

การศึกษาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต ในผักสด ในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี และแนวทางการบริโภคผักให้ปลอดภัย

The Study of Organophosphate and Carbamate Pesticide Residues in Fresh Vegetables in Muang District, Phetchaburi Province and Guidelines for Safe Vegetable Consumption

ปัทมทัต สุธิรัักษ์^{*}, อัจฉริยะกุล พวงเพชร เวธกา เช้าเจริญ พรอริยา ชิรินัง โสภณ เกตุแก้ว และ ทวีพัฒน์ วิจิตรปัญญารักษ์
Pannatat Suttirak^{*}, Ascharyakul Puangphet, Wethaka Chaocharoen, Pornariya Chirinang Sophon Katkeaw and
Tawipat Vijitpunyaruk

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University 76000

^{*}Corresponding author; E-mail: w.suksanan@gmail.com

Received: 19 June 2020 /Revised: 29 July 2020 /Accepted: 30 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักสดที่ได้รับความนิยมบริโภคของ
นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จากตลาดนัดและห้างสรรพสินค้า ในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี จากการ
สำรวจโดยใช้แบบสอบถามพบว่า ผักที่ได้รับความนิยมบริโภค 5 อันดับแรก ได้แก่ ผักบุ้ง ผักกาดขาว คะน้า
แตงกวา และกะหล่ำปลี ตามลำดับ ตัวอย่างผักมาจากตลาดนัด 2 แห่ง และห้างสรรพสินค้า 2 แห่ง รวมทั้งสิ้น
40 ตัวอย่าง นำตัวอย่างผักมาตรวจวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบตรวจหาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก
เอ็ม เจ พี เค (MJPK) ผลการตรวจสอบตัวอย่างผักพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ปลอดภัย 35 ตัวอย่าง
คิดเป็นร้อยละ 87.5 สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย 5 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 12.5 จำแนก
ตามชนิดของผัก พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยในตัวอย่างผักทุกชนิด ชนิดละ 1 ตัวอย่าง
คิดเป็นร้อยละ 12.5 ของตัวอย่างผักแต่ละชนิด เมื่อจำแนกตามแหล่งที่มาของตัวอย่างผัก ตลาดนัดพบสารเคมี
กำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยร้อยละ 33.3 มากกว่าห้างสรรพสินค้าทั้งสองแห่ง การล้างตัวอย่างผักที่
ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย ด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต และน้ำ แช่ทิ้งไว้
15 นาที แล้วล้างด้วยน้ำอีกครั้ง สามารถลดระดับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างลงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้

คำสำคัญ: ผัก สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ตกค้าง การล้างผัก



Abstract

The objective of this research is to study pesticide residues in fresh vegetables that are popular for consumption by Phetchaburi Rajabhat University students from flea markets and department stores in Muang District, Phetchaburi province by using questionnaires. The result found that the top five popular vegetables were morning glory, Chinese cabbage, kale, cucumber, and cabbage, respectively. A total of 40 plant samples were collected from two markets and two department stores. Vegetable samples were analyzed using the MJPk test kit to detect pesticide residues. The results showed that 35 samples (87.5%) were safe for pesticide residues. Five samples were found pesticide residues at dangerous levels for 12.5%. Focusing on the type of vegetable, pesticide residues were found at an unsafe level in one sample of each plant, accounting for 12.5% of each sample type. In addition, vegetable samples from the flea market showed pesticide residues at an unsafe level for 33.3% which was more than both department store sources. Washing samples of vegetables that detected unsafe residual pesticides with sodium bicarbonate solution and water, soaking in water for 15 minutes and then washing again with water could reduce the level of pesticide residues to a safe level.

Keywords: vegetables, pesticide, pesticide residues, vegetable washing

บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มพฤติกรรมผู้บริโภคของประชากรทั่วโลกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยกระแสนิยมด้านสุขภาพและความปลอดภัยของผู้คนอยู่ในความสนใจอย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจพบว่ามูลค่าตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพของโลกปี 2560 มีทิศทางเติบโตโดยเฉลี่ยร้อยละ 7 ต่อปี และประเทศไทยอยู่ในลำดับที่ 19 ของประเทศบริโภคอาหารสุขภาพสูง [1] ส่งผลให้เกษตรกรต้องเพิ่มกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด รวมไปถึงการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช สะท้อนจากสถานการณ์การนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืช การใช้

และการตกค้างในผลผลิต ในการประชุมวิชาการเพื่อเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช [2] ประจำปี 2559 พบว่า มีปริมาณการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมากกว่าปีละหนึ่งแสนตัน โดยมีผักที่เฝ้าระวังสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ พริกแดง คะน้า กะหล่ำปลี ผักบุ้ง ผักกาดขาว มะเขือเทศ มะเขือเปราะ ถั่วฝักยาว แตงกวา และ ใบกะเพรา แม้การเฝ้าระวังสารพิษตกค้างในผักและผลไม้มีข้อจำกัดทางห้องปฏิบัติการ ตรวจสารพิษตกค้างได้น้อยกว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ขึ้นทะเบียนกว่า 280 ชนิด พริกแดงเพียงอย่างเดียวตรวจพบสารพิษตกค้างรวม 35 ชนิด ภาพรวมสารพิษตกค้างในแหล่ง

จำหน่ายทั้ง ห้างสรรพสินค้าและตลาดค้าส่ง พบสารพิษตกค้างสูงกว่า ค่าปริมาณสารพิษตกค้าง สูงสุด (Maximum Residue Limit; MRL) ในตัวอย่างที่ นำมาตรวจคิดเป็นร้อยละ 55 และ 57 ตามลำดับ ผัก 3 ลำดับแรกที่มีสารพิษตกค้างสูงกว่าค่า MRL ได้แก่ พริกแดง กระเทียม และถั่วฝักยาว

สถานการณ์โรคและการเจ็บป่วยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบข้อมูลการป่วยจากพิษสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพิ่มขึ้นจาก 2.7 ต่อประชากร 10,000 คน ในปี 2553 เป็น 17.78 ต่อประชากร 100,000 คน ในปี 2559 และผลการตรวจคัดกรองความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มเกษตรกรโดยเจ้าหน้าที่สาธารณสุขในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) โดยการเจาะเลือดและทดสอบด้วยกระดาษทดสอบโคลีนเอสเตอเรส (Cholinesterase reactive paper) ปี 2554-2559 เกษตรกรมีแนวโน้มเสี่ยงและไม่ปลอดภัยเพิ่มขึ้น [3] ผู้ป่วยที่เป็นพิษจากสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต กลุ่มนี้เป็นปัญหาที่พบได้บ่อยที่สุดและสำคัญที่สุดในประเทศไทย เพราะเป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย และพยาธิสรีรวิทยาของการเกิดพิษค่อนข้างซับซ้อน ทำให้การรักษายาก ผู้ป่วยมีอัตราการตายสูง ออร์กาโนฟอสเฟต เป็นสารพิษในกลุ่มที่ถูกดูดซึมได้ดีทางผิวหนัง ทางเดินอาหารและทางปอด และจะกระจายไปตามส่วนต่าง ๆ พบมากที่ตับและระบบประสาท [4]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการสำรวจสถานการณ์ความปลอดภัยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักที่ได้รับความนิยมบริโภคของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จากตลาดนัดและห้างสรรพสินค้าในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานแก่

นักศึกษาและผู้บริโภค และศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง เพื่อเป็นแนวทางและสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภคผักให้ปลอดภัย

วิธีการวิจัย

1. การศึกษาชนิดและแหล่งที่มาของผักที่ได้รับความนิยมในการบริโภคของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

กลุ่มตัวอย่างสำหรับศึกษาชนิดและแหล่งที่มาของผักที่ได้รับความนิยมในการบริโภค จากการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากประชากรนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่กำลังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี ปีการศึกษา 2562 จำนวน 5,765 คน โดยใช้สูตรของ Yamane [5] ความคลาดเคลื่อนที่ผู้วิจัยยอมรับได้เท่ากับ 5% จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 374 คน เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคผัก โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสำรวจ ส่วนที่ 2 แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคผัก

2. การศึกษาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักที่ได้รับความนิยมบริโภคของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

การคัดเลือกตัวอย่างผักใช้วิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster sampling) ตามการศึกษาของ ธนพงศ์ และคณะ [6] สำหรับตัวอย่างผักจากตลาดนัด การศึกษานี้เก็บตัวอย่างผักโดยแบ่งพื้นที่ตลาดนัดออกเป็น 3 ส่วน (เก็บตัวอย่างผัก 5 ชนิด ชนิดละ 1 ตัวอย่างต่อพื้นที่ตลาดนัด 1 ส่วน) จะได้ตัวอย่างผักตลาดนัดละ 15 ตัวอย่าง สำหรับห้างสรรพสินค้าเก็บผักมาชนิดละ

1 ตัวอย่าง งานวิจัยนี้มีตลาดนัดและห้างสรรพสินค้า สถานที่ละ 2 แห่ง ตัวอย่างผักรวมทั้งสิ้นจำนวน 40 ตัวอย่าง นำมาตรวจสอบความปลอดภัยจากสารเคมีฆ่าแมลงตกค้างโดยใช้หลักการ Colorimetric cholinesterase inhibitor assay ด้วยชุดทดสอบตรวจหาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก เอ็ม เจ พี เค (MJPK) โดยปริมาณต่ำสุดในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ของชุดทดสอบเท่ากับร้อยละ 15 หากพบว่าสีของสารในหลอดทดลองจากตัวอย่างผักแตกต่างจากหลอดควบคุม แปลผลได้ว่าพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย ขั้นตอนการทดสอบเป็นไปตามที่ระบุไว้ในชุดทดสอบ

3. การศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย

ตัวอย่างผักทั้ง 5 ชนิดที่ได้รับความนิยมในการบริโภคของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ผ่านการตรวจสอบด้วยชุดทดสอบตรวจหาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก เอ็ม เจ พี เค (MJPK) แล้วพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย จะถูกนำมาศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง ด้วย 2 วิธีคือ 1. การแช่ผักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.08 โดยมวล นาน 15 นาที [7] และ 2. การแช่ผักด้วยน้ำเปล่า นาน 15 นาที ตัวอย่างผักที่ถูกแช่ทั้งสองวิธีจะถูกนำมาล้างด้วยน้ำเปล่าอีกครั้ง ก่อนนำไปทำการศึกษาประสิทธิภาพการล้างต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างโดยใช้ชุดทดสอบตรวจหาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก เอ็ม เจ พี เค (MJPK) เปรียบเทียบกับตัวอย่างผักชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ผ่านการล้าง

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษานิตและแหล่งที่มาของผักที่ได้รับความนิยมในการบริโภคของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

กลุ่มตัวอย่างนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ชั้นปีที่ 1-4 จำนวน 374 คน แบ่งเป็นเพศหญิงจำนวน 313 คน คิดเป็นร้อยละ 83.7 และเพศชายจำนวน 61 คน คิดเป็นร้อยละ 16.3 จากการสำรวจพบว่าผัก 5 ลำดับแรกที่นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีนิยมบริโภค ได้แก่ ผักบุ้ง คิดเป็นร้อยละ 22.17 ผักกาดขาว คิดเป็นร้อยละ 21.30 กระบี่ คิดเป็นร้อยละ 16.52 แตงกวา คิดเป็นร้อยละ 11.30 และ กะหล่ำปลี คิดเป็นร้อยละ 6.09 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีผักที่นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีนิยมบริโภคในลำดับถัดลงมา ได้แก่ บรอกโคลี แครอท มะเขือเทศ ฟักทอง และอื่น ๆ ตามลำดับ (Table 1)

Table 1. Vegetable types that are popularly consumed by students of Phetchaburi Rajabhat University

No.	Vegetable types	%
1	Morning glory	22.17
2	Chinese cabbage	21.30
3	Kale	16.52
4	Cucumber	11.30
5	Cabbage	6.09
6	Broccoli	5.65
7	Carrot	5.65
8	Tomato	4.35
9	Pumpkin	3.74
10	Other	3.22

2. ผลการศึกษาระดับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักที่ได้รับความนิยมบริโภคของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

การตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก ด้วยชุดทดสอบตรวจหาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก เอ็ม เจ พี เค (MJPK) ในตัวอย่างผักจำนวน 40 ตัวอย่าง พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ปลอดภัยจำนวน 35 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 87.5 ของตัวอย่างผักทั้งหมด และพบว่ามีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยจำนวน 5 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 12.5 ของตัวอย่างผักทั้งหมด และ (Table 2)

Table 2. Pesticide residues in fresh vegetables in Muang district, Phetchaburi province classified as safe and unsafe by MJPK test kit

Pesticide residues detection	Number of samples	%
Safe*	35	87.5
Unsafe**	5	12.5
Total	40	100.0

* The color of the sample tube is the same as the color of the control tube.

** The color of the sample tube is not the same as the color of the control tube.

Table 3. Analysis of pesticide residues in fresh vegetables in Muang district, Phetchaburi province classified by vegetable types

Vegetable types	Number of samples	Number of unsafe samples	%
Cabbage	8	1	12.5
Chinese cabbage	8	1	12.5
Cucumber	8	1	12.5
Morning glory	8	1	12.5
Kale	8	1	12.5
Total	40	5	12.5

เมื่อจำแนกตามชนิดของผัก (Table 3) ผักทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักกาดขาว แตงกวา ผักบุ้ง และคะน้า ชนิดละ 8 ตัวอย่าง ผักแต่ละชนิดตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยชนิดละ 1 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 12.5 ของตัวอย่างผักแต่ละชนิด

เมื่อจำแนกตามแหล่งที่มาของตัวอย่างผักพบว่าผักทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักกาดขาว แตงกวา ผักบุ้ง และ คะน้า ที่สุ่มตรวจจากห้าง

สรรพสินค้าทั้ง 2 แห่ง พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ปลอดภัย ในทางตรงกันข้าม สุ่มตรวจตัวอย่างผักจากตลาดนัด A จำนวน 15 ตัวอย่าง พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยจำนวน 5 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 33.3 ของตัวอย่างผักทั้งหมดที่สุ่มตรวจจากตลาดนัด A แต่ตรวจไม่พบตัวอย่างผักที่มีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยจากตลาดนัด B (Table 4)

Table 4. Pesticide residues in fresh vegetables in Muang district, Phetchaburi province classified as sources of vegetable

Sources of vegetable	Number of samples	Number of unsafe samples	%
Department store A	5	0	0.0
Department store B	5	0	0.0
Market A	15	5	33.3
Market B	15	0	0.0
Total	40	5	12.5

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย

ตัวอย่างผักที่ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย จำนวน 5 ตัวอย่าง ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักกาดขาว แตงกวา ผักบุ้ง และ คะน้า ชนิดละ 1 ตัวอย่าง ถูกนำมาทำการศึกษาศักยภาพการล้างผักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ น้ำเปล่า เทียบกับตัวอย่างผักสดแต่ละชนิด ด้วย ชุดทดสอบ เอ็ม เจ พี เค (MJPK) พบว่าการล้างผักทั้ง 2 วิธี สามารถลดระดับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ เมื่อเทียบกับผักสดเริ่มต้นที่ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับที่ไม่ปลอดภัย สำหรับตัวอย่างผักทุกชนิด

อภิปรายผล

จากผลการสำรวจพบว่านักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีรับประทานผักน้อยกว่าที่องค์การอนามัยโลกแนะนำ เช่นเดียวกับการศึกษาพฤติกรรมการบริโภคผักของนักศึกษามหาวิทยาลัยในชาวดิอาราเบีย [8] โดยกลุ่มของนักศึกษาที่ทำอาหารรับประทานเอง และ ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจัด

อยู่ในปริมาณที่น้อย คิดเป็นร้อยละ 7.8 และ 10.2 ของ นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้งหมดตามลำดับ อย่างไรก็ตาม บัณฑิตวิทยาลัยมีความสัมพันธ์ต่อการส่งเสริมให้นักศึกษามีพฤติกรรมบริโภคผักเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่านักศึกษากลุ่มที่ทำอาหารรับประทานเองและ ออกกำลังกายสม่ำเสมอในกลุ่มที่รักสุขภาพ จำเป็นต้องเพิ่มความตระหนักในการเลือกแหล่งที่มา และวิธีการล้างผัก เพื่อลดโอกาสที่จะได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างจากการรับประทานผัก

ในส่วนของการวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในกลุ่มออร์แกนิกฟอสเฟตและคาร์บาเมต ด้วยชุดทดสอบ เอ็ม เจ พี เค (MJPK) ในผักจากตลาดนัด 2 แห่ง และห้างสรรพสินค้า 2 แห่ง ในตัวอย่างผัก 5 ชนิดที่ได้รับความนิยมในการบริโภคของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ได้แก่ ผักบุ้ง ผักกาดขาว คะน้า แตงกวา และ กะหล่ำปลี ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 40 ตัวอย่าง พบว่ามีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 12.5 และพบในระดับที่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 87.5 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ruangwut และ Kontong [9] พบว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักสด 10 ชนิด ได้แก่ กะหล่ำปลี คะน้า กวางตุ้ง แตงกวา และถั่วฝักยาว

รวม 90 ตัวอย่าง จากตลาดสด 3 แห่งในจังหวัดอุบลราชธานี พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 15.5 และในระดับที่ปลอดภัย ร้อยละ 34.4 นอกจากนี้ ผลการศึกษาในครั้งนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนพงศ์ และคณะ [6] ที่ทำการตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในตัวอย่างผักจำนวน 15 ชนิด ในผักจากตลาดและห้างสรรพสินค้าในอำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 193 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างผักมีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยคิดเป็นร้อยละ 16.0 และในระดับที่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 84.0 ในขณะที่ผลการวิจัยของ วิจิตรา และคณะ [7] ตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผักสด ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาด้วยชุดทดสอบจากตัวอย่างผักทั้งหมด 150 ตัวอย่าง พบตัวอย่างผักที่มีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 54 และตัวอย่างที่มีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 46

เมื่อพิจารณาตามชนิดของตัวอย่างผัก พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับที่ไม่ปลอดภัยในตัวอย่างผักทั้ง 5 ชนิด ชนิดละ 1 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 12.5 ของตัวอย่างผักแต่ละชนิด ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาการปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตของ สุรัชย์ และคณะ [10] ตรวจสอบการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับที่ไม่ปลอดภัยมากในกะหล่ำปลี คิดเป็นร้อยละ 20 ทั้งยังสอดคล้องกับผลการรายงานสถานการณ์การนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ในการประชุมวิชาการประจำปี 2559 ของเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (Thai-PAN)

[2] โดยตัวอย่างผักที่มีการการเฝ้าระวังสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างของ Thai-PAN จำนวน 10 ตัวอย่างครอบคลุมชนิดของผักที่นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีนิยมบริโภค 5 ลำดับแรก รายงานตรวจพบการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับที่ไม่ปลอดภัยในผักทุกชนิด ได้แก่ คะน้า ผักบุ้ง แดงกวา ผักกาดขาว และ กะหล่ำปลี คิดเป็นร้อยละ 75.0 60.0 45.0 33.3 และ 15.0 ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยในตัวอย่างผักทุกชนิด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนพงศ์ และคณะ [6] ศึกษาความชุกของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักจากตลาด และห้างสรรพสินค้าในอำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามครอบคลุมชนิดของตัวอย่างผักในการศึกษาครั้งนี้ โดยตรวจพบการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในตัวอย่างผักทุกชนิด ได้แก่ กะหล่ำปลี คะน้า แดงกวา ผักกาดขาว และ ผักบุ้ง คิดเป็นร้อยละ 53.84 46.15 46.15 38.46 และ 30.76 ตามลำดับ และงานวิจัยของ วิจิตรา และคณะ [7] ตรวจสอบพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยใน คะน้า แดงกวา และผักบุ้ง มากกว่าร้อยละ 50 ของผักแต่ละชนิด และการศึกษาของ พัชรีย์ และคณะ [11] ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างใน คะน้า และ แดงกวา ในสัดส่วนที่สูงคิดเป็นร้อยละ 80.00 และ 95.56 ตามลำดับ แตกต่างจากการศึกษา ของ จิราพร และคณะ [12] ที่ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยใน คะน้า เพียงร้อยละ 6.1 แต่กลับพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ปลอดภัยในกะหล่ำปลี และจากงานวิจัยของ ธนาธิป [13] การวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ในผลผลิตทางการเกษตร

ในเขตอำเภอเมืองเลย ตรวจไม่พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทั้ง เมทิลพารา ไทออน และ โมโนโครโตฟอส ตกค้างในตัวอย่างผัก แต่ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ชนิดเมวินฟอส ในระดับที่ไม่ปลอดภัยในกะหล่ำปลี

เมื่อพิจารณาตามแหล่งที่มาของตัวอย่างผักพบว่าตัวอย่างผักที่มาจากตลาดนัด ตรวจพบผักที่มีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย ร้อยละ 33.3 มากกว่าห้างสรรพสินค้าทั้งสองแห่ง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการวิจัยของ ธนพงศ์ และคณะ [6] ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัยในตลาดนัด ร้อยละ 33.3 และในห้างสรรพสินค้าทั้ง 3 แห่ง ร้อยละ 35.7 26.7 และ 14.3 ตามลำดับ แตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ที่ตรวจไม่พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในห้างสรรพสินค้าทั้ง 2 แห่ง และยังแตกต่างจากการศึกษาของ Wanwimolruk และคณะ [14] ที่ตรวจสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผัก 3 ชนิด จากตลาดสดและห้างสรรพสินค้าพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของระดับความปลอดภัยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักจากตลาดและห้างสรรพสินค้า

เนื่องจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต มีรายงานการนำเข้าสูงสุดสะท้อนถึงปริมาณการใช้และโอกาสของการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเหล่านี้สูง และเกษตรกรมีแนวโน้มเสี่ยงและไม่ปลอดภัยเพิ่มขึ้นจากความเป็นพิษของสารเคมีทั้งสองกลุ่ม จากสถานการณ์โรคและการเจ็บป่วยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช อีกทั้งสารทั้งสองกลุ่มยังเป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยและเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมากกว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มอื่น ๆ [15] ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของการตรวจสอบ

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มอื่น ๆ ที่ตกค้างในผัก อาจทำให้พบข้อมูลอัตราการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่น้อยกว่าความเป็นจริง จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบทางห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลอัตราการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการล้างผักต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง ด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต สามารถลดระดับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ วิจิตรา และ คณะ [7] พบว่าการล้างผักด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.08 โดยมีผลมีประสิทธิภาพในการกำจัดหรือลดปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในคะน้าให้อยู่ในระดับปลอดภัยได้ และการศึกษาของราเมศ และคณะ [16] พบว่าการล้างคะน้าด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต สามารถลดระดับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ มากามะรุชิ [17] นอกจากนี้พบว่าการล้างกะหล่ำปลีและผักกาดขาว ด้วยน้ำเปล่าสามารถล้างสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างได้ [18] แตกต่างจากการศึกษาของ สุรัชย์ และคณะ [10] พบว่าการล้าง กะหล่ำปลี และแตงกวา ด้วยน้ำธรรมดาไม่สามารถล้างสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างได้ อาจเป็นผลมาจากปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต ซึ่งสัมพันธ์กับช่วงเวลาและฤดูกาลของการเก็บตัวอย่าง [13] และกระบวนการล้างที่แตกต่างกัน อีกทั้งชนิดและปริมาณของผักในการล้างแต่ละครั้งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดหรือลดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักได้

สรุป

การศึกษาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักที่ได้รับค่านิยมบริโภคของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จากตลาดและห้างสรรพสินค้าในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี พบว่า ผักร้อยละ 12.5 มีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย และสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ปลอดภัย ร้อยละ 87.5 ผักตัวอย่างที่พบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ กะหล่ำปลี ผักกาดขาว แตงกวา ผักบุ้ง และ คะน้า ชนิดละ 1 ตัวอย่าง จากตลาดนัด ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของปัญหาการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่วิจัย เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ไปสู่การเฝ้าระวังสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร และนำข้อมูลสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักเผยแพร่ออกไปเพื่อการสร้างความรู้เห็นและเป็นแนวทางให้กับผู้สนใจเลือกชนิดและแหล่งที่มาของผัก สำหรับผู้นิยมการบริโภคผัก การศึกษาครั้งนี้พบว่า การนำผักมาแช่น้ำทิ้งไว้ 15 นาที แล้วล้างด้วยน้ำซ้ำอีกครั้ง สามารถลดปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มชนิด แหล่งที่มาของผัก และระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผักสด ในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ที่ครอบคลุม

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สำหรับอุปกรณ์การวิจัย โรงเรียนการอาหารนานาชาติเพชรบุรี สำหรับสถานที่ดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาอาหารและโภชนาการประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับการเก็บและเตรียมตัวอย่างผักก่อนการตรวจวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

1. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. แนวโน้มอุตสาหกรรมและขนาดตลาดของธุรกิจอาหาร. [online] เข้าถึงได้จาก: <https://bsc.dip.go.th/th/category/quality-control/qs-trendsfoodbusiness>. 2563.
2. ปภชล จุฑาทรัพย์. สถานการณ์การนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืช และการตกค้างในผลผลิต. [online] เข้าถึงได้จาก: https://www.thaipan.org/sites/default/files/conference2559/pesticide_conference_2559_1.3.pdf. 2563.
3. ปรีชา เปรมปรี. สถานการณ์โรคและการเจ็บป่วยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช. [online] เข้าถึงได้จาก: https://www.thaipan.org/sites/default/files/conference2559/pesticide_conference_2559_1.5.pdf. 2563.
4. ศูนย์พิษวิทยารามาธิบดี คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล. ภาวะเป็นพิษจาก Organophosphates และ Carbamates. [online] เข้าถึงได้จาก: <https://>



- med.mahidol.ac.th/poisoncenter/th/pois-cov/OP_CB. 2563.
5. Yamane, T. (1973). *Statistics: An introductory statistics*, (Second Edition). New York: Harper & Row.
 6. ธนพงศ์ ภูผาลี อรุณ วงศ์วัฒนาเสถียร สมศักดิ์ อาภาศรีทองสกุล และ มาลี สุปันตี. 2559. ความชุกของการมีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักจากตลาด และห้างสรรพสินค้าในอำเภอเมืองจังหวัดมหาสารคาม. *วารสารเภสัชกรรมไทย*. 8:399-409.
 7. วิจิตรา เหลียวตระกูล วชิรญา เหลียวตระกูล ปรียานุช เพียนเลี้ยงชีพ และรวีวรรณ เต็มขันธ์. 2563. การตรวจสอบสารเคมีตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผักสด ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและประสิทธิภาพในการล้างผักต่อสารเคมีตกค้างในผักคะน้า. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*. 38:131-138.
 8. Alsunni, A. and Badar, A. 2015. Fruit and vegetable consumption and its determinants among Saudi university students. *Journal of Taibah University Medical Sciences*. 10:201–207.
 9. Ruangwut, C. and Kontong, P. 2011. Pesticide residues in fresh vegetable from markets in Ubonratchathani province. *Rajabhat Agriculture Journal*. 20:22–31.
 10. สุรัชย์ สังข์งาม กัมปนาท ศักรางกูล ลัดดาพร ครองนุช กัญจนพร ยุวเศวต อรัญญา ชนะดี และคณิต หนูพลอย. 2563. การปนเปื้อนสารเคมีตกค้างกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต และวิธีการล้างผักสดในตลาด จังหวัดสุราษฎร์ธานี: กรณีศึกษาตลาดสดโพหวาย. *วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ*. 2:1-8.
 11. พัชรี ภคกษมา สุวรรณีย์ สายสิน และศรมน สุทิน. 2559. การตรวจสอบสารเคมีฆ่าแมลงตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในผักในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ. *วารสารวิชาการสสอ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 5:22-30.
 12. จิราพร ใจเกลี้ยง ศิริพร จันทรมณี และอรพรรณ หนูแก้ว. 2555. การตรวจหาฆ่าแมลงตกค้างในผักจากตลาดในอำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
 13. ธนาธิป รักศิลป์. 2547. การวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ในผลผลิตทางการเกษตรในเขตอำเภอเมืองเลย. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 1:61-71.
 14. Wanwimolruk, S., Phopin, K., Boonpangrak, S. and Prachayasittikul, V. 2016. Food safety in Thailand 4: comparison of pesticide residues found in three commonly consumed vegetables purchased from local markets and supermarkets in Thailand. *PeerJ*. 4:1-23.
 15. Bureau of Occupational and Environmental Diseases. 2014. *Situation of diseases and health hazards caused by occupation and environment 2014 report*. Bangkok: Department of Disease Control, Ministry of Public Health.

16. ราเมศ กรณีย์ และ พิมพิไล ปรางสุรางค์. 2559. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการล้าง เพื่อกำจัดสารเคมีกำจัดแมลงตกค้างในผักสด. วารสารอาหารและยา. 23:34-42.
17. มหามะรุณี ยามี่. 2558. สารฆ่าแมลง ภัยใกล้ตัว. วารสารพยาบาลสาธารณสุข. 29:110-116.
18. วณิดา จันทร์สม. 2556. การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการล้างผักกะหล่ำปลี และผักกาดขาวเพื่อลดปริมาณสารพิษตกค้างกลุ่มไพรีทรอยด์. ธรรมชาติเวชสาร. 13:71-78.

ระบบการผสมพันธุ์และการติดฝักของกล้วยไม้ดินนางgray (*Habenaria lindleyana* Steud.)

Breeding Systems and Fruit Set of *Habenaria lindleyana* Steud. (Orchidaceae)

วุฒิชัย ฤทธิ¹ บุญสนอง ช้วยแก้ว¹ วิชาน พงษ์เมือง² กฤติมา โชติมิตร¹ และ สกาวเดือน บุญเหลือ¹

Wuttichai Ritti¹ Boonsanong Chourykaew¹ Wichan Fangmuang² Kittima Chotimit and Sakaoduan Boonlua¹

¹หน่วยวิจัยชีววิทยาพืช สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี 76000

²โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี 76000

¹Plant biology research unit, Biology Program, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi, 76000

²Phetchaburi Rajabhat University Demonstration School, Phetchaburi, 76000

*Corresponding author; E-mail: Wuttichai.rit@mail.pbr.ac.th

Received: 10 July 2020 /Revised: 09 August 2020 /Accepted: 14 August 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาระบบการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้ดินนางgrayในพื้นที่ป่าธรรมชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี วิทยาเขตโป่งสลอด และป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี เดือนตุลาคม 2561 ถึงเดือนกันยายน 2562 โดยทดสอบระบบการผสมพันธุ์ 5 ลักษณะ ได้แก่ การผสมตัวเองตามธรรมชาติ (Spontaneous autogamy) การติดฝักโดยไม่ได้รับการปฏิสนธิ (Apomixis) การผสมตัวเอง (Self-pollination) การผสมข้ามต้น (Cross-pollination) และการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ (Natural pollination) พบว่า รูปแบบการผสมข้ามต้นและการผสมตัวเอง สามารถติดฝักได้สูง 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองรูปแบบ และการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ มีอัตราการติดฝัก 23.52 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่รูปแบบอื่นไม่พบการติดฝัก นอกจากนั้นการตรวจสอบการเกิดเอ็มบริโอและความมีชีวิตของเมล็ด พบว่า การผสมข้ามต้น เมล็ดมีการสร้างเอ็มบริโอและเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงที่สุด 52.07 เปอร์เซ็นต์และ 32.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: นางgray ระบบการผสมพันธุ์ ความมีชีวิตของเมล็ด การติดฝัก



Abstract

Field studies of the breeding systems of terrestrial orchid, *Habenaria lindleyana* Steud. were established, at Phetchaburi Rajabhat University Pong Salod campus and Pong Salod community forest Nong Kapu Sub District, Ban Lat District, Phetchaburi province, from October 2018 to September 2019. The five different types of breeding systems, including spontaneous autogamy, apomixis, induced self-pollination, induced cross-pollination and natural pollination, were investigated *in situ* at the sites. The results showed that the self-pollination and cross-pollination had the highest percentage of fruit set (100%) in both forms and natural pollination types showed the percentage of fruit set 23.52%. While other types of reproduction had no capsule formation. Moreover, the studies of embryogenesis and seed viability observed from cross-pollination type, the results showed the highest percentage at 52.07% and 32.2%, respectively.

Keywords: *Habenaria lindleyana* Steud., breeding system, seed viability, fruit set

บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งศูนย์รวมความหลากหลายทางชีวภาพของพืชอันดับต้น ๆ ของโลก เนื่องจากเป็นรอยต่อของเขตการกระจายพันธุ์พืชถึงสามภูมิภาคเข้าด้วยกัน ได้แก่ ภูมิภาคอินโดจีน (Indo-China) ภูมิภาคอินโดมาเล (Indo-Malayan) และ ภูมิภาคอินโดเบอร์มีส (Indo-Burma) จึงก่อให้เกิดระบบนิเวศที่หลากหลาย อาทิ ป่าดิบฝน ป่าดิบแล้ง ป่าสนเขา ป่าพรุ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าชายเลน รวมถึงหมู่เกาะและแนวปะการังต่าง ๆ จากสภาพภูมิประเทศดังกล่าว ก่อให้เกิดความหลากหลายของทรัพยากรธรรมชาติสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชวงศ์กล้วยไม้ ซึ่งมีรายงานการสำรวจและการตรวจสอบชื่อและชนิดที่ถูกต้องแล้วจากนักพฤกษศาสตร์ ประมาณ 1,157 ชนิด (species) 176 สกุล (genera) [1]

ปัจจุบันกล้วยไม้หลายชนิดมีจำนวนประชากรลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปัญหาทรัพยากรป่าไม้ถูกทำลายลงทั้งจากกิจกรรมของมนุษย์และภัยธรรมชาติที่มีความรุนแรงมากขึ้น สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก อุณหภูมิสูงขึ้น รวมถึงการแสวงหาผลประโยชน์จากทรัพยากรพืชที่มากเกินไปส่งผลกระทบโดยตรงต่อถิ่นที่อยู่อาศัยของกล้วยไม้ชนิดต่าง ๆ รวมถึงกล้วยไม้ดินนางกราย (*Habenaria lindleyana* Steud.) ซึ่งมีแนวโน้มการลดลงของจำนวนประชากรในธรรมชาติอย่างรวดเร็ว จากปัจจัยทางด้านพื้นที่ธรรมชาติที่เคยอุดมสมบูรณ์ถูกบุกรุกและถูกทำลายเพื่อสร้างที่อยู่อาศัย ประกอบกับปัญหาการลักลอบเก็บกล้วยไม้ออกจากป่าเพื่อการค้าขายยิ่งส่งผลให้กล้วยไม้ดินนางกราย มีแนวโน้มอาจเกิดการสูญพันธุ์ได้ในอนาคต [2, 3] หากยังไม่ได้รับการศึกษาที่มากเพียงพอเพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงโอกาสที่จะ

ประสบความสำเร็จในการเจริญเติบโตเพื่อกระจายพันธุ์ในธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาชีววิทยาการสืบพันธุ์ โดยเฉพาะระบบการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้นางกราย เพื่อให้ทราบข้อมูลอัตราความสำเร็จในการสืบพันธุ์ ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญในการหาทางป้องกันปัญหาการสูญพันธุ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นในการศึกษครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการผสมพันธุ์และอัตราความสำเร็จในการสืบพันธุ์ของกล้วยไม้นางกรายในพื้นที่ป่าธรรมชาติของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี วิทยาเขตโป่งสลอด และป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ซึ่งพบประชากรของนางกรายกระจายพันธุ์อยู่ และปัจจุบันประชากรเหล่านี้อาจกำลังอยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการถูกรบกวน เพราะฉะนั้นการเข้าใจถึงปัจจัยดังกล่าว จะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการอนุรักษ์พันธุกรรมของกล้วยไม้นางกรายให้คงอยู่ในพื้นที่ต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. ชนิดพืชที่ทำการศึกษา

นางกราย (*Habenaria lindleyana* Steud.) เป็นกล้วยไม้ดินที่มีลำต้นเหนือดินสั้นมาก มีรากสะสมอาหารแบบมันฝรั่ง (Tuberous roots) ใบรูปรีอ้วน จำนวน 3-5 ใบ เรียงตัวแบบเวียน กว้าง 5-10 ซม. ยาว 7-15 ซม. ขอบใบเรียบ ปลายใบแหลม สีเขียว แผ่นติดพื้นดิน ช่อดอกแบบกระจุก ออกที่ปลายยอด ยาว 15-20 ซม. จำนวนดอก 7-15 ดอก ค่อนข้างโปร่ง ขนาดดอกเมื่อบาน กว้าง 1.5-2 ซม. สีขาว กลีบเลี้ยงคู่ ข้างใหญ่กว่ากลีบเลี้ยงบน กลีบปากแยกเป็น 3 แฉก แฉกกลางรูปขอบขนานแกมรูปรี ปลายกลีบปากโค้งมน เดือยดอกรูปทรงกระบอกยาว มีกระเปาะเก็บน้ำหวาน ที่ปลายสุดของเดือย เล้าเกสรสั้น กลุ่มเรณูบรรจุในของ

ด้านข้างของเล้าเกสรข้างละ 1 กลุ่ม ปลายกลุ่มเรณูมีแบนเหนียว ออกดอกเดือนกันยายนถึงตุลาคม พบตามป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าสนและป่าไผ่ บริเวณเขาหินทราย หินแกรนิต หินดินดาน และเขาหินปูน มีเขตการกระจายพันธุ์ในประเทศลาวและเวียดนาม ในประเทศไทยมีรายงานพบทั่วทุกภาค เช่น จังหวัดเชียงใหม่ น่าน ตาก นครสวรรค์ เลย นครราชสีมา กาญจนบุรี ราชบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สระบุรี ชลบุรี และจันทบุรี เป็นต้น [1, 4, 5, 6]

2. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ป่าธรรมชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี วิทยาเขตโป่งสลอด และพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด หมู่ที่ 6 ตำบลหนองกะบู่ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2561 ถึงเดือนกันยายน 2562 มีลักษณะเป็นป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ดินส่วนใหญ่เป็นดินหินปนทราย หินกรวด พบกล้วยไม้ดินนางกราย กระจายพันธุ์ตามพื้นที่ที่ค่อนข้างโล่งบริเวณชายป่า หรือบริเวณที่มีการปกคลุมของไม้ชั้นเรือนยอดค่อนข้างโปร่ง (Figure 1)

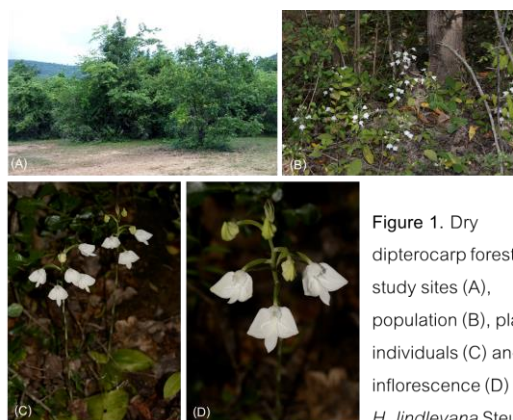


Figure 1. Dry dipterocarp forest in study sites (A), population (B), plant individuals (C) and inflorescence (D) of *H. lindleyana* Steud.

3. การศึกษาระบบการผสมพันธุ์ (Breeding systems) ของกล้วยไม้นางกราย

ศึกษาระบบการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้นางกราย โดยทำการครอบช่อดอกกล้วยไม้นางกรายที่ยังตูมอยู่ด้วยตาข่ายไนลอนตาถี่ ขนาด 40 ตาต่อตารางนิ้ว จำนวน 2 ชั้น เพื่อป้องกันแมลงมาผสมเกสรจนกระทั่งดอกที่คลุมไว้บานเต็มที่ จึงเริ่มทำการทดสอบระบบการผสมพันธุ์ โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มทดลอง ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ครอบช่อดอกทิ้งไว้จนสิ้นสุดฤดูดอก เพื่อทดสอบการติดฝักและการเกิดเมล็ดจากการผสมตัวเองตามธรรมชาติ (Spontaneous autogamy) โดยไม่ต้องอาศัยพาหะถ่ายละอองเรณู จำนวน 7 ต้น รวมจำนวนดอกทั้งหมด 64 ดอก กลุ่มที่ 2 นำเอากลุ่มเรณูออกแล้วครอบดอกไว้ตามเดิม จากนั้นทิ้งไว้จนสิ้นสุดฤดูการออกดอก เพื่อศึกษาการติดฝักและการเกิดเมล็ดที่ไม่ได้รับการปฏิสนธิ (Apomixis) จำนวน 4 ต้น รวมจำนวนดอกทั้งหมด 55 ดอก กลุ่มที่ 3 ชักนำให้เกิดการผสมตัวเอง (Induced self-pollination) โดยการนำเอากลุ่มเรณูในดอกเดียวกันแตะลงบนยอดเกสรเพศเมียเพื่อศึกษาการติดฝักและการเกิดเมล็ดจากการผสมตัวเองแล้วครอบช่อดอกด้วยถุงกันแมลงตามเดิม จำนวน 4 ต้น รวมจำนวนดอกทั้งหมด 36 ดอก กลุ่มที่ 4 ชักนำให้เกิดการผสมข้าม (Induced cross-pollination) โดยการนำเอากลุ่มเรณูในดอกเดิมออกแล้วนำกลุ่มเรณูจากดอกนางกรายต้นอื่นที่อยู่ห่างออกไปไม่ต่ำกว่า 5 ม. มาแตะบนยอดเกสรเพศเมียเพื่อศึกษาการติดฝักและการเกิดเมล็ดจากการผสมข้ามแล้วครอบช่อดอกด้วยถุงกันแมลงตามเดิม จำนวน 6 ต้น รวมจำนวนดอกทั้งหมด 35 ดอก และกลุ่มที่ 5 ปล่อยให้ดอกผสมตามธรรมชาติโดยอาศัยพาหะถ่ายละอองเรณู (Natural pollination) เพื่อเป็นกลุ่ม

ควบคุม จำนวน 100 ต้น รวมจำนวนดอกทั้งหมด 693 ดอก (Figure 2)



Figure 2. The inflorescences of *H. lindleyana*

Steud. were covered with nylon mesh bags.

จากนั้นทำการตรวจสอบอัตราการติดฝักในแต่ละวิธีการ นำฝักที่ได้จากการผสมพันธุ์ในกลุ่มต่าง ๆ มาวัดขนาดฝัก น้ำหนักสด และอัตราการเกิดเอ็มบริโอ โดยการนับเมล็ดภายใต้กล้องสเตอริโอ สุ่มนับเมล็ดครั้งละ 100 เมล็ด นับซ้ำจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นคำนวณอัตราการเกิดเอ็มบริโอและวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างการทดลองระบบการผสมพันธุ์ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) [7] ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4. การศึกษาความสมบูรณ์และอัตราการมีชีวิตของเมล็ด

ตรวจสอบความมีชีวิตของเมล็ด โดยนำเมล็ดจากฝักที่ได้จากการผสมพันธุ์ในรูปแบบต่าง ๆ มาทดสอบความมีชีวิตด้วยการย้อมสารละลายเตตระโซเลียมคลอไรด์ (2,3,5- triphenyltetrazolium chloride, TTC) ความเข้มข้น 1% (v/v) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บ่มไว้ในที่มืด เมื่อครบกำหนดนำเมล็ดมาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นทำการตรวจสอบความมีชีวิตของเมล็ดภายใต้กล้องสเตอริโอ

โดยเมล็ดที่มีชีวิตเอ็มบริโอจะย้อมติดสีแดง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) [7] ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาระบบการผสมพันธุ์ (Breeding systems) ของกล้วยไม้ดินนางกราย

จากการศึกษาระบบการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้ดินนางกราย พบว่า กลุ่มที่ 1 ดอกที่คลุมด้วยตาข่ายไนลอนกันแมลง (Spontaneous autogamy) และกลุ่มที่ 2 ดอกที่นำเอากลุ่มเรณูออก (Apomixis) แล้วคลุมด้วยตาข่ายไนลอนกันแมลง เมื่อถึงไ้วจนสิ้นสุดการออกดอก พบว่า ไม่มีการติดฝักเกิดขึ้น ขณะที่กลุ่มที่ 3 ดอกที่ได้รับการผสมตัวเอง (Self-pollination) และกลุ่มที่ 4 ดอกที่ได้รับการผสมข้ามต้น (Cross-pollination) มีอัตราการติดฝักสูง 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสองกลุ่ม โดยดอกนางกรายเมื่อได้รับการผสมด้วยมือ (Hand pollination) แล้ว จะเริ่มมีการเหี่ยวภายใน 3 วันและแห้งทั้งดอกภายใน 11 วัน ขณะที่กลุ่มที่ 5 ฝักที่เกิดจากการผสมตามธรรมชาติโดยอาศัยพาหะถ่ายละอองเรณู (Natural pollination) มีอัตราการติดฝัก 23.52 เปอร์เซ็นต์ (Table 1)

เมื่อทำการศึกษาน้ำหนักของฝัก โดยพิจารณาความกว้าง ความยาว และน้ำหนักสด พบว่า ฝักที่เกิดจากการผสมตามธรรมชาติมีความกว้างเฉลี่ยมากที่สุด 0.43 ซม. และมีความยาวฝักเฉลี่ยมากที่สุด 3.23 ซม. รวมถึงมีน้ำหนักสดสูงที่สุด 0.16 กรัม ซึ่งแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับฝักจากรูปแบบอื่น ๆ (Table 2)

2. การศึกษาความสมบูรณ์และอัตราการมีชีวิตของเมล็ด

การศึกษาความสมบูรณ์ของเมล็ด พิจารณาจากการที่เมล็ดมีการสร้างเอ็มบริโอ ซึ่งถือว่าเป็นเมล็ดที่มีความสมบูรณ์ และเมล็ดที่ไม่สร้างเอ็มบริโอ เป็นเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ โดยการสุ่มนับเมล็ดจำนวน 100 เมล็ด นับซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ของฝักที่ได้จากการผสมพันธุ์รูปแบบต่าง ๆ จากการศึกษ พบว่า ฝักที่ได้จากการผสมข้ามต้น เมล็ดมีความสมบูรณ์มากที่สุด 52.07 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามพบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับเมล็ดที่ได้จากฝักที่ทำการผสมตัวเอง โดยมีเมล็ดที่มีความสมบูรณ์ 34.40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พบว่า ฝักที่ได้จากการผสมตามธรรมชาติเมล็ดมีความสมบูรณ์น้อยที่สุด 18.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับเมล็ดที่ได้จากฝักที่ทำการผสมตัวเองและผสมข้าม (Table 2)

ในการทดสอบความมีชีวิตของเมล็ดโดยการย้อมด้วยสารละลายเตตระโซเลียมคลอไรด์ พบว่า เมล็ดจากฝักที่เกิดจากการผสมข้ามต้น มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงที่สุด 32.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับเมล็ดที่ได้จากการฝักรูปแบบอื่น ๆ ขณะที่ฝักที่เกิดจากการผสมตัวเอง เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิต 17.60 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดที่ได้จากฝักที่ผสมตามธรรมชาติ มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตเพียง 2.80 เปอร์เซ็นต์ (Table 2, Figure 3)

Table 1. Types of breeding systems of *Habenaria lindleyana* Steud., number of flower, number of capsule and percentage of capsule

Types of breeding	Number of flower	Number of capsule	Capsule (%)
Spontaneous autogamy	64	0	0
Apomixis	55	0	0
Self-pollination	36	36	100
Cross-pollination	35	35	100
Natural pollination	693	171	23.52

Table 2. Average (avg) of width, length and weight of capsule of *H. lindleyana* Steud. derived from different five pollination treatments and percentage of seed with embryo and seed viability of those capsule

Size of capsule	Spontaneous autogamy	Apomixis	Self-pollination	Cross-pollination	Natural pollination
avg of width (cm)	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.39±0.01 ^b	0.35±0.01 ^c	0.43±0.01 ^a
avg of length (cm)	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	2.84±0.04 ^b	2.77±0.06 ^b	3.23±0.06 ^a
avg of weight (g)	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.03±0.00 ^c	0.08±0.01 ^b	0.16±0.01 ^a
seed with embryo (%)	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	34.4±7.30 ^{ab}	52.07±6.87 ^a	18.75±4.18 ^{bc}
seed viability (%)	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	17.6±2.80 ^b	32.2±10.24 ^a	2.80±0.73 ^c

Note: The same letters in each row are not significantly different ($p \leq 0.05$).

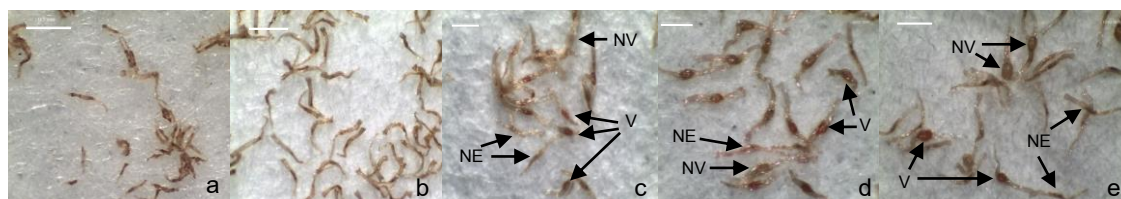


Figure 3. Seed viability experiment (TTC test) among capsules derived from difference pollination types; spontaneous autogamy (a) and apomixis (b) the seeds without embryos, the seeds form self-pollination (c) cross-pollination (d) and natural pollination (e). V=viability; NV=nonviability; NE= no embryo (white scale bar=0.5 mm.)

อภิปรายผล

จากการศึกษาระบบการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้ดินนางกราย 5 รูปแบบ พบว่า รูปแบบการผสมตัวเอง (Self-pollination) มีอัตราการติดฝักได้สูง 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่ากล้วยไม้ดินนางกรายมีความสามารถในการสืบพันธุ์แบบผสมตัวเอง (Self-compatibility) และจำเป็นต้องอาศัยพาหะถ่ายละอองเรณู (Pollinators) ซึ่งส่วนใหญ่พบรูปแบบการผสมพันธุ์ได้ในพืชวงศ์กล้วยไม้ [8, 9] สอดคล้องกับรายงานการศึกษาระบบการผสมตัวเองของกล้วยไม้สกุล *Habenaria* จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ *H. dentata*, *H. erichmichaelii*, *H. lucida*, *H. marginata*, *H. rhodocheila* และ *H. rostellifera* พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การติดฝักสูง 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ *H. myriotricha* มีเปอร์เซ็นต์การติดฝัก 50 เปอร์เซ็นต์ [10] อย่างไรก็ตามพบว่าให้ผลการทดลองที่แตกต่างจากรายงานการศึกษาระบบการผสมตัวเองของกล้วยไม้ดินนางกรายพบว่า สามารถติดฝักได้เพียง 50 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น [11] ทั้งนี้อัตราการติดฝักที่แตกต่างกันนั้น อาจขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นพันธุ์ที่ใช้ทำการศึกษา รวมถึงสภาพแวดล้อม เป็นต้น

นอกจากนี้จากการศึกษารูปแบบการผสมข้ามต้น (Cross-pollination) ของกล้วยไม้ดินนางกรายพบว่า มีอัตราการติดฝักได้สูง 100 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงจำเป็นต้องอาศัยพาหะถ่ายละอองเรณู โดยการผสมข้ามต้นของกล้วยไม้ดินนางกรายสามารถลดอัตราการเกิดเลือดชิดและเพิ่มความหลากหลายทางพันธุกรรมได้ [9] ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับรายงานการศึกษาระบบการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้ดินนางกราย (*Spathoglottis eburnea* Gagnep.) ไว้ว่า มีอัตราการติดฝักจากการผสมตัวเองและการผสมข้ามต้นได้สูงถึง

82.2 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองรูปแบบ [12] ขณะที่ระบบการผสมพันธุ์ที่เกิดเมล็ดโดยไม่มีการปฏิสนธิ (Apomixis) และระบบการผสมพันธุ์ที่สามารถผสมตัวเองได้โดยไม่ใช้พาหะถ่ายละอองเรณู (Spontaneous autogamy) นั้น พบว่าไม่สามารถเกิดขึ้นได้กับกล้วยไม้ดินนางกราย เนื่องจากไม่มีการติดฝักทั้งสองรูปแบบในหลอดช่อดอก ซึ่งส่วนใหญ่ระบบการผสมพันธุ์แบบ Apomixis และ Spontaneous autogamy นั้น เกิดขึ้นได้น้อยมาก [9, 13, 14, 15] ซึ่งพบได้เฉพาะในกล้วยไม้ที่เจริญเติบโตอยู่ในพื้นที่ที่มีพาหะถ่ายละอองเรณูน้อยมาก ๆ อาทิ พื้นที่ที่ถูกตัดขาดจากประชากรอื่น พื้นที่ที่มีการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ก่อให้เกิดเป็นหมู่เกาะ หรือเกาะที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ รวมถึงพื้นที่ป่าธรรมชาติที่ถูกบุกรุกเพื่อทำการเกษตร และการสร้างชุมชนเมืองต่าง ๆ [9, 16, 17, 18] ขณะที่พื้นที่ทำการศึกษาค้นคว้านี้เป็นป่าธรรมชาติมีลักษณะเป็นป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ ซึ่งเป็นการสนับสนุนว่ากล้วยไม้ดินนางกรายไม่มีระบบการผสมพันธุ์แบบ Apomixis และ Spontaneous autogamy เช่นเดียวกับรายงานการศึกษาในกล้วยไม้ดินนางกราย (*S. eburnea* Gagnep.) พบว่าไม่มีรูปแบบการผสมพันธุ์แบบ Apomixis และ Spontaneous autogamy [12] และระบบการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติโดยอาศัยพาหะถ่ายละอองเรณู (Natural pollination) พบว่า มีอัตราความสำเร็จในการติดฝัก 23.52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนดอกทั้งหมดที่ศึกษา 693 ดอก กับจำนวนดอกของรูปแบบผสมตัวเองและผสมข้ามที่มีจำนวนดอก 36 ดอกและ 35 ดอกตามลำดับนั้น มีเปอร์เซ็นต์การติดฝักที่ต่ำมาก อาจขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของพาหะถ่ายละอองเรณูในพื้นที่ดังกล่าวมีไม่มากเพียงพอ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาค้นคว้า

ฝักที่เกิดจากการผสมพันธุ์ตามธรรมชาตินั้นถูกขัดเซยด้วยขนาดและน้ำหนักของฝักที่มีมากกว่า

ขนาดฝักของกล้วยไม้นางกรายที่เกิดจากรูปแบบ Natural pollination พบว่ามีความกว้าง ความยาว และน้ำหนักมากที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับฝักจากรูปแบบอื่น สอดคล้องกับฝักกล้วยไม้ *Cyrtopodium punctatum* (L.) Lindl. ที่พบว่าฝักที่เกิดจากการผสมข้ามมีขนาดใหญ่กว่าฝักที่เกิดจากการผสมตัวเอง อย่างไรก็ตามพบได้เฉพาะบางปีเท่านั้น [19] ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์และความแข็งแรงของต้นพันธุ์

เมื่อพิจารณาจำนวนเมล็ดที่มีเอ็มบริโอ พบว่าเมล็ดจากฝักที่ได้จากการผสมข้ามและผสมตัวเองไม่มีความแตกต่างกัน ให้ผลเช่นเดียวกันกับ กล้วยไม้ดินเหลืองพิศมร (*Spathoglottis affinis* de Vriese) และ กล้วยไม้ดินบานตึก (*Spathoglottis eburnea* Gagnep) [4, 12] ขณะที่เมล็ดจากฝักที่ผสมตัวเองตามธรรมชาตินั้นมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเอ็มบริโอน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าฝักของกล้วยไม้ดินนางกรายที่เกิดขึ้นในธรรมชาติของประชากรนี้ส่วนใหญ่เป็นฝักที่มาจากการผสมตัวเองโดยมีพาหะถ่ายละอองเรณูช่วยในการผสม นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดที่เกิดจากการผสมข้ามมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงที่สุด สอดคล้องกับกล้วยไม้ดิน *Platanthera leucophaea* (Nutt.) Lindl. ที่พบว่าเมล็ดจากฝักที่ทำการผสมข้ามมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงกว่าเมล็ดจากฝักที่ทำการผสมตัวเอง [20] อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตของขนาดฝักจำนวนเมล็ด รวมถึงอัตราการเกิดเอ็มบริโอและชีวิตของเมล็ดกล้วยไม้นั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มละอองเรณู (Pollinia) ที่สัมผัสหรือตกลงบนยอดเกสรเพศเมียด้วย [12, 21, 22]

สรุป

การศึกษาระบบการผสมพันธุ์ของกล้วยไม้ดินนางกราย พบว่า การผสมข้าม (Cross-pollination) และผสมตัวเอง (Self-pollination) มีอัตราการติดฝักสูงที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การผสมตัวเองตามธรรมชาติ (Natural pollination) ติดฝักเพียง 23.52 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงเปอร์เซ็นต์การเกิดเอ็มบริโอและเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของเมล็ดจากฝักที่ทำการผสมข้าม มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่า กล้วยไม้ดินนางกรายจำเป็นต้องอาศัยพาหะถ่ายละอองเรณูในการผสมพันธุ์ ดังนั้น ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพาหะถ่ายละอองเรณูกับกล้วยไม้ดินนางกราย เพื่อฟื้นฟูพาหะถ่ายละอองเรณูในธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยให้กล้วยไม้ชนิดนี้สามารถขยายพันธุ์ได้มากขึ้น รวมถึงควรส่งเสริมให้พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ปกป้องและอนุรักษ์พันธุกรรมของกล้วยไม้ชนิดนี้ไว้ นอกจากนี้การช่วยผสมเกสรด้วยมือ (Hand pollination) สามารถเพิ่มโอกาสการติดฝักและนำมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้น จะเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มจำนวนต้นอ่อนให้ได้ปริมาณมาก จากนั้นจึงนำกลับไปปลูกยังพื้นที่ดั้งเดิม ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มจำนวนประชากรกล้วยไม้ดินนางกรายให้มากขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นการช่วยอนุรักษ์พันธุกรรมกล้วยไม้ดินนางกรายให้คงอยู่ในพื้นที่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยจากโครงการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2562 ขอขอบคุณหน่วยวิจัยชีววิทยาพืช สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์



เครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย
ขอขอบคุณนางสาวชฎาพร อดทน นางสาวปรางทิพย์
เถื่อนคนรัก นางสาวดาวรินทร์ พันธุ์จันทร์ และนางสาวสุ
กัญญา รุ่งอรุณ ผู้ช่วยวิจัยภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

- Nanakorn, W. and Watthana, S. 2008. *Queen Sirikit Botanic Garden (Thai Native Orchids2)*. Chiang Mai: Wanida Press.
- อนุพันธ์ กงบังเกิด และแสงเดือน วรรณชาติ. 2550. ผลของแสงต่อการงอกและพัฒนาการของ เมล็ดกล้วยไม้เอื้องคำผักปราบในหลอดทดลอง (*Dendrobium ochreatum* Lindl.). *วารสาร วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*. 3: 231-241.
- วุฒิชัย ฤทธิ บุญสนอง ช่วยแก้ว และอรพรรณ ศรี น้ำคำ. 2561. ผลของไคโทซานต่อการเจริญเติบโต ของต้นเอื้องผึ้ง (*D. lindleyi* Steud.) ใน หลอดทดลอง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 23(2): 91-103.
- วรชาติ โตแก้ว ประนอม จันทโรณทัย และ พงษ์ศักดิ์ พลเสนา. 2558. กล้วยไม้ในอุทยาน แห่งชาติน้ำหนาว. ขอนแก่น: ศูนย์วิจัย อนุรักษ์มรดกประยุตต์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นันทยา วรรณะภุติ. 2555. *ดอกเอื้อง*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- Santisuk, T. and Larsen, K. 2011. *Flora of Thailand (Vol. 12 part 1)*. Bangkok: Prachachon CO. LTD.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*. 11: 1-42.
- Arditti, J. 1992. *Fundamentals of Orchid Biology*. USA: Wiley and son press.
- Dressler, R. L. 1993. *Phylogeny and classification of the orchid family*. Australia: Cambridge University Press.
- ชฎาพร ทราคำ เกวลิน คุณาศักดากุล และณัฐา โพธารณณ์. 2563. ความสามารถในการผสมข้าม และการงอกของเมล็ดในสภาพปลอดเชื้อของ กล้วยไม้ดินบางชนิดในสกุล *Habenaria* และ *Pecteilis*. *วารสารเกษตร*. 36(1): 47-58.
- ชิดชนก ก่อเจดีย์ วิวัฒน์ บัณฑิตย์ จามจุรี ไสยถิกุล และณัฐา โพธารณณ์. 2555. ความสามารถในการ ผสมข้ามชนิดและสกุลของกล้วยไม้ดินสกุลฮาเบ นาเรียและสกุลเพคเทิลิสบางชนิด. *วารสารเกษตร*. 28(3): 263-272.
- วิทยา ผาคำ. 2554. *ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของ กล้วยไม้ดินบานดึก (Spathoglottis eburnea Gagnep.)*. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- Den Nijs, A.P.M. and van Dijk, G.E. 1993. *Apomixis. In Plant Breeding: Principles and Prospects*. Hayward, M.D., Bosemark, N.O., and Romagosa, I.(eds). Chapman & Hall. London. UK. pp 229-245.
- Tremblay, R. L., Ackerman, J. D., Zimmerman, J. K. and Calvo, R. N. 2004. Variation in sexual reproduction in orchids and its evolutionary consequences: a spasmodic journey to diversification. *Biological Journal of the Linnean Society*. 84: 1-54.



15. Claessens, J. and Kleynen, J. 2018. The pollination of European orchids Part 7. Autogamy: *Neotinea maculata* and *Corallorhiza trifida*. *Journal of the Hardy Orchid Society*. 15(2): 50-55.
16. Stipkova, Z., Tsiftsis, S. and Kindlmann, R. 2020. Pollination mechanisms are driving orchid distribution in space. *Scientific Reports*. 1-13.
17. Brys, R., Jacquemyn, H., and Hermy, M. 2008. Pollination efficiency and reproductive patterns in relation to local plant density, population size and floral display in the rewarding *Listera ovata* (Orchidaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*. 157: 713-721.
18. Brzosko, E. 2002. The dynamics of *Listera ovata* populations on mineral islands in the Biebrza National Park. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 71: 243-251.
19. Dutra, D., Kane, M. E., Adams, C. R. and Richardson, L. 2009. Reproductive biology of *Cyrtopodium punctatum* in situ: implications for conservation of an endangered Florida orchid. *Plant Species Biology*. 24: 92-103.
20. Wallace, L. E. 2003. The cost of inbreeding in *Platanthera leucophaea* (Orchidaceae), *American Journal of Botany*. 90(2): 235-242.
21. Gonzalez-Diaz, N. and Ackerman, J. D. 1988. Pollination, fruit set and seed production in the orchid, *Oeceoclades maculata*. *Lindleyana*. 3(3): 150-155.
22. Vale, A., Rojas, D., Alvarez, J. C. and Navarro, L. 2011. Breeding system and factors limiting fruit production in the nectarless orchid *Broughtonia lindenii*. *Plant Biology*. 13(1): 51-61.

สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมของการใส่แผ่นบิดผิวคลื่นและตรง กลางสอดใส่ลวดทองแดง

Heat Transfer Performance in Circular Tube of Wavy Twisted Tape and the Middle of Copper Wire

อุทัย ผ่องรัศมี^{1*} อนุชา สายสร้อย¹ จักรกฤษณ์ ชันทอง¹ ปิยะกิตต์ จันทะโคต¹ และภาสกร ผ่องรัศมี²

Uthai Phongrasamee^{1*}, Anucha Saysroy¹, Jakkrit Khanthong¹ Piyakit Juntakoat¹ and Passakron Phongrasamee²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยโมนาช รัชมะลิเบิร์ต ประเทศออสเตรเลีย

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

Faculty of Engineering Monash University, Melbourne Australia

*Corresponding author; E-mail: Uthai_mt@hotmail.com

Received: 09 June 2020 /Revised: 20 August 2020 /Accepted: 11 February 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยการใส่แผ่นบิดผิวเรียบ ผิวคลื่น และผิวคลื่น
กึ่งกลางสอดใส่ลวดทองแดง โดยใส่แผ่นบิดมีอัตราส่วนการบิด (y/w) เท่ากับ 5, 6 และ 7 ลักษณะการไหลแบบ
ปั่นป่วน ช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-8,000 ภายใต้เงื่อนไขพลศาสตร์ความร้อนคงที่ ผลการทดสอบพบว่า แผ่นบิดผิวคลื่น
กึ่งกลางสอดใส่ลวดทองแดงให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เท่ากับ 1.03 ที่อัตราส่วนการบิดเท่ากับ 5
ที่เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4,000 และค่าการถ่ายเทความร้อนของแผ่นบิดผิวคลื่นดีกว่าแผ่นบิดผิวเรียบเท่ากับ
6 เปอร์เซ็นต์ จากลักษณะพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้น และการไหลแบบหมุนควง ซึ่งไปทำลายชั้น
ผิวความร้อนบริเวณผนังท่อให้บางลง จึงช่วยให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: แผ่นบิดผิวคลื่น ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน อัตราส่วนการบิด

Abstract

This paper reports the study of heat transfer performance in a circular tube by using smooth
surface twisted tape, wavy twisted tape and wavy twisted tape with copper wire inserts. The
investigations were conducted using the twisted tape with a constant twist ratio (y/w) of 5, 6 and 7, the
turbulent flow and Reynolds number ranging from 4,000 to 8,000 under uniform heat flux condition. The

experimental results showed that the maximum heat transfer performance was 1.03 of wavy surface twisted tape with a twist ratio of 5 and the Reynolds number of 4,000. The heat transfer coefficient (Nu) of surface wavy twisted tape was about 6% more than twisted tape due to the increased surface area of the heat exchanger and the swirling flow and increasing the turbulence intensity or by limiting the growth of fluid boundary layers at the surface of the heat pipe wall surface and also increase the heat transfer performance.

Keywords: Wavy twisted tape, Heat transfer efficiency, Twist ratio

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญของประเทศไทยในทุก ๆ ด้าน เช่น ด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม ล้วนแล้วแต่มีส่วนเชื่อมโยงกับพลังงานแทบทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นการดำรงชีวิตประจำวัน การประกอบอาชีพ การขนส่ง การผลิตวัตถุดิบ และต้นทุนในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรม จึงทำให้ทั่วโลกต่างตระหนักถึงความสำคัญของการประหยัดพลังงาน โดยใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดปริมาณการใช้ในส่วนที่ไม่จำเป็นลง “อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน” (Heat exchanger) นับว่าเป็นอุปกรณ์ทางวิศวกรรมที่สำคัญ และมีการประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ การพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน ซึ่งจะทำให้สามารถลดพลังงานให้แก่ระบบได้ ช่วยให้การประหยัดพลังงานและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตลง

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ได้สมรรถนะที่สูงขึ้น โดยการเพิ่มอัตรา

ถ่ายเทความร้อน หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยทั่วไปสามารถแบ่งเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 3 แบบ ได้แก่ เทคนิคแบบแอคทีฟ (Active techniques) เป็นการนำเอาพลังงานภายนอกเข้ามาช่วยในการถ่ายเทความร้อน เทคนิคแบบพาสซีฟ (Passive techniques) เป็นการปรับปรุงพื้นผิวเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก และเทคนิคแบบผสม (Compound techniques) เป็นการผสมผสานการออกแบบระหว่างแบบแอคทีฟและแบบพาสซีฟ [1] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอีกจำนวนมาก เพื่อพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เช่น Wongcharee and Eiamsa-ard [2] ได้ศึกษาเชิงทดลอง โดยติดตั้งแผ่นไบบิตแบบสลับแกน (TA) ทดสอบในช่วงเรย์โนลด์ตั้งแต่ 830-1,990 ที่สัดส่วนการบิด y/w เท่ากับ 3, 4 และ 5 พบว่า แผ่นไบบิตแบบสลับแกนที่สัดส่วนการบิด (y/w) เท่ากับ 3 ให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานสูงสุด Wongcharee and Eiamsa-ard [3] ได้ศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนการสูญเสียความดัน และตัวประกอบสมรรถนะทาง

ความร้อนโดยใช้แผ่นบิดแบบตัดขอบ ซึ่งสมรรถนะทางความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนลึกและการลดลงของอัตราส่วนความกว้าง Eiamsa-ard and Promvong [4] ได้ศึกษาโดยการติดตั้งแผ่นบิดแบบขอบฟันใบเลื่อย (STT) ทดสอบในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000- 20,000 ในตัวแปรอัตราการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันพบว่า การใช้แผ่นบิดใบพัดแบบขอบฟันใบเลื่อย ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนตัวประกอบความเสียดทานและสมรรถนะทางความร้อนสูงกว่าแผ่นใบพัดทั่วไป (TT) เลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอัตราส่วนลึกและการลดลงของอัตราส่วนความกว้าง และ Dalawade and Dange [5] ได้ติดตั้งแผ่นใบบิดหักเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่มีแผ่นบิดหักเพิ่มขึ้น 17-40% ที่สัดส่วนการบิด 8.33 และ 24-45% ที่สัดส่วน

การบิด 10.42 และให้ค่าการถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบความเสียดทานและสมรรถนะทางความร้อนสูงกว่าใบพัดแบบทั่วไป

จากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่จะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้สูงนั้น ต้องใช้เทคนิคแบบพาสซีฟเป็นส่วนใหญ่ เพราะไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกเข้ามาช่วยสำหรับการถ่ายเทความร้อน แต่จะต้องเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวหรือการใส่แผ่นบิดภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้ จะศึกษาเชิงทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม โดยใช้แผ่นบิดผิวเรียบ ผิวคลื่น และผิวคลื่นตรงกลางสอดใส่หลอดทองแดง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน โดยได้กำหนดสัดส่วนการบิด (y/w) ที่ 5, 6 และ 7 (Figure 1)

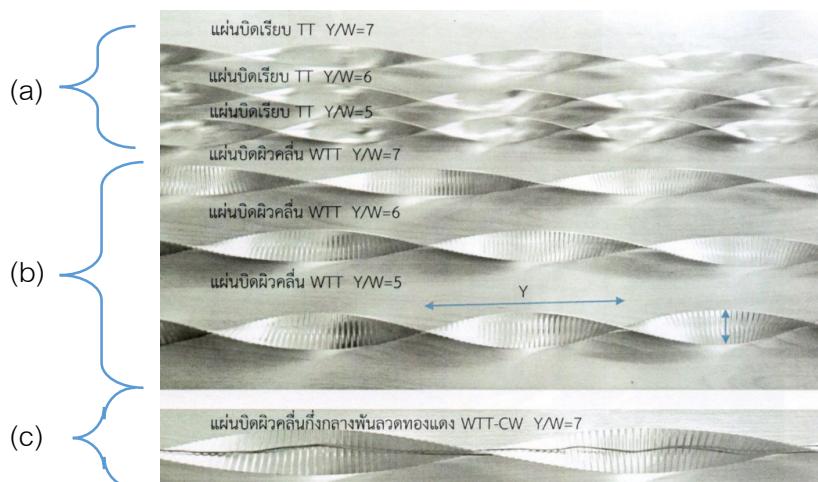


Figure 1. The type different of twisted tape (a) smooth surface twisted tape, (b) wavy twisted tape and (c) wavy twisted tape with copper wire inserts

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัย ได้ทำการศึกษาทฤษฎี การถ่ายเทความร้อนและวรรณกรรมเกี่ยวกับ งานวิจัยทั้งภายในและต่างประเทศ เกี่ยวกับการเพิ่ม

การถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จนนำมาสู่การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน (Figure 2)

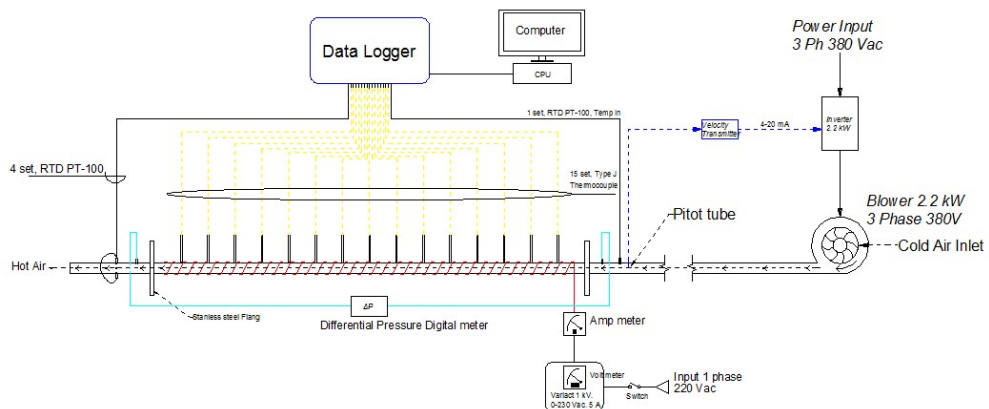


Figure 2. Heat exchanger experiment equipment

1) ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดทดลอง ชุดทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อน ใช้ ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.1 mm (1.5 in) หนา 1.5 mm และยาว 1,500 mm และส่วน ท่อใช้ทดสอบความยาว 3,100 mm ให้ความร้อนที่ ผิวท่อทองแดงด้วยปริมาณความร้อนคงที่ จำนวน 65 W พร้อมติดตั้งอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิของผิวท่อ (T_w) โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด เจ (Thermocouple type J) ที่ผิวท่อโดยเจาะรูที่ผิวท่อลึก 0.5 mm จำนวน 15 จุด โดยแต่ละจุดห่างกัน 10 mm เท่ากัน แล้วสวมทับด้วยท่อ PP-R ทำจากพลาสติกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 41 mm และหนา 11 mm ด้วยวิธีการให้ความร้อน ทำให้ท่อทองแดงและข้อต่อ สามารถเชื่อมประสานกันเป็นเนื้อเดียว และหุ้มด้วย ฉนวนใยหิน ชนิดท่อที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติที่ไม่ มีสารประกอบของแอสเบสตอส (Asbestos) ความ

หนาของฉนวนเท่ากับ 50.8 mm ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางภายใน 50.8 mm วัดอุณหภูมิที่ทางเข้า (T_{in}) 1 จุด และอุณหภูมิทางออก (T_{out}) 4 จุด ด้วย อาริทีดี-พีที 100 (RTD-PT100) ซึ่งมีค่าความแม่นยำ อยู่ที่เทคนิคตำแหน่งที่ 3 เก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์เก็บ ข้อมูล (Data logger) แล้วส่งข้อมูลไปยังเครื่อง คอมพิวเตอร์ ของไพลท์ที่ใช้ในการทดลองคือ อากาศ ถูกส่งจ่ายเข้าในท่อด้วยพัดลมโบลเวอร์ (Blower) ปรับความเร็วของอากาศร้อนด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) วัดความเร็วหรืออัตราการไหลของอากาศ โดยใช้อุปกรณ์การวัดความเร็วและอัตราการไหล KIMO CTV210 มีความแม่นยำ 0.01 และวัดความดันตกคร่อม (ΔP) ด้วยอุปกรณ์วัดความดันแบบ ดิจิตอล รุ่น Dwyer DM-2000 มีค่าความแม่นยำอยู่ ที่เทคนิคตำแหน่งที่ 1 ดังชุดทดสอบจริง (Figure 3)

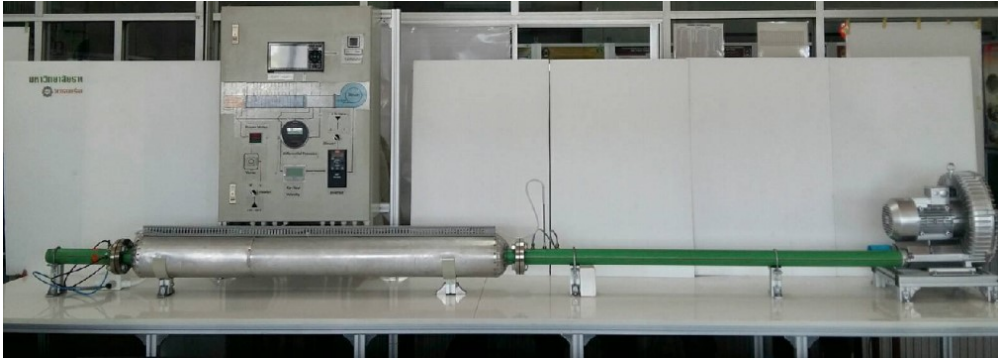


Figure 3. Practice testing equipment

ส่วนแผ่นบิตทำมาจากอลูมิเนียมหนา (t) 2 mm กว้าง 38 mm ทำการบิตด้วยเครื่องบิตให้ได้ อัตราส่วนการบิต (y/w) 5.0, 6.0 และ 7.0 ยาว 1,600 mm ส่วนการทำแผ่นบิตผิวคลื่นนั้น จะทำ แผ่นอลูมิเนียมขึ้นรูปโดยเครื่องขึ้นรูปแผ่นวัสดุลอน

และสอดใส่หลอดทองแดงที่จุดกลางแผ่นบิตผิวคลื่น ดัง Figure 1 (a, b and c)

2) ข้อมูลชุดทดสอบและเงื่อนไขการทดลอง การทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อน ของท่อสอดใส่แผ่นบิตกรณีต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียด ของชุดทดสอบและเงื่อนไขขอบเขต (Table 1)

Table 1. Test set and test scope condition

Equipment	Detail
Copper tube	D = 38.1 mm
Aluminum sheets	W = 38 mm, t = 2 mm, y = 190, 228 and 266 mm y/w = 5, 6 and 7
Blower	Blow air into the test tube
RTD-PT100 sensor	Measure the inlet and outlet temperatures
Thermocouple sensor	Measure the temperature of surface tube 15 points
KIMO CTV210	Measure velocity and flow rate
Dwyer DM-2000	Measure the pressure drop

3) การวิเคราะห์ผลการทดลอง
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ ซึ่งทำ การวิเคราะห์ผลของการไหลและการถ่ายเทความร้อนในรูปของตัวแปรต่าง ๆ โดยการถ่ายเทความร้อน

สามารถวิเคราะห์ได้จากเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number, Nu) การสูญเสียจากการไหลวิเคราะห์จาก ตัวประกอบตัวเสียดทาน (Friction Factor, f) และ สมรรถนะของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่แผ่นบิต

ชนิดต่าง ๆ พิจารณาจากค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re) ระหว่าง 4,000 - 8,000 โดยที่เลขเรย์โนลด์ขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} \quad (1)$$

เลขนัสเซลท์ (Nu) สามารถหาได้จากสมการ

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (2)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) สามารถหาได้จากสมการ

$$h = \frac{\dot{Q}}{A(T_w - T_b)} \quad (3)$$

ตัวประกอบความเสียดทาน (f) ได้จากการวัดค่าความดันตกคร่อม (ΔP) ระหว่างทางเข้ากับทางออกของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และคำนวณจากสมการ

$$f = \frac{2D\Delta P}{\rho LU^2} \quad (4)$$

ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) หาได้จาก

$$TEF = \frac{Nu_T / Nu_P}{(f_T / f_P)^{1/3}} \quad (5)$$

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การตรวจสอบอุปกรณ์การทดลอง

ในการตรวจสอบชุดทดลองนั้น ใช้การตรวจสอบกรณีของท่อเปล่า โดยนำผลการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานในท่อผิว

เรียบ ในรูปของตัวแปรเลขนัสเซลท์ และตัวประกอบความเสียดทานเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้กับสมการสหสัมพันธ์ในอดีตที่น่าเชื่อถือได้ โดยผลของการถ่ายเทความร้อนจากการทดลองนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจากสมการสหสัมพันธ์ของ Gneilinski [6] ดังสมการที่ (6) และ Dittus and Boelter [7] ดังสมการที่ (7) ส่วนตัวประกอบความเสียดทานเปรียบเทียบกับสมการสหสัมพันธ์ของ Blassius [8] ดังสมการที่ (8) และ Petukhov [9] ดังสมการที่ 9 เพื่อเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์การทดลอง

$$Nu = \frac{(f/8)(Re - 1,000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3} - 1)} \quad (6)$$

$$\text{เมื่อ } f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2}$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (7)$$

$$f = 0.316 Re^{-0.25} \quad (8)$$

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (9)$$

ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงใน Figure 4

จากการเปรียบเทียบ พบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือเลขนัสเซลท์จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าของ Gneilinski [6] โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 9.3% และ Dittus and Boelter [7] มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 9.3% ส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง เมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น และค่าตัวประกอบความเสียดทานจากการทดลองมีค่าน้อยกว่า Blassius [8] โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 3.8% และ Petukhov [9] มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 3.8%

2. ผลการทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อน
สำหรับกรณีท่อเปล่าและกรณีใส่แผ่นบิตชนิดต่างๆ
โดยกำหนดสัดส่วนการบิดที่ 5, 6 และ 7 มีช่วงเลข

เรย์โนลด์ ที่ 4,000-8,000 ได้แก่แผ่นบิตผิวเรียบ แผ่น
บิตผิวคลื่น และแผ่นบิตผิวคลื่นกึ่งกลางสอดใส่
ลวดทองแดง ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

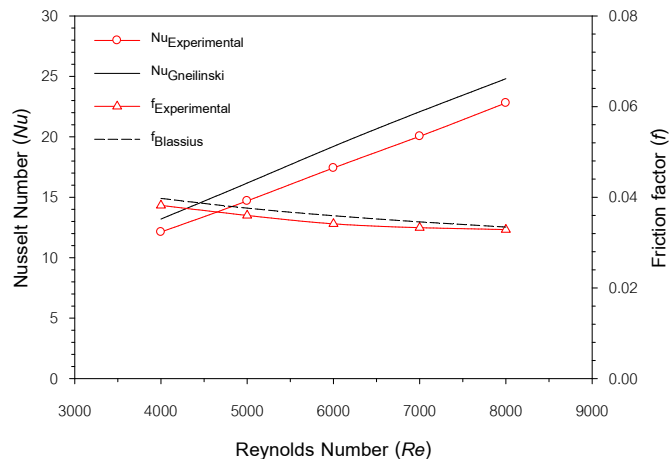


Figure 4. Compare the results of the experimental pipe and the former correlation equation

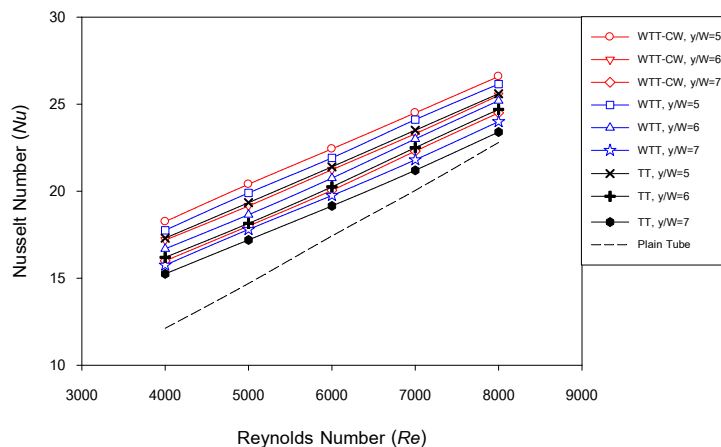


Figure 5. Relationship between Reynold number, Re and Nusselt number (Nu)

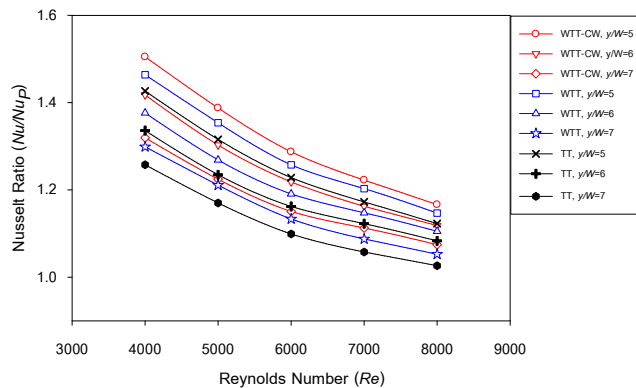


Figure 6. Relationship between Reynold number, Re and Nusselt number ratio, Nu/Nu_p

2.1 ผลการทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีท่อเปล่า (Plain type, PT), กรณีสอติสแผ่นบิดผิวเรียบ (Smooth surface twisted type, TT) กรณีสอติสแผ่นบิดผิวคลื่น (Wavy twisted type, WTT) และกรณีสอติสแผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอติสวดทองแดง (Wavy twisted type, WTT-CW) ดังแสดงใน Figure 5

จาก Figure 5 - 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเรย์โนลด์กับตัวเลขนัสเซลท์ของท่อเปล่า, กรณีในแผ่นบิดผิวเรียบ, แผ่นบิดผิวคลื่น และแผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอติสวดทองแดง ผลการทดลอง พบว่า ผลการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงด้วยค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) นั้น มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วของอากาศภายในท่อสูงขึ้น ทำให้เกิดการพาความร้อนได้มากขึ้น ส่งผลให้ชั้นขอบเขตทางความร้อนบริเวณใกล้ผนังบางลง เมื่อมีการสอติสแผ่นบิดผิวเรียบเข้าไปในท่อทำให้เกิดการไหลแบบหมุนควง (Swirling flow) ของไหลบริเวณผนังท่อเกิดความเร็วสูงขึ้นยิ่งทำให้ขอบเขตบางลงอีก ขณะที่แผ่นบิดผิวคลื่นนั้น

นอกจากจะทำให้เกิดการหมุนควงยังทำให้เกิดความปั่นป่วนของอากาศภายในท่อเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการพาความร้อนสูงขึ้น ส่วนแผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอติสวดทองแดงนั้นก็จะเพิ่มตามความปั่นป่วนซึ่งเกิดจากการทำให้ของไหลหมุนควงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ดังแสดงใน Figure 5 โดยเฉพาะแผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอติสวดทองแดง มีค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่าแผ่นบิดผิวเรียบและท่อเปล่า โดยเฉพาะเลขเรย์โนลด์ 4,000 ที่สัดส่วนการบิดเท่ากับ 5 ที่ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูง เมื่อเทียบกับท่อเปล่าร้อยละ 0.55, 0.52 และ 0.50 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนค่าเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_p) กับช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อทองแดง ที่ภายในใส่แผ่นบิดทั้ง 3 กรณี ดังแสดงใน Figure 6 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000-8,000 มีค่าอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนในตัวเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_p) อยู่ระหว่าง 1.12-1.58 โดยค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์แผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอติสวดทองแดงมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่าง 1.18-1.56

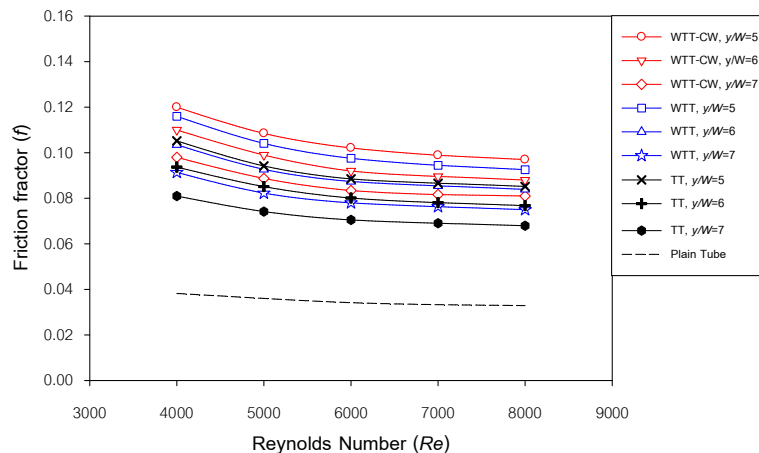


Figure 7. Relationship between Reynold number, Re and Friction factor, f

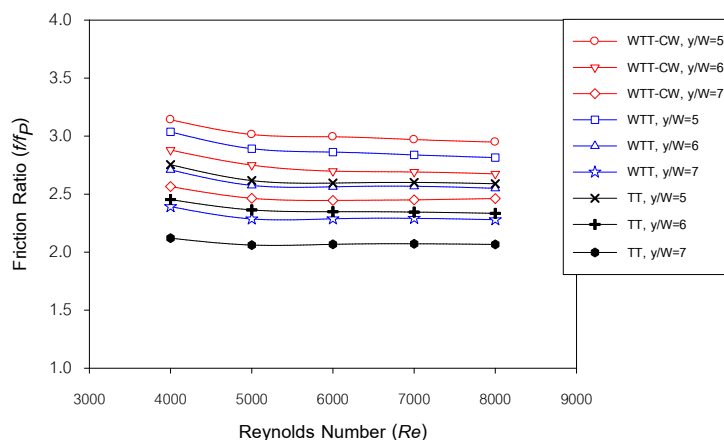


Figure 8. Relationship between Reynold number, Re and Friction factor ratio, (f/f_p)

จาก Figure 7-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบความเสียดทานของท่อเปล่าที่ใส่แผ่นบิดผิวเรียบใส่แผ่นบิดผิวคลื่น และแผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอดใส่หลอดทองแดง ดัง Figure 7. ผลจากการทดลอง พบว่า ค่าตัวประกอบความเสียดทานที่มีค่าสูง คือ แผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอดใส่หลอดทองแดง รองลงมาแผ่นบิดผิวคลื่น และ แผ่นบิดผิวเรียบโดยเฉพาะสัดส่วนการบิด

เท่ากับ 5 ช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000 ซึ่งเมื่อคิดเทียบกับท่อเปล่าเฉลี่ยร้อยละ 2.56, 1.81 และ 0.23 ตามลำดับ ส่วนสัดส่วนของตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_p) ของท่อ กรณีสอดใส่แผ่นบิดกรณีต่าง ๆ กับท่อเปล่า ดังแสดงใน Figure 8 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.08-3.20 โดยมีค่าสัดส่วนของแผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอดใส่หลอดทองแดงมีค่าสูงสุด

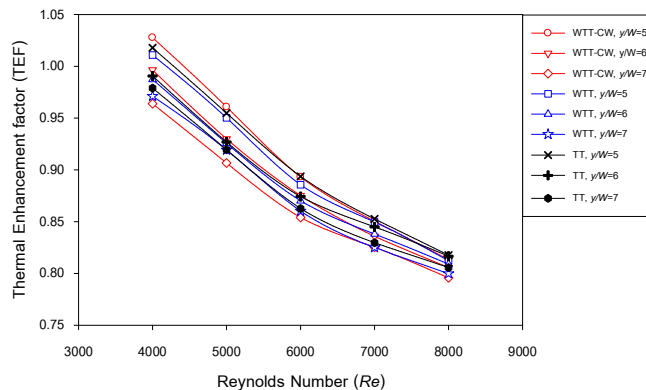


Figure 9. Relationship between Reynold number, (Re) and Thermal Enhancement factor, (TEF)

จาก Figure 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเรย์โนลด์ Re กับตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, TEF ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อนสูญเสียจากการไหลที่กำลังงานของพัดลมเดียวกัน พบว่า ค่าตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเททางความร้อนลดลง เมื่อเลขเรย์โนลด์สูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบแผ่นบิดแบบต่าง ๆ พบว่า แผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอดใส่หลอดทองแดงมีค่าสูงสุด รองลงมาแผ่นบิดผิวคลื่น และแผ่นบิดผิวเรียบตามลำดับ โดยแผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอดใส่หลอดทองแดงมีตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนความร้อนสูงสุดที่ 1.03 ที่เลขเรย์โนลด์ 4,000

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขอบเขตการใส่แผ่นบิดผิวเรียบ, แผ่นบิดผิวคลื่น และแผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอดใส่หลอดทองแดง ที่สัดส่วนการบิด (y/w) เท่ากับ 5, 6 และ 7 ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนตัวเลขเรย์โนลด์ ช่วง 4,000-8,000 โดยทำการ

ทดลองเปรียบเทียบกับท่อเปล่า (PT) ผลการทดสอบพบว่า แผ่นบิดผิวคลื่นกึ่งกลางสอดใส่หลอดทองแดงอัตราการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานสูงกว่าท่อทองแดงที่สอดใส่แผ่นบิดกรณีอื่นๆ และท่อเปล่า ซึ่งข้อค้นพบจากการวิจัยในครั้งนี้ คือ ชุดทดสอบแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้เหมาะสำหรับสัดส่วนการบิด (y/w) เท่ากับ 5 และช่วงเลขเรย์โนลด์ที่ 4,000 จะให้ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เท่ากับ 1.03

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาสัดส่วนการบิด (y/w) มีขนาดเท่ากับ 4, 3 และ 2
2. ควรพัฒนารูปแบบคลื่นแผ่นบิดในรูปแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้น
3. ควรมีเครื่องมือวัดสัดส่วนการบิด y/w ที่ชัดเจน
4. เครื่องมือวัดความดันตกคร่อม ควรใช้แบบดิจิตอลที่มีทศนิยม 4 หลักขึ้นไป
5. การควบคุมอุณหภูมิห้องทดสอบจะต้องมีอุณหภูมิคงที่



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ได้สนับสนุนสถานที่สำหรับการสร้างชุดทดลอง และครุภัณฑ์เครื่องมือต่าง ๆ ตลอดจนนักศึกษาด้านวิศวกรรมเครื่องกล ชั้นปี 4 (ภาคเสาร์-อาทิตย์) ที่ได้ช่วยสร้างชุดทดลองจนประสบความสำเร็จ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามเป้าหมายทุกประการ

คำอธิบายสัญลักษณ์

$\dot{q}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)
Nu	ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (-)
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
A	พื้นที่ผิวภายในท่อที่สัมผัสกับของไหล (m^2)
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
C_p	ค่าการจุความร้อนของของไหล (J/kgK)
T_b	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล ($^{\circ}C$)
T_o	อุณหภูมิทางออกของของไหล ($^{\circ}C$)
T_i	อุณหภูมิทางเข้าของของไหล ($^{\circ}C$)
T_w	อุณหภูมิเฉลี่ยต่อผิวท่อ ($^{\circ}C$)
n	จำนวนจุดที่วัดอุณหภูมิ (-)
f	ค่าความเสียดทาน (-)
ΔP	ค่าความดันตกคร่อม (Pa)
L	ค่าความยาวท่อ (m)
Re	เลขเรย์โนลด์ (-)
ρ	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)
d	ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)
μ	ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล ($N s/m^2$)
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/mK)

U	ค่าความเร็วของของไหล (m/s)
Nu_t	ค่าเลขนัสเซิลท์จากการทดลองแบบใส่แผ่นบิด (-)
Nu_p	ค่าเลขนัสเซิลท์จากการทดลองแบบท่อเปล่า (-)
f_t	ค่าตัวประกอบความเสียดทานจากการทดลองแบบใส่แผ่นบิด (-)
f_p	ค่าตัวประกอบความเสียดทานจากการทดลองแบบท่อเปล่า (-)

เอกสารอ้างอิง

- 1 Naga Sarada, S., Sita Rama Raju, A.V., Kalyani Radha, K. and Shyam Sunder, L. 2010. Enhancement of heat transfer using varying width twisted tape inserts. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. 2(6): 107-118
- 2 Wongcharee, K. and Eiamsa-ard, S. 2011. Heat transfer enhancement by twisted tapes with alternate-axes and triangular, rectangular and trapezoidal wing. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 50(2): 211-219
- 3 Wongcharee, K. and Eiamsa-ard, S. 2011. Friction and heat transfer characteristics of laminar swirl flow through the round tubes inserted with alternate clockwise and counter-clockwise twisted-tapes. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 38 (3): 348-352



- 4 Eiamsa-ard, S. and Promvonge, P. 2005. Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl generators. *Solar Energy*. 78(4): 483-494
- 5 Bhuiya, M.M.K., Chowdhury, M.S.U., Saha, M. and Islam, M.T. 2013. Heat transfer and friction factor characteristics in turbulent flow through a tube fitted with perforated twisted tape inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 46: 49-57
- 6 Gnielins, V. 1976. New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. *International Chemical Engineering*. 16: 359-368.
- 7 Dittus, F.W., and Boelter, L.M.K. 1930. Heat Transfer in Automobile radiators of the Tubular Type. *University of California Public Engineering*. 2(13): 443-461.
- 8 Blasius, H.Z. 1908. Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik (English: Journal of Applied Mathematics and Physics) 56: 1-37. English translation in NACA Technical Memo 1256.
- 9 Petukhov, B. S. (1970). Heat transfer and friction in turbulent pipe flow with variable physical properties. *Advances in Heat Transfer*. 6: 503-564. Edited by J. P. Hartnett and T. F. Irvine, Academic Press, (New York 1970).

การประยุกต์ใช้การถดถอยพหุคูณในการศึกษาปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่สำหรับออกกำลังกายที่มีผลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

Application of Multiple Regression in the Study of Health Behavioral Change Factors and Exercise Facilities Affecting the Body Mass Index of People in Mueang District, Phitsanulok Province

ปณณวิช คำรอด¹ และ ณัทธินี ดีแท้^{2*}

Pannawit Khamrot¹ and Natthinee Deetae^{2*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

¹ Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok

² Faculty of Science and Technology Pibulsongkram Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: natthineed@gmail.com

Received: 27 August 2020 /Revised: 01 October 2020 /Accepted: 02 October 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่สำหรับออกกำลังกายที่มีผลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 410 คน โดยใช้แบบสัมภาษณ์และแบบสำรวจรายการ (Checklist) ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสมการพยากรณ์ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่สำหรับออกกำลังกายที่มีผลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ ด้านภาวะทางร่างกายและจิตใจ ด้านแรงกระตุ้นจากสังคม ด้านอุปสรรคของการออกกำลังกาย ด้านสุขภาพ ด้านอุปกรณ์ ด้านสถานที่ และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก และได้สมการพยากรณ์สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ คือ

สมการถดถอยเชิงพหุคูณ

$$\hat{Y} = 6.991 - 0.110X_1 + 0.868X_2 - 0.040X_3 - 2.203X_4 + 0.599X_5 + 0.091X_6 + 0.186X_7$$

สมการในรูปคะแนนมาตรฐาน

$$Z_Y = -0.063Z_{x1} + 0.445Z_{x2} - 0.022Z_{x3} - 0.889Z_{x4} + 0.429Z_{x5} + 0.067Z_{x6} - 0.141Z_{x7}$$

คำสำคัญ: พฤติกรรม สุขภาพ สถานที่สำหรับออกกำลังกาย ดัชนีมวลกาย การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

Abstract

The objective of this research was the study of health behavioral change factors and exercise facilities affecting the body mass index of people in Mueang District, Phitsanulok province. The frequency and percentage were used to show the descriptive statistics of this research. For the inferential statistics, multiple regression was applied. The sample of this research was 410 people who lived in Mueang district, Phitsanulok province by using interview forms and a checklist. The results showed that the most suitable factors for the multiple regression equation for this research were physical and mental condition, social impulse, the obstacle of exercise, health, equipment, place and convenience.

Raw score

$$\hat{Y} = 6.991 - 0.110X_1 + 0.868X_2 - 0.040X_3 - 2.203X_4 + 0.599X_5 + 0.091X_6 + 0.186X_7$$

Z score

$$Z_Y = -0.063Z_{x1} + 0.445Z_{x2} - 0.022Z_{x3} - 0.889Z_{x4} + 0.429Z_{x5} + 0.067Z_{x6} - 0.141Z_{x7}$$

Keywords: Behavior, Health, Exercise facilities, Body mass index, Multiple regression

บทนำ

สุขภาพที่ดีเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาคนและการพัฒนาคนเป็นจุดมุ่งหมายหลักของการพัฒนาประเทศ ปัจจัยด้านสุขภาพจึงเป็นพื้นฐานสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาวางแผนจัดการให้มีความพร้อม ประชากรจะต้องมีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรงทั้งสุขภาพกายและสุขภาพจิต การออกกำลังกายเป็นกลวิธีหนึ่งที่จะนำไปสู่การมีสุขภาพดีโดยที่พฤติกรรมการออกกำลังกายจะช่วยส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรค ซึ่งการออกกำลังกายแต่ละชนิดจะมีรูปแบบกระบวนการและหลักเกณฑ์แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงการดำเนินชีวิตของประชากรพบว่าวิถีการดำเนินชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี ล้วนส่งผลให้ประชาชนเคร่งเครียดกับการดำเนินชีวิต ส่งผลให้พฤติกรรม

สุขภาพในด้านต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป ละเลยการออกกำลังกาย จึงทำให้เกิดปัญหาสุขภาพในด้านต่าง ๆ ตามมา

การสำรวจพฤติกรรมการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายของประชากร พ.ศ. 2554 โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ ซึ่งเก็บข้อมูลจากประชากรที่มีอายุ 11 ปีขึ้นไป พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายของประชากรต่อครั้ง ร้อยละ 36.6 ของประชากรอายุ 11 ปีขึ้นไป เล่นกีฬาหรือออกกำลังกายในช่วง 1 เดือนก่อนวันสัมภาษณ์ครั้งละ 31-60 นาที รองลงมาซึ่งมีสัดส่วนใกล้เคียงกันคือครั้งละ 21-30 นาที (ร้อยละ 34.6) และพบว่าร้อยละ 8.5 ที่ออกกำลังกายครั้งละมากกว่า 60 นาทีขึ้นไป ปัญหาพฤติกรรมขาดการออกกำลังกายเป็นอีกปัญหาด้านสุขภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับประชาชน การขาดการออกกำลังกายจะทำให้

ประชาชนเกิดภาวะอ้วนได้และส่งผลกระทบต่อให้เกิดโรคแทรกซ้อนต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ โรคไขมันในเส้นเลือดสูง เป็นต้น ดังนั้นประชาชนควรปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการออกกำลังกายโดยออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมออย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมให้มีพฤติกรรมออกกำลังกายที่ดี ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการออกกำลังกาย การแบ่งเวลา การตระหนักและเห็นความสำคัญของการออกกำลังกาย เป็นต้น

จากความสำคัญของการออกกำลังกายภาครัฐจึงกำหนดให้การออกกำลังกายเป็นยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) และฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) แผนพัฒนาการกีฬาแห่งชาติฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2555-2559) แผนพัฒนาสุขภาพแห่งชาติฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) แผนพัฒนาจังหวัดพิษณุโลก (พ.ศ.2557-2560) และกรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุขต่างก็ให้ความสำคัญกับปัญหาด้านพฤติกรรมออกกำลังกาย ซึ่งทำให้มีการกำหนดแผนพัฒนาดังกล่าวเป็นวาระสำคัญของประเทศ ตลอดจนมีการสร้างนโยบายและแผนระดับชาติที่ชัดเจนขึ้นส่งผลให้มีการดำเนินการพัฒนา การสนับสนุน และการประสานงานระหว่างองค์กรมีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้ได้กระบวนการที่สะท้อนถึงลักษณะของพฤติกรรมออกกำลังกาย จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวิจัยเพื่อหาวิธีวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวให้ถูกต้องชัดเจน เห็นถึงภาพรวมของแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลง จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้สนใจศึกษาปัญหาตามแผนพัฒนาจังหวัดพิษณุโลก

(พ.ศ.2557-2560) และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติเพื่อแสดงข้อมูลสถิติ การใช้สถิติเชิงพรรณนา รวมไปถึงการใช้สถิติเชิงอนุมานเพื่อศึกษาปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่สำหรับออกกำลังกายที่มีผลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อศึกษาปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่สำหรับออกกำลังกายที่มีผลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมออกกำลังกาย สุขภาพ และสถานที่สำหรับออกกำลังกาย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินงานดังนี้

1. ประชากรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 20 ตำบล 173 หมู่บ้าน ซึ่งจำนวนประชากรในปัจจุบันมีจำนวน 218,798 คน [1]
2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา จำนวนทั้งสิ้น 410 คน จากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple random sampling) การคำนวณจากสูตรของ ทาโรยามาเน่ (Taro Yamane) [2] ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 5 ดังแสดงใน Table 1

Table 1. Number of population and samples used in the study

Order	District	Population	Sample	Order	District	Population	Sample
1	Wang Nam Khu	4126	6	11	Chom Thong	3860	6
2	Wat Chan	8431	12	12	Ban Krang	12215	18
3	Wat Phrik	8172	12	13	Ban Khlong	13249	19
4	Tha Thong	13513	20	14	Phlai Chumphon	7160	11
5	Tha Pho	23483	34	15	Makham Sung	5592	8
6	Samo Khae	15814	23	16	Aranyik	29951	43
7	Don Thong	13308	19	17	Bueng Phra	18104	26
8	Ban Pa	5722	9	18	Phai Kho Don	4143	6
9	Pak Thok	4869	7	19	Ngio Ngam	3392	5
10	Hua Ro	23917	34	20	Nai Mueang	64621	92

3. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและทันสมัย

4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามสำรวจรายการ (Check list) แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale)

5. การพัฒนาเครื่องมือสำหรับงานวิจัยดำเนินการสร้างและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือโดยผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบสอบถาม และให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านสถิติ ด้านการวิจัย และด้านสุขภาพตรวจสอบคุณภาพของความตรงตามเนื้อหา (Content validity) และทำการปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of item objectives congruence: IOC) ของเครื่องมือ และนำข้อสังเกตที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาทำการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือให้มีความ

ถูกต้องมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงนำเครื่องมือที่ได้ทำการปรับปรุงไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน และทำการหาค่าความเที่ยงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา ของ ครอน บ า ช (Cronbach's Alpha Coefficient) ได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของเครื่องมือทั้งฉบับ เท่ากับ 0.93 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่นำไปใช้ได้

6. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้แบบสอบถามครบตามจำนวนที่กำหนดไว้แล้ว จึงนำมาตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลที่ได้ แล้วจึงนำไปลงรหัสข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่สำหรับออกกำลังกายที่มีผลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลกในด้านพฤติกรรมการออกกำลังกาย (ด้านภาวะทางร่างกายและจิตใจ ด้านแรงกระตุ้นจากสังคม และด้านอุปสรรคของการออกกำลังกาย) สุขภาพ และ

สถานที่ออกกำลังกาย (ด้านอุปกรณ์ ด้านสถานที่ และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก) โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multinomial Linear Regression Analysis) [3]

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

โดย Y แทน ค่าของตัวแปรตาม

X_i แทน ค่าของตัวแปรอิสระ $i=0,1,2,\dots,n$

β_i แทน ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

$$i=0,1,2,\dots,k$$

ε แทน ค่าความคลาดเคลื่อน

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามเก็บรวบรวม

ข้อมูลซึ่งมีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 410 คน สามารถนำมาวิเคราะห์ ได้ดังนี้

Table 2. Number and percentage of general information

General information		Number	Percentage
Sex	Male	172	42.0
	Female	238	58.0
Congenital disease	Yes	142	34.6
	No	268	65.4
Body mass index	Very fat (>30)	35	8.5
	Fat (25.0-29.9)	88.5	21.6
	Overweight (23.0-24.9)	81.5	19.9
	Normal weight (18.6-22.9)	171.75	41.9
	Thin (18.5)	33.25	8.1

จาก Table 2 พบว่ากลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง (Female) ร้อยละ 58.0 เป็นเพศชาย (Male) ร้อยละ 42.0 ส่วนใหญ่เป็นผู้ที่ไม่มีโรคประจำตัว (No) ร้อยละ 65.4 เป็นผู้ที่มีโรคประจำตัว (Yes) ร้อยละ 34.6 และดัชนีมวลกาย ส่วนใหญ่มีน้ำหนักปกติเหมาะสม (Normal weight) คิดเป็นร้อยละ 41.9 รองลงมาอ้วน (Fat) คิดเป็นร้อยละ 21.6 และน้อยที่สุดคือผอมเกินไป (Thin) คิดเป็นร้อยละ 8.1

Table 3. An analysis of Factors affecting the body mass index of people in Mueang district, Phitsanulok province

Prediction variable	Model		
	<i>b</i>	β	Sig.
Exercise behavior			
- Physical and mental condition (X_1)	-0.110	-0.063	0.000*
- Social impulse (X_2)	0.868	0.445	0.000*
- The obstacle of exercise (X_3)	-0.040	-0.022	0.001*
Health (X_4)	-2.203	-0.889	0.000*
Exercise location			
- Equipment (X_5)	0.599	0.429	0.000*
- Place (X_6)	0.091	0.067	0.000*
- Convenient (X_7)	-0.186	-0.141	0.000*
Constant	6.991		0.000*
<i>R</i>		0.989	
R^2		0.979	
R^2 adjusted		0.979	
F		8.969	
Sig F.		0.000*	
Durbin – Watson test		1.894	

จาก Table 3 พบว่าพฤติกรรมออกกำลังกาย ได้แก่ ด้านภาวะทางร่างกายและจิตใจ ด้านแรงกระตุ้นจากสังคม และด้านอุปสรรคของการออกกำลังกาย สุขภาพ และสถานที่ออกกำลังกาย ได้แก่ด้านอุปกรณ์ ด้านสถานที่ และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก มีผลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลกที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยด้านสุขภาพ ($Beta = -0.889$) มีอิทธิพลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนมากที่สุด รองลงมาคือด้านแรงกระตุ้นจากสังคม ($Beta = 0.445$) และด้านอุปสรรคของการ

ออกกำลังกาย ($Beta = -0.022$) มีผลต่อดัชนีมวลกายของประชาชนน้อยที่สุด

ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่ออกกำลังกายมีความสัมพันธ์ทางบวกกับดัชนีมวลกายของประชาชน ($R=0.989$) โดยสมการพยากรณ์สามารถทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 97.9 ($R^2 = 0.979$) และสามารถเขียนสมการได้ดังนี้
สมการถดถอยเชิงพหุคูณ

$$\hat{Y} = 6.991 - 0.110X_1 + 0.868X_2 - 0.040X_3 - 2.203X_4 + 0.599X_5 + 0.091X_6 + 0.186X_7$$

สมการในรูปคะแนนมาตรฐาน

$$Z_y = -0.063Z_{x1} + 0.445 Z_{x2} - 0.022Z_{x3} - 0.889Z_{x4} + 0.429Z_{x5} + 0.067Z_{x6} - 0.141Z_{x7}$$

อภิปรายผลและสรุป

ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 58.0 ส่วนใหญ่เป็นผู้ที่ไม่มีโรคประจำตัว คิดเป็นร้อยละ 65.4 และดัชนีมวลกายส่วนใหญ่มีน้ำหนักปกติเหมาะสม คิดเป็นร้อยละ 41.9 ในส่วนของ การวิเคราะห์ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่สำหรับออกกำลังกายที่มีผลต่อ ดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัด พิษณุโลก พบว่า พฤติกรรมการออกกำลังกาย ได้แก่ ด้านภาวะทางร่างกายและจิตใจ ด้านแรงกระตุ้น จากสังคม และด้านอุปสรรคของการออกกำลังกาย สุขภาพ และสถานที่ออกกำลังกาย ได้แก่ด้านอุปกรณ์ ด้านสถานที่ และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก มีผลต่อ ดัชนีมวลกายของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัด พิษณุโลกที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยปัจจัยการ เปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่ ออกกำลังกายมีความสัมพันธ์ทางบวกกับดัชนีมวลกาย ของประชาชน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สมนึก แก้ววิไล [4] ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผล การศึกษาพบว่า การรับรู้ประโยชน์ของการออกกำลังกาย การรับรู้ภาวะสุขภาพ การรับรู้ความสามารถแห่ง ตน แรงสนับสนุนทางสังคม และแรงสนับสนุนทาง สิ่งแวดล้อม มีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการ ออกกำลังกายของนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนการรับรู้อุปสรรค การออกกำลังกายมีความสัมพันธ์ทางลบกับพฤติกรรมการออกกำลังกายของนักศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิจัยยังพบอีกว่าปัจจัยการ เปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรม สุขภาพ และสถานที่ออก ก่อกำลังกายมีความสัมพันธ์กันและสมการพยากรณ์ สามารถทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 97.9 ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ จารุณี ศรีทองมูม [5] ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผล ต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของประชาชนที่มาออก ก่อกำลังกายที่สวนลุมพินีกรุงเทพมหานคร ตามกิจกรรมที่ ออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ 6 กิจกรรม ได้แก่ เดิน วิ่ง โยคะ เต้นแอโรบิค ลีลาศ และรำมวยจีน วิเคราะห์ ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ผลการศึกษา พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมทำนายพฤติกรรมการออก ก่อกำลังกาย ได้แก่ เชื้อชาติ เพศ ความรู้สึกที่สัมพันธ์กับ การออกกำลังกาย และปัจจัยแทรกแซงการออกกำลังกาย โดยสามารถร่วมกันทำนายพฤติกรรมการออก ก่อกำลังกายได้ร้อยละ 67.0 และยังสอดคล้องกับงานวิจัย ของ สุกัญญา ปานเจริญและปริทรรศน์ วันจันทร์ [6] ที่ ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลการศึกษา พบว่า การรับรู้สมรรถนะแห่งตนด้านการออกกำลังกาย และการสนับสนุนทางสังคมด้านการออกกำลังกาย ร่วมกันทำนายพฤติกรรมการออกกำลังกายได้ร้อยละ 40.60 ($p < .01$) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนพร แยมศรี [7] ได้ศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมการออก ก่อกำลังกายของนักศึกษาพยาบาลบรมราชชนนี เครือข่ายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ วิเคราะห์ข้อมูลด้วย สถิติสมการถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ผลการวิจัย พบว่า ปัจจัยการรับรู้ความสามารถของตนเองและ

อิทธิพลระหว่างบุคคลมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกาย โดยสามารถร่วมกันทำนายพฤติกรรมการออกกำลังกายได้ร้อยละ 19.6

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของประชาชนทั้งในวัยรุ่น วัยผู้ใหญ่ วัยทอง และวัยชรา
2. จากผลการศึกษาที่ได้ควรนำไปสร้างนโยบายและแผนงานด้านการจัดการและการจัดกิจกรรมเพื่อให้ตรงกับความต้องการของประชาชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ระบบสถิติทางทะเบียนข้อมูล. [online]
available: <http://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statTDD/>. 2562.
2. Yamane, Taro. 1973. *Statistics: An Introductory Analysis*. 3rded. New York: Harper and Row Publications.
3. กัลยา วานิชย์บัญชา. 2550. *สถิติสำหรับงานวิจัย*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. สมนึก แก้ววิไล. 2552. *ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนักศึกษาระดับปริญญาตรีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

5. จารุณี ศรีทองทุม. 2550. *ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของประชาชนที่มาออกกำลังกายที่สวนลุมพินีกรุงเทพมหานคร*. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
6. สุกัญญา ปานเจริญ และ ปิรพรรณ วันจันทร์. 2550. *ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย*. *วารสารสภากาชาด*. 22(3): 80-90.
7. ธนพร แยมศร. 2559. *ปัจจัยทำนายพฤติกรรมการออกกำลังกายของนักศึกษาพยาบาลบรมราชชนนีศรีสุราษฎร์ธานี*. *วารสารพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต*. มหาวิทยาลัยบูรพา.

ผลของปริมาณผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพทางเนื้อสัมผัส คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของบราวนี่ฟลาวมันส์สำเร็จ

Effects of House Cricket (*Acheta domesticus*) Powder on the Texture, Sensory Properties and Nutritional Values of Cassava Flour-brownies

สุทธิดา สุเต็น¹, นันท์ยง เฟื่องขจรฟุ้ง^{1*}, ปัทมา หิรัญญภาส¹, จิราพร เวณุตตรานนท์¹ และธิดารัตน์ แสนพรหม¹

Suttida Suten¹, Nunyong Fuengkajhornfung^{1*}, Patthama Hirunyophat¹, Jiraporn Weenuttranon¹, and Tidarat Sanphom¹

¹สาขาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300.

¹Department of Home economic Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, 10300.

*Corresponding author: E-mail: nunyong.fu@ssru.ac.th

Received: 05 October 2020 /Revised: 04 November 2020 /Accepted: 16 December 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาปริมาณของผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพทางเนื้อสัมผัส คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของบราวนี่ฟลาวมันส์สำเร็จ โดยในการศึกษาได้ใช้บราวนี่ฟลาวมันส์สำเร็จที่มีการเสริมปริมาณของผงจิ้งหรีดระดับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด และเปรียบเทียบกับบราวนี่ที่ผลิตจากแป้งสาลี (สูตรควบคุม) จากผลการทดสอบคุณภาพทางเนื้อสัมผัส พบว่าปริมาณผงจิ้งหรีดที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยืดหยุ่น (springiness) มีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) การเพิ่มปริมาณของผงจิ้งหรีด (10, 20 และ 30%) มีค่าคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของผงจิ้งหรีด คือ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่าประกอบด้วยพลังงานทั้งหมด 401 กิโลแคลอรี/100 กรัม ความชื้น ไขมัน เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ ร้อยละ 17.99, 6.94, 15.78, 1.37 และ 57.92 ตามลำดับ โดยเฉพาะโปรตีน มีค่าเพิ่มขึ้น 2.06 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ: ผงจิ้งหรีด ฟลาวมันส์สำเร็จ บราวนี่ โปรตีน

Abstract

The objective of this study was to investigate cricket powder on the texture and sensory properties of cassava flour-brownies. The different levels of cricket powder in cassava flour-brownies including 10, 20, 30% (by total dry weight) and brownies made from 100% wheat flour (control) were studied. The increase of the cricket powder resulted in increased firmness, while springiness content seemed to be decreased compared to the control ($p \leq 0.05$). Increasing the amount of cricket powder (10, 20 and 30%) showed the liking score as slightly to moderately favorable. Therefore, the optimum amount was 30% cricket powder. The nutritional values showed the content of total energy, moisture, fat, ash, and carbohydrates as 401 kcal/100 g, 17.99%, 6.94%, 15.78%, 1.37% and 57.92%, respectively. Interestingly, the protein was increased by 2.06 times compared with the control sample.

Keywords: Cricket powder, Cassava flour, Brownies, Protein

บทนำ

องค์การอาหารและการเกษตรของสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization) หรือ FAO ได้คาดการณ์ว่าในปี พ.ศ.2593 ประชากรโลกจะเพิ่มขึ้น 9,000 ล้านคน โดยจำนวนประชากรกว่า 1 พันล้านคนทั่วโลก อยู่ในภาวะขาดแคลนอาหารและขาดสารอาหาร ทำให้ต้องมีการผลิตอาหารเพิ่มขึ้น เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการอาหารของประชากรโลก แต่ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้พื้นที่ทางการเกษตรลดลง ส่งผลอย่างมากต่อการผลิตอาหาร ประชากรส่วนใหญ่ไม่สามารถเข้าถึงอาหารที่มีคุณภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา และด้อยพัฒนา ดังนั้นแมลงจึงเป็นตัวเลือกที่มีการผลิตที่ยั่งยืน FAO ได้ออกมาแนะนำให้แมลงเป็นแหล่งอาหารสำหรับคนทั่วโลก [1] โดยเฉพาะจิ้งหรีดเป็นหนึ่งในแมลงที่ได้รับความนิยมในการเลี้ยง

มากที่สุดเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิด [2] นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพ โดยเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential amino acid) ซึ่งใกล้เคียงโปรตีนจากไข่ไก่ หมูปด และเนื้อไก่ [3] ทำให้มีการประยุกต์ใช้ผงจิ้งหรีดในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ คุกกี้ ขนมขบเคี้ยว และอาหารเสริม เป็นต้น

บรารวนี้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทุกวัยในรูปแบบของอาหารว่าง ลักษณะที่เด่นชัดของบรารวนี้จะเป็นขนมอบที่มีเนื้อสัมผัสแน่น มีสีน้ำตาลเข้มซึ่งเกิดจากผงโกโก้ ให้กลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ ส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตบรารวนี้คือ แป้งสาลี ซึ่งมีโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) และ โกลอะดิน (Gliadin) ที่มีผลโดยตรงต่อโครงสร้างและเนื้อขนม ที่ได้จากการเกิดกลูเตน

(gluten) ทำให้บราวนี่ขึ้นฟูและนุ่ม [4] แต่อย่างไรก็ตามพบผู้ป่วยโรคที่ป่วยด้วยโรคแพ้กลูเตนจากแป้งสาลีเพิ่มขึ้น ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่ปราศจากกลูเตน (Gluten-free diet) จึงมีความสำคัญต่อกลุ่มผู้ป่วยโรคที่แพ้กลูเตน [5] ในปัจจุบันมีข้อมูลจากงานวิจัยระบุว่าสามารถใช้ฟลาวมันส์สำหรับแป้งสาลีในการทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยมีคุณภาพเทียบเท่ากับแป้งสาลี ได้แก่ เค้ก และขนมปัง เป็นต้น [6] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพทางเนื้อสัมผัส คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของบราวนี่ฟลาวมันส์สำหรับแป้งสาลี เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับมันสำปะหลังที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ลดการนำเข้าของแป้งสาลี และที่สำคัญทำให้กลุ่มผู้ป่วยโรคที่แพ้กลูเตนสามารถเข้าถึงอาหารที่มีคุณภาพได้มากขึ้น

วิธีการวิจัย

1. การศึกษาปริมาณผงจิ้งหรีดในบราวนี่ฟลาวมันส์สำหรับแป้งสาลี

1.1 การเตรียมผงจิ้งหรีด

เริ่มจากการจิ้งหรีดมาลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 นาที [7] นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง [8] จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดผสม และผ่านตะแกรงเมชที่ความละเอียด 100 เมช จะได้ผงจิ้งหรีดที่มีปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแห้ง

1.2 การผลิตบราวนี่ฟลาวมันส์สำหรับแป้งสาลี

การพัฒนาสูตรบราวนี่ฟลาวมันส์สำหรับแป้งสาลี มีการดัดแปลงสูตรจากชัยวัฒน์ (2550) และการทดลองงานวิจัยเบื้องต้น (Preliminary test) พบว่าสูตรบราวนี่ฟลาวมันส์สำหรับแป้งสาลี ประกอบด้วย ฟลาวมันส์สำหรับแป้งสาลี (ตราชาว่า) ร้อยละ 24.40 เนยสดชนิดเค็ม ร้อยละ 16.25 น้ำตาลทรายขาว ร้อยละ 16.25 น้ำตาลทรายแดง ร้อยละ 16.25 ไข่ไก่ ร้อยละ 10.83 ผงวนิลา ร้อยละ 0.43 น้ำมันไขมันเต็ม ร้อยละ 10.83 ผงโกโก้ชนิดเข้ม ร้อยละ 4.33 และโซดาไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.43 โดยการเสริมปริมาณผงจิ้งหรีดที่ระดับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด สำหรับวิธีการผลิตบราวนี่เริ่มจากการร่อนส่วนผสมที่เป็นของแข็งเข้าด้วยกัน (ฟลาวมันส์สำหรับแป้งสาลี ผงวนิลา ผงโกโก้ชนิดเข้ม และโซดาไบคาร์บอเนต) จากนั้นนำไปผสมกับเนยสดชนิดเค็ม น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลทรายแดง โดยใช้เครื่องผสมอาหาร เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีให้เติมไข่ไก่ และน้ำมันไขมันเต็ม ซึ่งส่วนผสมทั้งหมด 800 กรัม ใส่ในพิมพ์สี่เหลี่ยมขนาด 22x23x5 เซนติเมตร นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วตัดเป็นชิ้นขนาด 5x5 เซนติเมตร [9] จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัสและประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นบราวนี่ที่ผลิตจากแป้งสาลี

1.3.1 คุณภาพทางเนื้อสัมผัส

นำตัวอย่างบรวนนี้ที่ตัดเป็นชิ้นแล้วมาวัดคุณภาพเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT2, Stable Micro System Ltd., UK) ใช้หัววัดชนิดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (P/100) กดลงบนตัวอย่างอาหาร 2 ครั้ง (Texture Profile Analysis, TPA) โดยตั้งค่าความเร็วก่อนวัดและขณะวัด 1 มิลลิเมตร/วินาที และความเร็วหลังวัด 10 มิลลิเมตร/วินาที เป็นระยะทางร้อยละ 25 ของความสูงตัวอย่าง ในการกดครั้งที่ 2 ให้ทิ้งระยะห่างนาน 60 วินาที [10] การรายงานผลเป็นค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และความยืดหยุ่น (Springiness)

1.3.2 คุณภาพประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปที่ไม่ปฏิเสธการบริโภค บรวนนี้รับประทานจึงหัดได้ ไม่มีประวัติการแพ้แมลง ไคติน และโรคภูมิแพ้มาก่อน โดยนำบรวนนี้หลังออกจากกรอบ 2 ชั่วโมง เพื่อตัวอย่างเย็นตัวลงเหมาะสมต่อการทดสอบ โดยใช้ผู้ทดสอบซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จำนวน 50 คน ทั้งผู้หญิงและผู้ชาย อายุระหว่าง 18-35 ปี เพื่อประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยคะแนนเท่ากับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุดและคะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

2. การศึกษาปริมาณคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

นำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ดังนี้

2.1 พลังงานทั้งหมด โดยการคำนวณจากผลรวมของร้อยละคาร์โบไฮเดรต $\times 4$ ร้อยละไขมัน $\times 9$ และร้อยละโปรตีน $\times 4$ [11]

2.2 ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า จากนั้นนำมาคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยการคำนวณจากสูตร $100 - (\text{ผลรวมของปริมาณร้อยละความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า})$ [11]

3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเนื้อสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพประสาทสัมผัส และวางแผนการทดลองแบบ Independent-Sample T-test สำหรับการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการศึกษา

1. ผลคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของปริมาณผงจิ้งหรีดในบราวนี่ฟลาวม้นสำปะหลัง

ผลการศึกษาคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของบราวนี่ฟลาวม้นสำปะหลัง จากการเสริมปริมาณผงจิ้งหรีดที่ระดับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (Table 1) พบว่าเมื่อปริมาณ

ผงจิ้งหรีดเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อ มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยืดหยุ่น มีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยการใช้ฟลาวม้นสำปะหลัง ซึ่งมีใยอาหารสูง [12] ร่วมกับผงจิ้งหรีดอาจมีผลต่อโครงสร้างของบราวนี่ โดยทำให้ส่วนผสมก่อนอบมีลักษณะชื้นเหนียวลง และผลิตภัณฑ์หลังอบมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น

Table 1. Texture properties of cricket powder with different levels of cassava flour-brownies

Texture properties	Cricket powder (%)			
	Control*	10	20	30
Firmness (g force)	1009.50±60.10 ^c	1044.50±36.06 ^b	1045.00±2.82 ^b	1379.00±21.21 ^a
Springiness (%)	32.69±21.21 ^a	30.06±0.79 ^b	28.73±0.90 ^{bc}	28.14±0.19 ^c

^{a-c} Means in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

2. ผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปริมาณผงจิ้งหรีดในบราวนี่ฟลาวม้นสำปะหลัง

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของจากการเสริมปริมาณผงจิ้งหรีดที่ระดับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (Table 2) พบว่าการใช้ฟลาวม้นสำปะหลังร่วมผงจิ้งหรีด ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการวัดคุณภาพทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer บราวนี่ที่ได้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากการที่ฟลาวม้นสำปะหลังมีองค์ประกอบของใยอาหารจึงทำให้ในระหว่างการอบสามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้ บราวนี่ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่น มีคะแนน

ความชอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับของผู้บริโภค อยู่ในช่วง 6.58-6.68 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณผงจิ้งหรีดในบราวนี่ ฟลาวม้นสำปะหลังไม่ส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.56-6.95 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) ซึ่งมีคะแนนความชอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากผงโกโก้ที่สามารถปกปิดกลิ่นรสของผงจิ้งหรีดได้ จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์บราวนี่ฟลาวม้นสำปะหลังเสริมผงจิ้งหรีดร้อยละ 30 มากที่สุด

Table 2. Sensory properties of cricket powder with different levels of cassava flour-brownies

Sensory attributes	Cricket powder (%)			
	Control*	10	20	30
Appearance ^{ns}	6.71±0.73	6.71±0.78	6.65±0.79	6.95±0.76
Color ^{ns}	6.60±0.74	6.85±0.79	6.88±0.73	6.85±0.68
Odor ^{ns}	6.61±0.78	6.60±0.88	6.76±6.7 6.76±0.74	6.66±0.84
Taste ^{ns}	6.56±1.15	6.56±0.83	6.58±0.92 6.58±0.97	
Texture	5.96±1.23 ^b	6.61±0.85 ^{ab}	6.58±0.99 ^{ab} 6.68±0.99 ^a	
Overall liking ^{ns}	6.40±0.99	6.66±0.80	6.70±0.78	

^{a, b}Means in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns}Means of all treatments in the same row are not significantly different ($p > 0.05$).

* Control is brownies made from 100% wheat flour

3. คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

เมื่อนำตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นบราวนี่ที่ผลิตจากแป้งสาลี และผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่พัฒนาได้ คือ บราวนี่ฟลาวมันส์แป้งหลังเสริมผงจิ้งหรีดร้อยละ 30 มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ (Table 3) พบว่า ผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่พัฒนาได้ มีปริมาณพลังงานทั้งหมด ความชื้น ไขมัน และเถ้าไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้น และคาร์โบไฮเดรต มีค่าลดลง ($p \leq 0.05$)

โดยเฉพาะโปรตีน มีค่าเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างควบคุม 2.06 เท่า ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของปริมาณผงจิ้งหรีด นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของโปรตีนยังสามารถทดแทนปริมาณโปรตีนที่หายไปจากการฟลาวมันส์แป้งหลังทดแทนแป้งสาลี โดยรายงานของ ขนบปังที่มีการใช้แป้งสาลี ร้อยละ 100 จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการใช้แป้งสาลีร่วมกับ ฟลาวมันส์แป้งหลัง [13]

Table 3. Nutritional values of control brownies and cassava flour-brownies with 30% cricket powder supplement

Nutritional values	Control*	Developed cassava flour-brownies
Energy (calories) ^{ns}	399.57±1.01	401.46±0.46
Moisture (%) ^{ns}	18.17±0.17	17.99±0.43
Protein (%)	3.37±0.03 ^b	6.94±0.05 ^a
Fat (%) ^{ns}	15.45±0.51	15.78±0.21
Ash (%) ^{ns}	1.25±0.04	1.37±0.03
Carbohydrate (%)	61.76±0.68 ^a	57.92±0.67 ^b

^{a, b} Means in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Means of all treatments in the same row are not significantly different ($p > 0.05$).

* Control is brownies made from 100% wheat flour

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาการเสริมปริมาณผงจิ้งหรีดที่ระดับร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด พบว่าปริมาณผงจิ้งหรีดที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความแน่นเนื้อ มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยืดหยุ่น มีค่าลดลง เนื่องจากการใช้ฟลาวมันส์ล่าปะหลัง ซึ่งมีใยอาหารสูง [12] ร่วมกับการใช้ผงจิ้งหรีด จะไปลดบทบาทการทำหน้าที่ของโปรตีนกลูเตน ซึ่งพบมากในแป้งสาลี โดยโปรตีนกลูเตนทำให้เกิดโครงสร้างความยืดหยุ่น และความนุ่มให้กับผลิตภัณฑ์ [4] ทำให้ส่วนผสมก่อนอบมีลักษณะขึ้นเหนียวลดลง และผลิตภัณฑ์หลังอบมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการเพิ่มปริมาณผงจิ้งหรีด ยังส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ($p \leq 0.05$) แต่ไม่ส่งผลต่อลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p > 0.05$) เนื่องจากการลดลงขนาดอนุภาคให้อยู่ในรูปของผงจิ้งหรีด ทำให้ผู้บริโภคมีการ

ยอมรับในผลิตภัณฑ์อาหารจากแมลงมากกว่าอยู่ในลักษณะเป็นชิ้นหรือเป็นตัว [14] อีกทั้งผงโกโก้ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของบราวนี่ฟลาวมันส์ล่าปะหลังสามารถปกปิดลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และรสชาติของผงจิ้งหรีดได้ ทำให้มีคะแนนความชอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม นอกจากนั้นการเสริมผงจิ้งหรีดยังมีผลทำให้คะแนนความชอบทางเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับผลคุณภาพทางเนื้อสัมผัสจากการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยการเสริมผงจิ้งหรีดมีผลทำให้ความแน่นเนื้อของบราวนี่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์บราวนี่ชนิดเนื้อสัมผัสแน่น เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์บราวนี่ฟลาวมันส์ล่าปะหลังเสริมผงจิ้งหรีดร้อยละ 30 พบว่ามีปริมาณพลังงานทั้งหมด ความชื้น ไขมัน และเถ้า ใกล้เคียงกับบราวนี่ที่ผลิตจากแป้งสาลี แต่มีโปรตีนเพิ่มขึ้น 2.06 เท่า สามารถทดแทนปริมาณโปรตีนที่หายไปจากการฟลาว

มันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลี [13] สอดคล้องกับงานวิจัยการเสริมปริมาณผงจิ้งหรีดในผลิตภัณฑ์อาหาร ตั้งแต่ระดับร้อยละ 5-30 ในขนมปัง [15] เส้นพาสต้า [16] และขนมขบเคี้ยว [17] Agbali และคณะ [18] รายงานว่าการเสริมผงจิ้งหรีดที่ระดับร้อยละ 20-30 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองกรอบมีคุณลักษณะทางกายภาพ คุณภาพประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการสูงสุด โดยเฉพาะเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญ ซึ่งพบว่าผงจิ้งหรีด (*Acheta Domesticus*) มีโปรตีนสูงถึง 60 กรัม/100 กรัม [16] ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ปริมาณร้อยละ 46-96 ของกรดอะมิโนทั้งหมด [19] นอกจากนั้นจิ้งหรีดยังเป็นแหล่งของพลังงาน เส้นใยอาหาร และแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ เหล็ก สังกะสี และแมงกานีส เป็นต้น [20] ซึ่งสามารถแก้ปัญหาทุพโภชนาการ จากภาวะโภชนาการต่ำ (Undernutrition) ได้ เช่น โรคขาดพลังงาน และโปรตีน [21] เป็นต้น โดยปริมาณพลังงาน และโปรตีนที่ควรได้รับประจำวันเท่ากับ 1000-2400 กิโลแคลอรีต่อวัน และ 50 กรัมต่อวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุ เพศ และกิจกรรมในระหว่างวัน [22]

สรุปผลการวิจัย

จากผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่ฟลาวมันสำปะหลังโดยปราศจากกลูเตน ปริมาณที่เหมาะสมของผงจิ้งหรีด คือ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งทำให้ได้บราวนี่ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่น และมีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัส อยู่ในช่วงขอบเล็กน้อยถึงขอบปานกลางซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์บราวนี่ฟลาวมันสำปะหลังเสริมผงจิ้งหรีด ยังเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาคุณธรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. Van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. and Vantomme, P. 2013. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
2. อุษาศรี เขียวระยับ. โปรตีนจิ้งหรีดสูงกว่าเนื้อวัว ทูตพาณิชย์แนะส่งออกป้อนคนมะกันนิยมเปิบแมลง [online] เข้าถึงได้จาก: https://www.matichon.co.th/news-monitor/news_1541023. 2562.
3. สีนินาฏ ศิริ และนฤมล แสงประดับ. 2553. ความหลากหลายและคุณค่าทางโภชนาการของแมลงกินได้ในพื้นที่ห้วยกุ่ม. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, กรุงเทพฯ.
4. ณนันทน์ แดงสังวาล. 2552. การใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.



5. Pichai, S. and Ratmanee, P. 2018. Product Development of Gluten-free Cracker. *Prawarun Agricultural Journal*. 15: 289-296.
6. สุณีย์ โชติฉินรนาท. แป้ง SAVA – ฟลาวมัน สำหรับทำ ไสยาไส้คั่ว ทางเลือกใหม่ ไร้กลูเตน [online] เข้าถึงได้จาก: <https://www.nstda.or.th/th/news/11507>. 2560.
7. Kamau, E., Mutungi, C., Kinyuru, J., Imathiu, S., Tanga, C., Affognon, H., Fiaboe, K. K. M. 2018. Moisture Adsorption Properties and Shelf-life Estimation of Dried and Pulverised Edible House Cricket *Acheta domesticus* (L.) and Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.). *Food Research International*. 106: 420-427.
8. Lucas-González, R., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A. and Viuda-Martos, M. 2019. Effect of Drying Processes in the Chemical, Physico-chemical, Techno-Functional and Antioxidant Properties of Flours obtained from House cricket (*Acheta domesticus*). *European Food Research and Technology*. 245: 1451-1458.
9. ชัยวัฒน์ แดงสังวาลย์. 2550. *บราวนี่*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แม่บ้าน.
10. Gomez, M., Doyague, M.J. and Hera. E. 2012. Addition of Pin-milled Peaflour and Air-classified Fractions in Layer and Sponge Cakes. *LWT-Food Science and Technology*. 46: 142-147.
11. AOAC. 2000 . *Official Methods of Analysis* (17th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
12. Dufer, D., O'Brien, G.M. and Best, R. 1996. *Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development*. Colombia: CIAT International Center for Tapioca Agriculture.
13. Masamba. K. and Jinazali, H. 2014. Effect of Cassava Flour Processing Methods and Substitution Level on Proximate Composition, Sensory Characteristics and Overall Acceptability of Bread Made from Wheat-Cassava Flour Blends. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*. 14: 2190-2203.
14. Gmuer, A., Guth, J. N., Hartmann, C. and Siegrist, M. 2016. Effects of the Degree of Processing of Insect Ingredients in Snacks on Expected Emotional Experiences and Willingness to Eat. *Food Quality and Preference*. 54: 117–127.
15. Osimani, A., Milanovic, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., et al. 2018. Bread Enriched with Cricket Powder (*Acheta domesticus*): A Technological, Microbiological and Nutritional Evaluation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 48: 150-163.



16. Duda, A., Adamczak, J., Chelminska, P., Juszkievicz, J. and Kowalczewski, P. 2019. Quality and Nutritional/Textural Properties of Durum Wheat Pasta Enriched with Cricket Powder. *Foods*. 8.
17. Igual, M., García-Segovia, P. and Martínez-Monzó, J. 2020. Effect of *Acheta domesticus* (house cricket) Addition on Protein Content, Color, Texture, and Extrusion Parameters of Extruded Products. *Journal of Food Engineering*. 282.
18. Agbali, F., Woomer, J. and Adedeji, A. A. 2017. Determination of Extrusion Parameters on the Properties of Ready-to-Eat Expanded Millet Snack Enriched with Arthropod (Cricket) Flour. *The 2017 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting (ASABE 2017), July 16-19, 2017*. Spokane, Washington.
19. Kourimska, L. and A. Adamkova. 2016. Nutritional and Sensory Quality of Edible Insects. *NFS Journal*. 4: 22-26.
20. Ghosh, S., S.M. Lee, C. Jung. and Meyer-Rochow, V. B. 2017. Nutritional Composition of Five Commercial Edible Insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 20: 686-694.
21. Bawa, M., Songsermpong, S., Kaewtapee, C. and Chanput, W. 2020. Nutritional, Sensory, and Texture Quality of Bread and Cookie Enriched with House Cricket (*Acheta domesticus*) Powder. *Journal of Food Processing and Preservation*. 8: e14601.
22. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2563. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.วี. โปรเกรสซีฟ

การพัฒนาชุดทดสอบสำหรับหาปริมาณความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ

Development of a Test Kit for Determining Water Hardness of Swimming Pools

เมมูน ซัตตาร์^{1,*}, นีรันดร์ บุญยั้ง¹ และ ฟารีดา หะยียะ²

Memoon Sattar^{1,*}, Nirun Boonying¹ and Fareeda Hayeeye²

¹คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตยะลา

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

¹Faculty of Sports and Health Science, Thailand National Sports University, Yala

²Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani

*Corresponding author; E-mail: memoonsattar@gmail.com

Received: 25 December 2020 /Revised: 20 January 2021 /Accepted: 19 February 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดทดสอบความกระด้างของน้ำโดยอาศัยหลักการพื้นฐานการหาความกระด้างรวมของน้ำด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอใช้เอริโอโครมแบล็คทีเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดลองแบบย่อส่วนและพัฒนาขึ้นเป็นชุดทดสอบความกระด้างของน้ำจากงานวิจัยพบว่าชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นสามารถหาค่าความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ และให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% เมื่อเทียบกับวิธีการไทเทรตแบบมาตรฐาน อีกทั้งยังสะดวกต่อการใช้งานและสามารถลดขั้นตอนการวิเคราะห์ ทำให้ทราบผลอย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่ถึง 1 นาที นอกจากนี้การหาค่าความกระด้างของน้ำด้วยชุดทดสอบยังมีต้นทุนในส่วนปริมาณของสารเคมีที่น้อยกว่าวิธีมาตรฐานแบบไทเทรต ถึง 95% ซึ่งเป็นจุดเด่นของชุดทดสอบความกระด้างของน้ำที่พัฒนาขึ้นนี้

คำสำคัญ: ความกระด้าง ชุดทดสอบ การไทเทรตด้วยอีดีทีเอ

Abstract

In this work, the water hardness test kit was developed base on the titration with EDTA by using Eriochrome black T as an indicator. The small-scale experiment was used for the water hardness test kits. From this study, the developed test kit can determine the hardness of the pool water, giving a percent relative error of less than 10% as compared with the standard titration method. The advantages of hardness analysis with test kits were a convenience for field test of local water and give quick results in 1 minute. In addition, the cost estimation of the test kit was lower than the standard method up to 95%.

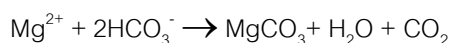
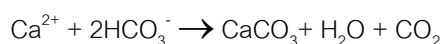
Keywords: Hardness, Testing kit, EDTA titration

บทนำ

การว่ายน้ำจัดว่าเป็นการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพที่ดีเหมาะกับทุกช่วงอายุทำให้ร่างกายแข็งแรงและช่วยกระตุ้นกล้ามเนื้อในทุก ๆ ส่วนของร่างกาย แต่ทั้งนี้การว่ายน้ำในสระว่ายน้ำที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าความเป็นกรดต่างที่สูงเกินไปในสระว่ายน้ำส่งผลให้สภาพพื้นของน้ว่ายน้ำเกิดการสึกกร่อนได้ง่าย [1-3] นิยมใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำอย่างไรก็ตามค่าคลอรีนอิสระในน้ำสูงเกินมาตรฐาน จะส่งผลเสียต่อน้ว่ายน้ำโดยเป็นอันตรายต่อผิวหนังและระคายเคืองตา [4, 5] อีกทั้งยังทำให้การควบคุมค่าความเป็นกรดต่างทำได้ยาก นอกจากนี้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนทำให้เกิดสารตกค้างที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารคลอรีนในรูป HOCl และ OCl⁻ ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยสารกลุ่มนี้ถูกจัดว่าเป็นกลุ่มสารก่อมะเร็ง เช่นกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (THMs) และกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก (HAAs) [6] ขึ้นเมื่อน้ว่ายน้ำมีสารเหล่านี้ก็จะส่งผลกระทบต่อคนว่ายน้ำ ทั้งนี้ได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำอยู่มากมาย เช่น การกำจัดกรดฮาโลอะซิติกด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน [7] และการกำจัดเชื้อโรคด้วยการควบคุมคุณภาพน้ำโดยใช้โอโซน [8, 9] นอกจากนี้ค่าคลอรีนและค่าความเป็นกรดต่างแล้วค่าความกระด้างของน้ำก็ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำในสระว่ายน้ำอีกด้วย โดยพบว่าสระว่ายน้ำที่มีค่าความกระด้างของน้ำในสระต่ำจะเกิดการกัดกร่อนขึ้นและส่งผลกระทบต่อระบบทำน้ร้อน อีกทั้งทำให้ระคายเคืองผิวหนังและตาของผู้ใช้งาน และหากค่าความกระด้างของน้ำสูงจะส่งผลให้น้ใน

สระว่ายน้ำตกตะกอนและขุ่น ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบกรองน้ำ ระบบทำน้ร้อน ระบบเกลือ ระบบท่อน้ำ ปัมของระบบหมุนเวียนน้ำของสระว่ายน้ำลดต่ำลง [10, 11] ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อทุกระบบของสระว่ายน้ำ ในงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นความสำคัญของการทดสอบหาปริมาณความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ

ความกระด้างของน้ำ (Water hardness) ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดจากธาตุในกลุ่มอัลคาไลน์ เอิร์ท หรือโลหะหมู่ 2 ในตารางธาตุ โดยเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศหรือการย่อยสลายสารอินทรีย์บนชั้นผิวน้ำดินโดยแบคทีเรีย แล้วรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อไหลซึมไปสัมผัสกับชั้นหินที่เป็นด่างโดยเฉพาะชั้นหินปูนซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) หรือ แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO₃) เป็นองค์ประกอบหลักก็จะละลายหินปูนมากับน้ำส่งผลให้น้มีปริมาณ Ca²⁺ หรือ Mg²⁺ มากขึ้นความกระด้างของน้ำจึงเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วปริมาณ Ca²⁺ หรือ Mg²⁺ จะเป็นตัววัดความกระด้างของน้ำ แสดงได้ดังปฏิกิริยาเคมี [12]



เนื่องจากน้ำที่มีความกระด้างจะเป็นน้ำที่มีหินปูน CaCO₃ ละลายอยู่ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณความกระด้างได้จากปริมาณหินปูนของ CaCO₃ และ รายงานในหน่วยมิลลิกรัมของ CaCO₃ ต่อน้ำ 1 ลิตร (mg L⁻¹) หรือส่วนในล้านส่วน (ppm)

จากประกาศของ กระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 1/2550 ว่าด้วยเรื่องการควบคุมการประกอบกิจการสระว่ายน้ำ ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของเคมีต่าง ๆ ในสระว่ายน้ำ โดยพบว่าค่าเคมีที่เกี่ยวข้องกับการ

บำบัดน้ำในสระว่ายน้ำจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ การฆ่าเชื้อโรค (คลอรีนอิสระ) และการรักษาสมดุลของน้ำ (ความเป็นกรดต่าง, ความกระด้าง และอัลคาไลน์ตีรวม) ความกระด้างของน้ำเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของน้ำในสระว่ายน้ำ โดยเป็นส่วนหนึ่งที่จะทำให้กระบวนการต่าง ๆ ในระบบการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ใช้งานสระว่ายน้ำ และยังป้องกันปัญหาน้ำเสีย ทั้งนี้ปริมาณความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานควรอยู่ในช่วง 80-100 ppm [13] ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณความกระด้างของน้ำจึงจำเป็นต่อการรักษาสมดุลของน้ำในสระว่ายน้ำ ทั้งนี้โดยทั่วไปการวิเคราะห์หาปริมาณความกระด้างของน้ำนั้นสามารถกระทำได้โดยอาศัยเทคนิคการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) เนื่องจาก EDTA สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้หลายชนิด จึงนิยมใช้เป็นไทเทรนต์ในการไทเทรตทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้ดีเนื่องจากเมื่อ EDTA แตกตัวให้โปรตอนไปทั้งหมด 4 ตัว ทำให้ EDTA เกิดคู่อิเล็กตรอนอิสระอยู่ 6 คู่ที่สามารถเกิดพันธะชนิดโคออร์ดิเนตกับโลหะได้ ดังนั้น EDTA จึงเป็นลิแกนด์ชนิด hexadentate ligand โดยจะเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนไม่มีสีในอัตราส่วน 1 โมล EDTA : 1 โมลของโลหะ โดยอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที่นิยมใช้ในการไทเทรตเพื่อหาจุดยุติสำหรับการไทเทรตสารประกอบเชิงซ้อนของ EDTA เนื่องจากเป็นสีย้อมทางอินทรีย์ที่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะได้ วิธีการไทเทรตนี้มีข้อจำกัดคืออาจมีค่าคลาดเคลื่อนหากดำเนินการซ้ำเนื่องจาก Ca^{2+} จะเกิดการตกตะกอนได้ [14] อีกทั้งยังจำเป็นต้องทำการ

วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและอาศัยนักเคมีที่มีความชำนาญในการวิเคราะห์เท่านั้นเนื่องจากวิธีการไทเทรตต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทางเคมีจำนวนมากทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายและมีความยุ่งยากสำหรับบุคคลทั่วไปที่ไม่มีช่างเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำในสระว่ายน้ำจำเป็นต้องทดสอบปริมาณความกระด้างทุกวัน การทดสอบด้วยวิธีการไทเทรตมีความยุ่งยากและความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากผู้ดูแลสระว่ายน้ำส่วนใหญ่มีช่างเคมี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาชุดทดสอบความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำเพื่อสามารถนำไปตรวจสอบปริมาณความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำได้โดยมีขั้นตอนการทดสอบที่ง่ายสามารถทราบผลได้ทันที มีความแม่นยำสูง และไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญเฉพาะด้าน โดยชุดทดสอบพัฒนาขึ้นมาจากการทดลองแบบย่อส่วนของการไทเทรตอาศัยการนับจำนวนหยดของน้ำยาทดสอบด้วยการใช้หลอดหยดที่ได้มาตรฐานจนกระทั่งน้ำตัวอย่างเปลี่ยนสี จากนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณความกระด้างของน้ำในเทอมของความเข้มข้นของ CaCO_3 ในหน่วย ppm ด้วยวิธีคำนวณอย่างง่ายและให้ผลลัพธ์รวดเร็วภายในเวลาไม่เกิน 1 นาที นอกจากนี้ชุดทดสอบที่ผลิตขึ้นยังมีราคาถูกกว่าชุดทดสอบที่วางขายตามท้องตลาดและมีประสิทธิภาพโดยให้ผลการทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% เมื่อเทียบกับวิธีการไทเทรต

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุและสารเคมี

สารละลายกรดวิเคราะห์ดังนี้ สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์จากบริษัท Merck แคลเซียมคาร์บอเนตและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจาก Kem Aus เอริโอโครม

แบลคที, เอทานอล 95% และไตรเอทานอลามีนจาก Merck เอทานอลามีน และเกลือของไดโซเดียม แมกนีเซียมอีดีทีเอ (EDTA MgNa_2) จาก Ajax Aus

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมสารละลายและหาค่าความกระด้างของน้ำด้วยวิธีการไทเทรต

การไทเทรตหาความกระด้างโดยใช้สารละลาย EDTA เป็นการหาผลรวมของสารที่ก่อให้เกิดความกระด้างโดยจะใช้เอริโอโครมแบลคที่เป็นอินดิเคเตอร์ [15] ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

1.1 การเตรียมสารละลาย

- สารละลายมาตรฐาน EDTA เข้มข้น 0.01 M

สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 0.01 M 25 cm^3 เติม $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ หนัก 0.03 g คนสารละลายเป็นเนื้อเดียวเพื่อทำให้เอริโอโครมแบลคที่ทำงานได้ดีขึ้น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 250 cm^3 เก็บสารละลายในขวดพอลิเอทิลีน

- สารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10

ซึ่งสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ หนัก 6.8 g ละลายกับสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ปริมาตร 57 cm^3 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 cm^3 เก็บสารละลายบัฟเฟอร์ในขวดพลาสติก หรือขวดแก้วบอโรซิลิเกต ปิดจุกให้แน่นและไม่ควรเก็บสารนี้เกิน 1 เดือน

- สารละลายอินดิเคเตอร์

ซึ่งเอริโอโครมแบลคที่หนัก 0.15 g ละลายในสารละลายไตรเอทานอลามีน 15 cm^3 เติม 95% เอทานอล 15 cm^3 เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาลที่กันสารละลายถูกแสงสว่าง

- สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

ซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตที่อบจนแห้ง 0.2500 g ละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 M จนละลายหมดพอดี ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายที่ได้มีปริมาตรเป็น 250 cm^3

1.2 การหาปริมาณความกระด้างด้วยการไทเทรต

1.2.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA 0.01 M และการทำแบลงค์

ปิเปตสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 50 cm^3 เติมสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10 และหยดสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ 3-4 หยด ไทเทรตด้วยสารละลาย EDTA 0.01 M จนกระทั่งถึงจุดยุติซึ่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงแดงไปเป็นสีน้ำเงิน ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง หาค่าเฉลี่ย และคำนวณหาความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลาย EDTA จากปริมาตรของสารละลาย EDTA ที่ใช้ จากนั้นทำแบลงค์โดยการปิเปตน้ำกลั่น 50 cm^3 แทนสารละลายมาตรฐาน CaCO_3

1.2.2 การหาค่าความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ

การหาความกระด้างของน้ำตัวอย่างบริเวณสระว่ายน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ ทำการทดลองเช่นเดิมเพียงแต่เปลี่ยนจากสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 และน้ำกลั่นเป็นน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ ทำการทดลองซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาตรสารละลาย EDTA ที่ใช้ จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณความกระด้างของน้ำด้วยสมการที่ (1) [15]

$$\text{CaCO}_3 (\text{ppm}) = \frac{C_{\text{EDTA}} \times V_{\text{EDTA}} \times \text{M.W. CaCO}_3 \times 10^3}{V_{\text{sample}}}$$

เมื่อ C_{EDTA} คือ ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA (mol L^{-1}), V คือปริมาตรของสาร (cm^3) และ M.W. CaCO_3 = มวลโมเลกุลของ CaCO_3 คือ 100 g mol^{-1}

2. การเตรียมและการหาปริมาณความกระด้างของน้ำด้วยชุดทดสอบ

การเตรียมชุดทดสอบความกระด้างของน้ำอาศัยหลักการพื้นฐานของการไทเทรตและทำการทดลองแบบย้อยส่วนทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

2.1 การเตรียมสารละลาย

- สารละลายหมายเลข (1)

ละลายเอริโอโครมแบล็คทีนในสารละลายผสมของไตรเอทานอลามีนและเอทานอล 95% คนให้เป็นเนื้อเดียวกันจะได้สารละลายหมายเลข (1) ซึ่งเป็นสารละลายสีน้ำเงิน

- สารละลายหมายเลข (2)

เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นลงในน้ำกลั่น 40 cm³ คนให้เป็นเนื้อเดียวกันเติมเอทานอลามีน และ EDTAMgNa₂ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 cm³ การเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปทำให้อินดิเคเตอร์ทำงานได้ดีขึ้น สังเกตจุดยุติได้ง่ายขึ้น จากนั้นเติมสารละลายแอมโมเนียมบัพเฟอร์ pH10 และเติม EDTA ลงไปจะได้สารละลายหมายเลข (2) ซึ่ง 1 หยด = 20 ppm CaCO₃

- สารละลายหมายเลข (3)

เตรียมโดยการเจือจางสารละลายหมายเลข (2) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 cm³ จะได้สารละลายหมายเลข (3) ซึ่ง 1 หยด = 10 ppm CaCO₃

โดยทั้งนี้ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมชุดทดสอบทั้งหมดอาศัยหลักการพื้นฐานของการไทเทรตและทำการทดลองแบบย้อยส่วนพัฒนาจนเป็นชุดทดสอบความกระด้างของน้ำ

2.2 การหาความกระด้างของน้ำโดยใช้ชุดทดสอบ

2.2.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย EDTA 0.01 M

สารละลายมาตรฐาน CaCO₃ 10 cm³ เติมสารละลายหมายเลข (1) ลงไป 1-2 หยดเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นหยดสารละลายหมายเลข (2) ทีละหยดพร้อมทั้งเขย่าไปด้วย จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีชมพูม่วงไปเป็นสีฟ้า ดังแสดงใน Figure 1 จากนั้นคำนวณความกระด้างของน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำโดย 1 หยด = 20 ppm CaCO₃ ซึ่งก็คือน้ำตัวอย่างมีค่าความกระด้าง 20 ppm และหากต้องการค่าที่ใกล้เคียงและถูกต้องยิ่งขึ้น ทำการทดลองซ้ำโดยใช้ สารละลายหมายเลข (3) แทนสารละลายหมายเลข (2) ซึ่งจะให้ค่าความกระด้างของน้ำ 1 หยด = 10 ppm CaCO₃

2.2.2 การหาความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำ

ทำการทดลองเช่นเดิมโดยเปลี่ยนจากสารละลายมาตรฐาน CaCO₃ เป็นน้ำตัวอย่างจากสระว่ายน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ และเลือกใช้สารละลายหมายเลข (3) ในการวิเคราะห์เนื่องจากสามารถให้ค่าความกระด้างที่ใกล้เคียงกับค่าจริง

3. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ [16]

ค่าเฉลี่ยในการทดลองซ้ำโดยใช้สมการที่ (2) ความแม่นยำและความเที่ยงของการทดสอบปริมาณความกระด้างของน้ำสามารถคำนวณด้วยค่า S.D และ %RSD โดยใช้สมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2)$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$\%RSD = \frac{S.D.}{\bar{x}} \quad (4)$$

ผลการวิจัย

ผลของการหาความกระด้างของสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 โดยวิธีการไทเทรตและชุดทดสอบพบว่าให้ค่าความกระด้างที่ใกล้เคียงกันดังแสดงใน Table 1 และได้ทำการทดสอบหาความกระด้างของน้ำในสระว่ายน้ำจากแหล่งตัวอย่าง 6 แหล่ง คือ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติวิทยาเขตยะลา โรงแรมซีเอส ปัตตานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี และวิทยาเขตหาดใหญ่ โรงเรียนแหลมทองอุปถัมภ์ และสระว่ายน้ำเยลโล่ ปัตตานี พบว่า แหล่งน้ำทั้ง 6 แหล่งมีปริมาณความกระด้างไม่เกิน 100 ppm ตามค่ามาตรฐานของประกาศ กระทรวงสาธารณสุข ดังแสดงใน Table 2 นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ต้นทุนของการหาปริมาณความกระด้างของน้ำโดยวิธีการไทเทรตและการใช้ชุดทดสอบ พบว่าการหาปริมาณความกระด้างของน้ำด้วยวิธีการไทเทรตมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้เป็นจำนวนมากและราคาแพงถึงแม้จะใช้ได้ในระยะยาวแต่ทั้งนี้ในแง่ของสารเคมีที่ใช้การทดสอบของวิธีการไทเทรตในแต่ละครั้งจะใช้สารเคมีในปริมาณมากกว่าการใช้ชุดทดสอบ รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการทดสอบตั้งแต่ขั้นเริ่มต้นจนได้ค่าความกระด้างของน้ำ พบว่าการใช้ชุดทดสอบใช้เวลาเฉลี่ยเพียงไม่ถึง 1 นาที ซึ่งเร็วกว่าการทดสอบโดยการไทเทรตซึ่งมีความยุ่งยากและจำเป็นต้องอาศัยนักเคมีที่มีความชำนาญ

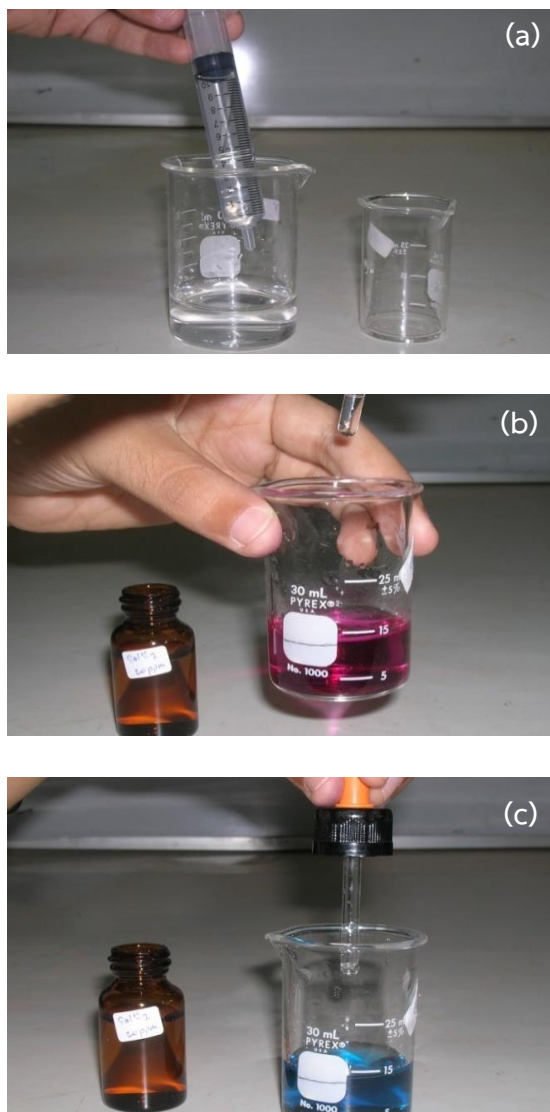


Figure 1 Procedures for using the test kit;

- (a) Sample water 10 cm³ (b) Drop of reagent No. 1 until a pink solution (c) Drop by drop of reagent No. 2 until the color changes from pink to blue

Table 1. Comparison of hardness analysis by using EDTA titration and test kit

Concentration of CaCO ₃ (ppm)	Hardness $\pm$ S.D. (ppm)		% Error between EDTA titration and test kits
	EDTA Titration* (%RSD)	Test Kits**; (%RSD)	
20	19 $\pm$ 0.57 (3.09)	20 $\pm$ 0.00 (0.00)	5
40	38 $\pm$ 1.53 (3.98)	40 $\pm$ 1.41 (3.53)	5
60	60 $\pm$ 1.25 (2.09)	60 $\pm$ 0.00 (0.00)	0
80	79 $\pm$ 1.75 (2.22)	80 $\pm$ 1.00 (1.25)	1
100	100 $\pm$ 2.52 (2.51)	100 $\pm$ 1.74 (1.74)	0
120	118 $\pm$ 1.53 (1.29)	120 $\pm$ 1.40 (1.17)	2

From *3 and **100 replicate analyses (Reagent No.3)

Table 2. Results of hardness testing of sample water from swimming pool

Sample water from swimming pool	Hardness (ppm) $\pm$ SD.		% Error between EDTA titration and test kits
	EDTA Titration* (%RSD)	Test Kits** (%RSD)	
TNSU Yala	86 $\pm$ 2.65 (3.08)	90 $\pm$ 1.00 (1.11)	4
PSU Hatyai	92 $\pm$ 3.05 (3.33)	100 $\pm$ 1.40 (1.40)	9
CS Hotel Pattani	87 $\pm$ 4.04 (4.66)	90 $\pm$ 1.73 (1.79)	3

Table 2. Results of hardness testing of sample water from swimming pool (cont.)

Sample water from swimming pool	Hardness (ppm) $\pm$ SD.		% Error between EDTA titration and test kits
	EDTA Titration* (%RSD)	Test Kits** (%RSD)	
PSU Pattani	94 $\pm$ 3.05 (3.23)	100 $\pm$ 1.97 (1.98)	6
Lamtongupatam School	98 $\pm$ 2.08 (2.13)	100 $\pm$ 1.74 (1.74)	2
Yellow Swimming Pool Pattani	96 $\pm$ 4.04 (4.22)	100 $\pm$ 2.19 (2.22)	4

From *3 and **100 replicate analyses (Reagent No.3)

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เตรียมชุดทดสอบความกระด้างของน้ำโดยอาศัยหลักการพื้นฐานของการไทเทรตและการทดลองแบบย่อส่วน โดยในการเตรียมชุดทดสอบได้มีการเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปเพื่อทำให้อินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบล็คที่ทำงานได้ดีขึ้น สังเกตจุดยุติได้ง่ายขึ้นจากการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายEDTA ด้วยการใส่สารละลายมาตรฐาน CaCO_3 ไทเทรตกับสารละลาย EDTA จนสารละลายเปลี่ยนจากม่วงแดงเป็นสีฟ้าอย่างถาวร พบว่าปฏิกิริยาในการไทเทรตเป็นดังนี้ $\text{Ca}^{2+} + \text{Y}^{4-} \rightarrow \text{CaY}^{2-}$ โดยที่ 1 โมล $\text{Ca}^{2+} \equiv$ 1 โมล EDTA โดยจะได้ว่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายEDTA คือ 0.01 M นอกจากนี้พบว่า การวิเคราะห์ปริมาณความกระด้างของสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 และน้ำจากแหล่งน้ำตัวอย่างทั้ง 6 แหล่งโดยวิธีการไทเทรตซึ่งคำนวณจากปริมาตรของสารละลาย EDTA ที่ใช้และชุดทดสอบ ซึ่งคำนวณจากจำนวนหยดของสารละลายหมายเลข (3)

ที่ใช้ โดย 1 หยด มีปริมาตรประมาณ 0.05 cm^3 และให้ค่าความกระด้างของน้ำ 10 ppm ทำการทดลองแบบย่อส่วน พบว่าทั้ง 2 วิธีให้ค่าความกระด้างที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่า %RSD ที่ไม่เกิน 5 % อีกทั้งผลจาก Table 1 และ Table 2 พบว่า %RSD ของการใส่ชุดทดสอบมีค่าน้อยซึ่งเป็นการยืนยันว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำมีความเที่ยงและแม่นยำ นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนของค่าความกระด้างของน้ำจากการทดสอบด้วยชุดทดสอบเมื่อเทียบกับการไทเทรตมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% จากค่าทางสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำสามารถนำมาใช้แทนวิธีการไทเทรตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งจากการวิเคราะห์ต้นทุนทั้งในส่วนอุปกรณ์ วัสดุสารเคมี และเวลาที่ใช้ของการหาปริมาณความกระด้างของน้ำโดยวิธีการไทเทรตและชุดทดสอบแสดงให้เห็นว่าต้นทุนในการหาความกระด้างของน้ำโดยใช้ชุดทดสอบสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 80% และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบค่าความ

กระด้างของน้ำด้วยชุดทดสอบให้ผลการทดสอบที่รวดเร็วกว่าวิธีการไทเทรตถึง 95% ดังนั้นชุดทดสอบความกระด้างของน้ำจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการทดสอบค่าความกระด้างของน้ำเพื่อการควบคุมคุณภาพของน้ำในสระว่ายน้ำเนื่องจากการใช้ชุดทดสอบเป็นวิธีการที่สะดวกและไม่จำเป็นต้องใช้นักเคมีที่ชำนาญการอีกทั้งยังสามารถทดสอบในภาคสนามและสามารถทราบผลได้ในเวลาอันรวดเร็ว จากผลการวิจัยทั้งหมดเป็นการยืนยันว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำมีประสิทธิภาพ สามารถนำมาใช้แทนวิธีการไทเทรต นอกจากนี้ชุดทดสอบความกระด้างของน้ำยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบน้ำกระด้างให้สูงขึ้นโดยให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลงเมื่อเทียบกับวิธีไทเทรตด้วยการเตรียมสารละลายที่ใช้ทดสอบให้มีความเข้มข้นให้เหมาะสมกับแหล่งน้ำที่จะนำมาทดสอบ เพื่อให้จำนวนหยดที่ใช้ให้ค่าความกระด้างใกล้เคียงกับค่าความกระด้างของแหล่งน้ำที่นำมาทดสอบ

สรุปผลการวิจัย

ความกระด้างเป็นหนึ่งในค่าเคมีที่ใช้วัดสมมูลของน้ำในสระว่ายน้ำดังนั้นการหาปริมาณความกระด้างของน้ำจึงจำเป็นต้องทำได้ด้วยขั้นตอนง่าย ๆ จากการทดลองพบว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความกระด้างของน้ำใกล้เคียงกับวิธีการไทเทรตและพบว่า มีค่า%RSD ไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นการยืนยันว่าชุดทดสอบความกระด้างของน้ำมีความเที่ยงและแม่นยำมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปทดสอบนอกห้องปฏิบัติการในบริเวณสระว่ายน้ำได้อย่างสะดวกและให้ผลลัพธ์ในเวลาอันรวดเร็ว บุคคลทั่วไปสามารถใช้ชุดทดสอบความกระด้างของน้ำได้ง่าย

กว่าการไทเทรตที่จำเป็นต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งชุดทดสอบความกระด้างของน้ำที่พัฒนาขึ้นยังเหมาะสมกับการใช้งานภาคสนามบริเวณต่างๆ ที่นอกเหนือจากสระว่ายน้ำได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตยะลา ผู้สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2563 สัญญาทุนเลขที่ 11/2563

เอกสารอ้างอิง

1. Buczkowska, R.J., Łagocka, R., Kaczmarek, W., Górski, M. and Nowicka, A. 2013. Prevalence of dental erosion in adolescent competitive swimmers exposed to gas-chlorinated swimming pool water. *Clin. Oral. Invest.* 17: 579-583.
2. Chuenarrom, C., Daosodsa, P. and Charoenphol, P. 2014. Effect of excessive trichloroisocyanuric acid in swimming pool water on tooth erosion. *Songklanakarin J. Sci.& Technol.* 36 (4): 445-450.
3. Hara, A.T, Carvalho, J.C and Zero. D.T. 2015. In Causes of dental erosion: extrinsic factors. dental erosion and its clinical management. New York: Springer: 69-96.
4. Delgado, A.J and Olafsson, V.G. 2017. Acidic oral moisturizers with pH below 6.7 may be harmful to teeth depending on formulation: A



- short report. *Clin. Cosmet. Inves. Dent.* 9: 81-83.
5. Huihui, Z., Linyan, Y., Yejin. L., Weibo X., Kai, L., Yingqi, X. Shujuan, M. and Guomin, C. 2020. Environmental occurrence and risk assessment of haloacetic acids in swimming pool water and drinking water. *RSC Adv.* 10, 28267-28276.
 6. Janthong, J. 2010. *Factors affecting trihalomethanes formation in chlorinated tap water and swimming pool water*. Master of Science thesis in Environmental Science, Silpakorn University. (in thai).
 7. Yang, L. Zhou, J. She, Q. P. Wan, M. Wang, R. Chang V.W.C and Tang, C.Y. 2017. Role of calcium ions on the removal of haloacetic acids from swimming pool water by nano-Filtration: mechanisms and implications. *Water Res.* 11: 332-341.
 8. Cheema. W., Andersen, H.R. and Kamilla, M.S. 2018. Improved DBP elimination from swimming pool water by continuous combined UV and ozone treatment. *Water Res.* 147: 214-222.
 9. Kamilla, M.S, Spiliotopoulou, A. and Cheema, W. (2016). Effect of ozonation of swimming pool water on formation of volatile disinfection by-products-a laboratory study. *Chem. Engineer. J.* 289: 277-285.
 10. Pansee, S. (2012). *The possibility of using ozone to control water quality in swimming pools*. Master of science thesis in Environmental Science, Chulalongkorn University. (in Thai).
 11. Wirachti, C. (2008). *Swimming pool water quality management*. Master of Engineering, thesis in Environmental Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai).
 12. Felber, S. 2017. Water Fundamentals Handbook: Section 2 Water hardness, 1st Ed, Dri-Steem Corporation USA: 7-10.
 13. Permanent Secretary of Ministry of Public Health. 2007. Control of swimming pool operations, Ministry of Public Health. 1: 1-8. (in Thai).
 14. Reining, R. 2018. Titration Handbook, Theory and practice of titration: Section 6 Complexometric titrations, SI Analytics, Xylem brand Inc. 137-141.
 15. Ramya, P., Jagadeesh, A. Tirupathi E. and Venkateswara, L. 2015, A study on the estimation of hardness in ground water samples by EDTA titrimetric method, *Inter. J. Recent Scientific Research.* 6(6): 4505-4507.
 16. Ruengpapan, C. 2013. Basic statistic, 1st Edition, Department of Statistics, Faculty of Science, Khonkaen University. (in thai).

การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล

The Study of Concrete Properties Produced from Lime Dust and Basalt Dust Mixed with Biomass Ash and without Biomass Ash

จิรวัดน์ วิมุตตสิขวิริยา^{1*}

Cheellawad Vimuttasongviriya^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

¹ Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: jirawat.wm@bru.ac.th

Received: 17 February 2021 /Revised: 16 March 2021 /Accepted: 28 April 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล โดยคอนกรีตตัวอย่างแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ผลิตจากหินฝุ่น A หรือหินฝุ่นหินปูน และกลุ่มที่ผลิตจากหินฝุ่น B หรือหินฝุ่นบะซอลต์ แต่ละกลุ่มหลักจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มย่อยไม่ผสมเถ้าชีวมวล กลุ่มย่อยผสมเถ้าชีวมวล X หรือเถ้าชีวมวลไม้ยูคาลิปตัส และกลุ่มย่อยผสมเถ้าชีวมวล Y หรือเถ้าชีวมวลชานอ้อย ผลการวิจัยพบว่า ตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีความหนาแน่นมากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 5.68 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 56.05 มีความพรุนน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 29.53 และมีกำลังอัดมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 96.45 ส่วนตัวอย่างที่ผลิตจากหินฝุ่น B มีความหนาแน่นมากกว่าที่ผลิตจากหินฝุ่น A เฉลี่ยร้อยละ 7.01 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 17.72 มีความพรุนน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 17.87 และมีกำลังอัดมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 7.99 สำหรับตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X มีความหนาแน่นมากกว่าตัวอย่างไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 2.24 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 21.83 มีความพรุนน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 7.88 และมีกำลังอัดมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 17.49 ตลอดจนตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล Y มีความหนาแน่นมากกว่าตัวอย่างไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 1.64 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 22.72 มีความพรุนน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 6.22 และมีกำลังอัดมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 22.22 การวิจัยนี้ยังพบอีกว่า หินฝุ่น B สามารถใช้ผลิตคอนกรีตทรงที่บตันได้ดีเช่นเดียวกับหินฝุ่น A และคอนกรีตที่ผสมเถ้าชีวมวล X หรือ Y จะช่วยให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น

คำสำคัญ : คอนกรีตผลิตจากหินฝุ่น, เถ้าชีวมวล, หินฝุ่นหินปูน, หินฝุ่นบะซอลต์

Abstract

The objective of this research was to study of properties of concrete produced from lime dust and basalt dust mixed with biomass ash and without biomass ash. The concrete samples divided into 2 main groups: the group of concrete from dust A or lime dust concrete and the group of concrete from dust B or basalt dust concrete. Each main group divided into 3 subgroups: the group of non-biomass ash concrete, the group of concrete from biomass ash X or eucalyptus biomass ash concrete and the group of concrete from biomass ash Y or bagasse biomass ash concrete. The research results found that samples of the 1:8 ratio had more average density (5.68%), less average water absorption (56.05%), less average porosity (29.53%) and more average compressive strength (96.45%) when compared to that of the 1:24 ratio. The samples from dust B had more average density (7.01%), less average water absorption (17.72%), less average porosity (17.87%) and more average compressive strength (7.99%) when compared to that of the dust A samples. The samples from biomass ash X had more average density (2.24%), less average water absorption (21.83%), less average porosity (7.88%) and more compressive strength (17.49%) when compared to that of the non-biomass ash. Moreover, samples from biomass ash Y had more average density (1.64%), less average water absorption (22.72%), less average porosity (6.22%) and more average compressive strength (22.22%) when compared to that of the non-biomass ash. This research also found that dust B produced solid shape of concrete as well as dust A, and concrete with biomass ash X or Y increased the mechanical properties.

Keywords: Concrete produced from dust stone, Biomass ash, Lime dust, Basalt dust

บทนำ

คอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนหินย้อย และทรายนิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกสำหรับ ก่อผนังหรือคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น หนึ่งคอนกรีต ที่ผลิตจากหินฝุ่นมีจุดเด่นหลายด้าน เช่น ต้นทุน การผลิตต่ำ ทนสภาพแวดล้อมได้ดี ระบายน้ำได้ดี และเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี เป็นต้น ในพื้นที่จังหวัด บุรีรัมย์นิยมผลิตคอนกรีตบล็อกก่อผนังจากหินฝุ่น

หินปูนซึ่งขนส่งมาจากจังหวัดสระบุรี ในขณะที่จังหวัด บุรีรัมย์เป็นแหล่งผลิตหินเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ที่สำคัญแหล่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนล่างและมีอุตสาหกรรมเหมืองหินในพื้นที่จำนวนมาก [1,2] กรมทรัพยากรธรณี [3] ได้รายงานการ จำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากร ธรณีของจังหวัดบุรีรัมย์ว่า พื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์มีหินอัคนี ประเภหิน บะซอลต์จำนวนมากอยู่บริเวณอำเภอเฉลิม

พระเกียรติและพื้นที่ทางใต้ของอำเภอเมืองบุรีรัมย์ ถ้ามีการนำหินฝุ่นบะซอลต์ซึ่งมีมากในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์มาพัฒนาเป็นคอนกรีตบล็อกย้อมสีส่งผลดีต่อท้องถิ่นอย่างไรก็ตามการศึกษาคูณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่น บะซอลต์ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ยังมีอยู่อย่างจำกัด ทั้งนี้ สัจจะชาญ พรตมะลิ และประชุม คำพุ่ม [4] ได้ศึกษาคูณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนผสมหินฝุ่นบะซอลต์โพรงข่ายของจังหวัดบุรีรัมย์เพื่อใช้ผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพบว่า คอนกรีตบล็อกที่ใช้หินฝุ่นหินปูนผสมหินฝุ่นบะซอลต์ปริมาณมากมีผลทำให้ความหนาแน่น กำลังอัดและการนำความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูน ถึงแม้ว่าการใช้หินฝุ่นบะซอลต์ทำให้คุณสมบัติทางกลลดลงแต่หากถูกแก้ไขด้วยการนำสารผสมเพิ่มมาใช้ร่วมด้วยย่อมเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ทั้งนี้มีงานวิจัยได้นำเสนอการใช้สารผสมเพิ่มชนิดเถ้าชีวมวล (Biomass Ash) ในการพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง [5-11] งานวิจัยส่วนใหญ่พบว่า คอนกรีตผสมเถ้าชีวมวลร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนักซีเมนต์ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวล จากข้อมูลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาคูณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวลเพื่อนำผลมาประยุกต์ใช้กับคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนังในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาคูณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเชิงทดลอง (Experimental study) คุณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จัดหาวัสดุและทดสอบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการผลิตก่อนคอนกรีตตัวอย่าง จากนั้นจึงเลือกอัตราส่วนผสมโดยอ้างอิงจากอัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์และอัตราส่วนผสมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดำเนินการผลิตคอนกรีตตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ ทดสอบคุณสมบัติที่อายุ 28 วัน สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

วัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตตัวอย่าง

รายละเอียดวัสดุผลิตคอนกรีตตัวอย่างมีดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 เล่ม 1
2. หินฝุ่น : งานวิจัยนี้เลือกใช้หินฝุ่นจำนวน 2 ชนิด คือ หินฝุ่น A เป็นหินฝุ่นหินปูน (Lime Dust) มีสีเทาคล้ายซีเมนต์และมีสารอินทรีย์ปนเล็กน้อย [12,13] หินฝุ่น A มาจากโรงไหมหินอำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี และหินฝุ่น B เป็นหินฝุ่นบะซอลต์ (Basalt Dust) มีสีเทาปนเหลืองมาจากโรงไหมหินที่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของทางหลวงหมายเลข 226 ในตำบลสวายจิก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ หินฝุ่น B มีเปลือกดินและฝุ่นหินขนาดเล็กปะปนมาด้วย อนึ่งคุณสมบัติหินฝุ่นทั้ง 2 ชนิดแสดงใน Table 1 และการกระจายขนาดอนุภาคหินฝุ่นทั้ง 2 ชนิดแสดงใน Figure 1

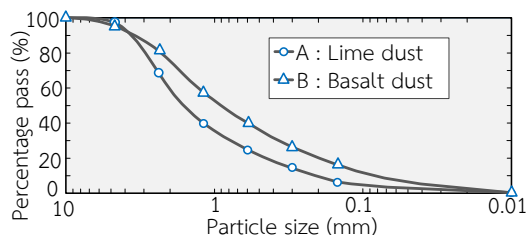


Figure 1. Dust stone particle size distribution

Table 1. Dust stone properties

Detail	Dust A	Dust B
Chemical properties (%)		
Silicon dioxide (SiO_2)	0.11	39.36
Aluminum oxide (Al_2O_3)	-	11.47
Iron oxide (Fe_2O_3)	0.04	25.88
Calcium oxide (CaO)	51.70	14.15
Potassium oxide (K_2O)	0.005	2.86
Magnesium oxide (MgO)	0.36	-
Manganese oxide (MnO)	-	0.39
Titanium dioxide (TiO_2)	-	5.47
Physical properties		
Water content (%)	0.37-1.85	1.33-2.94
Bulk Specific gravity	2.72	2.92
Fineness modulus	3.53	3.49

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบเคมีหลักของวัสดุเชื่อมประสานในงานคอนกรีต [14] คือ CaO SiO_2 Al_2O_3 และ Fe_2O_3 จาก Table 1 พบว่า หินฝุ่น A มีปริมาณองค์ประกอบเคมีหลักรวมกันร้อยละ 51.85 ส่วนหินฝุ่น B มีปริมาณองค์ประกอบเคมีหลักรวมกันร้อยละ 90.86 ถึงแม้ว่าหินฝุ่น A จะมีองค์ประกอบเคมีหลักรวมกันน้อยกว่าหินฝุ่น B แต่หินฝุ่น A มีปริมาณ CaO ร้อยละ 51.70 ซึ่งมากกว่าหินฝุ่น B ที่มีร้อยละ

14.15 อนึ่ง CaO หรือปูนขาว (Lime) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะช่วยให้การเชื่อมประสานมวลรวมได้ดี ในขณะที่ Figure 1 แสดงให้เห็นการกระจายตัวของอนุภาคหินฝุ่น B ซึ่งมีการกระจายขนาดกันดีกว่าหินฝุ่น A ส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk specific gravity) ของหินฝุ่น B มีค่ามากกว่าหินฝุ่น A และยังทำให้หินฝุ่น B มีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อยกว่าหินฝุ่น A อีกด้วย

3. แก้วชีวมวล : แก้วชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยได้จากอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งเลือกใช้ 2 ชนิด คือ ชนิด X เป็นแก้วชีวมวลไม้ยูคาลิปตัสจากอำเภอสตึกและชนิด Y เป็นแก้วชีวมวลชานอ้อยจากอำเภอดูเมือง คุณสมบัติแก้วชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 2 ชนิดแสดงใน Table 2, Figure 2, และ Figure 3

Table 2. Biomass ash properties

Detail	Ash X	Ash Y
Chemical properties (%)		
Silicon dioxide (SiO_2)	3.33	60.75
Aluminum oxide (Al_2O_3)	-	3.46
Iron oxide (Fe_2O_3)	1.63	9.63
Calcium oxide (CaO)	62.81	13.70
Potassium oxide (K_2O)	17.25	5.88
Sulfur trioxide (SO_3)	4.39	1.57
Manganese oxide (MnO)	2.45	0.84
Strontium oxide (SrO)	0.20	0.08
Phosphorous acid (P_2O_5)	2.17	2.61
Chlorine (Cl)	5.76	-
Zinc oxide (ZnO)	-	0.11
Zirconium dioxide (ZrO_2)	-	0.18
Titanium dioxide (TiO_2)	-	1.20

Table 2. Biomass ash properties (cont.)

Detail	Ash X	Ash Y
Physical properties		
Loss on Ignition (LOI)	4.9	13.4
Water content (%)	3.18	4.59
Retained on sieve #325 (%)	66.3	81.5
Passing sieve #200 (%)	91.7	49.0
Bulk Specific gravity	2.194	2.124

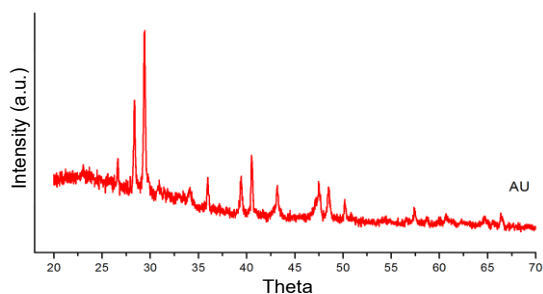


Figure 2. Chemical properties of biomass ash X

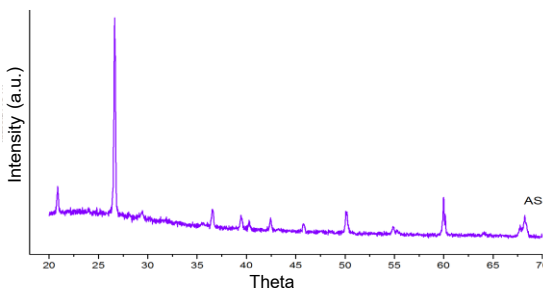


Figure 3. Chemical properties of biomass ash Y

พิจารณาองค์ประกอบเคมีหลักของวัสดุเชื่อมประสานจาก Table 2 พบว่า เถ้าชีวมวล X มีปริมาณ CaO ร้อยละ 62.81 ซึ่งมากกว่าเถ้าชีวมวล Y ที่มีเพียงร้อยละ 13.70 โดย CaO ในเถ้าชีวมวลเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะช่วยเชื่อมประสานมวลรวมได้เช่นเดียวกับที่มีในหินปูน นอกจากนั้นเถ้าชีวมวล X ยังมีปริมาณคังบอน

ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 66.3 ซึ่งน้อยกว่าเถ้าชีวมวล Y ที่ร้อยละ 81.5 แสดงว่าขนาดอนุภาคเถ้าชีวมวล X เล็กกว่าเถ้าชีวมวล Y ส่งผลให้การแทรกตัวเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเถ้าชีวมวล Y ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 73.84 จัดอยู่ในกลุ่มแร่ผสมเพิ่มชนิดเถ้าลอยประเภทที่ 1 ตามข้อกำหนดวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ว.ส.ท. 1014-40 [14] ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตเพิ่มขึ้นในระยะยาว

อัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมที่เลือกใช้ผลิตคอนกรีตตัวอย่างอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและอัตราส่วนผสมที่ใช้จริงในอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีตบล็อกของจังหวัดบุรีรัมย์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคอนกรีตบล็อกมักใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อหินปูนระหว่าง 1:4 ถึง 1:12 [15,16] ในขณะที่โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกในจังหวัดบุรีรัมย์ใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อหินปูนระหว่าง 1:15 ถึง 1:25 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคอนกรีตผสมเถ้าชีวมวลมักใช้เถ้าชีวมวลชนิดต่าง ๆ ระหว่างร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักซีเมนต์ [6-9] ตลอดจนมีข้อเสนอแนะให้คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อหินปูนหินปูน 1:4.3 ถึง 1:5 ควรใช้ปริมาณเถ้าชีวมวลที่เหมาะสมประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักซีเมนต์ [15] อนึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ปริมาณเถ้าชีวมวลร้อยละ 15 เนื่องจากมีบางอัตราส่วนผสมใช้ปริมาณหินปูนมากกว่างานวิจัยก่อนหน้านี้ สำหรับอัตราส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ 1 คอนกรีตผลิตจากหินปูน A และกลุ่มที่ 2 ผลิตจากหินปูน B โดยกลุ่มหลักแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยซึ่งแต่ละกลุ่ม



ย่อยมีจำนวน 5 อัตราส่วนผสม คือ กลุ่มย่อยที่ 1 เป็นคอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวล ได้แก่ A1 ถึง A5 และ B1 ถึง B5 กลุ่มย่อยที่ 2 เป็นคอนกรีตที่ผสมเถ้าชีวมวล X ได้แก่ AX1 ถึง AX5 และ BX1 ถึง BX5 และกลุ่มย่อยที่ 3 เป็นคอนกรีตที่ผสมเถ้าชีวมวล Y ได้แก่ AY1 ถึง AY5 และ BY1 ถึง BY5 สำหรับรายละเอียดอัตราส่วนผสมทั้ง 2 กลุ่มหลักแสดงใน Table 3 ทั้งนี้ข้อมูลปริมาณหินปูนและเถ้าชีวมวลที่ใช้เป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ใช้ระหว่าง 0.55-0.65

Table 3. Concrete mix ratios

Symbol	Cement:Dust stone:Biomass ash	w/c
Dust stone without biomass ash		
A1	1:8:0	0.55
A2	1:12:0	0.55
A3	1:16:0	0.55
A4	1:20:0	0.55
A5	1:24:0	0.55
B1	1:8:0	0.55
B2	1:12:0	0.55
B3	1:16:0	0.55
B4	1:20:0	0.55
B5	1:24:0	0.55
Dust stone with biomass ash X		
AX1	1:8:0.15	0.65
AX2	1:12:0.15	0.65
AX3	1:16:0.15	0.65
AX4	1:20:0.15	0.65
AX5	1:24:0.15	0.65
BX1	1:8:0.15	0.65
BX2	1:12:0.15	0.65
BX3	1:16:0.15	0.65
BX4	1:20:0.15	0.65

Symbol	Cement:Dust stone:Biomass ash	w/c
BX5	1:24:0.15	0.65
Dust stone with biomass ash Y		
AY1	1:8:0.15	0.65
AY2	1:12:0.15	0.65
AY3	1:16:0.15	0.65
AY4	1:20:0.15	0.65
AY5	1:24:0.15	0.65
BY1	1:8:0.15	0.65
BY2	1:12:0.15	0.65
BY3	1:16:0.15	0.65
BY4	1:20:0.15	0.65
BY5	1:24:0.15	0.65

ขนาดตัวอย่างและมาตรฐานการทดสอบ

ขนาดก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้เป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ซึ่งตัวอย่างทดสอบแต่ละกรณีใช้จำนวน 5 ก้อน [17-19] วิธีการหาความหนาแน่น การดูดกลืนน้ำ ความพรุน และกำลังอัดคอนกรีตอ้างอิง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2530; มอก. 566 มอก.109-2517; มาตรฐาน ASTM C20 และ ASTM C140 ตามลำดับ การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี ใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence : XRF) และเทคนิคการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer : XRD) สำหรับค่าสถิติที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i) / n \quad (1)$$

$$SD = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) / n} \quad (2)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติกันตัวอย่างแสดงใน Table 4 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความหนาแน่น

เมื่อพิจารณาผลทดสอบความหนาแน่นที่แสดงใน Table 4 และ Figure 4 กรณียเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินปูนชนิด

เดียวกันพบว่า คอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวล A1 มีความหนาแน่นมากกว่า A5 เฉลี่ยร้อยละ 5.37 และคอนกรีต B1 มีความหนาแน่นมากกว่า B5 เฉลี่ยร้อยละ 4.34 ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล X พบว่า คอนกรีต AX1 มีความหนาแน่นมากกว่า AX5 เฉลี่ยร้อยละ 6.67 และคอนกรีต BX1 มีความหนาแน่นมากกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 5.48

Table 4. Density, water absorption, porosity and compressive strength of concrete samples

Symbol	Density (kg/m ³)	SD	Water absorption (%)	SD	Porosity (%)	SD	Compressive strength (kg/cm ²)	SD
Dust stone without biomass ash								
A1	2,039	11.2	4.85	0.16	13.69	0.09	178.5	2.79
A2	2,028	10.4	5.56	0.14	14.54	0.08	165.7	2.52
A3	1,983	10.1	6.15	0.15	15.83	0.05	143.0	2.99
A4	1,973	12.7	6.48	0.12	16.42	0.05	115.2	1.55
A5	1,935	11.6	6.69	0.16	17.07	0.06	89.1	1.07
B1	2,186	8.4	3.91	0.09	11.70	0.09	200.0	3.26
B2	2,176	13.6	4.56	0.15	12.64	0.07	185.4	1.47
B3	2,142	11.7	4.96	0.08	13.54	0.05	149.3	1.60
B4	2,116	13.9	5.38	0.12	14.52	0.07	131.9	1.99
B5	2,095	10.4	5.64	0.14	15.11	0.07	108.2	1.47
Dust stone with biomass ash X								
AX1	2,111	8.4	3.61	0.15	12.58	0.01	242.1	1.29
AX2	2,089	13.6	4.03	0.19	13.88	0.05	207.1	3.69
AX3	2,030	11.7	4.61	0.17	14.83	0.07	162.7	2.21
AX4	1,999	13.9	5.24	0.12	15.38	0.04	122.2	1.98
AX5	1,979	10.4	6.13	0.16	16.28	0.06	111.3	1.35
BX1	2,253	12.8	3.24	0.13	10.58	0.05	245.7	2.77
BX2	2,205	6.8	3.75	0.09	11.44	0.05	211.3	2.71
BX3	2,185	10.5	4.19	0.21	12.36	0.01	170.0	2.28
BX4	2,149	11.8	4.69	0.06	13.16	0.03	133.9	1.81
BX5	2,136	14.3	4.98	0.16	13.97	0.04	116.5	0.89
Dust stone with biomass ash Y								

Table 4. Density, water absorption, porosity and compressive strength of concrete samples (cont.)

Symbol	Density (kg/m ³)	SD	Water absorption (%)	SD	Porosity (%)	SD	Compressive strength (kg/cm ²)	SD
AY1	2,113	15.5	3.56	0.16	12.90	0.08	227.7	2.69
AY2	2,074	18.2	4.35	0.15	14.07	0.06	207.9	2.38
AY3	2,038	21.5	4.50	0.21	15.14	0.04	165.1	2.61
AY4	1,995	11.9	5.51	0.34	15.74	0.06	134.7	1.87
AY5	1,961	10.7	5.94	0.27	16.75	0.05	122.6	2.02
BY1	2,211	22.9	3.12	0.12	10.65	0.08	237.7	1.88
BY2	2,189	22.3	3.50	0.03	11.51	0.05	223.5	2.85
BY3	2,167	8.8	3.97	0.27	12.43	0.05	193.6	3.46
BY4	2,148	19.7	4.59	0.23	13.31	0.06	146.8	2.07
BY5	2,116	15.9	5.11	0.06	14.06	0.07	132.5	2.08

สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล Y พบว่า คอนกรีต AY1 มีความหนาแน่นมากกว่า AY5 เฉลี่ยร้อยละ 7.75 และคอนกรีต BY1 มีความหนาแน่นมากกว่า BY5 เฉลี่ยร้อยละ 4.49 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างไม่ผสมเถ้าชีวมวลทั้งกลุ่ม A และกลุ่ม B มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 4.86 กลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล X ทั้งกลุ่ม AX และกลุ่ม BX มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 6.08 กลุ่มตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล Y ทั้งกลุ่ม AY และกลุ่ม BY มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 6.12 พิจารณาทุกกลุ่มพบว่า ความหนาแน่นคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 5.68 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสมซึ่งมีปริมาณหินปูนมากมีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง

กรณีเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินปูนต่างชนิดกันพบว่า

ความหนาแน่นคอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวลกลุ่ม B มีความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม A เฉลี่ยร้อยละ 7.6 สอดคล้องกับผลการทดสอบกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล X และ Y ซึ่งพบว่า คอนกรีตกลุ่ม BX มีความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม AX เฉลี่ยร้อยละ 7.1 และคอนกรีตกลุ่ม BY มีความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม AY เฉลี่ยร้อยละ 6.4 เมื่อพิจารณาทุกกลุ่มพบว่าความหนาแน่นคอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีค่ามากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 7.01 คอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีความหนาแน่นมากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เนื่องจากหินปูน B มีความถ่วงจำเพาะรวมมากกว่าหินปูน A ดังแสดงใน Table 1 อีกทั้งหินปูน B มีขนาดอนุภาคละเอียดจึงทำให้ก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นมากกว่าหรือมีความพรุนน้อยกว่าดังแสดงใน Figure 5

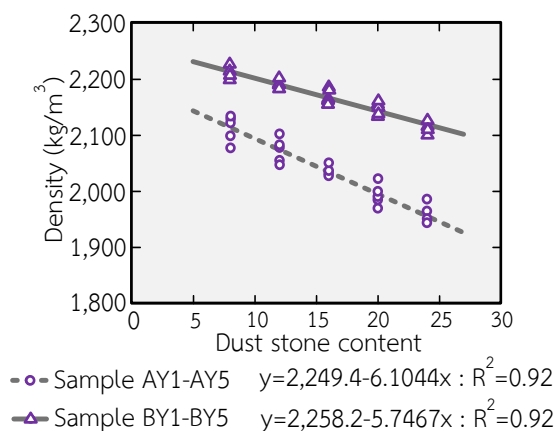
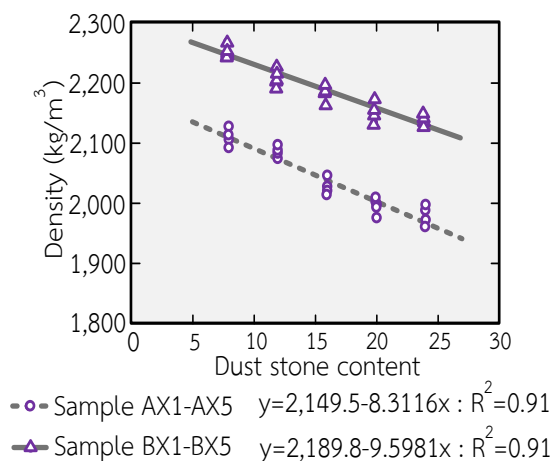
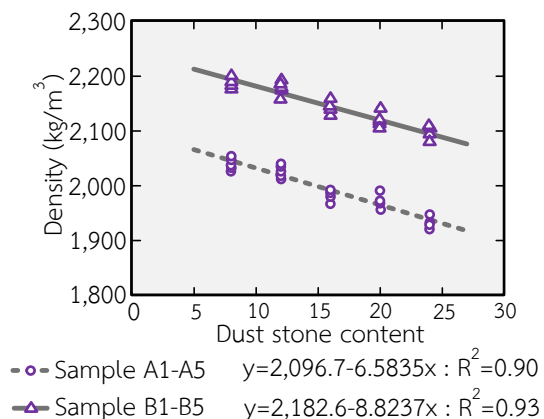


Figure 4. Density of concrete samples

กรณีเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลและกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวลพบว่า กลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล X หรือเถ้าชีวมวล Y มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 2.24 และ 1.64 ตามลำดับ อนึ่งกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X มีความหนาแน่นมากกว่ากลุ่มผสมเถ้าชีวมวล Y เนื่องจากเถ้าชีวมวล X มีความถ่วงจำเพาะรวมมากกว่าเถ้าชีวมวล Y อีกทั้งเถ้าชีวมวล X มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเถ้าชีวมวล Y ซึ่งเห็นได้จากปริมาณที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ดังแสดงใน Table 2 ทำให้อนุภาคเถ้าชีวมวลขนาดเล็กแทรกเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างอนุภาคหินปูนได้ดีและส่งผลให้มีความหนาแน่นมากกว่าหรือมีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า

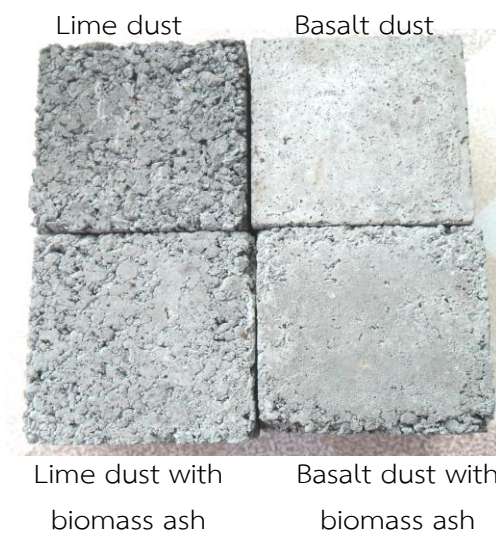


Figure 5. Concrete samples

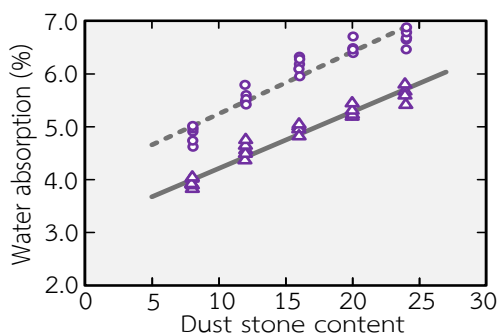
ตัวอย่างการทำนายความหนาแน่นเมื่อปริมาณหินปูนเปลี่ยนไป เช่น คอนกรีตกลุ่ม A ใช้อัตราส่วนผสมหินปูน 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์หรือ $x = 15$ จะมีความหนาแน่น $2,096.7 - (6.5835 \times 15) = 1,998$ กก./ลบ.ม. เป็นต้น

2. การดูดกลืนน้ำและความพรุน

จากผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำและความพรุนที่แสดงใน Table 4, Figure 6, และ Figure 7 กรณีเปรียบเทียบการดูดกลืนน้ำและความพรุนระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินฝุ่นชนิดเดียวกันพบว่า คอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวล A1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า A5 เฉลี่ยร้อยละ 37.9 และคอนกรีต A1 มีความพรุนน้อยกว่า A5 เฉลี่ยร้อยละ 24.7 คอนกรีต B1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า B5 เฉลี่ยร้อยละ 44.2 และมีความพรุนน้อยกว่า B5 เฉลี่ยร้อยละ 29.1 ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล X พบว่า คอนกรีต AX1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า AX5 เฉลี่ยร้อยละ 69.8 และมีความพรุนน้อยกว่า AX5 เฉลี่ยร้อยละ 29.4 คอนกรีต BX1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 53.7 และมีความพรุนน้อยกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 32.0 สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล Y พบว่า คอนกรีต AY1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า AY5 เฉลี่ยร้อยละ 66.9 และมีความพรุนน้อยกว่า AY5 เฉลี่ยร้อยละ 29.8 คอนกรีต BY1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า BY5 เฉลี่ยร้อยละ 63.8 และมีความพรุนน้อยกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 32.0 กลุ่มตัวอย่างไม่ผสมเถ้าชีวมวลทั้งกลุ่ม A และกลุ่ม B มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 น้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 41.1 และ 26.9 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X ทั้งกลุ่ม AX และกลุ่ม BX มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 น้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 61.8 และ 30.7 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล Y ทั้งกลุ่ม AY และกลุ่ม BY มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 น้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 65.4 และ 30.9 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาทุกกลุ่มพบว่า คอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตรา

ส่วนผสม 1:8 มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนน้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 56.05 และ 29.53 ตามลำดับ ทั้งนี้กลุ่มที่ใช้อัตราส่วนผสมซึ่งมีปริมาณหินฝุ่นมากมีผลทำให้การดูดกลืนน้ำและความพรุนมากขึ้นสอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลง

กรณีเปรียบเทียบการดูดกลืนน้ำและความพรุนระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินฝุ่นต่างชนิดกันพบว่า คอนกรีตกลุ่ม B มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม A เฉลี่ยร้อยละ 17.8 และคอนกรีตกลุ่ม B มีความพรุนน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม A เฉลี่ยร้อยละ 12.9 สอดคล้องกับผลการทดสอบกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล X และ Y ซึ่งพบว่า คอนกรีตกลุ่ม BX มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม AX เฉลี่ยร้อยละ 11.7 และคอนกรีตกลุ่ม BY มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม AY เฉลี่ยร้อยละ 14.9 ขณะที่ความพรุนคอนกรีตกลุ่ม BX มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม AX เฉลี่ยร้อยละ 15.7 และคอนกรีตกลุ่ม BY มีความพรุนน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม AY เฉลี่ยร้อยละ 16.9 เมื่อพิจารณาทุกกลุ่มพบว่า คอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินฝุ่น B มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนน้อยกว่าที่ผลิตจากหินฝุ่น A เฉลี่ยร้อยละ 17.72 และ 17.87 ตามลำดับ



—○— Sample A1-A5 $y=0.1148x+4.1101$; $R^2=0.91$
—△— Sample B1-B5 $y=0.1071x+3.1756$; $R^2=0.95$

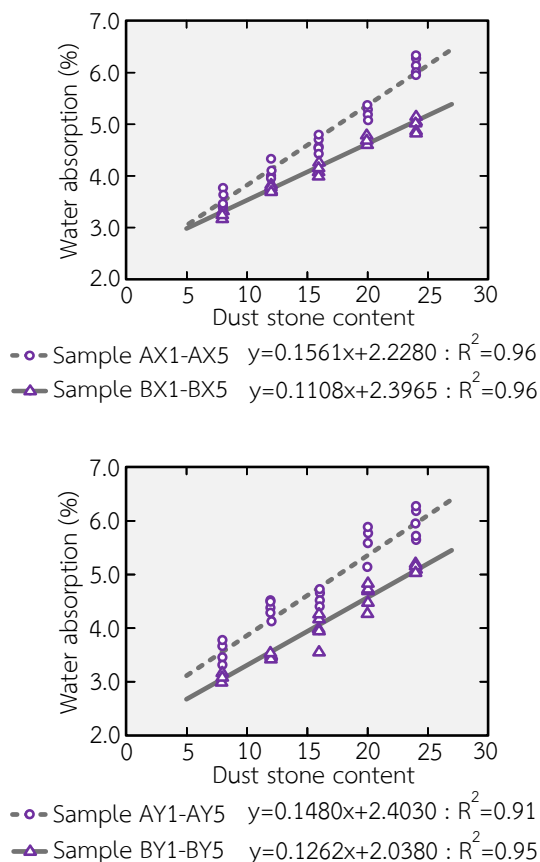


Figure 6. Water absorption of concrete samples

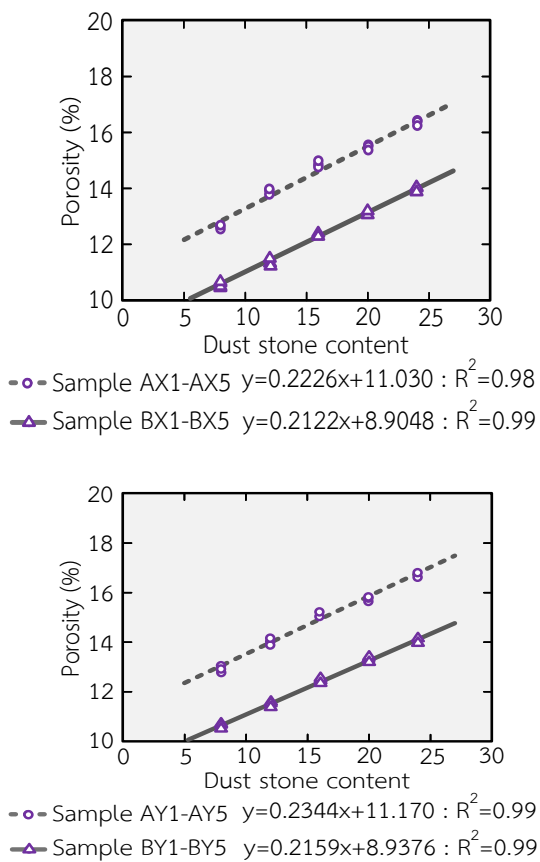
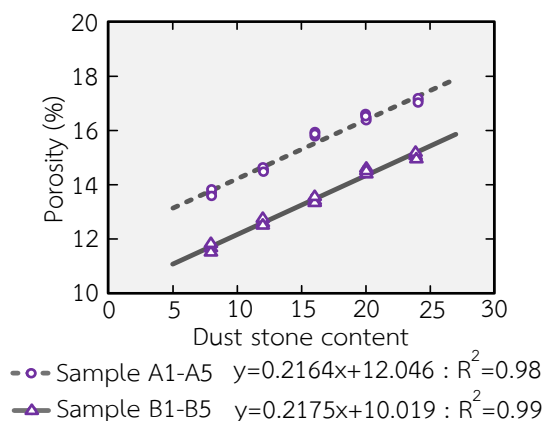


Figure 7. Porosity of concrete samples



กรณีเปรียบเทียบการดูดกลืนน้ำและความพรุนระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลและกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวลพบว่า กลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X มีการดูดกลืนน้ำลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 17.6 และกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล Y มีการดูดกลืนน้ำลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 18.4 ขณะที่กลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X มีความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 7.4 และกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล Y มีความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 6.0 เมื่อพิจารณาทุก

กลุ่มพบว่า คอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 21.83 และ 22.72 และมีความพรุนน้อยกว่าไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 7.88 และ 6.22 ตามลำดับ

ตัวอย่างการทำนายการดูดกลืนน้ำและความพรุนเมื่อปริมาณหินฝุ่นเปลี่ยนไป เช่น คอนกรีตกลุ่ม AX ใช้อัตราส่วนผสมหินฝุ่น 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์หรือ $x = 15$ จะมีการดูดกลืนน้ำร้อยละ $(0.1561 \times 15) + 2.228 = 4.57$ และมีความพรุนร้อยละ $(0.2226 \times 15) + 11.03 = 14.37$ เป็นต้น

3. กำลังอัด

ผลการทดสอบกำลังอัดแสดงใน Table 4 และ Figure 8 กรณีเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินฝุ่นชนิดเดียวกันพบว่า คอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวล A1 มีกำลังอัดมากกว่า A5 เฉลี่ยร้อยละ 100.3 และคอนกรีต B1 มีกำลังอัดมากกว่า B5 เฉลี่ยร้อยละ 84.8 ส่วนกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X พบว่า คอนกรีต AX1 มีกำลังอัดมากกว่า AX5 เฉลี่ยร้อยละ 117.5 และคอนกรีต BX1 มีกำลังอัดมากกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 110.9 สำหรับกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล Y พบว่า คอนกรีต AY1 มีกำลังอัดมากกว่า AY5 เฉลี่ยร้อยละ 85.7 และคอนกรีต BY1 มีกำลังอัดมากกว่า BY5 เฉลี่ยร้อยละ 79.4 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างไม่ผสมเถ้าชีวมวลทั้งกลุ่ม A และกลุ่ม B มีกำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 92.6 กลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X ทั้งกลุ่ม AX และกลุ่ม BX มีกำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 114.2 สำหรับกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล Y ทั้งกลุ่ม AY และกลุ่ม BY มีกำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8

มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 82.6 พิจารณาทุกกลุ่มพบว่า กำลังอัดคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 96.45 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสมซึ่งมีปริมาณหินฝุ่นมากมีผลทำให้กำลังอัดลดลง

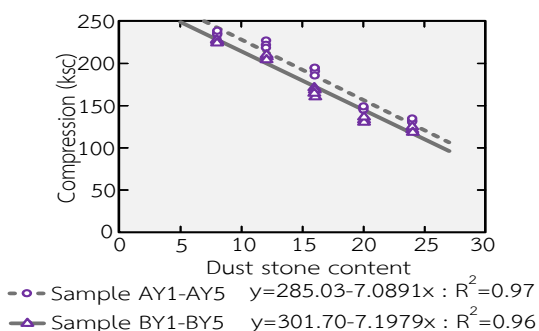
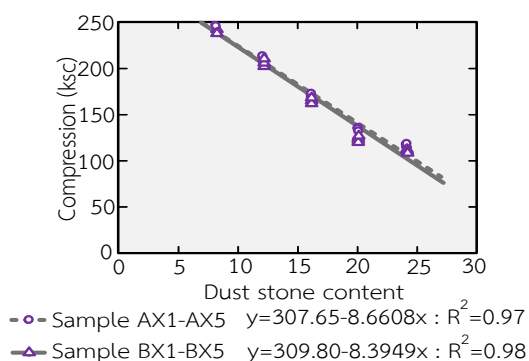
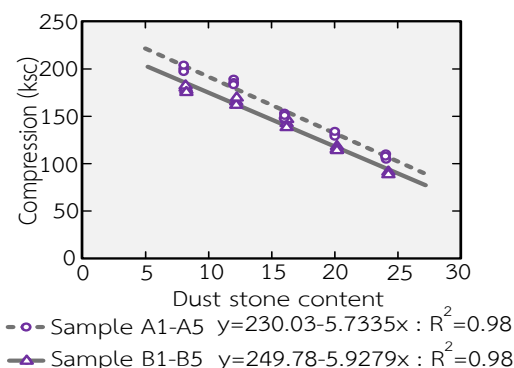


Figure 8. Compressive strength of samples

กรณีเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินปูนต่างชนิดกันพบว่า คอนกรีตกลุ่ม B มีกำลังอัดมากกว่ากลุ่ม A เฉลี่ยร้อยละ 12.1 สอดคล้องกับกำลังอัดกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y ซึ่งพบว่า คอนกรีตกลุ่ม BX มีกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม AX เฉลี่ยร้อยละ 3.8 และคอนกรีตกลุ่ม BY มีกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม AY เฉลี่ยร้อยละ 8.9 เมื่อพิจารณาทุกกลุ่มพบว่า กำลังอัดคอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีค่ามากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 7.99 การที่คอนกรีตผลิตจากหินปูน B มีกำลังอัดมากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เนื่องจากก้อนตัวอย่างที่ผลิตเป็นรูปทรงลูกบาศก์ที่บิดันจึงทำให้ชิ้นงานที่ผลิตจากหินปูน B มีความหนาแน่นมากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A หรือมีความพรุนน้อยกว่าที่ผลิตจากหินปูน A กรณีนี้ถึงแม้ว่าหินปูน A จะมีปริมาณองค์ประกอบเคมี CaO ซึ่งช่วยในการเชื่อมประสานมวลรวมได้ดีกว่าหินปูน B แต่ก้อนตัวอย่างที่บิดันทำให้ความหนาแน่นและความพรุนชิ้นงานมีอิทธิพลต่อกำลังอัดมากกว่าองค์ประกอบเคมีในหินปูน อย่างไรก็ตามผลการทดสอบกำลังอัดอาจต่างออกไปหากก้อนตัวอย่างมีโพรงอยู่ภายในและมีผนังกันโพรงบาง

กรณีเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลและกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวลพบว่า กลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล X หรือเถ้าชีวมวล Y มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 17.49 และ 22.22 หนึ่งกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X มีกำลังอัดมากกว่ากลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล Y สอดคล้องกับความหนาแน่นและความพรุนดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น อีกทั้งเถ้าชีวมวล X มีองค์ประกอบเคมีของ CaO มากกว่าเถ้าชีวมวล Y ซึ่ง CaO สามารถช่วย

ซีเมนต์ในการเชื่อมประสานมวลรวมได้อย่างเด่นชัดในช่วง 28 วัน

ตัวอย่างการทำนายกำลังอัดเมื่อปริมาณหินปูนเปลี่ยนไป เช่น คอนกรีตกลุ่ม BY ที่ใช้อัตราส่วนผสมหินปูน 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์หรือ $x = 15$ จะมีกำลังอัด $301.7 - (7.1979 \times 15) = 193.7$ กก./ตร.ซม. เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

1. ความหนาแน่นคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 5.68 ความหนาแน่นคอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีค่ามากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 7.01 และคอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีความหนาแน่นมากกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 2.24 และ 1.64 ตามลำดับ
2. การดูดกลืนน้ำคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 56.05 การดูดกลืนน้ำคอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีค่าน้อยกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 17.72 และคอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 21.83 และ 22.72 ตามลำดับ
3. ความพรุนของคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 29.53 ความพรุนคอนกรีตตัวอย่างผลิตจากหินปูน B มีค่าน้อยกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 17.87 และคอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีความพรุนน้อยกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 7.88 และ 6.22 ตามลำดับ

4. กำลังอัดคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 96.45 กำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างผลิตจากหินปูน B มีค่ามากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 7.99 และคอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีกำลังอัดมากกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 17.49 และ 22.22 ตามลำดับ

5. คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2530 พบว่าทุกอัตราส่วนผสมมีกำลังอัดเฉลี่ย 5 ก่อนไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคาล หรือ 25.49 กก./ตร.ซม. ซึ่งผ่านตามข้อกำหนด อย่างไรก็ตามผลการทดสอบดังกล่าวเป็นของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ซึ่งอาจให้ผลต่างจากก้อนตัวอย่างมีโพรงอยู่ภายในและมีผนังกันโพรงบาง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์วัสดุผสมจากกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีตบล็อก กลุ่มอุตสาหกรรมไม้นั้นและกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวลในจังหวัดบุรีรัมย์ ตลอดจนงานวิจัยจากศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2549. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมเมืองแร่ในพื้นที่ ต.อีสาน อ.เมือง จ.บุรีรัมย์. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 2 อุตรธานี, อุตรธานี.

2. บริษัทไมน์เอ็นจิเนียริงคอนซัลแตนท์จำกัด. 2557. รายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมและมาตรการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม : โครงการเหมืองแร่หินอุตสาหกรรมชนิดหินบะซอลต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง ประทานบัตรที่ 27271/15204. บริษัทไมน์เอ็นจิเนียริงคอนซัลแตนท์จำกัด, ปทุมธานี.
3. กรมทรัพยากรธรณี. 2553. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดบุรีรัมย์. บริษัทจันฉวนชัยซีเคียวริตี้พรินท์ติ้งจำกัด, กรุงเทพฯ.
4. สัจจะชาญ พัดมะลิและประชุม คำพุ่ม. 2560. การใช้เทคโนโลยีสำหรับชุมชนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกจากเศษหินบะซอลต์. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 2. 1-11.
5. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2555. การใช้เถ้าขาน้อยเยื่อเป็นวัสดุปอชโซลานในงานคอนกรีต. วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย. 16: 1-11.
6. บุรฉัตร ฉัตรวีระและเพิ่มพล ศรีนวล. 2555. การศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 5 ผสมเถ้ากลบดินและผงหินปูน. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 35(2): 201-218.
7. ประจักษ์ พูลกลสิกร, วีรชาติ ตั้งจิรภัทรและชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2557. Strength and Chloride Resistance of Recycled Aggregate Concrete Containing Ground Rice Husk Ash. วารสารสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย. 2: 8-16

8. วันโชค เครือหงส์, ธีรวัฒน์ สินศิริ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ. 2555. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. 35(2): 187-200.
9. สาโรจน์ ดำรงศิลป์และสุวิมล สัจจาภิรักษ์. 2550. ผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าขาน้อยและเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีต. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. 30(3): 489-499.
10. สุชีรา กุลชนะประสิทธิ์และชูชัย สุจิรวกุล. 2548. ผลกระทบของเถ้าขาน้อยต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์. *การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10*. 67-72.
11. Gritsada, S. and Natt M. 2013. Use of Increasing Amounts of Bagasse Ash Waste to Produce Self-Compacting Concrete by Adding Limestone Power Waste. *Journal of Cleaner Production*. 1-12.
12. สุชาดา ศรีไพโรจน์กุล. 2539. การศึกษาคุณภาพของหินปูนและโดโลไมต์จากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทยโดยวิธี XRF. กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.
13. อาทิตมา ดวงจันทร์และสุวิมล สัจจาภิรักษ์. 2548. คอนกรีตบดอัดผสมเถ้าขาน้อย. *การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 2*. 6-10.
14. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540. ว.ส.ท. 1014-40 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
15. บุรฉัตร ฉัตรวีระ, สุธี จริยธีรเวชและณัฐ มากุล. 2552. คุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้นผสมแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. 32(1): 59-76.
16. สิทธิชัย แสงอาทิตย์. 2556. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบดอัดหรืออิฐบดอัด. *วารสารคอนกรีต*. 20: 1-5.
17. วิษณุรักษ์ เทียมวีรสกุลและนที อतिकุณการ. 2543. การศึกษากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อย. *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ*.
18. พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง. 2557. การพัฒนาวัสดุผสมฝุ่นหินอ่อน-เถ้าขาน้อยเพื่อเป็นวัสดุซีเมนต์สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตบดอัด. *มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก*.
19. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มอก. 58-2530 : คอนกรีตบดอัดไม่รับน้ำหนัก. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

สถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าและแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า กรณีศึกษา วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม จังหวัดราชบุรี

Electrical Energy Consumption Situation and Recommendation for Energy Consumption Reduction: A Case Study of Photharam Technical College Ratchaburi Province

พรรณภาภรณ์ เมาราซี และ มัลลิกา ปัญญาคะโป

Phanpaporn Maorasi and Mallika Panyakapo

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Department Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University

*Corresponding author; E-mail: mpanyakapo@gmail.com

Received: 11 Februarys 2021 /Revised: 12 March 2021 /Accepted: 22 April 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าและนำเสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม การดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่การสำรวจเครื่องใช้ไฟฟ้าและการใช้งาน และใช้แบบสอบถามเพื่อสำรวจพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาสร้างแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า พื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงคิดเป็นร้อยละ 85.5 ได้แก่ ห้องเรียนปฏิบัติและโรงฝึกงาน ห้องสำนักงาน และห้องเรียนทฤษฎี พื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำคิดเป็นร้อยละ 14.5 ได้แก่ ส่วนบริการ หอพักนักเรียน และห้องประชุม สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า พบว่าระบบปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดร้อยละ 32.5 จากสถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าและผลการสำรวจพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าได้นำมาจัดทำเป็นมาตรการระยะสั้น ได้แก่ 1) ปิดเครื่องปรับอากาศช่วงพักกลางวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในห้องสำนักงาน 2) การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ 3) ปิดหน้าจอคอมพิวเตอร์ช่วงพักกลางวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในห้องสำนักงาน 4) ปิดไฟสำนักงานในพักกลางวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และมาตรการระยะยาว ได้แก่ 1) เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่แทนเครื่องปรับอากาศเดิม 2) เปลี่ยนมาใช้หลอด LED (T5) ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า 18 วัตต์ 3) ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: การใช้พลังงานไฟฟ้า แนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า สถาบันการศึกษา



Abstract

The objectives of this research are to study the electrical energy consumption situation and to propose the recommendation for energy consumption reduction of Photharam Technical College. The research was divided into two parts: a) the survey of electrical appliances usage, b) the electrical energy consumption behavior questionnaire. The results showed that the area of high electrical energy consumption, i.e., laboratories and student workshops, administrative offices and classrooms, consumed 85.5% of the total average energy consumption. The area of low electrical energy consumption, i.e., the dormitory and the meeting rooms, consumed 14.5% of the total average energy consumption. When compared among various types of electrical appliances, the air conditioning system exhibited the highest energy consumption (32.5%). From the survey and the questionnaire, the short and long-term recommendations were proposed. For short-term method, the air conditioner in the office, the computer monitors, the office equipment, and lighting system in the administrative office should be turned off for 1 hour during lunchtime. For the long-term method, the old air conditioner should be replaced. The fluorescent light bulbs should be replaced with 18 watts LED light bulb. The annual maintenance of the industrial machinery should be regularly implemented.

Keyword: Electrical energy consumption, Recommendation for electrical energy reduction, Academic institute

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ส่งผลต่อการพัฒนาประเทศทางด้านเศรษฐกิจและสังคมให้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งประเทศที่มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามความต้องการของประชากร โดยทวีปเอเชียจะมีอัตราการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงสุด เนื่องจากประเทศในทวีปเอเชียส่วนใหญ่เป็นประเทศที่กำลังพัฒนาจึงมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต [1] ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่

กำลังพัฒนาในด้านต่าง ๆ ทั้งมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วทางเศรษฐกิจ และในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยเข้าสู่ฤดูร้อนเร็ว อีกทั้งยังมีอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ทำให้ประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าสูงถึง 187,158 ล้านหน่วย เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.1 และมีการใช้ไฟฟ้า 202,960 ล้านหน่วย เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.9 [2] หน่วยงานราชการเป็นศูนย์กลางในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ จึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมาก หน่วยงานราชการที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งประกอบด้วยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้น

พื้นฐาน สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักงาน ปลัดกระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานเลขาธิการสภา การศึกษา และสถาบันการศึกษาทุกระดับ [3] วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม เป็นวิทยาลัย ที่สังกัด สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา มีการเปิดสอน วิชาชีพทั้งหมด 13 สาขาวิชา ซึ่งมีกิจกรรมการเรียนการสอน ที่แตกต่างกันในแต่ละสาขาวิชา จึงมี เครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด ทำให้วิทยาลัย เสียค่าไฟฟ้า มากและค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปี จะเห็นได้ว่าการ ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง 2 ช่วง คือ ภาคเรียนที่ 1 ช่วงเดือน พฤษภาคม ถึงกันยายน และภาคเรียนที่ 2 ช่วงเดือน ตุลาคม ถึง กุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาเปิดภาคมีการ จัดกิจกรรมการเรียนการสอนหลากหลาย สำหรับช่วง เดือนมีนาคม ถึง เมษายน มีปริมาณการใช้พลังงาน ไฟฟ้าน้อย เนื่องจากเป็นช่วงปิดภาคเรียน

จากความสำคัญที่กล่าวมาแล้ว งานวิจัยนี้จึงมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์การใช้พลังงาน ไฟฟ้าภายในวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม ต่อจากนั้น ผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่เก็บรวบรวม ได้นำไปวิเคราะห์หา สาเหตุของการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละ เดือน และเสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ภายในวิทยาลัยเทคนิคโพธารามต่อไป

วิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษาข้อมูลจากเอกสาร ตำรางานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง ได้แก่ สถานการณ์พลังงานไฟฟ้า มาตรการ การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า กระทรวงพลังงาน ประเภท เครื่องใช้ไฟฟ้า การคำนวณพลังงานไฟฟ้า ข้อมูลทั่วไป ของวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับแนวทางการประหยัดพลังงาน ฯลฯ

2) จัดทำเครื่องมือเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล จำนวน 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 แบบสำรวจประเภท กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้ เครื่องไฟฟ้า แยกตามพื้นที่การสำรวจ และชุดที่ 2 แบบสอบถามพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม

3) ขอบเขตการศึกษามีดังนี้

3.1) พื้นที่การสำรวจแบ่งเป็น 6 พื้นที่ ได้แก่ ห้องเรียนทฤษฎี ห้องเรียนปฏิบัติและโรงฝึกงาน ห้อง สำนักงาน ส่วนบริการ หอพักนักเรียน และห้องประชุม

3.2) การสำรวจการใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ ประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้เครื่องไฟฟ้า

3.3) เครื่องใช้ไฟฟ้าแบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบ คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน ระบบเครื่องจักร อุตสาหกรรม และระบบอื่น ๆ (ประกอบด้วย พัดลม กระติกน้ำร้อน ไมโครเวฟ ตู้เย็น ตู้แช่ ตู้ทีวี เครื่องเสียง และปั๊มลม)

4) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระหว่างเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2563 ระยะเวลาการเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่

4.1) สำรวจประเภทและกำลังไฟฟ้าของ เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกพื้นที่ ระหว่างเดือน พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2561

4.2) สำรวจระยะเวลาการใช้งานของเครื่อง ไฟฟ้าทุกพื้นที่โดยทำการสำรวจ 10 ครั้ง โดยกระจาย การสำรวจตลอดปีการศึกษา ดังนี้

ภาคเรียนที่ 2 จำนวน 4 ครั้ง

ครั้งที่ 1: 14-18 มกราคม พ.ศ. 2562

ครั้งที่ 2: 21-25 มกราคม พ.ศ. 2562

ครั้งที่ 3: 4-8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

ครั้งที่ 4: 14-18 มกราคม พ.ศ. 2562

ปิดภาคเรียน จำนวน 2 ครั้ง

ครั้งที่ 1: 1-5 เมษายน พ.ศ. 2562

ครั้งที่ 2: 22-26 เมษายน พ.ศ. 2562

ภาคเรียนที่ 1 จำนวน 4 ครั้ง

ครั้งที่ 1: 10-14 มิถุนายน พ.ศ. 2562

ครั้งที่ 2: 24-28 มิถุนายน พ.ศ. 2562

ครั้งที่ 3: 5-9 สิงหาคม พ.ศ. 2562

ครั้งที่ 4: 19-23 สิงหาคม พ.ศ. 2562

4.3) สำรวจพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของบุคลากรทางการศึกษา และนักเรียน นักศึกษาโดยเก็บข้อมูลในเดือนกันยายน พ.ศ. 2562

5) การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างเพื่อสอบถามพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า

ประชากร คือ ครู บุคลากรทางการศึกษา และนักเรียน นักศึกษา วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม รวม 1,721 คนในปีการศึกษา 2562

กลุ่มตัวอย่าง คือ บุคลากรทางการศึกษาและนักเรียน นักศึกษา วิทยาลัยเทคนิคโพธารามกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรในการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างของ Taro Yamane [4] ได้จำนวน 325 คน และสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิและสุ่มกลุ่มตัวอย่างอย่างง่ายโดยใช้วิธีการจับฉลาก

เก็บข้อมูลแบบสอบถามพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 โดยเก็บข้อมูลด้วยตัวเองได้กลับคืนมาร้อยละ 100 เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

6) วิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจประเภท และกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า และข้อมูลการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้า แต่ละประเภทแยกตามพื้นที่ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ร้อยละ และคำนวณหาหน่วยการใช้ไฟฟ้าซึ่งแสดงดังสมการต่อไปนี้ [5]

$$E = \frac{P \times T}{1,000} \quad (1)$$

โดยที่

E หมายถึง พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง

P หมายถึง กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์

T หมายถึง จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน มีหน่วยเป็น ชั่วโมง

จากการสำรวจเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในวิทยาลัยสามารถระบุกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดดังแสดงใน Table 1

7) สรุปข้อมูลที่จะเพื่อนำมากำหนดแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม

Table 1. Electric power of the electrical appliances in Photharam Technical College

Type of electrical appliances	Electric power (Watt)
Amplifier	1,000
Air compressor	1,865
Air conditioner	1,142-4,571
Bulbs	13-200
Blower	3,700
Car lift elevator	2,200
Computer	450
Dyeing machine	2,000-10,000

Table 1. Electric power of the electrical appliances in Photharam Technical College (cont.)

Type of electrical appliances	Electric power (Watt)
Electric iron	1,000
Electric cabinet shining pattern	108-792
Electric sewing machine	200-726
Electric welding machine	6,160-18,468
Fan	48 – 223
Industrial machine	5,500-28,500
Lathe and drilling machines	249 – 3,730
Microwave	800-1,250
Refrigerators and freezers	87-882
Printer	60
Projector	350
Thermos and hot water dispenser	580-1,850
Television	98-180

ผลการวิจัย

1. ผลการสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าตามพื้นที่การใช้งาน

ผลการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม ทั้ง 6 พื้นที่ ประกอบด้วย ห้องเรียนทฤษฎี ห้องเรียนปฏิบัติและโรงฝึกงาน ห้องสำนักงาน หอพักนักเรียน ส่วนบริการ และห้องประชุม

เมื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการเก็บตัวอย่าง 10 ครั้ง ของแต่ละพื้นที่ มาคิดเป็นร้อยละ ของการใช้พลังงานไฟฟ้างานแสดงใน Figure 1 พบว่า ห้องเรียนปฏิบัติและโรงฝึกงานมีการใช้พลังงานสูงถึง ร้อยละ 44.2 รองลงมาคือ ห้องสำนักงาน ร้อยละ 26.5 ห้องเรียนทฤษฎี ร้อยละ 14.8 ส่วนบริการ ร้อยละ 6.7 หอพักนักเรียนร้อยละ 4.8 และห้องประชุม ร้อยละ 3.0 ตามลำดับ จากผลการสำรวจสามารถแบ่งพื้นที่เป็น 2 ส่วน ได้แก่ พื้นที่ที่ใช้พลังงานสูง 3 พื้นที่ ซึ่งใช้พลังงานรวมกันคิดเป็นร้อยละ 85.5 ได้แก่ ห้องเรียนปฏิบัติและโรงฝึกงาน ห้องสำนักงาน ห้องเรียนทฤษฎี และพื้นที่ใช้พลังงานต่ำ 3 พื้นที่ ได้แก่ ส่วนบริการหอพักนักเรียน ห้องประชุม ต่อจากนั้นได้วิเคราะห์ข้อมูลในรายละเอียด ดังนี้

1.1 กลุ่มพื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง

ผลการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง แสดงดังใน Figure 2พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งสิ้น 587,965.44 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี เทียบกับพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดคือ 688,650.72 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นร้อยละ 85.5 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ห้องปฏิบัติและโรงฝึกงานใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 303,458.88 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี รองลงมาคือห้องสำนักงานใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 182,914.56 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี ห้องเรียนทฤษฎีใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 101,592.00 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี จะเห็นว่าภาคเรียนที่ 1 จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าภาคเรียนที่ 2 เนื่องจากภาคเรียนที่ 1 มีการจัดการเรียนการสอน 2,704 ชั่วโมง [6] ซึ่งมีการจัดการเรียนการสอนจำนวน ชั่วโมงมากกว่าภาคเรียนที่ 2 ที่มีการจัดการเรียนการสอน

สอน 2,528 ชั่วโมง [7] และภาคเรียนที่ 2 มีนักเรียนชั้น ปวช.3 และนักศึกษาชั้น ปวส.2 ออกฝึกประสบการณ์ ในสถานศึกษาประกอบการภายนอก นอกจากนี้ใน ภาคเรียนที่ 2 ระหว่างเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562 พื้นที่ห้องสำนักงานในช่วง ภาคเรียนที่ 2 มีการใช้พลังงานต่ำ เพราะอากาศเย็น จึง มีการใช้เครื่องปรับอากาศน้อย และห้องสำนักงาน บางส่วน ไม่ได้มีการเปิดใช้สำนักงานเนื่องจาก ครูที่มี หน้าที่รับผิดชอบงานในสำนักงานมีหน้าที่เป็นครูผู้สอน และมีแนวโน้มการใช้พลังงานสูงในช่วงภาคเรียนที่ 2 {3} จนถึงภาคเรียนที่ 1{10} เนื่องจากช่วงปิดภาคเรียนมี การจัดทำเอกสารประกันคุณภาพการศึกษาของ วิทยาลัยฯ และมีการจัดทำโครงการตามนโยบาย ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาเป็นต้น

1.2 กลุ่มพื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ

ผลการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ซึ่ง พื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำดังแสดงใน Figure 3 พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งสิ้น 100,685.76 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี เทียบกับพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดคือ 688,650.72 กิโลวัตต์ ชั่วโมงปี คิดเป็นร้อยละ 14.5 ของ การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่ ส่วนบริการ ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 46,779.84 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี รองลงมาคือหอพักนักเรียน ใช้พลังงาน ไฟฟ้าเฉลี่ย 33,393.60 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี ห้อง ประชุมใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 20,511.84 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี จะเห็นว่าการใช้ไฟฟ้า ในส่วนของห้อง

ประชุมจะสูงในช่วงภาคเรียนที่ 2{9} และช่วงปิดภาค เรียน 1 เนื่องจากเป็นช่วงที่มีกิจกรรมการปัจฉิมนิเทศ สำหรับนักเรียนและนักศึกษาที่จบการศึกษา การ สัมมนาของนักเรียน นักศึกษาที่ออกฝึกประสบการณ์ มีพิธีรับใบประกาศนียบัตรในการจบการศึกษา และ วิทยาลัยฯ เปิดให้เข้าสถานที่จัดงานสำหรับ บุคคลภายนอก จึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าในทุก ช่วง พื้นที่ส่วนบริการนั้นจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ ในช่วงปิดภาคเรียน เนื่องจากห้องสมุดไม่เปิดให้บริการ ห้องน้ำของนักเรียน นักศึกษา สหกรณ์ มีการเปิดใช้ พลังงานไฟฟ้าบางส่วนเท่านั้น และหอพักนักเรียน ในช่วงภาคเรียนที่ 1 จะมีการใช้พลังงานสูงกว่า ภาคเรียนที่ 2 เนื่องจากมีอาคารหอพักสองชั้นจำนวน 8 ห้อง เพิ่มขึ้น และไม่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงปิด ภาคเรียนเนื่องจากปิดหอพัก

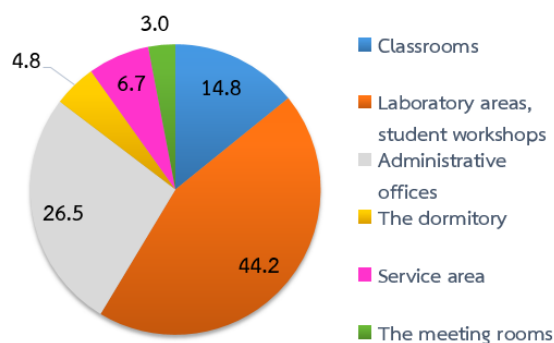


Figure 1. The percentage of electrical energy consumption of different areas in Photharam Technical College

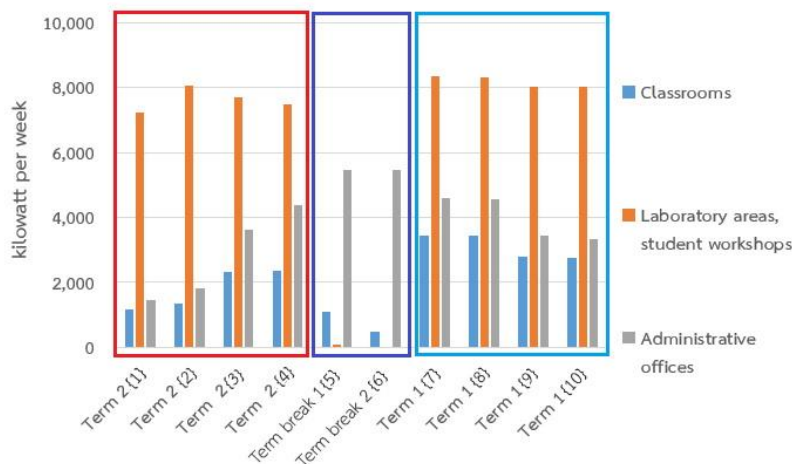


Figure 2. The areas of high electrical energy consumption during the academic year

Note : {1}-{10} are the number of surveys

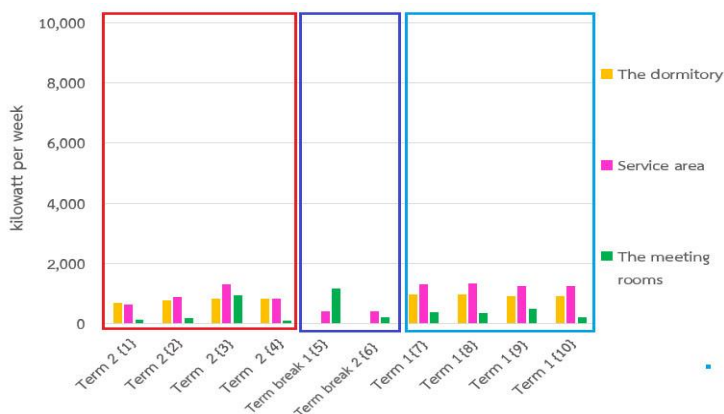


Figure 3. The areas of low electrical energy consumption during the academic year

2. ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง

งานวิจัยนี้ ได้นำข้อมูลของพื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด 3 ลำดับแรก มาวิเคราะห์ตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยแบ่งออกเป็น 5 ประเภทได้แก่ ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน ระบบเครื่องจักรอุตสาหกรรม และระบบอื่น ๆ ประกอบด้วย พัดลมกระดิกน้ำร้อน

ไมโครเวฟ โพรเจคเตอร์ ตู้เย็น ตู้แช่ ที่วี เครื่องเสียงและ บั้มลม เพื่อนำไปสู่แนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1. ห้องเรียนปฏิบัติและโรงฝึกงาน

การใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องปฏิบัติและโรงฝึกงาน ประกอบด้วยห้องเรียนวิชาปฏิบัติของแต่ละแผนกวิชา ซึ่งจะมีเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะในการฝึกปฏิบัติที่แตกต่างกันของแผนกวิชาช่างอุตสาหกรรม

พาณิชยกรรม และศิลปกรรม แยกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าแสดงดังแสดงใน Figure 4 พบว่าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเรียงจากสูงไปต่ำ ได้แก่ ระบบเครื่องจักรอุตสาหกรรม ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ โดยมีร้อยละเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้า 66.1 15.9 10.0 6.0 และ 2.0 ตามลำดับ

การใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องปฏิบัติและโรงฝึกงานตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังแสดงใน Figure 5 พบว่าเครื่องจักรอุตสาหกรรมใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด เนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าที่สูง และในช่วงภาคเรียนที่ 1 และภาคเรียนที่ 2 เป็นช่วงที่มีการจัดการเรียนการสอนจึงใช้ไฟฟ้าสูง แต่ในช่วงปิดภาคเรียนใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ

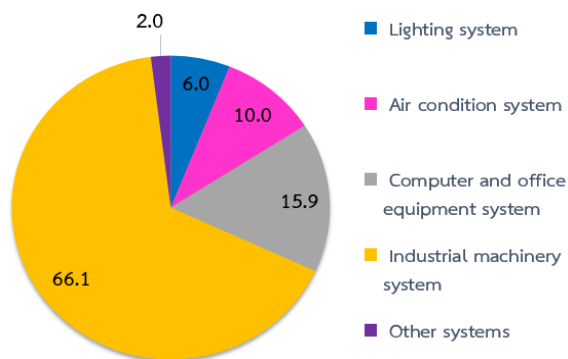


Figure 4. The percentage of electrical energy consumption of laboratories and student workshops by type of appliances

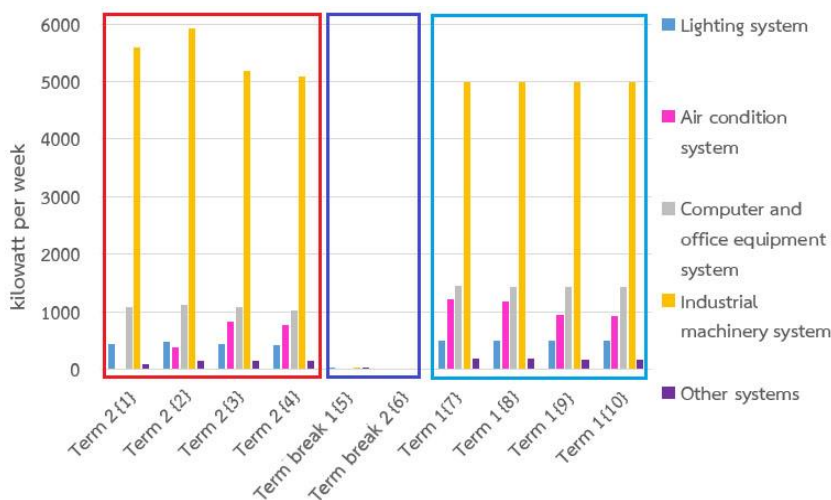


Figure 5. Electrical energy consumption of laboratories and student workshops by types of appliances

2.2. ห้องสำนักงาน

การใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องสำนักงาน แยกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังแสดงใน Figure 6 พบว่าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเรียง

จากสูงไปต่ำ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน ระบบอื่นๆ และระบบแสงสว่าง โดยมีร้อยละเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้า 61.2 22.2 8.5 และ 8.1 ตามลำดับ

การใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องสำนักงานตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังแสดงใน Figure 7 พบว่าเครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด เนื่องจากมีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี จึงทำให้เกิดภาระโหลดที่มอเตอร์สูง และใช้กระแสไฟฟ้าสูง รวมทั้งในช่วงภาคเรียนที่ 2{3} ถึงภาคเรียนที่ 1{10} เป็นช่วงที่อากาศร้อนพบว่าช่วงที่ใช้พลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศมากที่สุด คือช่วงปิดภาคเรียน ซึ่งครูและบุคลากรในวิทยาลัย มีการทำงานปกติ ในการเตรียมงานประกันคุณภาพการศึกษา จัดเตรียมงานและเอกสารต่าง ๆ ประจำปีการศึกษา จัดทำโครงการที่ได้รับมอบหมายที่มีผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายในวิทยาลัย โดยสำนักงานจะเปิดเครื่องปรับอากาศและไฟฟ้าตลอดเวลา และช่วงภาคเรียนที่ 2{1} และภาคเรียนที่ 2{2} มีการใช้พลังงาน

ไฟฟ้าต่ำ เพราะเป็นช่วงที่อากาศเย็น จึงมีการใช้เครื่องปรับอากาศน้อย

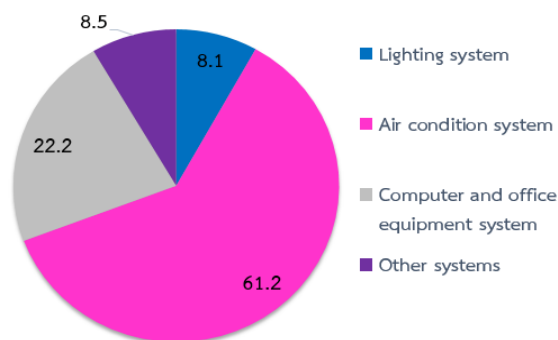


Figure 6. The percentage of electrical energy consumption of the office by types of appliances

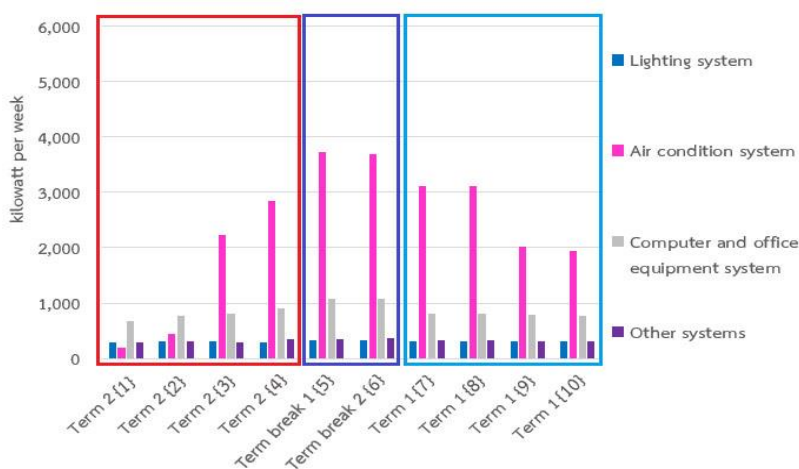


Figure 7. Electrical energy consumption of the office by types of appliances

2.3 ห้องเรียนทฤษฎี

การใช้พลังงานไฟฟ้าห้องเรียนทฤษฎี โดยแยกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้างดังแสดงใน Figure 8 พบว่าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเรียงจากสูง

ไปต่ำ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบอื่น ๆ และระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน โดยมีร้อยละเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้า 44.4 32.5 12.4 และ 10.7 ตามลำดับ

การใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องเรียนทฤษฎีตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังแสดงใน Figure 9 พบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้ามากในช่วงภาคเรียนที่ 2(3) ถึงภาคเรียนที่ 1(10) เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอากาศร้อน จึงเป็นเครื่องปรับอากาศในการจัดการเรียนการสอน และพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศมากที่สุดคือช่วงภาคเรียนที่ 1 แต่ในช่วงภาคเรียนที่ 2(1)และภาคเรียนที่ 2(2) มีการใช้เครื่องปรับอากาศน้อยหรือไม่ได้ใช้เลยเนื่องจากเป็นช่วงที่มีอากาศเย็นจึงไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ

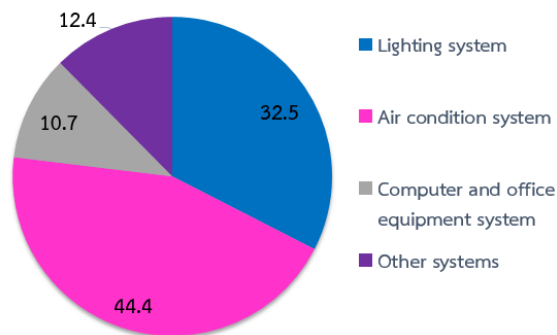


Figure 8. The percentage of electrical energy consumption of the classroom by types of appliances

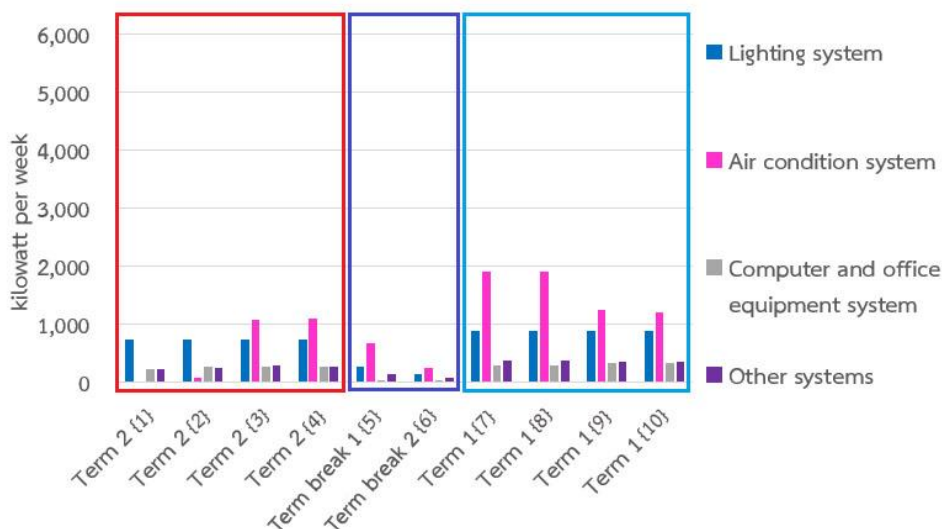


Figure 9. Electrical energy consumption of the classroom by type of appliances

3. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้ารวมทุกพื้นที่ในวิทยาลัยฯ

การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทุกพื้นที่ในวิทยาลัยฯ แยกตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า 5 ประเภท แสดงใน Figure 10 ซึ่งพบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเรียงลำดับจากสูงไปต่ำดังนี้ ระบบปรับอากาศ ระบบ

เครื่องจักรอุตสาหกรรม ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน ระบบแสงสว่าง และระบบอื่น ๆ มีร้อยละเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้า 32.5 29.1 16.4 12.0 และ 10.0 ตามลำดับ

4. ผลการสำรวจพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของบุคลากรและนักเรียน นักศึกษา

จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของครู บุคลากรทางการศึกษา และนักเรียน นักศึกษารวม 325 คน จากจำนวน 1,721 คน คิดเป็นร้อยละ 18.9 พบว่าพฤติกรรมที่ปฏิบัติเป็นบางครั้งในการใช้เครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ปิดเครื่องปรับอากาศในเวลา 12.00 – 13.00 น. และใช้พัดลมแทนเครื่องปรับอากาศ และพฤติกรรมที่ปฏิบัติเป็นประจำ ได้แก่ เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะส่วนที่จำเป็นและในเวลาที่กำหนด รองลงมาคือ เปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า

พฤติกรรมการใช้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงานที่ปฏิบัติเป็นบางครั้ง ได้แก่ ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์หลังเลิกใช้งานและปิดสวิทช์ไฟที่เสียบปลั๊กด้วยทุกครั้ง และพฤติกรรมที่ปฏิบัติเป็นประจำ ได้แก่ เปิดโปรเจคเตอร์เฉพาะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอน รองลงมาคือปิดเครื่องปริ้นเตอร์ทุกครั้งเมื่อไม่มีการใช้งาน ถอดปลั๊กเครื่องใช้ไฟฟ้าออกทุกครั้งเมื่อไม่มีการใช้งาน ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์หรือพักหน้าจอภาพคอมพิวเตอร์เมื่อใช้งานเรียบร้อยแล้ว และเมื่อไม่มีการใช้งานเกิน 30 นาที

พฤติกรรมการใช้อุปกรณ์โรงฝึกงานพฤติกรรมที่ปฏิบัติเป็นประจำ ได้แก่ เปิดเครื่องจักรเมื่อใช้งาน รองลงมาคือ สับสวิทช์ปิดเครื่องจักรทุกครั้งเมื่อไม่ใช้งาน

พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง พฤติกรรมที่ปฏิบัติเป็นประจำ ได้แก่ เปิดสวิทช์ไฟฟ้าเมื่อมีการใช้งานและปิดสวิทช์ไฟฟ้าทุกครั้งเมื่อไม่มีการใช้งาน รองลงมาคือ เปิดหน้าต่างหรือผ้าม่านเพื่อให้มีแสงสว่างจากธรรมชาติ ขณะทำงานหรือเรียน และเปิดไฟในส่วนที่จำเป็นและใช้งานเท่านั้น

อภิปรายและสรุปผลงานวิจัย

สถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า ตามพื้นที่การใช้งานของวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม แบ่งออกเป็น 6 พื้นที่ ได้แก่ ห้องเรียนทฤษฎี ห้องเรียนปฏิบัติ และโรงฝึกงาน ห้องสำนักงาน ส่วนบริการ หอพักนักเรียน และห้องประชุม ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 กลุ่มกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มพื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง คือ พื้นที่ปฏิบัติและโรงฝึกงาน ห้องสำนักงาน และห้องเรียนทฤษฎี พบว่ามีภาพรวมการใช้พลังงานไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 85.5 และกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มพื้นที่ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ คือพื้นที่ ส่วนบริการ หอพักนักเรียน และห้องประชุม พบว่ามีภาพรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 14.5

การใช้พลังงานไฟฟ้าตามประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า แบ่งประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน ระบบเครื่องจักรอุตสาหกรรม และระบบอื่น ๆ พบว่า ระบบปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดร้อยละ 32.5 และ ระบบอื่น ๆ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดร้อยละ 10.0

แนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม

จากผลการสำรวจเครื่องใช้ไฟฟ้าและพฤติกรรมการการใช้พลังงานไฟฟ้าของบุคลากร สามารถนำมาจัดทำเป็นมาตรการระยะสั้นและมาตรการระยะยาวดังนี้

1. มาตรการระยะสั้น ประกอบด้วย

มาตรการที่ 1: ปิดเครื่องปรับอากาศในห้องสำนักงานช่วงพักกลางวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จำนวน 49 เครื่อง

ตัวอย่างการคำนวณการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตามมาตรการที่ 1: มีดังนี้
หน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนใช้มาตรการ

$= 223,710.91$ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังใช้มาตรการ

$$= 185,292.77 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี}$$

คาดว่าจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ $= 38,418.14$ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

$$= 192,090.70 \text{ บาทต่อปี}$$

คิดเป็นร้อยละ 17.2 ต่อพลังงานเครื่องปรับอากาศ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิศุทธิ์ นิมโนวล และคณะ [8] เรื่องการบริหารจัดการมาตรการศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานใน โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็ก ผลการวิจัยพบว่า มาตรการปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงพักเที่ยงประหยัดที่ได้ $3,023.48$ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ $9,009.96$ บาทต่อปี ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 7.0 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชูชาติ ผาระนัน และคณะ [9] เรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ผลการวิจัยพบว่า มาตรการลดจำนวนชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศลง 1 ชั่วโมงต่อวัน สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ $60,447.92$ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 11.2

มาตรการที่ 2: การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศทั้งหมดในวิทยาลัยจำนวน 132 เครื่อง สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ $22,371.41$ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ประหยัดเงินได้ $111,857.05$ บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 10 ต่อพลังงานเครื่องปรับอากาศ สอดคล้องกับงานวิจัยของ อำนาจ แสงอิน [10] เรื่องการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ ผลการวิจัยพบว่า การล้าง

เครื่องปรับอากาศทุก 6 เดือน ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า เป็นเงิน $200,537.00$ บาทต่อเดือน ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 15.7 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชูชาติ ผาระนัน และคณะ [9] เรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ผลการวิจัยพบว่า มาตรการล้างเครื่องปรับอากาศปีละ 1 ครั้ง สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ $35,191.30$ กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 10.0

มาตรการที่ 3: ระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน ปิดหน้าจอคอมพิวเตอร์ช่วงพักกลางวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในห้องสำนักงาน สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ $8,269.39$ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ประหยัดเงินได้ $41,346.95$ บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 7.3 ต่อพลังงานคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ มณฑิรา ศรีสงคราม และวรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ [11] เรื่องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดลดพลังงานไฟฟ้า โรงพยาบาลหัวตะพาน จังหวัดอำนาจเจริญ ผลการวิจัยพบว่า ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เมื่อไม่มีการใช้งาน หรือช่วงพักรับประทานอาหารกลางวัน ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 6.0

มาตรการที่ 4: ระบบแสงสว่าง ควรปิดไฟสำนักงานในพักกลางวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ $2,588.30$ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ประหยัดเงินได้ $12,941.50$ บาท คิดเป็นร้อยละ 3.1 ต่อการใช้งานระบบแสงสว่าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ วัศพล ธีรพนันท์ [12] ซึ่งได้ทำการศึกษาในหัวข้อเรื่องแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยผลการวิจัย พบว่า การปิดไฟ และเครื่องปรับอากาศในช่วงพักกลางวัน ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 1.3 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรเทพ พินัย นิติศาสตร์ [13] เรื่องการจัดการอาคารสำนักงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานกรณีศึกษา อาคาร ดร. เจริญ คันธวงศ์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตกล้วยน้ำไท ผลการวิจัยพบว่า การปิดไฟแสงสว่างช่วงพักกลางวัน ในส่วนสำนักงาน และการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 แทนชนิด T8 รวมผลประหยัดที่ได้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง พลังงานไฟฟ้า 212,063 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี คิดเป็นเงิน 740,849 บาทต่อปี สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 1.7

อย่างไรก็ตามมาตรการระยะสั้นจะดำเนินการสำเร็จได้ ต้องมีการจัดอบรมเพื่อสร้างจิตสำนึกและความเข้าใจร่วมกัน เพื่อปฏิบัติตามมาตรการการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่าง ๆ ให้กับครู บุคลากรทางการศึกษา และนักเรียน นักศึกษาภายในวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม

2. มาตรการระยะยาว ประกอบด้วย

มาตรการที่ 1: ระบบปรับอากาศ เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ แทนเครื่องปรับอากาศเดิมที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ในพื้นที่ส่วนที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศมากที่สุดคือ ห้องสำนักงาน สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 41,307.65 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ประหยัดเงินได้ 206,538.23 บาท คิดเป็นร้อยละ 18.5 ต่อการใช้งานระบบปรับอากาศ ใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 6.55 ปี สอดคล้องกับงานวิจัยของ อานาจ แสงอิน [10] เรื่องการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ ผลการวิจัยพบว่า การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศชุดใหม่ ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า

เป็นเงิน 89,035.00 บาท ต่อเดือน เงินลงทุน 4,275,000.00 บาท สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 20.1

มาตรการที่ 2: ระบบแสงสว่าง โดยการเปลี่ยนมาใช้หลอด LED (T5) ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า 18 วัตต์ แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 31,063.82 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ประหยัดเงินได้ 155,319.08 บาท คิดเป็นร้อยละ 37.7 ต่อการใช้งานระบบแสงสว่าง ใช้ระยะเวลาในการคืนทุน 4.40 ปี สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปณิดา ตะสิทธิ์ [14] เรื่องการจัดการพลังงานในอาคารเรียนกรณี ศึกษาอาคารเรียนรวม สังคม ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ผลการวิจัยพบว่า เปลี่ยนหลอดไฟฟ้า จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นหลอด LED มีระยะเวลาคืนทุน 2.3 ปี ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 60.1 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิรติ นุมิต และคณะ [15] เรื่องการอนุรักษ์พลังงานในวิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออก (อี.เทค) ผลการวิจัยพบว่า การเปลี่ยนใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง T5 ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 18 วัตต์ ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะมีผลทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 43,247.36 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี แต่มีระยะเวลาคืนทุนที่สูง คือ 4.98 ปี ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 29.2

มาตรการที่ 3: ระบบเครื่องจักรอุตสาหกรรม การซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรอุตสาหกรรมอย่างสม่ำเสมอ ประจำปี สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 21,429.45 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ประหยัดเงินได้ 107,147.25 บาท คิดเป็นร้อยละ 10 สอดคล้องกับงานวิจัยของ กฤษณี พาณิชยวรชัยกุล [16] เรื่องการปรับปรุงสมรรถนะงานบำรุงรักษาสำหรับโรงงาน

หล่อคอนกรีตสำเร็จรูป ผลการวิจัยพบว่า มาตรการบำรุงรักษาเครื่องจักรระยะสั้นและระยะยาว สามารถลดอัตราการขัดข้องของเครื่องจักร จากร้อยละ 4.2 เป็นร้อยละ 1.0 ของเวลาการผลิตตามแผน

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

หากวิทยาลัยเทคนิคโพธารามนำมาตรการระยะสั้นมาใช้จะสามารถประหยัดได้ 360,236.20 บาทต่อปี สำหรับมาตรการระยะยาวเป็นมาตรการที่ใช้งบประมาณในการประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถประหยัดได้ 469,004.55 บาทต่อปี

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือในการจัดทำงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณครอบครัว ที่สนับสนุนให้การดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กระทรวงพลังงาน. 2550. *เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในอาคารส่วนราชการ 1*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
2. กระทรวงพลังงาน. สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทยในปี 2562. [online] เข้าถึงได้จาก <http://www.eppo.go.th/index.php/th/energyinformation/situation-oil-electric?order%5bpublishUp%5d=publishUp&issearch=1>.

3. กระทรวงพลังงาน. 2552. *คู่มือฝึกอบรมอนุรักษ์พลังงานในสถานศึกษา*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
4. Yamane, T. 1973. *Statistics: An introductory statistics, (Second Edition)*. New York: Harper & Row.
5. การไฟฟ้านครหลวง. *วิธีคำนวณค่าไฟฟ้าด้วยตนเองสามารถทำได้อย่างไร* [online]. 2561. เข้าถึงได้จาก <https://www.mea.or.th/content/detail/3293/3317/3926>.
6. งานพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอน วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม. *ตารางเรียนภาคเรียนที่ 1/2562*. 2562. วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม. ราชบุรี: วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม.
7. งานพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอน วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม. *ตารางเรียนภาคเรียนที่ 2/2561*. 2561. วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม. ราชบุรี: วิทยาลัยเทคนิคโพธาราม.
8. วิศกร นิ่มนวล, ศักดิ์ชาย รักการ, ปพน สีหอมชัย และ อนุญา จินดาวัฒน์. 2555. *การบริหารจัดการมาตรฐานการศึกษภาพของการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก*. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*. 2(2): 77-95.
9. ชูชาติ ผาระนัด, จักรกฤษณ์ จันทศิริ และสุจิตรา ผาระนัด. 2553. *การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสถาบันราชภัฏมหาสารคาม*. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*. 4(2): 25-37.



10. อำนาจ แสงอิน. 2550. การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
11. มณฑิรา ศรีสงคราม และวรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์. 2555. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดลดพลังงานไฟฟ้าโรงพยาบาลหัวตะพาน จังหวัดอำนาจเจริญ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา). 12(2):57-65
12. วัศพล ธีรวันพันธุ์. 2558. แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต . จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
13. พรเทพ พินัยนิติศาสตร์. 2555. การจัดการอาคารสำนักงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา อาคาร ดร. เจริญ คันทวงศ์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตกล้วยน้ำไท. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.
14. ปณิดา ตะสิทธิ์. 2560. การจัดการพลังงานในอาคารเรียน กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
15. วิรติ นุ่มดี, กิตติศักดิ์ วรันทกิตต์ และ ณัฐพล รุ่งประแสง. 2557. การอนุรักษ์พลังงานในวิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออก (อี.เทค). ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา และราชนครินทร์วิชาการและวิจัย.พระนครศรีอยุธยา. 193-197.
16. กฤษณี พาณิชยวัชรชัยกุล. 2552. การปรับปรุงสมรรถนะงานบำรุงรักษาสำหรับโรงงานหล่อคอนกรีตสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.