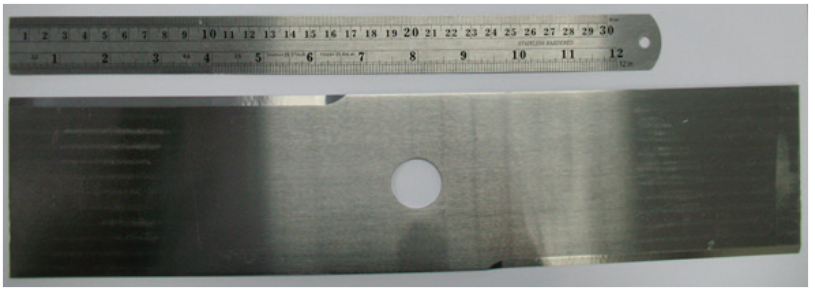
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรในงานวิจัย

ประชากรจำนวนตราสินค้าใบมีดตัดหญ้าในงานวิจัยนี้ไม่สามารถนิยามได้อย่างชัดเจน เนื่องจากตราสินค้าของใบมีดตัดหญ้ามีไม่น้อยกว่า 13 ตราสินค้า [1] รวมทั้งร้านจำหน่ายใบมีดตัดหญ้ามีหลากหลาย ทั้งร้านค้าชุมชน ร้านขายวัสดุการเกษตร ร้านฮาร์ดแวร์ ร้านขายวัสดุก่อสร้าง และโมเดิร์นเทรด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกซื้อตราสินค้าที่แตกต่างกันภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 35 ตราสินค้า

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

(1) สำรวจซื้อตัวอย่างใบมีดตัดหญ้าที่ตราสินค้าแตกต่างกันจากร้านจำหน่ายใบมีดตัดหญ้าในจังหวัดสุราษฎร์ธานีศึกษารายละเอียดข้อมูลต่างๆ ที่มีการระบุบนตัวใบมีดตัดหญ้าและบรรจุภัณฑ์ของแต่ละตราสินค้าวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับเกี่ยวกับแหล่งผลิตใบมีดตัดหญ้าชนิดการผลิต เหล็กกล้าที่ใช้ ภาษาที่ใช้ในการให้ข้อมูล สืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมทางอินเทอร์เน็ตจำแนกประเภทและระบุข้อมูลเชิงปริมาณของใบมีดตัดหญ้าตามแหล่งผลิต ชนิดการผลิต และแหล่งผลิตเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้าตัวอย่างใบมีดตัดหญ้าพร้อมบรรจุภัณฑ์ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างใบมีดตัดหญ้าที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

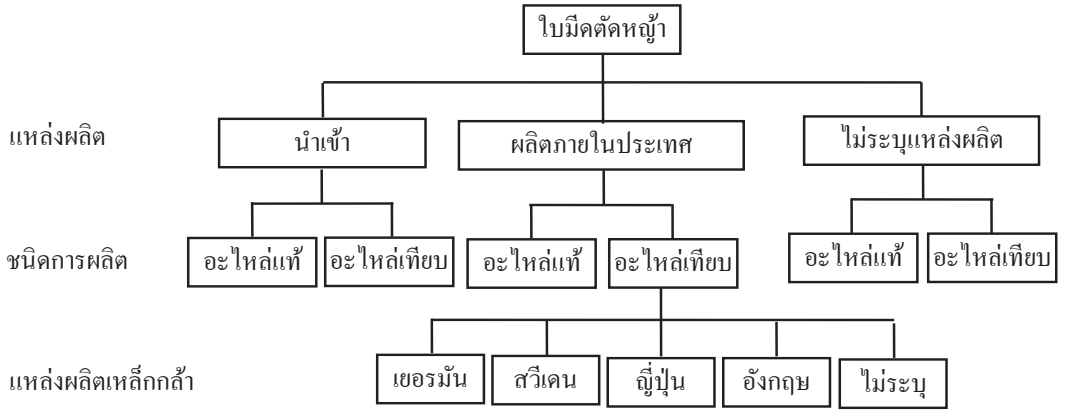
เกณฑ์การแบ่งประเภทแหล่งผลิตใบมีดตัดหญ้าโดยใช้ข้อมูลที่มีการระบุบนตัวใบมีดตัดหญ้าและบรรจุภัณฑ์จากแต่ละตราสินค้า หรือการสืบค้นข้อมูลแหล่งผลิตของแต่ละตราสินค้าทางอินเทอร์เน็ต สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ (1) ใบมีดตัดหญ้านำเข้า (Imported Blade; IB) (2) ใบมีดตัดหญ้าผลิตในประเทศ (Local Manufacturer Blade; LMB) และ (3) ใบมีดตัดหญ้าไม่ระบุแหล่งผลิต (Unidentified Blade; UB)

เกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งชนิดการผลิตใบมีดตัดหญ้าอ้างอิงจากเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งผู้ผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์ทดแทน (Replacement Equipment Manufacturing; REM) ในประเทศไทย [5] ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ “อะไหล่แท้” “อะไหล่เทียบ” และ “อะไหล่เทียม” โดยอะไหล่เทียมเป็นการละเมิดตราสินค้า ดังนั้นในที่นี้จึงใช้เกณฑ์การแบ่งชนิดการผลิตใบมีดตัดหญ้าแค่ 2 ชนิดการผลิต คือ อะไหล่แท้ (Genuine Blade; GB) และ อะไหล่เทียบ (Compatible Blade; CB) โดย อะไหล่แท้ หมายถึง ตราสินค้าใบมีดตัดหญ้าที่เป็นผู้ผลิตเครื่องตัดหญ้า และ อะไหล่เทียบ หมายถึงตราสินค้าใบมีดตัดหญ้าที่ไม่ใช่ผู้ผลิตเครื่องตัดหญ้า

เกณฑ์การแบ่งกลุ่มตามแหล่งผลิตเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้าในที่นี้ทำการแบ่งกลุ่มเฉพาะประเภทที่ผลิตในประเทศเท่านั้น เนื่องผู้ผลิตในประเทศเป็นผู้ผลิตที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถดำเนินการควบคุมได้ ซึ่งจากการสำรวจฉลากและบรรจุภัณฑ์พบว่าตราสินค้าต่างๆ นิยมระบุแหล่งผลิตเหล็กกล้าจากประเทศ ดังนี้ ประเทศเยอรมัน (German Steel; GS) สวีเดน (Swedish Steels; SS) อังกฤษ (British Steel; BS) ญี่ปุ่น (Japanese Steel; JS) และมีบางตราสินค้าไม่ระบุแหล่งผลิตเหล็กกล้า (Unidentified Steel; UnS) โดยข้อมูลที่ระบุ

ถึงแหล่งผลิตเหล็กเหล็กกล้ามีทั้งการระบุประเทศแหล่งผลิตเหล็กกล้าโดยตรง หรือสื่อโดยอ้อม เช่น การใช้คำ “เยอรมัน” “Germany”“สวีเดน” “Sweden” “อังกฤษ” “England” “UK” และ “ญี่ปุ่น” “Japan”รวมทั้งการระบุตัวย่อมาตรฐานต่างประเทศ เช่น “DIN” ของประเทศเยอรมันนีหรือเกรดเหล็กกล้าตามมาตรฐานต่างประเทศ เช่น “SK5” ตามมาตรฐาน JIS G4401 ของประเทศญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังมีการใช้สีที่คล้ายกับสีธงชาติของแต่ละประเทศ เกณฑ์การจัดแบ่งดังแสดงในผังภาพที่ 2

(2) จัดเตรียมตัวอย่างโดยการตัดขนาด 2 x 5 เซนติเมตร จำนวน 7 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าโดยวิธี Optical Emission Spectroscopy (OES) โดยตัวอย่างที่ส่งวิเคราะห์ประกอบด้วย (1) ตัวอย่างผลิตในประเทศ อะไหล่เทียบ จำนวน 6 ตัวอย่าง (1.1) ตัวอย่างที่ระบุแหล่งผลิตเหล็กกล้าจากประเทศเยอรมันนี จำนวน 2 ตัวอย่าง (LMB-CB-GS1 และ LMB-CB-GS2) (1.2) ตัวอย่างที่ระบุแหล่งผลิตเหล็กกล้าจากประเทศสวีเดน 2 ตัวอย่าง (LMB-CB-SS1 และ (LMB-CB-SS 2) (1.3) ตัวอย่างที่ระบุแหล่งผลิตเหล็กกล้าจากประเทศอังกฤษ (LMB-CB-BS1 และ LMB-CB-BS 2) และ (2) ตัวอย่างที่ไม่สามารถระบุแหล่งผลิต อะไหล่เทียบ จำนวน 1 ตัวอย่าง (UB-CB1) และนำผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ได้มาเทียบเกรดเหล็กกล้าจากตามมาตรฐาน ASTM A686 ASTM A682 และ JIS G4401



ภาพที่ 2 เกณฑ์การจำแนกใบมีดตัดหญ้าจากการสำรวจข้อมูลฉลากและบรรจุภัณฑ์

ผลและการวิจารณ์ผล

ผลจากการสำรวจซื้อตัวอย่างใบมีดตัดหญ้าตราสินค้าต่างๆ ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 35 ตราสินค้า มาศึกษาข้อมูลซึ่งระบุที่ใบมีดตัดหญ้าและบรรจุภัณฑ์ พบรายละเอียดที่สำคัญ ดังนี้

(1) การระบุข้อมูลในตราสินค้าเดียวแต่ละรุ่นกันไม่สม่ำเสมอ เช่น ตราสินค้าหลักเดียวกันแต่ระบุคำขยายความรุ่นต่างกันที่แตกต่างกัน เช่น บางตัวอย่างไม่ระบุคำเพิ่มเติม บางตัวอย่างระบุคำว่า “Platinum” และบางตัวอย่างระบุคำว่า “Gold Power”

(2) การระบุข้อมูลในตราสินค้าที่จำหน่ายแหล่งจำหน่ายไม่เหมือนกัน เช่น ในร้านค้าแบบโมเดิร์นเทรดมีการระบุแหล่งผลิต แต่ในร้านจำหน่ายทั่วไปไม่ระบุแหล่งผลิต

(3) การระบุข้อมูลในสินค้าแต่ละรุ่นไม่สม่ำเสมอ เช่น บางรุ่นมีภาษาไทย บางรุ่นไม่มีภาษาไทย บางรุ่นระบุแหล่งผลิต “Made in Japan” บางรุ่นระบุ “Top Quality” และบางรุ่นไม่ระบุคำใดๆ

(4) การระบุข้อมูลบริษัทผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายไม่ครบถ้วน โดยส่วนใหญ่มีแค่ตราสินค้า ข้อมูลขนาดใบตัดหญ้า และแหล่งผลิตเหล็กกล้าที่ใช้ใบตัด ขาดรายละเอียดที่สอบกลับได้ไปยังผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่าย และบางตราสินค้าระบุชื่อบริษัผู้ผลิตเป็นภาษาอังกฤษและรายละเอียดอื่นๆ เป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด

1. ผลการศึกษาฉลากและบรรจุภัณฑ์

ผลจากการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับประเภทแหล่งผลิตใบมีดตัดหญ้าชนิดการผลิต และแหล่งผลิตเหล็กกล้า จำนวน 35 ตราสินค้า พบว่าเป็นใบมีดตัดหญ้าประเภทนำเข้าจำนวน 4 ตราสินค้า (11.4%) โดยจัดเป็นอะไหล่แท้ 1 ตราสินค้า และอะไหล่เทียบ 3 ตราสินค้า ส่วนประเภทผู้ผลิตภายในประเทศ 15 ตราสินค้า (42.9%) จัดเป็นอะไหล่แท้ 1 ตราสินค้า และอะไหล่เทียบ 14 ตราสินค้า และประเภทผู้ผลิตที่ไม่ระบุแหล่งผลิต 16 ตราสินค้า (45.7%) จัดเป็นอะไหล่เทียบทั้ง 16 ตราสินค้า รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณใบมีดตัดหญ้าตามเกณฑ์การจำแนก

แหล่งผลิต	จำนวน (%)	ชนิดการผลิต	จำนวน (%)	แหล่งผลิตเหล็กกล้า	จำนวน (%)
นำเข้า (IB)	4 (11.4)	อะไหล่แท้ (GB)	1 (2.9)	N/A	N/A
		อะไหล่เทียบ (CB)	3 (11.4)	N/A	N/A
ผลิตภายในประเทศ	15 (42.9)	อะไหล่แท้ (GB)	1 (2.9)	-	-
(LMB)		อะไหล่เทียบ (CB)	14 (40.0)	เยอรมันนี	4 (11.4)
				สวีเดน	4 (11.4)
				ญี่ปุ่น	3 (8.6)
				อังกฤษ	2 (5.7)
				ไม่ระบุ	1 (2.9)
ไม่ระบุแหล่งผลิต	16 (45.7)	อะไหล่แท้ (GB)	0 (0)	N/A	N/A
(UB)		อะไหล่เทียบ (CB)	16 (45.7)	N/A	N/A

หากคิดแยกเกณฑ์เฉพาะชนิดการผลิตจะเห็นได้ว่าใบมีดตัดหญ้าโดยส่วนใหญ่ 33 ตราสินค้า จากทั้งหมด 35 ตราสินค้า (คิดเป็น 94.3%) เป็นผู้ผลิตอะไหล่เทียบ โดยลักษณะที่สำคัญของผู้ผลิตอะไหล่เทียบตามเกณฑ์ผลิตของผู้ผลิตชิ้นส่วนทดแทน (REM) ของอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งสถาบันยานยนต์ [5] ระบุต้องเป็นชิ้นส่วนที่ไม่มีเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง ไม่เป็นชิ้นส่วนที่เกี่ยวกับระบบความปลอดภัย และไม่มีปัญหาด้านการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญาต่างๆ เช่น ตราสินค้า และสิทธิบัตรเป็นต้น

สำหรับใบมีดตัดหญ้าประเภทไม่ระบุแหล่งผลิต จำนวน 16 ตราสินค้า (45.7%) จัดเป็นกลุ่มอะไหล่เทียบทั้ง 16 ตราสินค้า โดยพบว่ามีใบมีดตัดหญ้าจำนวน 8 ตราสินค้าให้รายละเอียดเกี่ยวกับตัวสินค้าเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ส่วนอีก 4 ตราสินค้าให้รายละเอียดเกี่ยวกับตัวสินค้าเป็นภาษาอังกฤษและภาษาญี่ปุ่น ที่เหลืออีก 4 ตราสินค้าให้รายละเอียดเกี่ยวกับตัวสินค้าเป็นภาษาอังกฤษ ภาษาญี่ปุ่น และภาษาไทย

หากศึกษาเฉพาะใบมีดตัดหญ้าประเภทผู้ผลิตภายในประเทศซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถควบคุมคุณภาพการผลิต และการให้ข้อมูลกับผู้บริโภคได้จากการสำรวจพบว่ามีใบมีดตัดหญ้าในประเภทนี้ ทั้งหมด 15 ตราสินค้า (42.9%) จาก 35 ตราสินค้า มีเพียง 2 ตราสินค้าที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับผู้ผลิตครบถ้วนสมบูรณ์เป็น

ภาษาไทยซึ่งวางจำหน่ายในร้านค้าแบบโมเดิร์นเทรด ส่วนอีก 3 ตราสินค้ามีรายละเอียดที่เพียงพอต่อการสืบค้นทางอินเทอร์เน็ตไปยังผู้ผลิตทำให้ไม่สะดวกต่อผู้บริโภคที่ขาดทักษะด้านการสืบค้นข้อมูลหรือไม่สามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ ส่วนที่เหลืออีก 10 ตราสินค้า รายละเอียดเกี่ยวกับผู้ผลิตไม่เพียงพอต่อการสอบกลับไปยังผู้ผลิตในประเทศ

ผลจากการศึกษาข้อมูลตัวอย่างใบมีดตัดหญ้าชี้ให้เห็นว่ารายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ของใบมีดตัดหญ้าส่วนใหญ่ขาดรายละเอียดเกี่ยวกับการสอบกลับไปยังผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่าย รวมทั้งมีการให้ข้อมูลที่เป็นภาษาต่างประเทศ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการคุ้มครองผู้บริโภคควรกำกับติดตามให้สอดคล้องกับการระบุรายละเอียดของสินค้าตามหลักกฎหมายพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค พ.ศ. 2522 มาตรา 4 (1) ที่กำหนดว่าผู้บริโภคต้องมี “สิทธิที่จะได้รับข่าวสารรวมทั้งคำพรรณาคุณภาพที่ถูกต้องและเพียงพอที่เกี่ยวกับสินค้าและบริการ” [6] ระบบการสอบกลับได้ไปยังผู้ผลิตเป็นสิ่งสำคัญเพื่อรับผิดชอบต่อผู้บริโภคดังเช่นข้อกำหนดข้อที่ 8.2.1 การสื่อสารข้อมูลกับลูกค้าเกี่ยวกับสินค้าและบริการตามมาตรฐานระบบบริหารคุณภาพ ISO 9001 : 2015 [7]

นอกจากนี้ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานของสินค้าดังกล่าว หรือมาตรฐานเฉพาะด้านความปลอดภัยดังเช่นของสาธารณรัฐเกาหลี [3] ทั้งที่เป็นสินค้าที่อาจจะเกิดอันตรายต่อกับผู้ใช้งาน

2. ผลการศึกษาเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้า

ผลจากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเพื่อหาปริมาณธาตุเจือ (Alloys) ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์หลักในการเทียบเกรดเหล็กกล้าตามมาตรฐานต่างๆ ดังตารางที่ 2 ทั้งนี้สมบัติของใบมีดตัดหญ้าไม่ขึ้นกับปริมาณส่วนผสมของธาตุเจือแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับกระบวนการขึ้นรูป และกระบวนการทางความร้อนสำหรับใบมีดตัดหญ้าก่อนที่จะส่งเป็นสินค้าเพื่อจำหน่าย

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ของใบมีดตัดหญ้า

Sample	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	V	Ti	Co
LMB-CB-GS1	0.6504	0.9679	0.0207	0.0058	0.2553	0.0517	0.0154	0.0492	0.0051	0.0115	0.0036	0.0034	0.0079
LMB-CB–GS2	0.8089	0.6433	0.0116	0.0067	0.2064	0.0025	0.077	0.0543	-	0.0319	0.0012	0.0018	0.0019
LMB-CB-SS 1	0.7232	0.6867	0.0163	0.0069	0.2024	0.0090	0.0083	0.1757	0.0022	0.0090	<0.0003	0.0012	0.000
LMB-CB-SS 2	0.7008	0.6971	0.0110	0.0060	0.1981	0.0079	0.0196	0.1800	0.0030	0.0496	0.0026	0.0031	0.0052
LMB-CB-BS 1	0.7271	0.7157	0.0134	-	0.2199	0.1904	0.1140	0.1693	0.0342	0.0447	-	-	0.0100
LMB-CB-BS 2	0.7506	0.6479	0.022	0.0126	0.251	0.0065	0.0104	0.0543	0.0006	0.0353	<0.0003	0.0017	-
UB-CB1	0.4878	0.5786	0.0236	0.0195	0.2050	0.0355	0.0035	0.1085	0.0035	0.0039	0.0005	0.0011	-

สำหรับส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือคาร์บอน วารุณี และ อรจีรา [8] ได้สรุปว่าปริมาณธาตุเจือที่สำคัญของเหล็กกล้าเกรด W1A-8 และ W1C-8 ตามมาตรฐาน ASTM A686 และ เกรด SK5 มาตรฐาน JIS G 4401 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก; %wt) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ตามเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM A686 JIS G 4401 และ DIN 17350 [8]

Steel	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	W	V
W1A-8	0.80-0.90	0.10-0.40	≤ 0.030	≤ 0.030	0.10-0.40	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.15	≤ 0.10	≤ 0.15	≤ 0.10
W1C-8	0.80-0.90	0.10-0.40	≤ 0.030	≤ 0.030	0.10-0.40	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.10	≤ 0.15	≤ 0.10
SK5	0.80-0.90	≤ 0.50	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.35	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.30	-	-	-
C80W1	0.75-0.85	0.10-0.25	≤ 0.020	≤ 0.020	0.10-0.25	-	-	-	-	-	-

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้าจากตารางที่ 2 มาเทียบกับเกณฑ์ส่วนผสมธาตุเจือหลักของเหล็กกล้าเครื่องมือในตารางที่ 3 พบว่าไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของเหล็กกล้าเครื่องมือคาร์บอน เนื่องจากปริมาณ Mn เกินกว่าปริมาณสูงสุดของเกรด W1A-8 และ W1C-8 (0.10-0.40 %wt) และเมื่อนำไปเทียบตามเกณฑ์เหล็กกล้าเครื่องมือคาร์บอนตามเกณฑ์มาตรฐาน JIS G4401 เกรด SK5 พบว่าไม่เป็นไปตามเกณฑ์เช่นกัน เนื่องจากปริมาณ Mn เกินค่าที่กำหนด (0.50%wt) และเมื่อนำไปเทียบตามมาตรฐาน DIN 17350 เกรด C80W1 พบว่าไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของเกรดดังกล่าว เนื่องจากปริมาณ Mn เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในช่วง 0.10 – 0.25 %wt

สำหรับธาตุเจือ Mn ในเหล็กกล้าทำหน้าที่กำจัด S กลายเป็น MnS ส่วนที่เหลือไปละลายในเฟอร์ไรต์กลายเป็น Mn_3C หรือ $(FeMn)_3C$ เพื่อเพิ่มความสามารถในการชุบแข็งในทางปฏิบัติจะนับ Mn เป็นธาตุผสมเมื่อส่วนผสมสูงเกินกว่า 0.6 %wt ขึ้นไป ส่วน Si ป็นธาตุที่พบในเหล็กกล้าทุกประเภทประมาณ 0.20 – 0.30 %wt ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจน และเสริมสมบัติในการชุบแข็งโดยไม่รวมตัวกับคาร์บอนแต่ทำหน้าที่ช่วยให้คาร์บอนรวมตัวกันเป็นกราไฟต์ช่วยให้มีความลื่นในการทำแม่พิมพ์ไม่เกิดการจับติดโลหะระหว่างการขึ้นรูป [9]

ตามมาตรฐาน ASTM A682 [10] ได้กำหนดส่วนผสมของเหล็กกล้าโดยการแบ่งตามรหัสตัวเลขสี่หลักตาม AISI ของแต่ละเกรด โดยกำหนดปริมาณธาตุเจือหลักและสารมลทิน ดังนี้ คาร์บอน (C) แมงกานีส (Mn) ซิลิกอน (Si) รวมมลทิน ฟอสฟอรัส (P) และ กำมะถัน (S) ดังตารางที่ 4 และกำหนดปริมาณธาตุเจือทองแดง (Cu) นิเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) และ โมลิบดีนัม (Mo) รวมกันไม่เกิน 0.80 %wt

ตารางที่ 4 เกณฑ์กำหนดส่วนผสมทางเคมี (%wt) ของเหล็กกล้าตามมาตรฐาน ASTM A682 [10]

Steel	C	Mn	P (max)	S (max)	Si	Cu	Ni	Cr	Mo
1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.035	0.040	0.15-0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.25	$\leq$ 0.10
1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.035	0.040	0.15-0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.25	$\leq$ 0.10
1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.035	0.040	0.15-0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.25	$\leq$ 0.10
1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.035	0.040	0.15-0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.25	$\leq$ 0.10
1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.035	0.040	0.15-0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.30	$\leq$ 0.25	$\leq$ 0.10

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีมาวิเคราะห์เทียบกับมาตรฐาน ASTM A682 ในตารางที่ 4 พบว่า 3 ตัวอย่าง (LMB-CB-SS1, LMB-CB-SS2 และ LMB-CB-BS1) สามารถเทียบเกรดได้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน 1070 และมี 2 ตัวอย่าง (LMB-CB-GS2 และ LMB-CB-BS2) สามารถเทียบได้เป็นเกรด 1080 ส่วนอีก 1 ตัวอย่าง (LMB-CB-GS1) ใกล้เคียงกับเกรด 1065 แต่มีปริมาณของ Mn (0.9679 %wt) เกินเกณฑ์ที่เกรด 1065 ที่กำหนดไว้ที่ 0.60 - 0.90 %wt ในขณะที่ตัวอย่างจากประเภทที่ไม่ระบุแหล่งผลิต (UB-CB1) พบว่ามีปริมาณคาร์บอน C 0.4878 %wt ซึ่งปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าทุกตัวอย่างที่ผลิตภายในประเทศ สามารถเทียบเกรดตามมาตรฐาน ASTM A682 [10] เป็นเกรด 1050 ซึ่งเกรดเหล็กกล้าดังกล่าวสอดคล้องเหล็กกล้าใบตัดในงานวิจัยของ Lau *et al.* [11] ซึ่งศึกษากระบวนการทางความร้อนสำหรับเหล็กกล้าใบมีดตัดหญ้าเกรด 1045 (คาร์บอน 0.42 – 0.50 %wt) และ 1090 (คาร์บอน 0.85 – 0.98 %wt) ที่มีค่าส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกับตัวอย่างเหล็กกล้าใบมีดตัดหญ้าที่พบจากการศึกษาในตลาดเชิงพาณิชย์ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี

หากพิจารณาเฉพาะปริมาณส่วนผสมทางเคมีแสดงว่าเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้าเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน ไม่ใช่เหล็กกล้าเครื่องมือคาร์บอนที่มีการเติมธาตุเจือเป็นพิเศษดังที่บางตราสินค้าระบุไว้แต่อย่างไรก็ตาม สมบัติความทนทานต่อการสึกหรอของสินค้าใบตัดหญ้ามิได้ขึ้นกับปริมาณส่วนผสมทางเคมีแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับกระบวนการทางความร้อนสำหรับใบตัดหญ้าที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม ซึ่งกระบวนการทางความร้อนที่เหมาะสมสามารถลดอัตราการสึกหรอของเหล็กกล้าใบเลื่อยสายพาน [12]

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาโดยรวมจะเห็นได้ว่าการสื่อสารข้อมูลเหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้าทั้งเกรดและแหล่งผลิตเหล็กกล้าของใบมีดตัดหญ้าที่จำหน่ายในปัจจุบันขาดการตรวจสอบและรับรองความถูกต้อง

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาตัวอย่างใบมีดตัดหญ้าและวิเคราะห์ส่วนผสมตัวอย่างใบมีดตัดหญ้าในจังหวัดสุราษฎร์ธานี สามารถสรุปได้ว่า

(1) มีตราสินค้าใบมีดตัดหญ้าที่หลากหลายไม่น้อยกว่า 35 ตราสินค้าและสามารถแบ่งประเภทเป็นประเภทใบมีดตัดหญ้านำเข้า ใบมีดตัดหญ้าผลิตในประเทศ และใบมีดตัดหญ้าไม่ระบุแหล่งผลิตซึ่งมีปริมาณมากที่สุด

(2) ใบมีดตัดหญ้าผลิตในประเทศโดยส่วนใหญ่ขาดการระบุข้อมูลที่สามารถสอบกลับได้ถึงผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่าย

(3) เหล็กกล้าที่ใช้ทำใบมีดตัดหญ้าส่วนใหญ่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด 1070 ตาม ASTM A682 ไม่จัดอยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าเครื่องมือตามมาตรฐาน ASTM A686 และ JIS G4401 ดังที่ผู้ผลิตบางตราสินค้าระบุไว้

(4) การระบุชนิดของเหล็กกล้าและแหล่งผลิตขาดการตรวจสอบและรับรองความถูกต้อง

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เลขที่ SIT 570808S ทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ปีงบประมาณ 2559 และสถานวิจัยความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมวัสดุ (Center of Excellence in Materials Engineering, CEME) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาผู้ช่วยวิจัยระดับปริญญาตรี นายกิตติ เล็กสมสันต์ นายวัชรพงศ์ มิตรกูล นายสุวัฒน์ ชัยสวัสดิ์ รวมทั้งร้านจำหน่ายผู้ให้ข้อมูลทุกร้านโดยเฉพาะร้านวรภัณฑ์ ร้านหนองดุกการเกษตร และร้านเพชรพรอะไหล่

เอกสารอ้างอิง

[1] Chucheep, T., Mahathaninwong, N. and Janudom, S. (2016). “Brush Cutter Blade Purchasing and Using Behavior of Farmers in Surat Thani Province”, **Journal of Agricultural ReRetrieved and Extension**. 33(2), 74-81.

[2] Makita Corporation. (n.d.). **Operating Manual RBC411 and RBC411U**. Retrieved December 13, 2016, from http://www.makita.com.vn.

[3] Kwon, Y.D., S.J. Park, W.G. Choi, S.I. Bang and H.W. Kwon. (2014). “Shear Cutting Theory for the Peripheral Edges of Brush Blades, and Test of Its Effectiveness”, **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**. 15(7), 1459-1465.

[4] Reekjirasawad, P. (2012). **Fundamentals of Heat Treatment of Steels**. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

[5] Thailand Automotive Institute. (2010). **A Study of the Potential of Automotive Spare Parts Manufacturers (REM: Replacement Equipment Manufacturing) in the Country**. Retrieved December 13, 2016, from http://www.thaiauto.or.th.

[6] Office of the Council of State. (2016). **Consumer Protection Act 1979**. Retrieved December 13, 2016, from http://www.krisdika.go.th.

[7] International Organization for Standardization (ISO). (2016). **ISO 9001:2015 - Quality Management System – Requirements.** Geneva:International Organization for Standardization (ISO).

[8] Premanond, V. and Diewwanit, O. (2011). **Metal Forming Work No.2 Mold and Workpiece Material**. Bangkok: Technology Promotion Association (Thai-Japanese).

[9] Satirajinda, M. (2000). **Iron & Steel Heat Treatment Engineering** (7th Edition). Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage.

[10] ASTM International. (2002). **ASTM A682–02 Standard Specification for Steel, Strip, High-Carbon, Cold-Rolled, General Requirementsfor**. Pennsylvania: ASTM International.

[11] Lau, K.H., D. Mei, C.F. Yueng and H.C. Man. (2000). "Wear characteristics and mechanisms of a thin edge cutting blade", **Journal of Materials Processing Technology**. 102(1-3), 203-207.

[12] Chucheep, T., Mahathaninwong, N., Janudom, S. and Wannasin, J. (2017). "Effect of Flame Hardening Temperature on Hardness and Wear Properties of Band Saw Steel", **Thaksin University Journal**. 20(1). 67-74.

บทความวิจัย

การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพรุน โดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพเป็นส่วนผสม

Mechanical Properties of Porous Concrete with Effective Micro-organisms (EM) Mixed

รัฐศักดิ์ พรหมมาศ[1] ทวีศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล[1] และปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน[2]

Ratthasak Prommas[1], Thaweesak Runngsakthaweekul[2] and Piyapong Kesawadkorn[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) เป็นสัดส่วนผสมในการแทนที่น้ำในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน จากการวิจัยพบว่า การใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ในการแทนที่น้ำที่สัดส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดเท่ากับ 66.30 67.75 และ 150.87 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนผสมดังกล่าวเป็นสัดส่วนที่คอนกรีนพรุนมีการพัฒนากำลังต้านทานแรงอัดได้ดี ตามอายุการบ่มที่กำหนดไว้ ซึ่งการพัฒนากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนเกิดจากการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้ดีขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นส่วนเกิน $Ca(OH)_2$ จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะรวมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ซึ่งมี SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลักทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดต (CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดต (CAH) ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสานระหว่างมวลรวมทำให้คอนกรีตพรุนมีความสามารถในการรับกำลังต้านทานแรงอัดได้ดีขึ้น เนื่องจากหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ มีคุณสมบัติในการกำจัดสารอนินทรีย์ที่ปะปนมากับส่วนผสมของคอนกรีตพรุน ซึ่งทำให้คอนกรีตพรุนสามารถรับกำลังต้านทานแรงอัดได้ดีขึ้น ในทางกลับกัน หากนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ แทนที่น้ำในอัตราส่วนที่มากเกินขอบเขตความเข้มข้นของสิ่งเจือปนที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ASTM C 94 จะส่งผลทำให้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนลดลง

คำสำคัญ: คุณสมบัติทางกล จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ คอนกรีตพรุน

---

[1] อ.ดร., สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

[1] อ., สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ประจวบคีรีขันธ์ 77110

[1] Lecture Dr., Mechanical Engineering Division, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakonpathom, 73170

[2] Lecture, Civil Engineering Division, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Prachuabkirikhan, 77110

[*] Corresponding author: Email address: ratthasak.pro@rmutr.ac.th, Tel : (+66) 863693039

Abstract

This research to aims to study the compressive strength of porous concrete using Effective Micro-organisms (EM) mixed in place of water at the proportion of 0, 5, 10 and 15% respectively at the blending period of 7, 28 and 56 days. The findings are as follow: Using EM in place of water at 10% by weight at the blending period 7, 28 and 56 days the compressive strength will be at 66.30, 67.75 and 150.87 kg/cm^2, respectively. This ratio is appropriate to develope properties of compressive strength with allotted time. Development of the compressive strength of porous concrete using EM mixed features was better pozzolanic reaction as the excessive element, $Ca(OH)_2$ from hydration which has SiO_2 and Al_2O_3 will blend with EM, as the main elements, and generates calcium silicate hydrate (CSH) and calcium aluminate hydrate (CAH), which are effective joining substances between masses, thus increasing the compressive strength in porous concrete because EM has qualification to kill inorganic substances in porous concrete. By that way, the porous concrete will have more compressive strength. On the contrary, if EM has replaced water at a higher ratio or more than the accepted ASTM C94 standards, this decrease will compressive strength for porous concrete.

Keywords: Compressive Strength, Effective Micro-organisms (EM), Porous Concrete

บทนำ

คอนกรีตพรุน (Porous Concrete) เป็นคอนกรีตที่มีความพรุนสูง โดยที่โพรงในเนื้อของคอนกรีตจะมีทั้งโพรงที่ไม่ต่อเนื่องและมีความต่อเนื่องกัน ด้วยคุณสมบัติของโพรงที่มีความต่อเนื่องนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการให้น้ำไหลซึมผ่านได้สูง คอนกรีตธรรมดาจะมีส่วนประกอบหลักคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และน้ำ อาจมีส่วนประกอบรองจำพวกสารปอซโซลาน (Pozzolan) และสารผสมเพิ่ม สำหรับคอนกรีตพรุนจะมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมหยาบ และน้ำ สำหรับส่วนประกอบรองคล้ายกับคอนกรีตธรรมดา คือ มีสารปอซโซลานและสารเพิ่มผสม จะเห็นว่าความแตกต่างของส่วนประกอบระหว่างคอนกรีตธรรมดากับคอนกรีตพรุนคือ คอนกรีตพรุนไม่มีมวลรวมละเอียดเหมือนคอนกรีตธรรมดา นั่นคือ คอนกรีตพรุนจะประกอบด้วยซีเมนต์เพสต์และมวลรวมหยาบเท่านั้น ความแตกต่างอีกประการหนึ่งคือ คอนกรีตพรุนจะมีความสามารถในการทำงานได้ต่ำมากซึ่งมีลักษณะคล้ายกับคอนกรีตบดอัด ซึ่งต้องอาศัยพลังงานในการบดอัดช่วยในการเข้าแบบ ต่างจากคอนกรีตธรรมดาที่สามารถไหลเข้าแบบได้เอง โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตจะมีกำลังอัดอยู่ระหว่าง 14 - 40 MPa. การที่จะทำให้ได้มาซึ่งคอนกรีตพรุนที่มีคุณภาพดีและมีกำลังอัดสูงนั้นจะต้องทำการควบคุมค่าการไหลของซีเมนเพสต์และปริมาณโพรงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและสอดคล้องกัน นอกจากนี้ พลังงานในการบดอัดยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องมีการควบคุม เพราะหากมากจนเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ไหลจมลงด้านล่างได้ ด้วยปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน ทำให้การผลิตคอนกรีตพรุนจำเป็นต้องมีการออกแบบและควบคุมเพื่อให้ได้คอนกรีตสด ในสถานะที่เหมาะสมกับการทำงาน

คอนกรีตพรุน คือ คอนกรีตที่มีช่องว่างที่มีความต่อเนื่องกัน (Continuous Void) ซึ่งมีความแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดาทั่วไป ด้วยเหตุนี้ คอนกรีตพรุนจึงมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกับคอนกรีตธรรมดา อีกทั้งมีการนำคุณสมบัติของการซึมผ่านของน้ำผ่านช่องว่าที่ต่อเนื่องกันมาประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมได้อย่างหลากหลาย โดยคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตพรุนมีดังนี้

อัตราส่วนโพรงในเนื้อคอนกรีตมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีตเป็นอย่างมาก สำหรับคอนกรีตพรุนที่มีอัตราส่วนโพรงร้อยละ 15 จะมีกำลังอัดได้มากถึง 44 MPa. [1] สำหรับคุณภาพของมวลรวมและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมจะมีผลต่อกำลังรับแรง โดยพบว่าการนำมวลรวมกลับมาใช่ใหม่ (Recycled Aggregate) ทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลง การใช้พลังงานในการบดอัดเข้าช่วยจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นและทำให้อัตราส่วนโพรงในเนื้อคอนกรีตพรุนมีค่าลดลง สำหรับการนำมวลรวมจากคอนกรีตเก่ากลับมาใช้ใหม่ [2] พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตพรุนลดลงตามปริมาณการใช้โดยลักษณะการวิบัติจะเกิดระหว่างรอยต่อของซีเมนต์เพสต์ใหม่และซีเมนต์เพสต์เดิม แต่การนำซีลิกาฟูม (Silica Fume) ผสมเพิ่มร้อยละ 10 ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่หากเพิ่มซิลิกาฟูมในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลง เช่นเดียวกับการผสมคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) เพิ่มในคอนกรีตมากจนถึงร้อยละ 3 ทำให้กำลังอัดเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณที่ผสมเพิ่มแต่กำลังอัดจะลดลงเมื่อปริมาณการผสมมากเกินร้อยละ 3 การพัฒนากำลังรับแรงตามอายุของคอนกรีตพรุนมีลักษณะคล้ายกับคอนกรีตธรรมดา โดยพบว่าการพัฒนากำลังของคอนกรีตในช่วงแรกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ในช่วงอายุ 28-30 วัน การพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น [2-3] จากการศึกษายังพบว่าอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวมมีผลต่อกำลังรับแรง โดยที่คอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวมมากจะให้กำลังอัดที่สูงกว่าปริมาณซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวมที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามขนาดของมวลรวมที่ใช้ยังมีผลต่อกำลังรับแรงจากการศึกษาพบว่า การใช้มวลรวมขนาด 10 - 20 mm. จะได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาด 5 - 10 mm.

โดยทั่วไปคอนกรีตธรรมดาจะมีความทึบน้ำสูงจะค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำน้อยมากคือปริมาณ 10^{-11} ถึง 10^{-12} m./sec. ซึ่งแปรผันกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ สำหรับคอนกรีตพรุนนั้นจะมีค่าสัมประสิทธ์การซึมผ่านของน้ำอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 10 cm./sec. [4] ซึ่งน้ำจะสามารถไหลผ่านเนื้อคอนกรีตได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 1 ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธ์การศึกผ่านของน้ำกับอัตราส่วนโพรงที่ต่อเนื่องกัน ได้พบว่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโพรงที่เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าสำหรับคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมขนาดเล็ก (เล็กกว่า 5 มม.) ซึ่งจะมีช่องว่างระหว่างเม็ดของมวลรวมเล็กมาก ทำให้เกิดการกักเก็บ (Retention) และ ดึงดูด (Pumping) น้ำขึ้นเหนือระดับผิวน้ำได้ ดังได้แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งในการเกิดของกรณีดังกล่าวนั้น คอนกรีตพรุนจะต้องมีความสามารถในการไหลผ่านของน้ำ และมีความพรุนค่อนข้างต่ำ [6] จากการศึกษายังพบว่า นอกจากอัตราส่วนโพรงแล้ว ยังพบว่า ขนาดของมวลรวมที่ใช้สำหรับคอนกรีตยังมีผลต่อความสามารถในการไหลผ่านของน้ำ โดยพบว่าที่ปริมาณอัตราส่วนโพรงที่เท่ากับ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จะมีค่ามากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดเล็ก

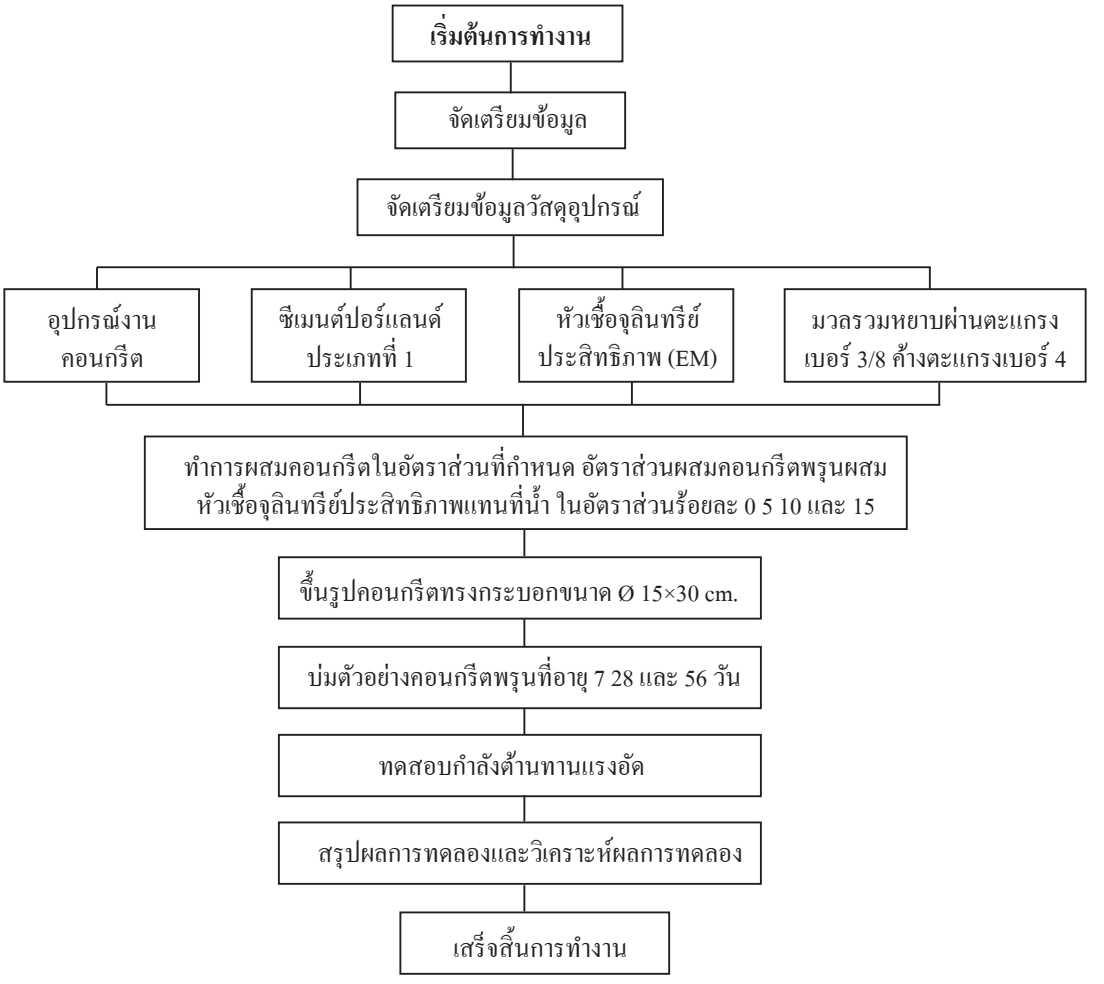
ภาพที่ 1 น้ำสามารถซึมผ่านคอนกรีตได้

ภาพที่ 2 การดึงดูดน้ำของคอนกรีต

การนำคอนกรีตพรุนไปใช้งานนั้น จะเน้นถึงคุณสมบัติของความสามารถในการซึมผ่านของน้ำเป็นสำคัญ แต่การใช้คอนกรีตพรุนในงานทางวิศวกรรมนั้นย่อมคำนึงถึงความทนทานของคอนกรีตด้วย เช่น งานคอนกรีตพื้นผิวถนน งานดาดผิวแม่น้ำ งานกรองตะกอนในรางระบายน้ำเสีย เป็นต้น ได้มีการทดสอบความต้านทานการขัดสีและการสึกกร่อนของคอนกรีตพรุน [5] พบว่าเมื่อกำลังของแรงยึดเหนี่ยวของวัตถุประสานคงที่ 90 MPa. เมื่อความพรุนของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 23 อัตราการสึกกร่อนใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา (กำลังอัด = 37.2 MPa.) และในขณะที่ความพรุนของคอนกรีตคงที่ร้อยละ 20 อัตราของการสึกกร่อนจะลดลงตามกำลังของแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุปะสานเพามมากขึ้น

วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเกี่ยวกับการนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตพรุน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการรับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต โดยการศึกษาครอบคุม 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตพรุน ส่วนที่ 2 หล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ASTM C 192 ส่วนที่ 3 ทดสอบหาค่าความเป็นกรด-ด่าง ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทดสอบ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Specific Gravity of Portland Cement) การทดสอบหาค่าความถวงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ (Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate) และการทดสอบหาค่าความเป็นกรด – ด่าง ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ

2. ออกแบบปฏิภาคสัดส่วนของคอนกรีตพรุน โดยทำการอ้างอิงและปรับปรุงสัดส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนของคอนกรีตพรุน [6]

Mixture ID	Cement (kg/m^3)	Gravel (kg/m^3)	Sand (kg/m^3)	Water		Fibers	
				(w/c)	(kg/m^3)	Type	(kg/m^3)
1	343	1602	…	0.27	93.0	…	…
1S	343	1498	104	0.27	93.0	…	…
2	343	1602	…	0.27	93.0	FM300	0.3
2S	343	1498	104	0.27	93.0	FM300	0.3
3	343	1602	…	0.27	99.5	FC500	0.3
3S	343	1498	104	0.27	99.5	FC500	0.3
4	343	1602	…	0.27	93.0	FM300	0.6
4S	343	1498	104	0.27	93.0	FM300	0.6
5	343	1602	…	0.27	99.5	FC500	0.6
5S	343	1498	104	0.27	99.5	FC500	0.6
6	343	1602	…	0.27	93.0	FM300	0.9
6S	343	1498	104	0.27	93.0	FM300	0.9
7	343	1602	…	0.27	99.5	FC500	0.9
7S	343	1498	104	0.27	99.5	FC500	0.9

3. การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุน

ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงของคอนกรีตพรุน ตัวอย่างทรงกระบอกขนาด ϕ15 X 30 เซนติเมตร โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน ตามลำดับ

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการทดสอบโดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่เป็นส่วนผสมในการแทนที่น้ำเพื่อผลิตเป็นคอนกรีตพรุนที่สามารถเพิ่มกำลังต้านทานแรงอัดได้ โดยทำการออกแบบอัตราส่วนผสมของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน ของคอนกรีตพรุนที่ไม่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพและคอนกรีตพรุนโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ แทนที่น้ำในอัตราส่วนร้อยละที่ต่างๆกัน เปรียบเทียบกับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตธรรมดาที่ออกแบบกำลังต้านทานแรงอัดไว้ที่ 140 kg/cm^2 โดยมีผลการทดสอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบค่า pH ที่ได้จากห้องปฏิบัติการทางเคมี

ค่า pH หรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ที่ได้จากการเข้าห้องปฏิบัติการทางเคมี ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบ จะมีค่า pH ของน้ำสะอาด ค่า pH ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพชนิดน้ำ ในอัตราส่วนทดแทนน้ำที่ทำการทดสอบ ซึ่งค่า pH ที่ได้จากการทดสอบจะแสดงดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ได้จากห้องทดลอง

ข้อมูลทดสอบ	น้ำร้อยละ100	น้ำร้อยละ 0 ต่อ EM ร้อยละ 100	น้ำร้อยละ 95 ต่อ EM ร้อยละ 5	น้ำร้อยละ 90 ต่อ EM ร้อยละ 10	น้ำร้อยละ 85 ต่อ EM ร้อยละ 15
ค่า pH	7.06	3.91	4.56	4.11	3.98

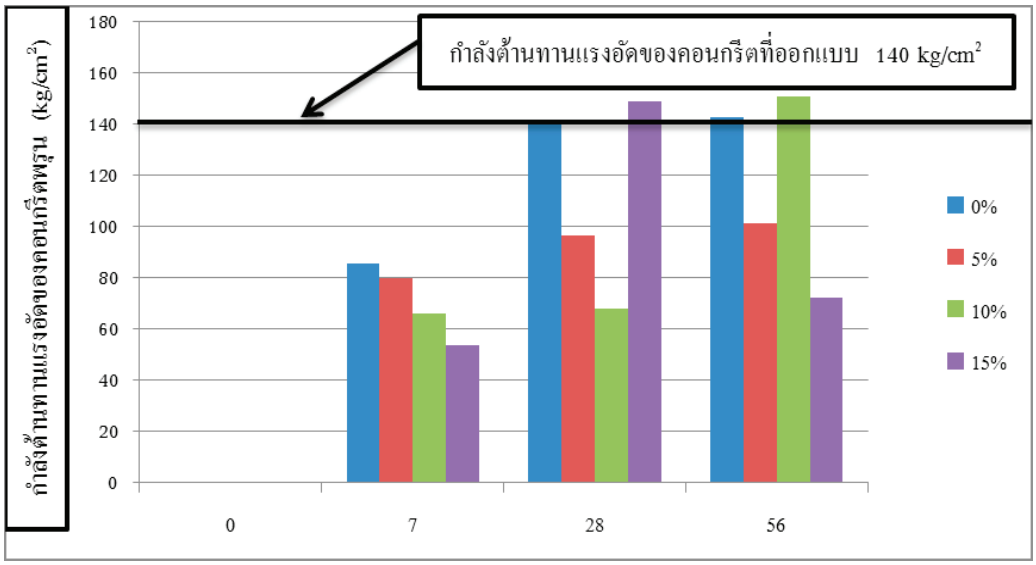
จากตารางที่ 2 พบว่าการมีสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำสำหรับใช้ในการเป็นส่วนผสมของคอนกรีตพรุน ซึ่งกำหนดไว้ว่าค่ามาตรฐานของ pH ของน้ำที่ยอมให้มีสิ่งเจือปนอยู่สำหรับนำมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตมีต้องมีค่า pH ไม่ต่ำกว่า 4 เนื่องจากน้ำที่เป็นกรดหรือมีค่า pH ต่ำกว่า 4 มักก่อให้เกิดปัญหาด้านการก่อตัวและกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งสภาพความเป็นกรดจะมีค่า pH ตั้งแต่ 0 - 6.9 และค่าความเป็นด่างจะมีค่า pH ตั้งแต่ 7.1 ขึ้นไป จากการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพมาใช้ผสมคอนกรีตพรุนโดยการแทนที่น้ำที่อัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าทุกอัตราส่วนผสมที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพในการแทนที่จะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 3.98 - 4.56 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามข้อกำหนดของขอบเขตความเข้มข้นของสิ่งเจือปนยอมให้ ASTM C 94 ต้องมีค่า pH ไม่ต่ำกว่า 4 โดยการทดสอบพบว่าสามารถนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพมาใช้แทนที่น้ำในสัดส่วนร้อยละ 5 และ 10 จะมีความเป็นไปได้และเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเป็นส่วนผสมของคอนกรีตได้

2. ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุน

ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนโดยการใช้ด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ แทนที่น้ำในอัตราส่วนคือ น้ำร้อยละ 100 น้ำร้อยละ 95 ต่อ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ร้อยละ 5 น้ำร้อยละ 90 ต่อ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 85 ต่อ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ร้อยละ 15 ที่นำมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตพรุน ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน จากการทดสอบได้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ย ซึ่งสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพรุนกับระยะเวลาการบ่ม ดังแสดงในภาพที่ 5

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุน

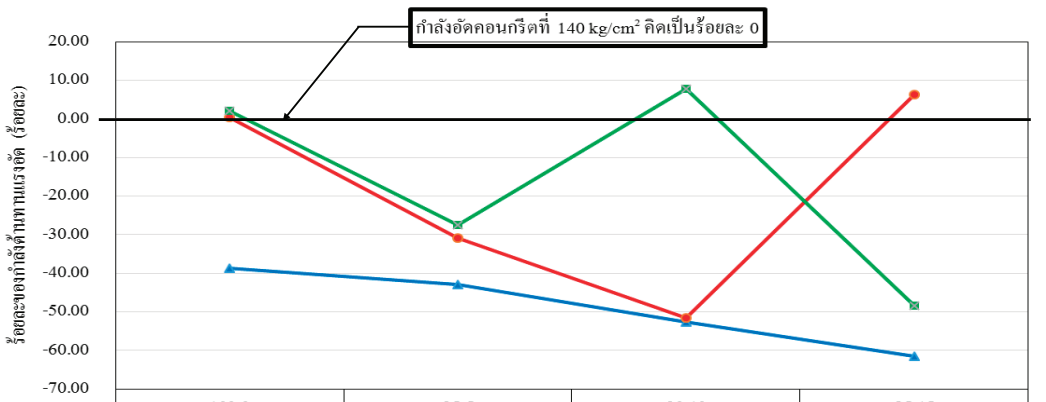
อัตราส่วนผสม น้ำ : EM (ร้อยละ)	อายุการบ่ม	กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุน , (kg/cm^2)			
		ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100 : 0	7 วัน	89.79	78.25	89.24	85.76
	28 วัน	137.73	142.33	141.26	140.44
	56 วัน	139.92	143.83	145.17	142.97
95 : 5	7 วัน	78.22	80.24	81.63	80.03
	28 วัน	96.53	97.43	96.12	96.69
	56 วัน	108.68	105.57	90.39	101.55
90 : 10	7 วัน	72.86	68.07	57.97	66.3
	28 วัน	66.79	65.7	70.76	67.75
	56 วัน	150.8	151.89	149.91	150.87
85 : 15	7 วัน	53.47	52.09	56.01	53.86
	28 วัน	145.82	146.29	154.86	148.99
	56 วัน	72.68	72.4	71.36	72.15



ภาพที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพรุนที่แทนที่น้ำด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพรุนที่แทนที่น้ำด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ออกแบบไว้ 140 kg/cm^2 จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตพรุนที่ทดแทนน้ำด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพในสัดส่วนร้อยละ 10 มีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นทุกอายุการบ่มทั้งสามช่วงเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์แทนที่น้ำในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมีการเพิ่มขึ้นและลดลงที่ไม่เป็นตามหลักของการพัฒนากำลังของคอนกรีตที่อายุการบ่ม

3. ผลการเปรียบเทียบร้อยละการเพิ่มขึ้นและลดลงของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนเฉลี่ยที่อายุ 7, 28 และ 56 วัน กับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนที่ออกแบบไว้ 140 kg/cm^2



	100:0	95:5	90:10	85:15
7 วัน	-38.74	-42.84	-52.64	-61.53
28 วัน	0.31	-30.94	-51.61	6.42
56 วัน	2.12	-27.46	7.76	-48.46

ภาพที่ 5 ร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลง ของกำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพรุนที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่นำในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน เปรียบเทียบกับกำลังต้านทานแรงอัดที่ออกแบบไว้

สรุปผล

ภาพที่ 5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบร้อยละของการการเพิ่มขึ้น-ลดลง ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่นำในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน จากค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างของคอนกรีตพรุนที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำในอัตราส่วนร้อยละ 10 จะมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 56 วัน เท่ากับ 150.87 kg/cm^2 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.76) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดที่ออกแบบไว้และมีการพัฒนากำลังต้านทานแรงอัดอย่างต่อเนื่องเมื่อเทียบอัตราส่วนผสมอื่นๆ โดยที่ค่า pH ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำร้อยละ 10 มีค่า pH เท่ากับ 4.11 ซึ่งสูงกว่าค่าความเข้มข้นของสิ่งเจือปนที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ASTM C 94

คือต้องไม่ต่ำกว่า 4 ดังนั้นการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพมาใช้แทนที่น้ำในสัดส่วนร้อยละ 10 จะมีความเป็นไปได้ที่ใช้แทนที่น้ำและเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเป็นส่วนผสมของคอนกรีตได้

สรุปผล

จากการศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพรุนโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพเป็นส่วนผสมแทนที่น้ำ โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพรุนโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำ ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบผลระหว่างคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนที่ไม่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำ (สภาพปกติ) กับใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำ สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะทั่วไปและมิติ ของคอนกรีตพรุนหลังจากอายุการบ่มที่ 28 วัน มีขนาดและมิติต่าง ๆ ที่ไม่แตกต่างกันมาก จากที่ได้ทำการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่า คอนกรีตพรุนนั้นมีขนาดตามแบบที่ได้ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่าง มีค่ากำลังต้านทานรงอัดเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ออกแบบไว้ 140 kg/cm^2 โดยแทบจะไม่มีความคลาดเคลื่อนเลย ซึ่งผลที่ได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

2. การศึกษากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนที่ผสมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพชนิดน้ำ ในอัตราส่วนผสมแทนที่น้ำร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าในอัตราส่วนผสมแทนที่น้ำร้อยละ 5 คอนกรีตพรุนสามารถพัฒนากำลังอัดได้อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน 28 วัน และ 56 วัน

3. อัตราส่วนผสมที่ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพชนิดน้ำ แทนที่น้ำร้อยละ 10 ในระยะเวลาการบ่มที่ 56 วัน ค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะที่ค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.76 เมื่อเทียบกับค่ากำลังต้านทานแรงอัดที่ออกแบบไว้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการไปได้สำเร็จลุล่วงด้วยดีคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chindaprasirt P., Homwuttiwong S. and Jaturapitakkul C. (2007). **"**Strength and Water Permeability of Concrete Containing Palm oil Fuel Ash and Rice Husk-bark Ash", **Construction and Building Materials**. 21, 1492-1499

[2] Park, J.-Y. and Kim, S.-H., (2010). **"**A New Species of Torrent Catfish from Korea", **Korean Journal of Limnology**. 21, 345-352.

[3] Wang, S., J. *et., al.* (2003). "Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as Related to Radio Frequency and Microwave Treatments", **Biosystems Engineering**. 85, 201-212.

[4] K.A. and G.I. Matsumoto (2004). **"**Stellamedusa Ventana, a New Mesopelagic Scyphomedusa from the Eastern Paci¢c Representing a New Subfamily, the Stellamedusinae", **Journal of the Marine Biological**. 84, 37-42.

[5] Rattanasak U. and Chindaprasirt P. (2009). **"**Influence of NaOH Solution on the Synthesis of Fly Ash Geopolymer", **Minerals Engineering**. 22, 1073-1078.

[6] Kevern, J. T. *et., al*. (2008). "Pervious Concrete Mixture Proportions for Improved Freeze-Thaw Durability", **Journal of ASTM International**. 2, 1-12.

บทความวิจัย

ผลของโปรแกรมการให้ความรู้โดยใช้สื่อที่มีต่อตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์การระบาดของโรคเลปโตสไปโรซิส

The Effect of Awareness Program by Media on the Transmission Mathematical Model of Leptospirosis

กันญารัตน์ หนูชุม[1]

Kanyarat Noochum[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์แบบไม่เชิงเส้นสำหรับการระบาดของโรคเลปโตสไปโรซิสที่มีผลมาจากโปรแกรมการให้ความรู้โดยใช้สื่อ ซึ่งจะใช้โปรแกรมการให้ความรู้โดยใช้สื่อทันทีที่เกิดโรคระบาด ในการศึกษาได้แบ่งประชากรคนที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อออกเป็น 2 กลุ่ม คือ คนที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่ไม่ได้รับสื่อ (S_H) และคนที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่ได้รับสื่อ (S_M) โดยสมมติว่าทุกคนเป็นคนกลุ่มเสี่ยง แต่ถ้าได้รับความรู้จากสื่อจะกลายเป็นคนกลุ่มเสี่ยงที่ได้รับสื่อซึ่งจะมีความตระหนักและหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับคนที่ติดเชื้อ จากการวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยใช้ทฤษฎีเสถียรภาพของสมการเชิงอนุพันธ์ ผลการวิจัยพบว่าถ้าค่าระดับการติดเชื้อ $R_0 < 1$ แล้วจะไม่เกิดการระบาดของโรค และถ้าค่าระดับการติดเชื้อ $R_0 > 1$ แล้วจะเกิดการระบาดของโรค นั่นคือเมื่อเพิ่มโปรแกรมการให้ความรู้โดยใช้สื่อให้มากขึ้นจะส่งผลให้จำนวนผู้ติดเชื้อในประชากรคนกลุ่มเป้าหมายมีค่าลดลง

คำสำคัญ: ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โรคเลปโตสไปโรซิส โปรแกรมการให้ความรู้

Abstract

This paper, aimed to develope and analyze a non-linear mathematical model for the effect of awareness programs driven by the media on the spread of Leptospirosis. The awareness program are treated as an intervention for the emergent disease. We divided the susceptible populations into two sub-classes: susceptible class and aware susceptible class. We assumed that susceptible individuals who come across with media campaign move to aware susceptible class and in general avoid contact with infection. This model is analyzed by using stability theory of differential equations. The results show that if the basic reproduction number $R_0 < 1$, then the disease dies out, however, if $R_0 > 1$, then the disease becomes endemic. Our analysis shows that the awareness programs driven by the media have positive impact in reducing the infection prevalence of the infective population.

Keywords: Mathematical Model, Leptospirosis, Awareness Program

Introduction

Leptospirosis is a zoonotic bacteriological disease, caused by members of the genus Leptospira. The human is infected by drinking water in which a rat was found dead, and cattle that drink this water become infectious. The human whose urine is used by other animals and cattle is also infected because the leptospirosis disease germs come out in urine. Those who wade through dirty water are mostly infected from this disease [1]. Infection induces antibody production in the animal renal carriers, shedding leptospirosis in their urine several weeks or even months after infection. The symptoms of leptospirosis are generally flu-like, but the disease can result in liver damage and renal failure [2]. In Thailand, leptospirosis occurs mainly in the rainy season, with an increase in cases beginning in August, reaching a peak in October, and beginning to fall in November [3].

Mathematical model play an important role to present the transmission dynamics of different diseases. Many models have been proposed to represent the dynamics of both human and vector population. Pongsuumpun *et al*. [4] developed mathematical models to study the behavior of leptospirosis disease. They represent the rate of change for both human and rats population. The human population is further divided into two main groups: juveniles and adults. The dynamical interaction including local and global stability of leptospirosis infected human and vector population can be found in Zaman *et al*. [5]

The media may be the most important source of health information for the general public; it can play a special role in providing a voice for people to express their experiences of illness [6]. In 1998 American 'National Health Council' conducted a study, where it is was observed that 75% of the people receive health news via the media (40% from the TV, 35% - by magazines or journals, 16% from newspapers, and 2% through the internet) [7]. Recently some scholars used mathematical models to discuss the impact of awareness programs on the diseases spreading and controlling in a given region. Statistical analysis on AIDS awareness programs shows that public awareness can play an appreciable role in preventing the AIDS epidemic [8]. Misra *et al*. [9] investigated the effects of awareness programs on the spread of infectious diseases and concluded that the spread of an infectious disease can be controlled by using awareness programs but the disease remains endemic due to immigration. Kaur *et al*. [10] studied modeling and analysis of an SIRS epidemic model with effect of awareness programs by media found that the awareness programs driven by the media have positive impact in reducing the infection prevalence of the infective population in the region under consideration.

In this present study, we have proposed and analyzed epidemic model to study the effect of awareness programs conducted through media campaigning on the spread of Leptospirosis. This some of the human beings, if someone is not listen to any of the media awareness programs and will interact with infectives in anyway. Hence, sending them back to unaware susceptible class is not reasonable as once someone is aware. In our model we have kept such kind of individual in aware class only but we assume that they interact with infectives. This leads to the assumption that some fraction of total aware susceptible population is interacting with infectives.

The paper is organized as follows. In Section 2, we present the mathematical model. Section 3, we show the basic properties of the model. Section 4, our model is analyzed with standard dynamical method. Section 5, we present numerical simulation of the model. Section 6, we conclude with a short discussion.

Mathematical Model

We consider human population of size N_H divided into four subclasses; susceptible class S_H, infective class I_H, recovered class R_H and aware susceptible class S_M. Similarly, the rat population of size N_R is divided into two subclasses; susceptible class S_R and infective class I_R. Let M be the cumulative density of the awareness programs driven by media in the region under consideration. It is assumed that susceptible individuals who come across with media campaign move to aware susceptible class, in general, they avoid contact with infectives.

The disease is described by the following system of non-linear differential equations:

$$\frac{dS_H}{dt} = b_H + \lambda_H R_H - \mu_H S_H - \beta_1 S_H I_H - \beta_2 S_H I_R - \alpha S_H M \tag{1}$$

$$\frac{dI_H}{dt} = \beta_1 S_H I_H + \beta_2 S_H I_R + \beta_4 S_M I_H - \mu_H I_H - \delta_H I_H - \gamma_H I_H \tag{2}$$

$$\frac{dR_H}{dt} = \gamma_H I_H - \mu_H R_H - \lambda_H R_H \tag{3}$$

$$\frac{dS_M}{dt} = \alpha S_H M - \beta_4 S_M I_H - \mu_H S_M \tag{4}$$

$$\frac{dS_R}{dt} = b_R - \mu_R S_R - \beta_3 S_R I_H \tag{5}$$

$$\frac{dI_R}{dt} = \beta_3 S_R I_H - \mu_R I_R - \delta_R I_R \tag{6}$$

$$\frac{dM}{dt} = \mu + \mu_1 I_H - \mu_0 M \tag{7}$$

$$S_H(0) > 0,\ I_H(0) \geq 0,\ R_H(0) \geq 0,\ S_M(0) \geq 0,\ S_R(0) > 0,\ I_R(0) \geq 0,\ M(0) \geq 0.$$

with initials conditions .

The flow diagram describing population movements between the compartments is shown in Fig. 1.

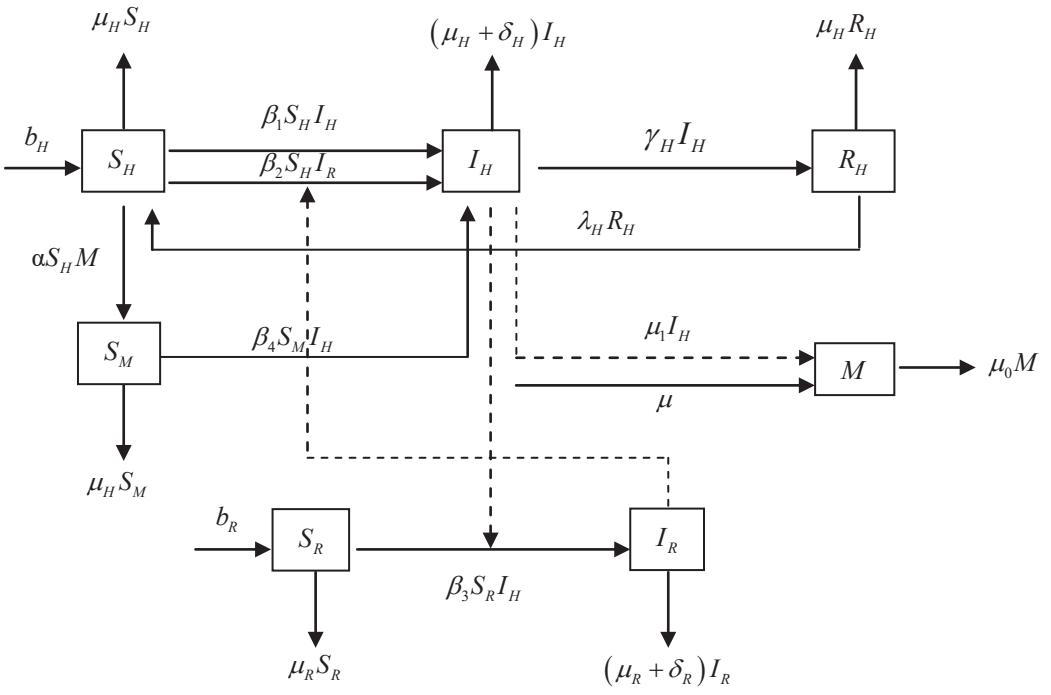


Fig. 1 Flow diagram for the spread of Leptospirosis

Here, b_H is the recruitment rate of human population ; b_R is the recruitment rate of rat population ; β_1, β_2, β_3 and β_4 are respectively represent the transmission coefficient between human, susceptible human and infective human, susceptible human and infective rat, susceptible rat and infective human, and aware susceptible human and infective human ; á is the dissemination rate of awareness among susceptibles of human population due to media awareness programs ; μ_H is the natural death rate of human population ; μ_R is the natural death rate of rat population; λ_H is the rate at which individual from recovered class move to susceptible class again after loosing immunity; γ_H is the natural recovery rate constant; δ_H is the disease related death rate of human population; δ_R is the disease related death rate of human population; μ is the rate constant corresponding to regular media coverage, μ_1 is the rate constant influenced by number of infectives and μ_0 is the natural decay rate constant of media coverage/awareness programs.

The total dynamics of human population (N_H) and the total of rat population (N_R) are given by

$N_H = S_H + S_M + I_H + R_H$ and $N_R = S_R + I_R$, respectively.

$$\begin{aligned}
\frac{dN_H}{dt} &= b_H - \mu_H N_H - \delta_H I_H \\
\frac{dI_H}{dt} &= (\beta_1 I_H + \beta_2 I_R)(N_H - S_M - I_H - R_H) + \beta_4 S_M I_H - \mu_H I_H - \delta_H I_H - \gamma_H I_H \\
\frac{dR_H}{dt} &= \gamma_H I_H - \mu_H R_H - \lambda_H R_H \\
\frac{dS_M}{dt} &= \alpha M (N_H - S_M - I_H - R_H) - \beta_4 S_M I_H - \mu_H S_M \\
\frac{dN_R}{dt} &= b_R - \mu_R N_R - \delta_R I_R
\end{aligned} \tag{8}$$

$$\frac{dI_R}{dt} = \beta_3 I_H \left(N_R - I_R\right) - \mu_R I_R - \delta_R I_R$$
$$\frac{dM}{dt} = \mu + \mu_1 I_H - \mu_0 M$$

Basic Properties

Since the model monitors human population, rat popalation and media coverage, it is assumed that all the state variables are non-negative at time $t = 0$. All parameters of the model are assumed to be non-negative. It then follows from the differential equations that the variables are non-negative for all $t \geq 0$. In the absence of leptospirosis infection, $N_H \leq \frac{b_H}{\mu_H}$, $N_R \leq \frac{b_R}{\mu_R}$ and $M \leq \frac{\mu}{\mu_0}$ $as\ t \to \infty$. The solution of system (8) with initiate in Ω remain in the region Ω. This result can be summarized in the following theorem:

Theorem 1 Let $(S_H, I_H, R_H, S_M, S_R, I_R, M)$ be the solution of the system (8) with initial conditions

$S_H(0) > 0,\ I_H(0) \geq 0,\ R_H(0) \geq 0,\ S_M(0) \geq 0,\ S_R(0) > 0,\ I_R(0) \geq 0,\ M(0) \geq 0$ and closed set

.

$$\Omega = \left\{ \left(S_H, I_H, R_H, S_M, S_R, I_R, M\right) \in R_+^7; N_H \leq \frac{b_H}{\mu_H}, N_R \leq \frac{b_R}{\mu_R}, M \leq \frac{\mu}{\mu_0} \right\}.$$

Then Ω is positively – invariant and attracting under the flow described by the system (8).

Proof Consider the Lyapunov function [11]

$$V(t) = (N_H(t), N_R(t), M) = (S_H + I_H + R_H + S_M, S_R + I_R, M)$$

The time derivative of this equation is given by:

$$\frac{dV}{dt} = (b_H - \mu_H N_H - \delta_H I_H, b_R - \mu_R N_R - \delta_R I_R, \mu + \mu_1 I_H - \mu_0 M)$$

Now it is easy to prove that

$$\frac{dN_H}{dt} \leq b_H - \mu_H N_H \qquad for \qquad N_H \geq \frac{b_H}{\mu_H}$$
$$\frac{dN_R}{dt} \leq b_R - \mu_R N_R \qquad for \qquad N_R \geq \frac{b_R}{\mu_R}$$
$$\frac{dM}{dt} \leq \mu - \mu_0 M \qquad for \qquad M \geq \frac{\mu}{\mu_0}$$

Thus is follows that $\frac{dV}{dt} \leq 0$ which implies that Ω is positively – invariant set and a standard comparison theorem [12] is used to show that

Thus as $t \to \infty$, $0 \le (N_H, N_R, M) \le \left(\frac{b_H}{\mu_H}, \frac{b_R}{\mu_R}, \frac{\mu}{\mu_0}\right)$ and so Ω is an attracting set.

Mathematical Analysis

Firstly, we consider the equilibrium points for the model. Since the local stability of disease free equilibrium point and disease endemic equilibrium point is governed by the reproduction number of the model.

4.1 Equilibrium Points

In order to obtain equilibrium points, we set all equations of the system (8) equal to zero. Our model has two non – negative equilibrium.

1) Disease Free Equilibrium: DFE

Theorem 4.1 – 1 There exists disease free equilibrium point $E_0(N_H, I_H, R_H, S_M, N_R, I_R, M)$ of the system (8).

Proof In the absence of disease, that is $I_H = 0$ and $I_R = 0$, we obtained $N_H = \frac{b_H}{\mu_H}$, $R_H = 0$, $S_M = \frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2 + \mu_H a_3}$, $N_R = \frac{b_R}{\mu_R}$ and $M = \frac{\mu}{\mu_0}$ where $a_1 = \mu_H + \lambda_H$, $a_2 = \mu_H(\mu_H + \lambda_H)$ and $a_3 = \mu_0\mu_H(\mu_H + \lambda_H)$.

Then $E_0(N_H, I_H, R_H, S_M, N_R, I_R, M) = \left(\frac{b_H}{\mu_H}, 0, 0, \frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2 + \mu_H a_3}, \frac{b_R}{\mu_R}, 0, \frac{\mu}{\mu_0}\right)$.

2) Disease Endemic Equilibrium: DEE

Theorem 4.1 – 2 There exists disease endemic equilibrium point $E_1(N_H^*, I_H^*, R_H^*, S_M^*, N_R^*, I_R^*, M^*)$ of the system (8) if $A_1(I_H^*)^3 + A_2(I_H^*)^2 + A_3 I_H^* + A_4 = 0$ and $A_2A_3 - A_4 > 0$ where I_H^* has positive roots.

Proof This is disease endemic equilibrium point as $E_1(N_H^*, I_H^*, R_H^*, S_M^*, N_R^*, I_R^*, M^*)$

where $N_H^* = \frac{b_H - \delta_H I_H^*}{\mu_H}$, $R_H^* = \frac{\gamma_H I_H^*}{\mu_H + \lambda_H}$, $S_M^* = \frac{a_4(I_H^*)^2 + a_5 I_H^* + a_6}{a_7 I_H^* + a_8}$,

$$N_R^* = \frac{b_R(\beta_3 I_H^* + \mu_R + \delta_R)}{\beta_3\delta_R I_H^* + \beta_3\mu_R I_H^* + \mu_R^2 + \mu_R\delta_R}, \quad \text{and } M^* = \frac{\mu + \mu_1 I_H^*}{\mu_0}.$$

Let $a_1 = \mu_H + \lambda_H, a_2 = \mu_H(\mu_H + \lambda_H), a_3 = \mu_0\mu_H(\mu_H + \lambda_H), a_4 = (-\alpha\mu_1\delta_H a_1 - \alpha\mu_1 a_2 - \alpha\mu_1\mu_H\gamma_H)$

$a_5 = (\alpha\mu_1 b_H a_1 - \alpha\mu\delta_H a_1 - \alpha\mu a_2 - \alpha\mu\mu_H\gamma_H), a_6 = \alpha\mu b_H a_1, a_7 = \alpha\mu_1 a_2 + \beta_4 a_3, a_8 = \alpha\mu a_2 + \mu_H a_3$,

$A_1 = (\mu_H\beta_4 - \mu_H\beta_1)a_1a_4 - (\delta_H\beta_1 + \mu_H\beta_1 + \mu_H^2 - \delta_H\mu_H)a_1a_7 - \mu_H\gamma_H\beta_1 a_7$,

$A_2 = (\mu_H\beta_4 - \mu_H\beta_1)a_1a_5 + (b_H\beta_1 - \gamma_H\mu_H)a_1a_7 - (\delta_H\beta_1 + \delta_H\mu_H + \mu_H\beta_1 a_1a_8 + \mu_H\mu_H a_1a_8)a_1a_8 - \mu_H\gamma_H\beta_1 a_8 - (\delta_H\beta_2 a_1a_7 + \mu_H\beta_2 a_1a_4 + \mu_H\beta_2 a_1a_7 + \mu_H\gamma_H\beta_2 a_7)I_R$,

$A_3 = (\mu_H\beta_4 - \mu_H\beta_1)a_1a_6 + (b_H\beta_1 - \gamma_H\mu_H)a_1a_8 + \begin{pmatrix} b_H\beta_2 a_1a_7 - \mu_H\beta_2 a_1a_5 - \delta_H\beta_2 a_1a_8 - \\ \mu_H\beta_2 a_1a_8 - \mu_H\gamma_H\beta_2 a_8 \end{pmatrix} I_R$,

$$A_3 = \left(\mu_H\beta_4 - \mu_H\beta_1\right)a_1a_6 + \left(b_H\beta_1 - \gamma_H\mu_H\right)a_1a_8 + \begin{pmatrix} b_H\beta_2a_1a_7 - \mu_H\beta_2a_1a_5 - \delta_H\beta_2a_1a_8 - \\ \mu_H\beta_2a_1a_8 - \mu_H\gamma_H\beta_2a_8 \end{pmatrix} I_R,$$

and $A_4 = \left(b_H\beta_2a_1a_8 - \mu_H\beta_2a_1a_6\right)I_R$.

Then we have $A_1\left(I_H^*\right)^3 + A_2\left(I_H^*\right)^2 + A_3I_H^* + A_4 = 0$ (9)

It is clear that if $A_2A_3 - A_4 > 0$ then one of the roots of cubic equation (9) will be positive.

4.2 Basic Reproduction Number

In the following, the basic reproduction number of system (8) will be obtained by the next generation matrix method [13].

We rewritten the system in matrix form $\frac{dx}{dt} = F(x) - V(x)$, Here $F(x)$ represent the rate appearance of new infections and $V(x)$ represent the transfer of individuals. The matrices $F(x)$ and $V(x)$ for the system are computed as follows.

$$F(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ \left(\beta_1I_H + \beta_2I_R\right)\left(N_H - S_M - I_H - R_H\right) + \beta_4S_MI_H \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \beta_3I_H\left(N_R - I_R\right) \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$V(x) = \begin{bmatrix} \mu_HN_H + \delta_HI_H - b_H \\ (\mu_H + \delta_H + \gamma_H)I_H \\ (\mu_H + \lambda_H)R_H - \gamma_HI_H \\ \beta_4S_MI_H + \mu_HS_M - \alpha M\left(N_H - S_M - I_H - R_H\right) \\ \mu_RN_R + \delta_RI_R - b_R \\ (\mu_R + \delta_R)I_R \\ \mu_0M - \mu - \mu_1I_H \end{bmatrix} \text{W}$$

e get Jacobain matrix of $F(x)$ and $V(x)$ evaluated at E_0,

$$J\left(F\left(E_0\right)\right) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{b_H}{\mu_H} - \frac{\alpha\mu b_Ha_1}{\alpha\mu a_2 + \mu_Ha_3}\right)\beta_1 + \frac{\beta_4\alpha\mu b_Ha_1}{\alpha\mu a_2 + \mu_Ha_3} & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{b_H}{\mu_H} - \frac{\alpha\mu b_Ha_1}{\alpha\mu a_2 + \mu_Ha_3}\right)\beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\beta_3b_R}{\mu_R} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$J\left(V\left(E_0\right)\right)=\begin{bmatrix} \mu_H & \delta_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_H+\delta_H+\gamma_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma_H & \mu_H+\lambda_H & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\alpha\mu}{\mu_0} & \left(\frac{\beta_4\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}+\frac{\mu}{\mu_0}\right)\lambda_H & \frac{\lambda\mu}{\mu_0} & \mu_H+\frac{\alpha\mu}{\mu_0} & 0 & 0 & \left(\frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}-\frac{b_H}{\mu_H}\right)\lambda_H \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_R & \delta_R & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_R+\delta_R & 0 \\ 0 & -\mu_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix}$$

The basic reproduction number R_0 is given by the spectral radius of the next generation matrix FV^{-1}. Hence $R_0=\rho\left(FV^{-1}\right)$, where

$$FV^{-1}=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\left(\frac{b_H}{\mu_H}-\frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}\right)\beta_2}{\mu_R+\delta_R} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Thus, } R_0=\sqrt{\frac{\left(\frac{b_H}{\mu_H}-\frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}\right)\beta_2}{\mu_R+\delta_R}} \tag{10}$$

4.3 Stability Analysis

The local asymptotic stability of the disease free equilibrium point E_0 and disease endemic equilibrium point E_1 is established using variational matrix method and stated in the following theorem.

1) Stability of Disease Free State

Theorem 4.3 – 1 The system (8) with all positive parameters has a unique disease free equilibrium point E_0 and if $R_0<1$ then E_0 is locally asymptotically stable

Proof Hence $I_H=0$ and $I_R=0$ the disease free equilibrium is

$$E_0(N_H,I_H,R_H,S_M,N_R,I_R,M)=(\frac{b_H}{\mu_H},0,0,\frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3},\frac{b_R}{\mu_R},0,\frac{\mu}{\mu_0})$$

The Jacobian matrix of the model (8) at E_0 is given by

$$J(E_0)=J_0=\begin{bmatrix} -\mu_H & -\delta_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{b_H}{\mu_H}-\frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}\right)\beta_2 & 0 \\ 0 & \gamma_H & -(\mu_H+\lambda_H) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\alpha\mu}{\mu_0} & -\left(\frac{\alpha\mu}{\mu_0}+\frac{\alpha\mu b_H a_1\beta_4}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}\right) & -\frac{\alpha\mu}{\mu_0} & -\left(\frac{\alpha\mu}{\mu_0}+\mu_H\right) & 0 & 0 & \alpha\left(\frac{b_H}{\mu_H}-\frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}\right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_R & -\delta_R & 0 \\ 0 & \frac{\beta_3 b_R}{\mu_R} & 0 & 0 & 0 & -(\mu_R+\delta_R) & 0 \\ 0 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_0 \end{bmatrix}$$

where $a=\left(\frac{b_H}{\mu_H}-\frac{\alpha\mu b_H a_1}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}\right)\beta_1+\left(\frac{\alpha\mu b_H a_1\beta_4}{\alpha\mu a_2+\mu_H a_3}-\mu_H-\delta_H-\gamma_H\right)$.

Using elementary row operation the characteristics equation about E_0 is given by

$$(\lambda+\mu_R)\left(\lambda+\left(\frac{\alpha\mu}{\mu_0}+\mu_H\right)\right)(\lambda+(\mu_H+\lambda_H))(\lambda+\mu_0)(\lambda+\mu_H)(\lambda^2+B_1\lambda+B_2)=0 \qquad (11)$$

where $B_1=-\left(\frac{b_H}{\mu_H}-\frac{\lambda\mu b_H a_1}{\lambda\mu a_2+\mu_H a_3}\right)\beta_1-\left(\frac{\lambda\mu b_H a_1\beta_4}{\lambda\mu a_2+\mu_H a_3}-\mu_H-\delta_H-\gamma_H\right)$ and

$B_2=-(\mu_R+\delta_R)\left(\frac{b_H}{\mu_H}-\frac{\lambda\mu b_H a_1}{\lambda\mu a_2+\mu_H a_3}\right)\beta_1-(\mu_R+\delta_R)\left(\frac{\lambda\mu b_H a_1\beta_4}{\lambda\mu a_2+\mu_H a_3}-\mu_H-\delta_H-\gamma_H\right)-\left(\frac{\beta_3 b_R}{\mu_R}\right)\left(\left(\frac{b_H}{\mu_H}-\frac{\lambda\mu b_H a_1}{\lambda\mu a_2+\mu_H a_3}\right)\beta_2\right)$. T

he eigenvalues of this matrix are $\lambda_1=-\mu_R$, $\lambda_2=-\left(\frac{\lambda\mu}{\mu_0}+\mu_H\right)$, $\lambda_3=-(\mu_H+\lambda_H)$,

$\lambda_4 = -\mu_0$, $\lambda_5 = -\mu_H$, λ_6 and λ_7 are solution of quadratic equation $\lambda^2 + B_1\lambda + B_2 = 0$. By the Routh-Herwitz criteria [14], if $B_1 > 0$ and $B_2 > 0$, then roots of the quadratic equation have negative real part. Hence, the disease free equilibrium point is locally asymptotically stable.

2) Stability of Disease Endemic State

Theorem 4.3 – 2 Suppose $R_0 > 1$ then there is a unique disease endemic equilibrium point E_1 of (8) which is locally asymptotically stable.

Proof The disease endemic equilibrium is $N_H^* = \dfrac{b_H - \delta_H I_H^*}{\mu_H}$, $R_H^* = \dfrac{\gamma_H I_H^*}{\mu_H + \lambda_H}$,

$$S_M^* = \frac{a_4\left(I_H^*\right)^2 + a_5 I_H^* + a_6}{a_7 I_H^* + a_8}, N_R^* = \frac{b_R\left(\beta_3 I_H^* + \mu_R + \delta_R\right)}{\beta_3\delta_R I_H^* + \beta_3\mu_R I_H^* + \mu_R^2 + \mu_R\delta_R}, M^* = \frac{\mu + \mu_1 I_H^*}{\mu_0}$$

and I_H^* is the solution of $A_1\left(I_H^*\right)^3 + A_2\left(I_H^*\right)^2 + A_3 I_H^* + A_4 = 0$

The Jacobian matrix of the system (8) at E_1 is

$$J(E_1) = J_1$$

$$= \begin{bmatrix} -\mu_H & -\delta_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \beta_1 I_H^* + \beta_2 I_R^* & \begin{pmatrix} N_H^* - S_M^* - \\ I_H^* - R_H^* \end{pmatrix}\beta_1 + \begin{pmatrix} \beta_4 S_M^* - \beta_2 I_R^* \\ -\mu_H - \delta_H - \gamma_H \end{pmatrix} & -\left(\beta_1 I_H^* + \beta_2 I_R^*\right) & -\begin{pmatrix} \beta_1 I_H^* + \beta_2 I_R^* \\ -\beta_4 I_H^* \end{pmatrix} & 0 & \begin{pmatrix} N_H^* - S_M^* - \\ I_H^* - R_H^* \end{pmatrix}\beta_2 & 0 \\ 0 & \gamma_H & -\left(\mu_H + \lambda_H\right) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha M^* & -\left(\alpha M^* + \beta_4 S_M^*\right) & -\alpha M^* & -\begin{pmatrix} \alpha M^* + \beta_4 I_H^* \\ +\mu_H \end{pmatrix} & 0 & 0 & \alpha\begin{pmatrix} N_H^* - S_M^* - \\ I_H^* - R_H^* \end{pmatrix} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_R & -\delta_R & 0 \\ 0 & \beta_3\left(N_R^* - I_R^*\right) & 0 & 0 & \beta_3 I_H^* & -\left(\beta_3 I_H^* + \mu_R + \delta_R\right) & 0 \\ 0 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_0 \end{bmatrix}$$

Using elementary row operation the characteristics equation about E_1 is given by

$$\lambda^7 + H_1\lambda^6 + H_2\lambda^5 + H_3\lambda^4 + H_4\lambda^3 + H_5\lambda^2 + H_6\lambda + H_7 = 0 \qquad (12)$$

where $H_1 = -\left(G_1 + G_4 + D_{21}\right)$, $H_2 = -\left(D_2D_3 + G_5 + G_{11} - D_{21}G_1 - D_{21}G_4 - G_1G_4 - G_2\right)$,

$$H_3 = -\left(D_2G_{14} + G_2G_4 + G_6 + G_3 + D_{21}G_1G_4 + D_{21}G_2 - D_3G_{12} - G_1G_5 - G_7G_{11} - G_9G_{11} - D_2D_{21}D_3 - D_{21}G_5 - D_{21}G_{11} - G_{16}\right),$$

$$H_4 = -\begin{pmatrix} D_3D_{21}G_{12} + D_{21}G_1G_5 + D_{21}G_7G_{11} + D_{21}G_9G_{11} + D_2G_{15} + D_3G_{13} + G_2G_5 + G_7G_9G_{11} + G_{10}G_{11} \\ +G_8G_{11} + G_{16}G_{17} + D_1G_{16} - D_2D_{21}G_{14} - D_{21}G_2G_4 - D_{21}G_6 - D_{21}G_3 - G_1G_6 - G_3G_4 - G_{12}G_{14} \end{pmatrix},$$

$$H_5 = -\begin{pmatrix} D_{21}G_1G_6 + D_{21}G_3G_4 + D_{21}G_{12}G_{14} + G_2G_6 + G_{13}G_{14} + G_{16}G_{18} - D_2D_{21}G_{15} - D_3D_{21}G_{13} - D_{21}G_2G_5 \\ -D_{21}G_7G_9G_{11} - D_{21}G_{10}G_{11} - D_{21}G_8G_{11} - G_7G_{10}G_{11} - G_8G_9G_{11} - G_3G_5 - G_{12}G_{15} - D_1G_{16}G_{17} \end{pmatrix},$$

$$H_6 = -\left(D_{21}G_7G_{10}G_{11} + D_{21}G_8G_9G_{11} + D_{21}G_3G_5 + D_{21}G_{12}G_{15} + G_8G_{10}G_{11} + G_{13}G_{15} + G_{16}G_{19} - D_{21}G_2G_6 - D_{21}G_{13}G_{14} - G_3G_6 - D_1G_{16}G_{18}\right),$$

$$H_7 = -D_{21}G_3G_6 + D_{21}G_8G_{10}G_{11} + D_{21}G_{13}G_{15} + D_1G_{16}G_{19},$$

$$G_1 = D_1 + D_{15} + D_{19},\ G_2 = D_{15}D_{19} + D_{16}D_{18} + D_1D_{15} + D_1D_{19},\ G_3 = D_1D_{15}D_{19} - D_1D_{16}D_{18}, G_4 = D_4 + D_9 + D_{13},$$

$$G_5 = D_6D_{11} + D_5D_8 - D_9D_{13} - D_4D_9 - D_4D_{13},\ G_6 = D_4D_9D_{13} + D_6D_8D_{12} - D_6D_9D_{11} - D_5D_8D_{13}, G_7 = D_1 + D_{15}, G_8 = D_1D_{15},$$

$$G_9 = D_9 + D_{13},\ G_{10} = D_9D_{13},\ G_{11} = D_7D_{17},\ G_{12} = D_2D_{15} + D_2D_{19},\ G_{13} = D_2D_{15}D_{19} + D_2D_{16}D_{18}, G_{14} = D_6D_{10} - D_3D_9 - D_3D_{13},$$

$$G_{15} = D_3D_9D_{13} - D_6D_9D_{10},\ G_{16} = D_6D_{14}D_{20},\ G_{17} = D_{15} + D_{19} + D_9, G_{18} = D_{16}D_{18} - D_9D_{15} - D_9D_{19} - D_{15}D_{19},$$

and $G_{19} = D_9D_{15}D_{19} - D_9D_{16}D_{18}$.

By Routh-Hurwitz criteria [14] since $H_i > 0$ for all $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$, each eigenvalues of (12) has the negative parts.

Numerical simulation

In this section, we present the numerical simulation of the dynamical behavior of model. The set of parameter values are given in Table 1.

Table 1 Parameter value used in the numerical simulation

Parameters	b_H	b_R	μ_H	μ_R	δ_H	δ_R	λ_H	γ_H	β_1	β_2	β_3
values (day^{-1})	19	45	0.2	0.2	0.002	0.025	0.005	0.003	0.000075	0.00002	0.000005
Reference					[5]					Assumed	

The stability of disease free equilibrium point E_0 is show in Fig. 2, we choose $\beta_4 = 0.00009$, $\mu = 0.1$, $\mu_0 = 0.03$, $\mu_1 = 0.001$ and á = 0.0002 and keep the other values of parameters to be those given in Table 1. The disease free equilibrium point E_0 for above set of parameters is as follow : $N_H = 95, I_H = 0, R_H = 0,$ $S_M = 0.315615, N_R = 225, I_R = 0, M = 3.33333$. The eigenvalues and the basic reproduction number are obtained as : $\lambda_1 = -0.205, \lambda_2 = -0.200667, \lambda_3 = -0.2,$ $\lambda_4 = -0.2, \lambda_5 = -0.03, \lambda_6 = -0.0989485,$ $\lambda_7 = -0.0989485,$ $R_0 = 0.197897$. Since all the eigenvalues corresponding to E_0 be negative and basic reproduction number is less than one, the disease free equilibrium point E_0 will be local asymptotically stable.

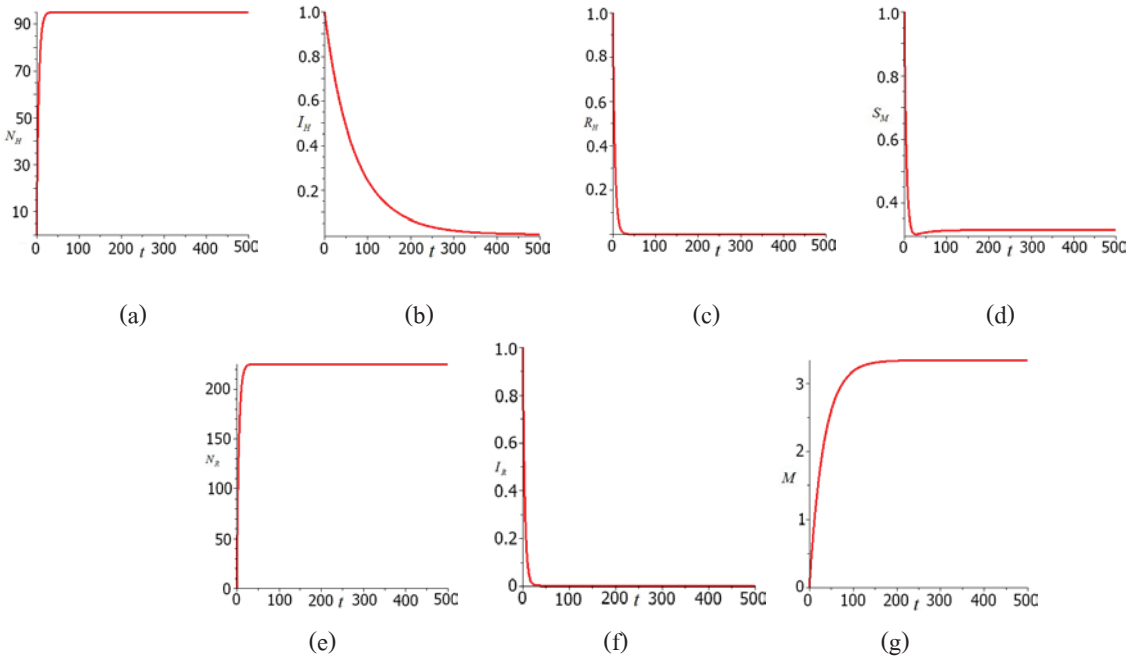


Fig. 2 Time series of the (a) total of human population, (b) infective human population, (c) recovered human population, (d) aware susceptible human population, (e) total of rat population, (f) infective rat population and (g) the awareness programs driven by media. The fractions of populations approach to the free disease equilibrium state $E_0(95,0,0,0.315615,225,0,3.33333)$.

The stability of disease endemic equilibrium point E_1 is show in Fig. 3, we choose β_4 =0.009, μ =0.001, μ_0 =0.3, μ_1 =0.01 and á =0.00002 and keep the other values of parameters to be those given in Table 1. The interior equilibrium point E_1 for above set of parameters is as follow : $N_H^* = 94.979$, $I_H^* = 2.09713, R_H^* = 0.0306897, S_M^* = 0.000679979, N_R^* = 224.995, I_R^* = 0.0419338, M^* = 0.0732376$

The eigenvalues and the basic reproduction number are obtained as : $\lambda_1 = -0.299998, \lambda_2 = -0.274514$, $\lambda_3 = -0.204985, \lambda_4 = -0.200013, \lambda_5 = -0.199945, \lambda_6 = -0.199945, \lambda_7 = -0.149068$, R_0=1.94936. Since all the eigenvalues corresponding to E_1 be negative and basic reproduction number is more than one, the disease endemic equilibrium point E_1 will be local asymptotically stable.

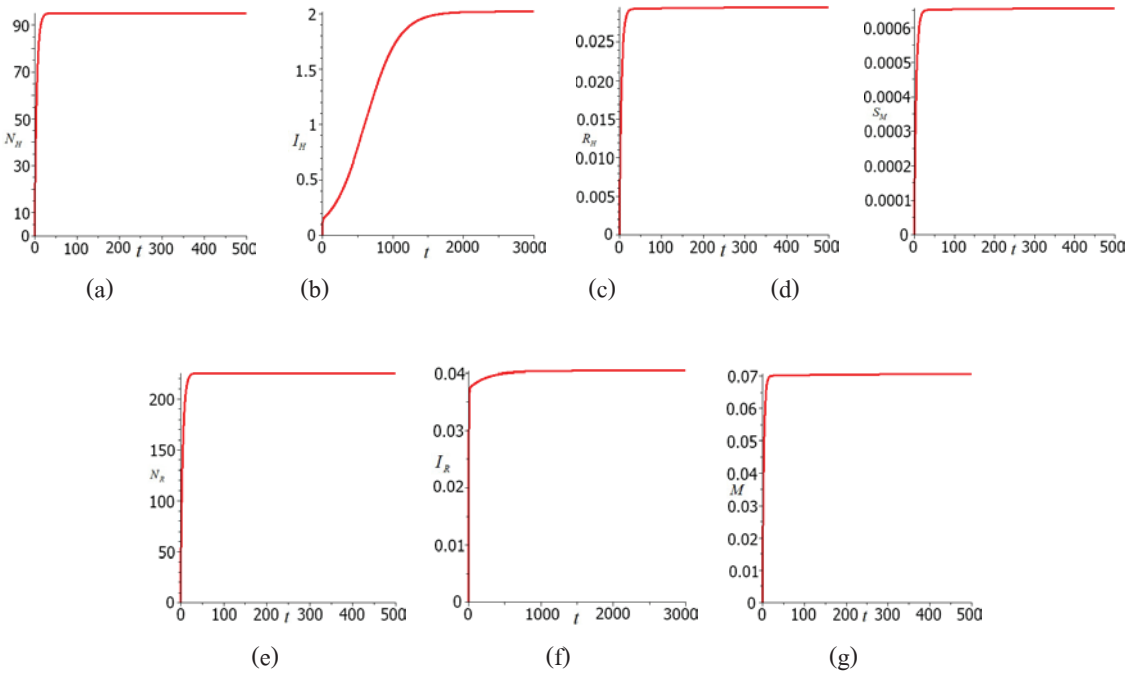


Fig. 3 Time series of the (a) total of human population (b) infective human population (c) recovered human population (d) aware susceptible human population (e) total of rat population (f) infective rat population and (g) the awareness programs driven by media. The fractions of populations approach to the disease endemic equilibrium state $E_1(94.979, 2.09713, 0.0306897, 0.000679979, 224.995, 0.0419338, 0.0732376)$.

Conclusion

In this paper, a nonlinear mathematical model is proposed and analyzed to determine the effects of awareness programs driven by the media. The model is divided the human population into four subclasses and rat population into two subclasses. It has been considered that the growth rate of awareness programs impacting the population is assumed to be proportional to the numbers of infective class. It has been further assumed that due to the effect of media, susceptible class individuals form a separate class of aware susceptible class individuals. By analysis the model, we have found parameter R_0. It is noted that when $R_0 < 1$ then the disease dies out and when $R_0 > 1$, the disease becomes endemic. The model has two non-negative equilibrium namely the disease free equilibrium E_0 and the disease endemic equilibrium E_1. It is found if $R_0 < 1$, the disease free equilibrium E_0 is locally asymptotically stable and if $R_0 > 1$, then E_0 is unstable and the infection is maintained in the population. The endemic equilibrium E_1 is always locally asymptotically stable when $R_0 > 1$. The numerical simulation We found the value of R_0 were 0.197897, 1.94936 when $\mu = 0.1,\ \mu_0 = 0.03,\ \mu_1 = 0.001$ and $\mu = 0.001,\ \mu_0 = 0.3,\ \mu_1 = 0.01$ respectively. The analysis showed that awareness programs through the media campaigning are helpful in decreasing the infective class in a human population. By awareness programs, at least we could have prevented diseases whenever possible and where not possible to minimize complications and maximize quality of life.

Acknowledgement

Author is thankful to the reviewers for their useful suggestions and comments for improvements to their original paper. This work is subported by the Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University.

References

[1] Palaniappan, R. U. M., Ramanujam, S. and Chang, Y. (2007). "Leptospirosis: pathogenesis, immunity and Diagnosis", **Current Opinion in Infectious Diseases**. 20(3), 284–292.

[2] Michel, V., Branger, C. and Andre-Fontaine, G. (2002). "Epidemiology of Leptospirosis", **Revista Cubana de Medicina Tropical**. 54(1), 7-10.

[3] Triampo, W. *et al*. (2007). "A Simple Deterministic Model for B. PIMPUNCHAT ET AL", **International Journal of Biological and Medical Sciences**. 2(1), 22.

[4] Pongsuumpun, P., Miami, T. and Kongnuy, R. (2008). "Age structural transmission model for Leptospirosis". in **Proceedings of the 3rd International Symposium on Biomedical Engineering**. 411-416. 3-6. Singapore.

[5] Zaman, G., Khan, M. A., Islam, S., Chohan, M. I. and Jung, I. H. (2012). "Modeling dynamical interactions between leptospirosis infected vector and human population", **Applied Mathematical Sciences**. 6(26), 1287-1302.

[6] Schwitzer, G., Mudur, G., Henry, D. et al. (2005). "What are the roles and responsibilities of the media in disseminating health Information", **PLoS Medicine**. 2(7), 215.

[7] Shattuck, J. T. (1998). "Lecture medicine and the media", **The New England Journal and Medicine**. 339, 87-92.

[8] Cui, J., Sun, Y. and Zhu, H. (2008). "The impact of media on the spreading and control of infectious disease", **Journal of Dynamics and Differential Equations**. 20(1), 31-53.

[9] Misra, A.K., Sharma, A. and Shukla, J.B. (2011). "Modeling and analysis of effects of awareness programs by media on the spread of infectious diseases", **Mathematical and Computer Modelling**. 53, 1221-1228.

[10] Kaur, N., Ghosh, M. and Bhatia, S.S. (2014). "Modeling and Analysis of an SIRS Epidemic Model with Effect of Awareness Programs by Media", **International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering**. 8(1), 233-239.

[11] Bacciotti, A and Rosier, L. (2001). **Lyapunov Function and Stability in Control Theory**. London : Springer-Verlag.

[12] Lakshmikantham, V., Leela, S. and Martynyuk, A.A. (1989). **Stability Analysis of Non Linear Systems**. New York : Marcel Dikker Inc.

[13] Van den Driessche, P. and Watmough, J. (2002). "Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission", **Mathematical Bioscience**. 180, 29-48.

[14] Alen, L.J.S. (2006). **An Intoduction to Mathematics Biology**. English : Peason/Prince Hall.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index) **หน้า**

ดัชนีผู้เขียน (Author Index) **หน้า**

ดัชนีคำสำคัญ **หน้า**

ดัชนีคำสำคัญ **หน้า**

Keywords Index **Page**

Keywords Index **Page**

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

ต้นฉบับบทความวิจัย บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2560) ได้รับการตรวจแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

1. ศ.ดร.ดวงพร คันธโชติ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ศ.ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ศ.ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
4. ศ.ดร.อลิศรา เรืองแสง	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. รศ.จินตนา เหล่าไพบูลย์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
6. รศ.ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน์	คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7. รศ.ดร.ทวิช พูลเงิน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
8. รศ.ดร.ธงชัย มาลา	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
9. รศ.ดร.บุญยง เกี่ยวการค้า	สถาบันพัฒนาสุขภาพอาเซียน มหาวิทยาลัยมหิดล
10. รศ.ดร.มานพ เจริญไชยตระกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
11. รศ.ดร.สุนีย์ นิธิสินประเสริฐ	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
12. รศ.ดร.อภิรัตน์ เลาห์บุตรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
13. รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. รศ.โรจน์ คุณเอนก	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
15. รศ.สมใจ กาญจนวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16. รศ.อาซีซัน แกสมาน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
17. รศ.เอกชัย วิมลมาลา	คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
18. ผศ.ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
19. ผศ.ดร.พรทรัพย์ พรสวัสดิ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
20. ผศ.ดร.รุจิรา อุ่นเจริญ	คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ข้อมูลทั่วไปของวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

ลักษณะของวารสาร

วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นวารสารผลงานวิจัย/ ผลงานวิชาการ และผลงานวิชาการรับใช้สังคม สาขาวิชาสหวิทยาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่าง ๆ

ข้อแนะนำทั่วไป

1. เรื่องที่รับพิมพ์ในวารสารวิจัยนี้ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสาร รายงานหรือสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน
2. ผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องเป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณเท่านั้น ยกเว้นบทความพิเศษที่กองบรรณาธิการพิจารณาให้ได้รับการยกเว้น
3. ต้นฉบับจะเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
4. เนื้อหา บทความ หรือข้อคิดเห็นที่พิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย
5. ต้นฉบับจะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์

ประเภทของผลงานที่จะรับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Articles)
2. บทความวิชาการ (Academic Articles)
3. บทความรับใช้สังคม (Socially-Engaged Articles)
4. จดหมายถึงบรรณาธิการ (Letter to Editor) เพื่อแสดงความคิดเห็นสนับสนุนหรือโต้แย้งความเห็นของนักวิจัยอื่น ๆ ตลอดจนการเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ที่น่าสนใจ

รูปแบบการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์บนกระดาษขาว ขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียว ใส่เลขหน้ากำกับหน้าทุกหน้า โดยใช้แบบอักษร Angsana New ขนาดตัวอักษร 14 ความยาวของเนื้อหา รวมภาพ ตาราง ไม่ควรเกิน 8 หน้า
2. การตั้งค่าหน้ากระดาษ
   - ระยะขอบบน (Top margin) ขนาด 1” หรือ 2.54 เซนติเมตร
   - ระยะขอบล่าง (Bottom margin) ขนาด 1” หรือ 2.54 เซนติเมตร
   - ระยะขอบซ้าย (Left margin) ขนาด 1.5” หรือ 3.00 เซนติเมตร
   - ระยะขอบขวา (Right margin) ขนาด 1” หรือ 2.54 เซนติเมตร
3. การส่งต้นฉบับ ดังนี้

   ส่งทางระบบวารสารออนไลน์ Thai Journals Online (ThaiJO) สามารถเข้าไปได้ https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal

4. การสมัครสมาชิก มี 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 บุคคลทั่วไป ที่ไม่ประสงค์ส่งบทความ สามารถสมัครสมาชิกได้เลย

กรณีที่ 2 บุคคลที่ต้องการส่งบทความ เพื่อขอรับการพิจารณาบทความ เมื่อบทความได้รับการพิจารณาแล้วจะต้องสมัครสมาชิกพร้อมชำระเงิน จำนวน 200 บาท **ผ่านทางธนาคารไทยพาณิชย์ ชื่อบัญชี วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่บัญชี 408-197495-9 สาขามหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง)** พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ทางระบบออนไลน์ https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal หรือติดต่อกองจัดการวารสารฯ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 222 หมู่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210 โทรศัพท์ 074-609600 ต่อ 7242 หรือ 081-5407304 โทรสาร 074-609654-5 อีเมล์ tsujournal@gmail.com

5. การยกเลิกบทความ หรือ การถอนบทความ มีรายละเอียดดังนี้

การยกเลิกบทความ คือ การเพิกถอนบทความก่อนที่จะมีการตีพิมพ์เผยแพร่

การถอนบทความ คือ การถอนบทความที่ดำเนินการตีพิมพ์และเผยแพร่เรียบร้อยแล้ว

ในกรณี การยกเลิกหรือการถอนบทความ สามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มได้ใน https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal และ***หากมีการส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความแล้วเจ้าของบทความต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ***

รายละเอียดการเตรียมต้นฉบับ

บทความวิจัยให้เรียงลำดับตามองค์ประกอบดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง (Title)** ต้องมีทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ชื่อภาษาอังกฤษ อักษรตัวแรกของทุกคำให้พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 20 ตัวหนา
2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ครบทุกคน และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดอยู่กึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้กำกับหมายเลขยกกำลังไว้ต่อท้ายด้วย สำหรับชื่อตำแหน่งหรือตำแหน่งวิชาการและหน่วยงานให้พิมพ์ไว้ในส่วนของเชิงอรรถ (หน้าที่ 1) โดยพิมพ์ชื่อหน่วยงานต้นสังกัดระบุภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย หรือจากงานย่อย ถึงระดับสูงให้ตรงกับตัวเลขยกกำลังที่กำกับไว้ในหน้าเดียวกัน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
3. **บทคัดย่อ และ Abstract** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกิน 200 คำ และให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ
4. **คำสำคัญ (Keywords)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้เลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความไม่เกิน 5 คำ โดยพิมพ์ต่อจากส่วนเนื้อหาของบทคัดย่อ และ Abstract ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ และให้จัดชิดซ้ายของหน้ากระดาษ Keywords ให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ
5. **เนื้อเรื่อง (Main Body)** ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

   1) บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยและอาจรวมการสำรวจเอกสาร (Review of Related Literature)

2) วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

3) ผลการวิจัย (Results)

4) อภิปรายผล (Discussion)

5) สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

* 4) และ 5) อาจเขียนรวมกันได้

6) เอกสารอ้างอิง (References) **ใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข (Numberic) และต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น**

6. แนบเอกสาร แสดงการได้รับอนุญาตให้ทดลองที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางชีวภาพ จรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลอง หรือจริยธรรมของการทดลองในมนุษย์มาพร้อมกับบทความวิจัย

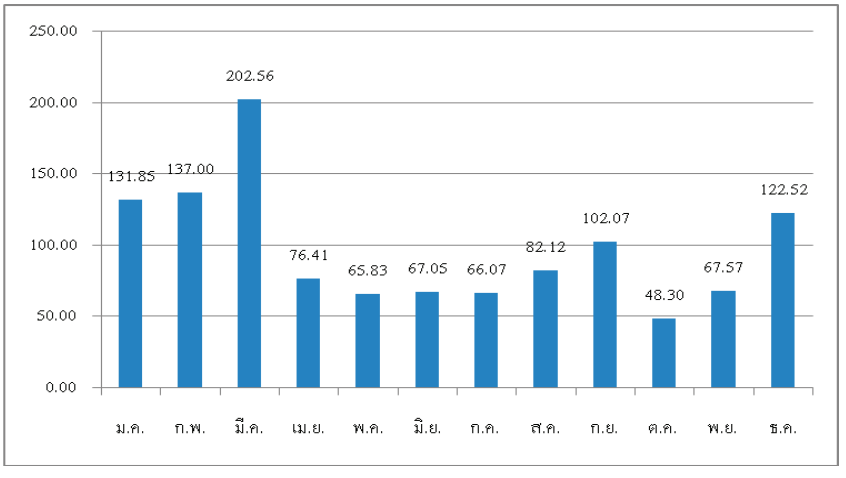
7. การใช้คำย่อ สัญลักษณ์ คำย่อที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำเต็มเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นสามารถใช้คำย่อเหล่านั้นได้ตามปกติ ควรใช้ให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการใช้คำย่อที่ชื่อเรื่องและในบทคัดย่อ ไม่แนะนำให้ใช้คำย่อที่ใช้ไม่เกิน 4 ครั้ง ใน 1 บทความ สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบายเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นไม่จำเป็นต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบาย

8. รูปภาพ จัดกึ่งกลาง คำบรรยายรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี คำบรรยายใต้ภาพ ใช้คำว่า **ภาพที่ เป็นตัวหนา** และคำบรรยายเป็นตัวอักษรปกติ และจัดกลางหน้ากระดาษ

ถ้ามีภาพประกอบ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี และถ้ามีภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาว โดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

ตัวอย่างเช่น

กิโลกรัม/ไร่



ภาพที่ 1 การร่วงหล่นของซากส่วนใบในแต่ละเดือน

9. ตาราง จัดชิดซ้ายของคอลัมน์ คำบรรยายตารางพิมพ์ไว้ด้านบนของหัวข้อตาราง และใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวปกติ ถ้ามีตารางใช้คำบรรยายบนตารางคำว่า **ตารางที่ เป็นตัวหนา** และจัดชิดขอบซ้าย

ตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในซากพืชส่วนใบที่เหลือจากการย่อยสลายในระยะต่าง ๆ

สัปดาห์ที่	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)
0	0.81 ± 0.15	0.12 ± 0.08	0.44 ± 0.14
1	1.00 ± 0.05	0.09 ± 0.05	0.24 ± 0.12
2	0.89 ± 0.15	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
3	0.83 ± 0.14	0.17 ± 0.08	0.08 ± 0.02
4	0.78 ± 0.15	0.24 ± 0.24	0.09 ± 0.01
6	0.87 ± 0.11	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
8	0.84 ± 0.04	0.20 ± 0.13	0.09 ± 0.02
10	0.84 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.08 ± 0.02
12	0.80 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.07 ± 0.02

ถ้าเป็นภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาวโดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

การอ้างอิง (References) แบบตัวเลข (Numberic) ต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น

การอ้างอิงแบบตัวเลข ใช้วิธีการดังนี้

1. ใส่ตัวเลขกำกับไว้ในเครื่องหมาย [ ] ท้ายข้อความหรือชื่อบุคคลที่อ้างอิง โดยให้ตัวเลขอยู่ในระดับบรรทัดเดียวกันกับเนื้อหา เช่น [1]

2. ให้ใส่ตัวเลขอ้างอิงเรียงลำดับตั้งแต่เลข 1 เป็นต้นไป ต่อเนื่องกัน และในกรณีที่มี การอ้างอิงซ้ำให้ใช้ตัวเลขเดิมที่เคยใช้อ้างมาก่อนแล้ว

3. แหล่งที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดในบทความจะไปปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิง (references) ท้ายบทความ โดยการเรียงลำดับตามหมายเลข และพิมพ์หมายเลขอยู่ในเครื่องหมาย [ ]

4. กรณีที่อ้างอิงเอกสารหลายรายการในคราวเดียวกัน

4.1 อ้างอิงไม่เกิน 2 รายการให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น เช่น [1, 5]

4.2 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการที่ต่อเนื่องกันให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่น เช่น [1-3] หรือ [1-5]

4.3 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นในกรณีไม่ต่อเนื่อง และเครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นในกรณีต่อเนื่อง เช่น [1, 4-5]

การอ้างอิง ในเนื้อเรื่อง

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ใช้ระบบตัวเลขอยู่ในวงเล็บ "[ ]" หลังข้อความที่อ้างถึง โดยตัวเลขดังกล่าวเรียงตามลำดับการอ้างอิง

<u>ตัวอย่าง</u>

1. การใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยเชิงเดี่ยวบางชนิดนานและมากเกินไปมีผลทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดขาดแคลน [1]…
2. Scherer [2] รายงานว่า...
3. และยังทำให้สมดุลของธาตุอาหารพืชในดินเสียไปด้วย [3-4]...

การอ้างอิงเอกสารอ้างอิง

<u>ภาษาต่างประเทศ</u> คนแรกให้ขึ้นด้วยนามสกุล, ตามด้วยอักษรย่อของชื่อหน้า ชื่อกลาง (ถ้ามี) คนคัดไปจะเขียนระบบเดียวกับคนแรก และต้องเหมือนกันทุกรายการ เช่น

ประสงค์ เกษราธิคุณ นิคม ชูศิริ และฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ

Kessaratikoon, P., Choosiri, N. and Boonkrongcheep, R.

1) หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง.//(ปี พ.ศ./ค.ศ.).//**ชื่อหนังสือ**.//สถานที่พิมพ์/:/สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

[1] Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. (2005). **Soil Fertility and Fertilizers: an Introduction to Nutrient Management**. New Jersey. Pearson Education, Inc.,

ชื่อผู้แต่ง.//(ปีที่พิมพ์).//**ชื่อหนังสือ**/(ครั้งที่พิมพ์).//เมืองที่พิมพ์/:/สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

[2] Satirajinda, M. (2000). **Iron & Steel Heat Treatment Engineering** (7th ed). Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage.

2) บทความในวารสาร

ชื่อผู้เขียน.//(ปี พ.ศ./ค.ศ.).// "ชื่อบทความ",/**ชื่อวารสาร**.// ปีที่/(ฉบับ),/หน้า.

ตัวอย่าง

[3] Ukonmaanaho, L., Merila, P., Nojd, P. and Nieminen, T.M. (2008). "Litterfall Production and Nutrient Return to the Forest Floor in Scots Pine and Norway Spruce Stands in Finland", **Boreal Environment Research**. 13, 67-91.

3) บทความในรายงานการประชุมวิชาการ

ชื่อผู้แต่ง.//(ปีที่พิมพ์)./"ชื่อเรื่อง",/ใน/**ชื่อการประชุม**./เลขหน้า.//วันที่/เดือน/ปี,/สถานที่ประชุม.//เมืองที่พิมพ์/:/สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

[4] Boonkrongcheep, R., Maeha, A. and Kessaratikoon, P. (2016). "Measurement and Analysis of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K, ^{226}Ra and ^{232}Th) in Thai Rice Bag Samples", In **The 24th Thaksin University National Academic Conference**. 18. May 21-24, 2016, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center. Songkhla : Thaksin University.

4) บทความในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ.//(ปีที่พิมพ์).//"ชื่อบทหรือบทความในหนังสือ",/ใน/ชื่อผู้แต่งหรือผู้รวบรวมหรือบรรณาธิการ(ถ้ามี).//**ชื่อหนังสือ**./เลขหน้า.//เมืองที่พิมพ์/:/สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

[5] Lawrence, J. A. and Dodds, A. E. (2003). "Goal-directed activities and life-span development. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.)", **Handbook of Developmental Psychology**. 517-533. London, England: Sage Publications.

5) บทความในหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ.//(ปีที่พิมพ์,/วันที่/เดือน).//"ชื่อบทความ",/**ชื่อหนังสือพิมพ์**.//เลขหน้า.

ตัวอย่าง

[6] Schultz, S. (2005, December 28). "Calls made to strengthen state energy policies", **The Country Today**. 1A, 2A.

6) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์.//(ปีที่พิมพ์).//**ชื่อวิทยานิพนธ์**.//ระดับของวิทยานิพนธ์/ชื่อปริญญา.//เมืองที่พิมพ์/:/ชื่อสถานการศึกษา.

ตัวอย่าง

[7] Paungfoo, C. (2003). **Use of Molecular Biology Techniques in Studying the Nitrifying Bacteria Community from Shrimp Farming System**. Doctoral Dissertation. Prince of Songkla University.

7) เอกสารที่ค้นได้จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้รูปแบบเดียวกับบรรณานุกรมของสื่อสิ่งพิมพ์โดยทั่วไปก่อนที่จะนำมาใส่ในเว็บไซต์ต่าง ๆ เช่น เมื่อนำข้อมูลมาจากหนังสือ สามารถเขียนเอกสารอ้างอิงโดยประกอบด้วย ชื่อผู้แต่ง ปีที่พิมพ์ ชื่อเรื่อง และสถานที่พิมพ์ และเพิ่มข้อมูลที่อาจช่วยในการสืบค้น คือ วันที่สืบค้น และ URL โดยภาษาอังกฤษใช้ว่า Retrieved…from… หรือถ้านำข้อมูลมาจากบทความก็เขียนเอกสารอ้างอิงของบทความก่อน

ชื่อผู้แต่ง.//(ปีที่พิมพ์).//**ชื่อเรื่อง** (ออนไลน์).//เมืองที่พิมพ์/:/สำนักพิมพ์.//สืบค้นเมื่อ...../จาก http://www.....

ตัวอย่าง

[8] Department of Foreign Trade. (2012). **The Situation of Sawn Rubber Wood Thailand** (Online). Retrieved 3 August 2016, from http://www.dft.go.th/en-us/Information-Service/PR-Materials/ctl/DetailUserContert/mid/660/conternted/4252.

8) รูปแบบการเขียนบุคลานุกรม

ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ตำแหน่ง,/ สถานที่สัมภาษณ์,/วันเดือนปีที่สัมภาษณ์./สัมภาษณ์.

ตัวอย่าง

[9] Pardee, H. N. Professor of Economics and Political Science, University of California. 2000, November 8, Interview.

9) สิทธิบัตร

ชื่อผู้จดสิทธิบัตร./(ปีที่ได้รับการจดสิทธิบัตร)./**ชื่อสิ่งประดิษฐ์**. ประเทศที่จดสิทธิบัตร. หมายเลขของสิทธิบัตร.

ตัวอย่าง

[10] นินนาท์ จันทร์สูรย์ และคณะ. (2558). **ชุดสังเคราะห์ทองคำนาโนโดยใช้ทองคำเปลว**. ประเทศไทย. เลขที่ 1303000492.

ใบสมัครสมาชิก
วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ
THAKSIN UNIVERSITY JOURNAL

วันรับสมัคร.....

หมายเลขสมาชิก.....

(สำหรับเจ้าหน้าที่)

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่ทางไปรษณีย์ที่ต้องการให้จัดส่ง.....ตำบล.....

อำเภอ.....จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail.....

มีความประสงค์เป็นสมาชิกวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ จำนวน.....ปี (ปีละ 200 บาท)

พร้อมนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน.....บาท (.....)

โดย ชำระเงินผ่านทาง **ธนาคารไทยพาณิชย์** ชื่อบัญชี **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ** เลขที่บัญชี **408-197495-9** สาขา **มหาวิทยาลัยทักษิณ (พัทลุง)** พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารฯ ทางระบบออนไลน์ **https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal**

(ลงชื่อ).....

(.....)

...../...../.....

สำนักงานวารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอปาพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242, 081-5407304 โทรสาร 0-7460-9654-5

E-mail Address: tsujournal@gmail.com หรือ research.tsu@gmail.com

มหาวิทยาลัยทักษิณ THAKSIN UNIVERSITY

ปัญญา จริยธรรม นำการพัฒนา

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ
222 หมู่ 2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210
โทรศัพท์ 0-7460-9600 ต่อ 7242 โทรศัพท์/โทรสาร 0-7460-9655
E-mail Address : tsujournal@gmail.com, research.tsu@gmail.com