



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

ISSN : 1905-4963 (Print) ISSN : 2672-9296 (Online)

**PHRANAKHON RAJABHAT
RESEARCH JOURNAL**
(Science and Technology)



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566

Vol. 18 No.2 July - December 2023

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ISSN : 1905-4963 (Print)

ISSN : 2672-9296 (Online)

วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.เป็รื่อง กิจรัตน์ภร

อธิการบดี

รองศาสตราจารย์ประกาศิต ไสไกร

รองอธิการบดี

อาจารย์ ดร.วฤชา ประจักษ์ศักดิ์

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์วราวุธ ยอดจันทร์

คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตกุล อินทรผดุง

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.เรณูมาศ มาอุ่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สัลยุทธ์ สว่างวรรณ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศาสตราจารย์ ดร.พวงเพ็ญ ศิริรักษ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ศาสตราจารย์ ดร.ชิดชนก เหลือสินทรัพย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.โองการ วนิชาชีวะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑล ศาสนนันท์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลิตา บรมพิชัยชาติกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพล เวทีกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.วศิน เลิศวัฒนารักษ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.อรอุทพล แก้ววิสัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.อะเคื้อ กุลประสูติติก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดา มัทธูรศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิน สุภวาลัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ สุทธิธารณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี ลีมีงสวัสดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี สักการเวช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสุระ อังกุลานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ สุขัยยะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริยา รัตนพิทยาภรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัยยวัฒน์ จิตรโรจนรักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
อาจารย์ ดร.กิตติพงษ์ เยาวจา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ ดร.เมธิณี รัตสาร	กรมสอบสวนคดีพิเศษ
อาจารย์ ดร.ภาคภูมิ บวบทอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
อาจารย์ ดร.ภัสสร แสงคล้าย	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขานุการ

อาจารย์ ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
----------------------------------	-------------------------

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวสุปราณี ชมจุมจัง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
------------------------	---

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

นางเดือนเพ็ญ สุขทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวมัทนา เกตุโพธิ์ทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวนวมมล พลบุญ	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวศุภราพร เกตุกลม	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวทัศนีย์ ปันทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายรัชตะ อนุวัชกุล	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายจักรพันธ์ ก้อนมณี	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาววรารักษ์ แสงสุริศรี	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวธนพร ชนาธิปกรณ์	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายวิรัช หล่อศรีจันทร์	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ติดต่อกองบรรณาธิการ

สถาบันวิจัยและพัฒนา ชั้น 4 อาคารเบญจมาภรณ์ (อาคาร 13) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220 โทรศัพท์ / โทรสาร 0-2544-8629 Email: PRRJ_Scitech@pnru.ac.th

กำหนดตีพิมพ์

2 ฉบับ ต่อปี (มกราคม-มิถุนายน และกรกฎาคม-ธันวาคม)

การเผยแพร่

ผู้ที่สนใจสามารถค้นหาที่ http://PRRJ_Scitech@pnru.ac.th/ และ https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/user

พิมพ์ที่

พจน. ประยูรสาส์นไทย การพิมพ์ : เลขที่ 44/132 ถ.กำนันแม้น แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กทม. 10150
โทรศัพท์ : 0 - 2802 - 0377, 0 - 2802 - 0379, 08 - 1566 - 2540

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566 เป็นวารสารวิชาการระดับชาติที่อยู่ในฐานข้อมูลของ TCI ได้รวบรวมบทความ เพื่อเผยแพร่ แลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการและการวิจัยของคณาจารย์ นักศึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

เนื้อหาสาระในวารสารฉบับนี้มีบทความเกี่ยวกับศาสตร์ทางด้านเกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร วัสดุศาสตร์ และฟิสิกส์ ทุกเรื่องมีความน่าสนใจและเป็นประโยชน์เหมาะสมกับผู้สนใจ ซึ่งบทความทุกบทความได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องนั้น ๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางวิชาการสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษา และผู้ที่สนใจต่อไป

การจัดทำวารสารฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมืออย่างดียิ่งจากผู้เขียนบทความ ผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการ ตลอดจนบุคคลท่านอื่น ๆ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า
บรรณาธิการวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Readers)

ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

รองศาสตราจารย์ ดร.นริศ ท้าวจันทร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ครุณาการ	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิชัย สียงนอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย แพงาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พราม อินพรม	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริสุข จินดารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย พะวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ สงวนพวง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษ สุจริตตั้งธรรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาริชาติ ประกอบมาศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวิทย์ รัตมี	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธาทิพย์ ทองเล่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.อำนาจ เจริรัตน์	มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี
ดร.อโณทัย ผาสุข	โรงพยาบาลบางละมุง
ดร.อัญญา พลดเปลื้อง	วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี จักรีรัช
ดร.วรเดช ช้างแก้ว	นักวิชาการอิสระ
ดร.เปล่งสุรีย์ เทียนน้อย	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ศรินทร์ สุวรรณรงค์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.ชุติมา อุปถัมภ์	มหาวิทยาลัยราชชมงคลกรุงเทพ
ดร.ปรารภณา อินต๊ะวิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ศิริลักษณ์ สุรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.จักรี ออย่าเสียสัตย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ดร.จรงค์ศักดิ์ พุ่มนวน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ

	หน้า
บทบรรณาธิการ	ก
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ	ข
สารบัญ	ค

บทความวิจัย

- การหาค่าการนำความร้อนของวัสดุโดยอาศัยปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก
พัชรียา ชนไฮ และ เขมฤทัย ถามะพัฒน์..... 1
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ก้อนถ่านดูดกลิ่นจากผลจาก
ปริศนา เพียรจริง พนิตพิชา ปุณฺณาคาม วิภาวินี ประพฤติ ณิชฐา กิจประเทือง
ภูมินทร์ พรหมสาด และ จารุณี วิเทศ..... 14
- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกกับอาการปวดเข่าในนักวิ่งสมัครเล่น
ลดาวัลย์ ชูติมากุล และ ชนวัฒน์ สรรพสิทธิ์..... 30
- DRYING MEDICAL PLANTS IN CHAI BADAN, LOPBURI BY SOLAR DRYER
FOR PRODUCING THAI HERB PRODUCTS
Suchada Maisont, Wisutthana Samutsri and Arthit Sansomboon..... 41
- ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการเล่นฟุตบอลกับภาวะสมาธิสั้นในประชากรเจนเนอเรชันวาย
ณกรณ์ วัฒนสิทธิคุณ ไกรสร อัมมวรรณ และ มนฤดี กิริติพรานนท์..... 52
- ผลของซูคราโลสและการจีแนต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และขิง
เบญจางค์ อัจฉริยะโพธา จันทกานต์ งามสวย สุธีธิดา เกสร และ นภัทร ไวยสุรา..... 66
- เปรียบเทียบผลการเขียนของแตนเบียน *ANISOPTEROMALUS CALANDRAE* (HOWARD)
และ *THEOCOLEX ELEGANS* (WESTWOOD) ต่อด้วงวงข้าวโพด
ณัฐพงศ์ เมธิ์นธรังสรรค์..... 83

บทความวิชาการ

- การคำนวณค่าพลังงานจากยูเรเนียม-236
ชโนภาส ชนลักษณ์ดาว และ รัศมี แสงศิริมงคลย์..... 95

ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความ.....	110
ขั้นตอนการพิจารณาบทความ.....	114
รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์.....	115
จริยธรรมในการตีพิมพ์.....	120

การหาค่าการนำความร้อนของวัสดุโดยอาศัยปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY OF MATERIALS BASED ON THERMOELECTRIC EFFECT

พัชรียา ชนไฮ และ เขมฤทัย ถามะพัฒน์*

ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อคำตอบของสังคม ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพมหานคร 10140

Pachareeya Chonhai and Kheamrutai Thamaphat*

Applied Science and Engineering for Social Solution Research Center, Department of Physics,
Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Bangkok 10140

*E-mail: kheamrutai.tha@kmutt.ac.th

Received: 07-06-2023

Revised: 02-07-2023

Accepted: 12-07-2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุภายใต้การวัดแบบสภาวะคงตัว โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่หาได้ง่ายในท้องตลาดและมีราคาถูก มาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนและความเย็น ภายใต้ปรากฏการณ์เพลเทียร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนและใช้เป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อน ภายใต้ปรากฏการณ์ซีเบคที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับชุดหาค่าความร้อนและความเย็นแต่ละชุดประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ขนาด $4.0 \times 4.0 \text{ cm}^2$ จำนวน 4 โมดูลมาต่อกันแบบขนาน ชุดหาค่าความร้อนและชุดหาค่าความเย็นถูกประกบเข้ากับแผ่นทองแดงแต่ละแผ่นที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุทดสอบขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ ที่วางอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นทองแดงทั้ง 2 แผ่นในรูปแบบแซนวิชโดยจะมีการฝังเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในแผ่นทองแดงที่ประกบติดกับชุดหาค่าความร้อนเพื่อวัดฟลักซ์ความร้อนที่ไหลผ่านพื้นผิวของวัสดุทดสอบ เมื่อนำชุดอุปกรณ์นี้ไปทดลองหาค่าการนำความร้อนของแผ่นโพลีเอทิลีนที่ทราบค่าการนำความร้อนจากการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C518 พบว่าชุดอุปกรณ์นี้มีความถูกต้องสูง มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.87%

คำสำคัญ: ค่าการนำความร้อน ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ปรากฏการณ์เพลเทียร์ ปรากฏการณ์ซีเบค เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

ABSTRACT

This work aims to develop an apparatus for measuring the thermal conductivity of bulk materials based on the steady-state method, employing a thermoelectric module (TEM). The cost-effective and easily accessible TEMs were utilized as the heating source, cooling source, and heat flux meter. The TEM was used to generate heating and cooling on the basis of the Peltier effect, which involves the conversion of electricity into thermal energy. On the contrary, the Seebeck effect, based on the direct conversion of thermal energy into electricity, was employed as the principle for creating a heat flux meter. To generate heating or cooling, four TEMs, each with dimensions of $4.0 \times 4.0 \text{ cm}^2$, were connected in a parallel circuit to form the heating and cooling sets. Each set was in direct contact with a copper heat exchanger plate, creating a sandwich model with an $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ sample material placed in the middle. A TEM was embedded in the copper plate near the heating set to measure the heat passing through the sample surface. To validate the accuracy of this apparatus, the thermal conductivity value of a polystyrene foam, which was tested according to ASTM C518, was compared with the value obtained by using an apparatus developed in this work. The results indicated that this apparatus achieved high accuracy, with an average error of 0.87%.

Keywords: Thermal Conductivity, Thermoelectric Effect, Peltier Effect, Seebeck Effect, Thermoelectric Module

บทนำ

การนำความร้อนเกิดขึ้นจากการถ่ายโอนพลังงานความร้อนไปยังวัสดุทำให้เกิดการสั่นภายในโมเลกุล และถูกส่งผ่านจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งโดยที่โมเลกุลไม่มีการเคลื่อนย้าย (Chinnaboon, 2012) วัสดุแต่ละชนิดมีสมบัติในการนำความร้อนแตกต่างกัน สมบัตินี้ถูกนิยามด้วยค่าการนำความร้อน หรือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) ซึ่งเป็นค่าคงตัวที่ขึ้นอยู่กับความหนา พื้นที่ผิว และความแตกต่างของอุณหภูมิที่ให้ความร้อนกับวัสดุ วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงจัดเป็นวัสดุประเภทตัวนำความร้อน (Conductor) และวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจัดเป็นวัสดุประเภทฉนวนความร้อน (Insulator) ปัจจุบันมีการนำค่าการนำความร้อนไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ในการเลือกวัสดุสำหรับงานด้านต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ งานออกแบบสถาปัตยกรรม และสิ่งก่อสร้าง (Khaothong, 2019 ; Thongchainumchok et al., 2022) เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ จึงเป็นสาเหตุให้มีการพัฒนาวิธีการต่าง ๆ เพื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Yüksel, 2016) โดยทั่วไปวิธีการหาค่าการนำความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ๆ ตามหลักการวัด ได้แก่ 1) การวัดแบบสถานะไม่คงตัว (Transient method) เป็นการวัดในขณะที่มีการให้ความร้อนแก่วัสดุซึ่งอุณหภูมิของวัสดุจะถูกพิจารณาภายใต้สภาวะเงื่อนไขแบบไม่คงตัว (มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา) ทำให้ใช้เวลาในการวัดที่รวดเร็วเนื่องจากไม่จำเป็นต้องรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวอย่างไรก็ตามวิธีการนี้จำเป็นต้องใช้การคำนวณและสมการที่ยากซับซ้อน (Rincon-Tabares et al., 2022) และ 2) การวัดแบบสถานะคงตัว (Steady-state method) โดยการให้ความร้อนแก่วัสดุ จนกระทั่งอุณหภูมิของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งวิธีการนี้มีความถูกต้อง (Accuracy) สูงกว่าวิธีการวัดแบบสถานะไม่คงตัว (Kraemer & Chen, 2014)

ในการหาค่าการนำความร้อนโดยอาศัยหลักการวัดแบบสภาวะคงตัวนั้นสามารถหาได้ตามวิธีมาตรฐาน เอเอสทีเอ็ม (American society for testing and materials หรือ ASTM) ที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 วิธีตามมาตรฐาน ASTM C117 หรือเรียกว่า วิธี Guard Hot Plate (GHP) ส่วนประกอบหลักของวิธีการนี้ คือ ชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็นที่ประกอบอยู่ด้านบนและด้านล่างของแผ่นวัสดุที่ต้องการทดสอบ ตามลำดับ ชุดทำความร้อนเป็นแผ่นโลหะมี 2 ส่วน คือ แผ่นทำความร้อน (Heat plate) และแผ่นป้องกัน (Guard plate) โดยแผ่นทำความร้อนจะอยู่กึ่งกลาง และมีแผ่นป้องกันอยู่โดยรอบทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกด้านข้าง ซึ่งวิธีการนี้สามารถวัดฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ที่ถ่ายโอนไปยังวัสดุได้โดยตรง (Absolute method) จึงไม่ต้องการสอบเทียบ มีช่วงของอุณหภูมิการวัดกว้างอยู่ในช่วง $-160^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ ค่าที่วัดได้มีความถูกต้องสูง แต่มีข้อเสีย คือ ใช้เวลาการวัดนาน เนื่องจากต้องรอให้แผ่นทำความร้อนและแผ่นป้องกันมีอุณหภูมิเท่ากัน และต้องใช้แผ่นวัสดุที่ต้องการทดสอบ 2 ชิ้น เพื่อยืนยันว่าการถ่ายเทความร้อนอย่างสมมาตร (ASTM C117, 2002 ; Reddy & Jayachandran, 2016) สำหรับวิธีที่ 2 คือ วิธีตามมาตรฐาน ASTM C518 หรือเรียกว่า วิธี Heat Flow Meter (HFM) วิธีการนี้ประกอบด้วยชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็น ประกอบอยู่ด้านบนและด้านล่างของแผ่นวัสดุ ที่ต้องการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี GHP แต่ไม่มีแผ่นป้องกัน ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบชุดอุปกรณ์อย่างดีเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปในทิศทางเดียว วิธีการนี้เป็นวิธีการวัดที่ง่าย รวดเร็ว และค่าที่วัดได้มีความถูกต้องสูง แต่ไม่สามารถวัดฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายโอนไปยังวัสดุได้โดยตรง (Comparative method) จึงมีตัววัดฟลักซ์ ความร้อนทำหน้าที่แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเทียบเป็นอัตราการไหลของความร้อนที่ผ่านวัสดุ (ASTM C518, 1998 ; Sánchez-Calderón et al., 2022)

หลายงานวิจัยได้พัฒนาชุดทดลองสำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุขึ้นโดยอาศัยหลักการวัดแบบสภาวะคงตัว เช่น การใช้น้ำร้อนเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน และน้ำแข็งเป็นแหล่งกำเนิดความเย็น และประยุกต์ใช้อัตราการละลายของน้ำแข็งแทนการวัดฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายโอนผ่านแผ่นวัสดุทดสอบ อย่างไรก็ตามค่าการนำความร้อนที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนสูงประมาณ 57% (Tananchai, 2014) นอกจากนั้น มีการนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric module หรือ TEM) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยวัสดุ เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น (N-type) และชนิดพี (P-type) แผ่นขั้วไฟฟ้า และแผ่นเซรามิกฐานรอง สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนหรือเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตามปรากฏการณ์ เพลเทียร์ - ซีเบค (Peltier-Seebeck effect) (Harun et al., 2018 ; Feofanov et al., 2021) มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาชุดทดลองสำหรับหาค่าการนำความร้อน เช่น การออกแบบชุดอุปกรณ์โดยอาศัยหลักการวัดแบบสภาวะคงตัวที่นำ TEM มาเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน และใช้วัสดุอ้างอิงที่ทราบค่าการนำความร้อนเป็นตัวเทียบค่าฟลักซ์ ความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุ พบว่าค่าการนำความร้อนของวัสดุที่วัดได้ มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 3.2% (Ajiwiguna & Kim, 2016) หรือออกแบบชุดอุปกรณ์โดยใช้วิธีการวัดแบบ HFM โดยใช้ TEM เป็นแหล่งกำเนิด ความร้อนและความเย็น และใช้เครื่องวัดการถ่ายเทความร้อนเป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อน พบว่าชุดทดลองมีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องสูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.6% (Khaothong, 2019) นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่นำเอา TEM มาประยุกต์ใช้เป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อน สำหรับชุดอุปกรณ์การวัดแบบ GHP อีกด้วย โดยนำ TEM ฝังในแผ่นตัวนำที่สัมผัสกับท่อน้ำร้อนซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน พบว่าค่าการนำความร้อน ของวัสดุที่วัดได้ มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 2% (Dubois, 2013)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นชี้ให้เห็นได้ว่า ถ้าสามารถออกแบบระบบการวัดค่าการนำความร้อน ให้นำเอาข้อดีของทั้งวิธี GHP และ HFM มารวมกันได้จะทำให้มีแผ่นป้องกันความร้อนเพื่อบังคับให้การถ่ายเท ความร้อนเป็นไปในทิศทางเดียว ระยะเวลาที่ใช้ในการวัดสั้นลงกว่าวิธี GHP ใช้แผ่นวัสดุที่ต้องการทดสอบเพียง 1 แผ่น และค่าที่วัดได้

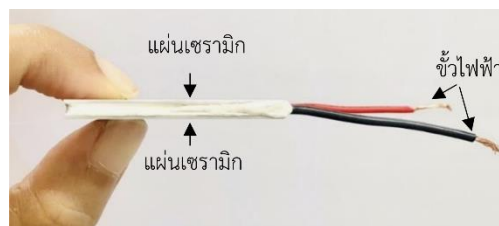
มีความถูกต้องสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับ วัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ โดยอาศัยหลักการวัดแบบสภาวะคงตัวที่นำเอาหลักการของวิธี GHP และ HFM มารวมเข้าด้วยกัน นอกจากนั้นยังนำเอา TEM ที่มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายมาประยุกต์ใช้ โดยนำ TEMs มาประกอบเป็นชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็น และมีแผ่นป้องกันอยู่รอบ TEMs ที่ทำหน้าที่เป็นชุดทำความร้อน เพื่อป้องกันความร้อนไม่ให้ถ่ายเทออกด้านข้าง และนำเอา TEM มาทำหน้าที่เป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อนแทนการใช้เครื่องวัดการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีราคาสูง (Dubois, 2013) โดยหลังจากการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับวัดค่าการนำความร้อนเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์โดยใช้วัสดุตัวอย่างเป็นฉนวนความร้อนประเภทต่าง ๆ ได้แก่ แผ่นโฟมโพลีสไตรีน แผ่นโฟมโพลีเอทิลีน ยางสังเคราะห์เอทิลีน-โพรพิลีนโมโนเมอร์ และกระดาษลูกฟูก

วิธีการ

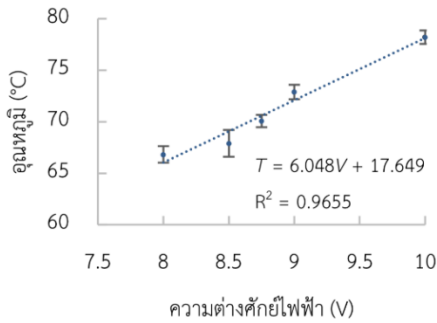
ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุด้วยหลักการวัดแบบสภาวะคงตัว ทั้งวิธี GHP และ HFM โดยมี TEM เป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทหลักในการวัด ดังนั้น ในการดำเนินงานวิจัยจึงแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับ หาค่าการนำความร้อนของวัสดุ การหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค และการทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ

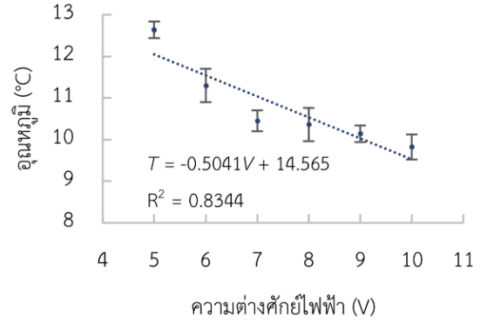
งานวิจัยนี้ได้ออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ โดยนำ TEM ที่หาซื้อได้ง่ายและเป็นที่นิยม นั่นคือรุ่น TEC1-12706 ขนาด $4.0 \times 4.0 \text{ cm}^2$ ดังแสดงในภาพที่ 1 มาสร้างเป็นชุดทำความร้อน ชุดทำความเย็น และตัววัดฟลักซ์ความร้อน สำหรับการทำหน้าที่เป็นชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็นของ TEM จะอาศัยปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน กล่าวคือ เมื่อจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปจะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นเซรามิก ทั้งสองแผ่น (แผ่นหนึ่งจะร้อน และอีกแผ่นหนึ่งจะเย็น) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) กับอุณหภูมิ (T) เป็นไปตามกราฟ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล รุ่น TEC1-12706 ขนาด $4.0 \times 4.0 \text{ cm}^2$



แผ่นเซรามิกด้านร้อน



แผ่นเซรามิกด้านเย็น

ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับอุณหภูมิของแผ่นเซรามิก

จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่า หากต้องการนำ TEM มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนและแหล่งกำเนิดความเย็น สามารถควบคุมได้โดยกำหนดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่น TEM ตามสมการที่ (1) และสมการที่ (2) ตามลำดับ

$$T = 6.048V + 17.649 \quad (1)$$

และ

$$T = -0.5041V + 14.565 \quad (2)$$

สำหรับการนำ TEM มาเป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อน จะอาศัยการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าตามปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) กล่าวคือ เมื่อแผ่นเซรามิกทั้งสองได้รับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จะมีการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า นั่นคือมีการสั่นของอนุภาคโฟนอน (Phonon) และการเคลื่อนที่ของโฮล (Hole) และอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าออกมา และสามารถวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง (แรงดันไฟฟ้าขาออก) ได้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นเซรามิกทั้งสองแผ่น กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (3) (RDI-SNRU, 2019 ; Seetawan, 2015)

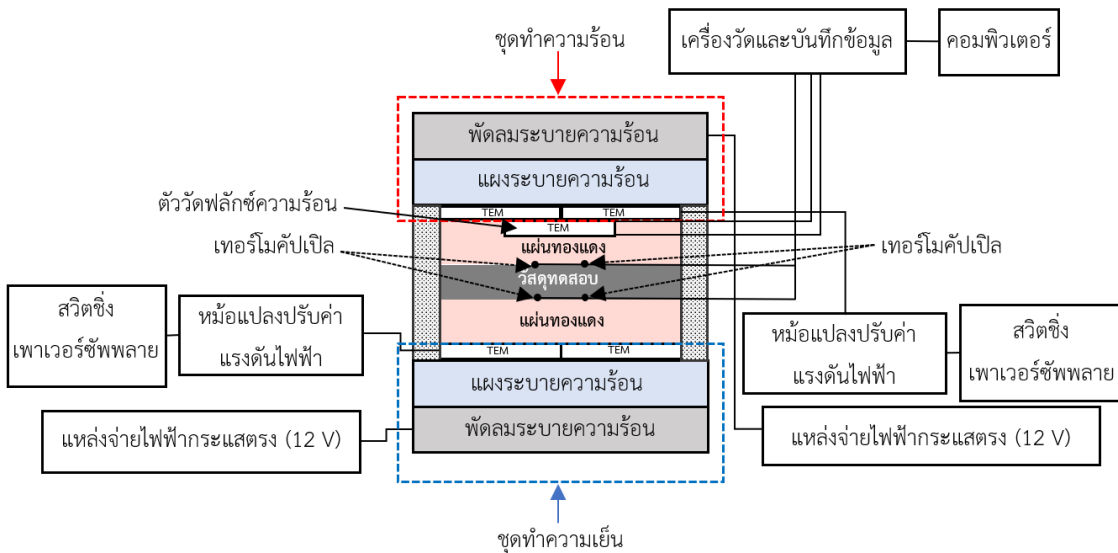
$$V = \alpha \cdot \Delta T \quad (3)$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) (V/K)

และ ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)

จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่า เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (α) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุและสัมพันธ์กับช่วงอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน (Zhang et al., 2011) ดังนั้นการนำ TEM ไปประยุกต์ใช้เป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อน จึงต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM ที่นำมาใช้งานวิจัยนี้ด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงการทดลองขั้นตอนนี้ในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 3 แผนภาพมุมมองด้านข้างของชุดอุปกรณ์หาค่าการนำความร้อน และการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์เข้ากับระบบอิเล็กทรอนิกส์ และระบบควบคุมและแสดงผล

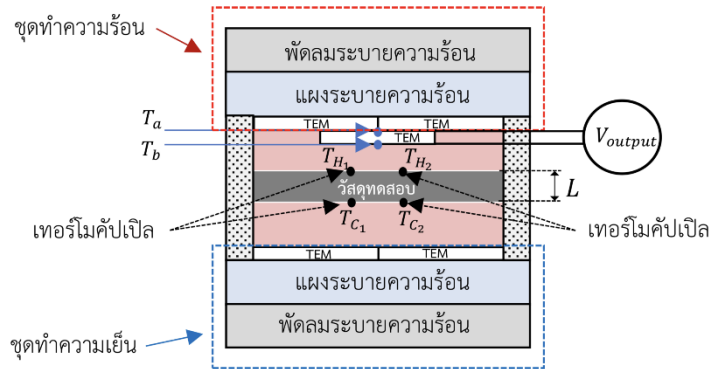
ในการออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนตามหลักการวัดแบบสถานะคงตัว ที่รวมเอาข้อดีของวิธี GHP และ HFM เข้าด้วยกันนั้น เป็นไปตามภาพที่ 3 เริ่มจากการสร้างชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็นแต่ละชุดจะสร้างจาก TEM ขนาด $4.0 \times 4.0 \text{ cm}^2$ จำนวน 4 แผ่น ที่นำมาต่อกันแบบขนาน และติดเข้ากับระบบระบายความร้อนอย่างง่าย ประกอบด้วย แผงระบายความร้อน (Heat sink) และพัดลมระบายความร้อน โดยชุดกำเนิดความร้อนและความเย็นแต่ละชุดจะถูกต่อเข้ากับหม้อแปลงปรับค่าแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน (Variable voltage transformer หรือ VARIAC) ยี่ห้อ STABLE รุ่น TDGC2-0.5KVA เพื่อปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มาจากสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching power supply) ยี่ห้อ MEANWELL รุ่น LRS-150-12 ให้มีค่าตามที่ต้องการ สำหรับควบคุมอุณหภูมิของชุดกำเนิดความร้อนและความเย็น ดังความสัมพันธ์ตามสมการที่ (1) - (2)

จากภาพที่ 3 ชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็นจะประกอบอยู่ด้านบนและด้านล่าง โดยมีแผ่นทองแดงเกรด C1100 ขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ หนา 6.0 mm (ขนาดที่กำหนดสอดคล้องกับขนาดของแผงระบายความร้อน และเพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น) ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนและความเย็นให้แก่วัสดุทดสอบขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ ที่วางอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นทองแดงทั้ง 2 แผ่น ในรูปแบบแซนวิช โดยมีการฝัง TEM ขนาด $4.0 \times 4.0 \text{ cm}^2$ จำนวน 1 แผ่น ไว้ในแผ่นทองแดงที่ประกบเข้ากับชุดทำความร้อน เพื่อทำหน้าที่เป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อนที่ไหลผ่านพื้นผิวของวัสดุทดสอบ และมีเทอร์โมคัปเปิล (Type K) จำนวน 4 เส้น วางบริเวณผิวหน้าของ วัสดุทดสอบโดยให้สัมผัสกับแผ่นทองแดง สายเทอร์โมคัปเปิลและสายไฟจากตัววัดฟลักซ์ความร้อน จะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ WISCO รุ่น AI210 ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop) สำหรับด้านข้างของชุดอุปกรณ์ จะถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนแบบแผ่นที่ผลิตจาก โพลีเอทิลีน (Polyethylene foam) เพื่อบังคับให้ความร้อนไหลในทิศทางเดียว

2. การหาค่าการหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM

การทดลองในตอนนี้จะแสดงวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM ที่นำมาใช้เป็นตัววัดพลังความร้อน โดยอาศัยชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้ดังแสดงในภาพที่ 3 และใช้วัสดุที่ทราบค่าการนำความร้อนมาเป็นวัสดุทดสอบ ในการทดลองเลือกใช้แผ่นโฟมโพลิสไตรีน (Polystyrene foam) ที่มีความหนาแน่น 1.0 LB/FT ขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ หนา 10.0 mm มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ $0.03510 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (วัดตามมาตรฐาน ASTM C518 โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ) ณ ช่วงอุณหภูมิทดสอบเฉลี่ย $23.0 \pm 1.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นวัสดุทดสอบ



ภาพที่ 4 ตัวแปรในการวัดที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของชุดอุปกรณ์

พิจารณาภาพที่ 4 ในการทดลองจะควบคุมให้ชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็นมีอุณหภูมิเฉลี่ย $33.07 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $12.71 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ โดยอาศัยการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตามสมการที่ (1) – (2) ความร้อนจากชุดทำความร้อนจะถ่ายโอนไปยังตัววัดพลังความร้อนและวัสดุทดสอบ ซึ่งในที่นี้ คือ แผ่นโฟมโพลิสไตรีน ความร้อนที่ถ่ายโอนผ่านตัววัดพลังขึ้นนี้ (เทียบเท่ากับปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนไปยังวัสดุ) ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้ง 2 ด้านของ TEM ($T_a - T_b$) ส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า (V_{output}) ตามปรากฏการณ์ซีเบค และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว อุณหภูมิที่พื้นผิวของแผ่นโฟมโพลิสไตรีน T_H (ค่าเฉลี่ยของ T_{H1} และ T_{H2}) และ T_C (ค่าเฉลี่ยของ T_{C1} และ T_{C2}) จะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ในการทดลองจะทำการบันทึกค่า T_{H1} , T_{H2} , T_{C1} , T_{C2} และ V_{output} โดยใช้ data logger เป็นระยะเวลา 60 นาที โดยจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM ที่ทำหน้าที่เป็นตัววัดพลังความร้อน ซึ่งคำนวณจากปริมาณความร้อน (Q) ที่ถ่ายโอนผ่านตัววัดพลัง (เทียบเท่ากับปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนไปยังวัสดุ) ดังสมการที่ (4)

$$Q = \frac{kA(T_H - T_C)}{L} \quad (4)$$

เมื่อ k คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุทดสอบ ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

Q คือ ปริมาณความร้อน (W)

L คือ ความหนาของวัสดุทดสอบ (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุทดสอบ (m^2)

และ $T_H - T_C$ คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่พื้นผิวทั้ง 2 ด้านของวัสดุ (K)

แทนค่า $T_H - T_C$ ที่ได้จากการทดลองลงในสมการที่ (4) กำหนดให้ค่าการนำความร้อนของแผ่นโพลีไธรีน เท่ากับ $0.03510 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ความหนา 10.0 mm และพื้นที่หน้าตัด 16 cm^2 จากนั้นนำค่า Q ที่คำนวณได้ไปหาค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้ง 2 ด้านของ TEM ($T_a - T_b$) ดังสมการที่ (5)

$$T_a - T_b = \frac{QL_{te}}{k_{te}A_{te}} \quad (5)$$

เมื่อ k_{te} คือ ค่าการนำความร้อนของ TEM มีค่าเท่ากับ $1.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

A_{te} คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่น TEM มีค่าเท่ากับ 16 cm^2

และ L_{te} คือ ความหนาของแผ่น TEM มีค่าเท่ากับ 3.8 mm

นำค่า $T_a - T_b$ ที่คำนวณได้และค่า V_{output} ที่ได้จากการทดลอง ลงในสมการที่ (6) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

$$\alpha = \frac{V_{output}}{(T_a - T_b)} \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM ที่คำนวณได้ จะนำไปใช้เป็นค่าคงตัวของตัววัดพลังค์ความร้อนในการหาค่าการนำความร้อนของวัสดุต่อไป

3. การทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ

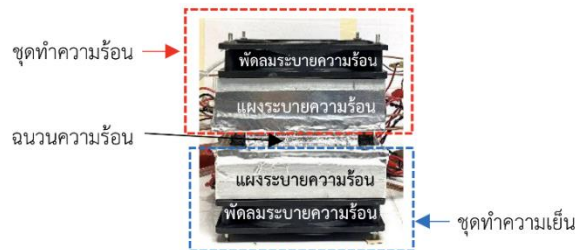
หลังจากออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ และหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM ที่นำมาใช้เป็นตัววัดพลังค์ความร้อนแล้ว การทดลองในขั้นตอนนี้ จึงเป็นการดำเนินการทดสอบความถูกต้อง (Validation) ของชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้วัสดุทดสอบที่ทราบค่าการนำความร้อนตามมาตรฐานในการทดลองนี้เลือกใช้แผ่นโพลีไธรีน ที่มีความหนาแน่น 1.25 LB/FT ขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ หนา 10.0 mm และมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ $0.03467 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (วัดตามมาตรฐาน ASTM C518 โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ) ควบคุมให้ชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็นมีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.07°C และ 12.71°C ตามลำดับ และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว บันทึกค่า T_{H_1} , T_{H_2} , T_{C_1} , T_{C_2} และ V_{output} เป็นระยะเวลา 60 นาที และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค และ V_{output} แทนลงในสมการที่ (6) เพื่อหาค่า $T_a - T_b$ จากนั้นนำค่า $T_a - T_b$ แทนในสมการที่ (5) เพื่อหาค่า Q และแทนค่า Q ที่หาได้ลงในสมการที่ (4) เพื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ หลังจากนั้นเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากวิธีตามมาตรฐาน และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะบ่งบอกถึงความถูกต้องของชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

นอกจากทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์แล้ว ยังได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าการนำความร้อนอีก 3 ชนิด ได้แก่ โพลีเอทิลีน ยางสังเคราะห์เอทิลีนโพรพิลีนโมโนเมอร์ และกระดาษลูกฟูก ที่มีขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ และหนา 10.0 mm 10.0 mm และ 2.5 mm ตามลำดับ

ผลการทดลองและวิจารณ์

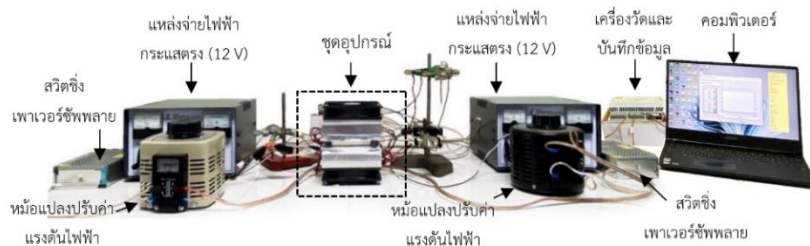
1. ผลการสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ

จากที่ได้ออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ ตามหลักการวัดแบบสภาวะคงตัว ที่นำเอาข้อดีของทั้งวิธี GHP และ HFM มารวมกัน และประยุกต์เอา TEM มาสร้างเป็นชุดทำความร้อน ชุดทำความเย็น และตัววัดฟลักซ์ความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 3 ไปแล้วนั้น ในตอนนี้จะอธิบายถึงชุดอุปกรณ์ที่ได้สร้างขึ้นจริงตามที่ได้ ออกแบบไว้



ภาพที่ 5 การติดตั้งชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็นเข้ากับแผ่นทองแดงและวัสดุทดสอบ

ภาพที่ 5 เป็นภาพถ่ายของชุดทำความร้อนและชุดทำความเย็น ที่แต่ละชุดประกอบด้วย TEM ขนาด $4.0 \times 4.0 \text{ cm}^2$ จำนวน 4 โมดูล มาต่อกันแบบขนาน แล้วติดเข้ากับแผ่นระบายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน ซึ่งชุดทำความร้อนและความเย็นจะประกบอยู่ด้านบนและด้านล่าง โดยมีแผ่นทองแดงทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อน ให้แก่ วัสดุทดสอบที่วางอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นทองแดงทั้ง 2 แผ่น ในรูปแบบแซนวิช จากภาพที่ 5 แผ่นทองแดงและวัสดุทดสอบถูกหุ้มด้วยฉนวนความร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปด้านข้าง และภาพที่ 6 แสดงภาพถ่าย การติดตั้งระบบต่าง ๆ เข้ากับชุดอุปกรณ์สำหรับวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยวัสดุที่จะ นำมาทดสอบเพื่อหาค่าการนำความร้อน ต้องตัดให้มีขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$



ภาพที่ 6 การติดตั้งระบบของชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อน เข้ากับระบบอิเล็กทรอนิกส์ และระบบควบคุมและแสดงผล

2. ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM

การหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM ที่นำมาใช้เป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อนนั้น หาจากชุดอุปกรณ์ที่ติดตั้งดังแสดงในภาพที่ 6 โดยใช้แผ่นโพรโมทิสไดรینที่มีความหนาแน่น 1.0 LB/FT ขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ หนา 10.0 mm และมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.03510 W/m·K มาเป็นวัสดุทดสอบ โดยทำการบันทึกค่า T_{H1} , T_{H2} , T_{C1} , T_{C2} และ V_{output} โดยใช้ data logger เป็นระยะเวลา 60 นาที ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM ที่นำมาใช้เป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อน

ครั้งที่	T_H (°C)	T_C (°C)	$T_H - T_C$ (K)	Q (W)	V_{output} (V)	$T_a - T_b$ (K)	α (V/K)
1	32.50	14.27	18.23	0.1024	0.012	0.1621	0.0750
	± 0.01	± 0.01	± 0.02	± 0.0078	± 0.001	± 0.0185	± 0.0185
2	32.16	14.14	18.02	0.1012	0.012	0.1602	0.0760
	± 0.01	± 0.01	± 0.02	± 0.0077	± 0.001	± 0.0183	± 0.0183
3	33.05	13.54	19.51	0.1096	0.013	0.1735	0.0769
	± 0.01	± 0.01	± 0.02	± 0.0083	± 0.001	± 0.0198	± 0.0198
ค่าเฉลี่ย							0.0760 ± 0.001

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.0760 \pm 0.001 \text{ V/K}$ ซึ่งเมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM ที่นำมาใช้เป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อนแล้ว จึงจะสามารถใช้ชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ไปหาค่าการนำความร้อนของวัสดุตัวอย่างได้

3. ผลการทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ

หลังจากที่ได้สร้างชุดอุปกรณ์และทราบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ TEM แล้ว ในตอนนี้จะแสดงผลการทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น โดยหาค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ทราบค่ามาตรฐาน ได้แก่ แผ่นโพรโมทิสไดริน ที่มีความหนาแน่น 1.25 LB/FT ขนาด $8.0 \times 8.0 \text{ cm}^2$ หนา 10.0 mm มีค่าการนำความร้อนมาตรฐานเท่ากับ 0.03467 W/m·K โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการนำความร้อนของโพรโมทิสไดริน ที่มีความหนาแน่น 1.25 LB/FT และหนา 10.0 mm

k ที่ได้จากการทดลอง				k มาตรฐาน (W/m·K)	%error
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
0.03524 ± 0.0141	0.03463 ± 0.0141	0.03505 ± 0.0140	0.03497 ± 0.0002	0.03467	0.87

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าการนำความร้อนของโพลีเอทิลีนที่ได้จากการทดลอง มีค่าเฉลี่ย 0.03497 ± 0.0002 W/m·K และมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากค่าที่หาจากวิธีการตามมาตรฐาน 0.87 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำชี้ให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์นี้มีความถูกต้องสูง ด้วยระบบที่ออกแบบบังคับให้ความร้อนไหลไปในทิศทางเดียว มีแหล่งกำเนิดความร้อนและความเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิสอดคล้องกับการวัดตามมาตรฐาน และเมื่อทำการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าการนำความร้อนอีก 3 ชนิด ได้แก่ โพลีเอทิลีน ยางสังเคราะห์ เอทิลีนโพรพิลีนโมโนเมอร์ และกระดาษลูกฟูก ที่มีขนาด 8.0×8.0 cm² และหนา 10.0 mm, 10.0 mm และ 2.5 mm ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ค่าการนำความร้อนของโพลีเอทิลีน ยางสังเคราะห์เอทิลีนโพรพิลีนโมโนเมอร์ และกระดาษลูกฟูก มีค่าเฉลี่ย 0.0305, 0.0385 และ 0.0687 W/m·K ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับวรรณกรรมอ้างอิง (Du et al., 2019; Umnyakova, 2020) กล่าวคือ วัสดุที่มีสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนมาก จะถ่ายโอนความร้อนได้ไม่ดี ค่าการนำความร้อนจึงต่ำ จากการทดลองนี้จะเห็นว่า โพลีเอทิลีนมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด มีสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนมากที่สุด ซึ่งปัจจุบันโพลีเอทิลีนนิยมใช้เป็นวัสดุฉนวนความร้อนที่ใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย เช่น วัสดุบุหลังคา วัสดุที่มีความเป็นฉนวนรองลงมา คือ ยางสังเคราะห์เอทิลีนโพรพิลีนโมโนเมอร์ เป็นฉนวนกันความร้อนที่ใช้อย่างหลากหลายในงานอุตสาหกรรม และเป็นที่ยอมรับเช่นเดียวกับโพลีเอทิลีน ขณะที่วัสดุที่มีความเป็นฉนวนความร้อนน้อยที่สุด คือ กระดาษลูกฟูก ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นฉนวนความร้อนสำหรับบรรจุภัณฑ์

สรุป

งานวิจัยนี้ได้สร้างชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุโดยอาศัยปรากฏการณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก ออกแบบชุดทดลองภายใต้การวัดแบบสภาวะคงตัว สามารถนำเอาหลักการของวิธี GHP และ HFM มารวมเข้าด้วยกัน สำหรับใช้ในการทดสอบกับวัสดุเพียง 1 แผ่น มีการบังคับความร้อนถ่ายเทไปในทิศทางเดียว โดยการนำเอา TEM ที่หาได้ง่ายในท้องตลาดและมีราคาถูก มาประยุกต์ทำหน้าที่เป็นทั้งชุดทำความร้อน ชุดทำความเย็น และเป็นตัววัดฟลักซ์ความร้อนแทนเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อนที่มีราคาสูงในท้องตลาด เมื่อทดสอบ หาค่าการนำความร้อนของโพลีเอทิลีนที่ทราบค่าการนำความร้อน จากวิธีการมาตรฐาน ASTM C518 (วิเคราะห์โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ) พบว่า มีความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐาน 0.87% ชี้ให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ มีความถูกต้องสูงโดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นจากหลาย ๆ งานวิจัยที่ผ่านมา (Tananchai, 2014 ; Ajiwiguna & Kim, 2016 ; Khaothong, 2019 ; Dubois, 2013) ดังนั้นจึงสามารถนำชุดอุปกรณ์นี้ไปใช้สำหรับหาค่าการนำความร้อนของวัสดุได้ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการวัดที่ค่อนข้างนานประมาณ 60 นาที ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการวัดให้น้อยลงได้ หากใช้ตัววัดฟลักซ์ความร้อนแบบสำเร็จรูป หรือทำให้อุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วขึ้นโดยการลดขนาดของชุดอุปกรณ์ ซึ่งนอกจากจะลดระยะเวลาในการวัดลงแล้ว ยังส่งผลให้ขนาดของแผ่นวัสดุที่ต้องการนำมาทดสอบมีขนาดเล็กลง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณวัชชัย นิมพญา และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่องสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาสับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ASTM C117. (2002). ASTM C177-97 Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate apparatus. **Annual Book of ASTM Standards**, 4(6), 21-32.
- ASTM C518. (1998). ASTM C518 Standard test method for steady-state heat flux measurement and thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus. **Annual Book of ASTM Standards**, 4(6), 163-174.
- Ajiwiguna, T. A. & Kim S. Y. (2016). Thermal conductivity measurement using thermoelectric module. **Journal of Physics: Conference Series**, 8(776), 1-4.
- Chinnaboon, P. (2012). **University physics 1**. Bangkok: Witthayaphat. 240-243. (In Thai)
- Du, B. X., Kong, X. X., Li, J., & Xiao, M. (2019). High thermal conductivity insulation and sheathing materials for electric vehicle cable application. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, 26(4), 1363–1370.
- Dubois, S. (2013). Design construction and validation of a guarded hot plate apparatus for thermal conductivity measurement of high thickness crop-based specimens. **Materials and Structures**, 48, 407-421.
- Feofanov, S. A. & Chashchin, S. L. (2021). Thermoelectric modular systems based on semiconductor elements of Peltier-Seebeck for vehicles. **Journal of Physics: Conference Series**, 2061, 012015.
- Harun, M. H., Azmi, M. W. N., Aras, M. S. M., Azlan, U. A., Azahar, A. H., Annuar, K. A. M., Halim, M. F. M. A., Yaakub, M.F. & Abidin, A.F.Z. (2018). Study on the potential of peltier in generating electricity using heat loss at engine and exhaust vehicle. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, 49(1), 77-84.
- Khaothong, K. (2019). Experimental setup for measuring thermal conductivity of architecture fabrics. **The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Praronage**, 31(1), 145-154. (In Thai)
- Kraemer, D., & Chen, G. (2014). A simple differential steady-state method to measure the thermal conductivity of solid bulk materials with high accuracy. **Review of Scientific Instruments**, 85(2), 025108.
- RDI-SNRU. (2019). **Thermoelectric technology**. Retrieved from <http://rdi.snru.ac.th/wpcontent/uploads/2015/08/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B9%82%E0%B8%A1-%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%89%E0%B9%84%E0%B8%82.pdf> [2023, 6 Apr.]

- _____

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ก้อนถ่านดูดกลิ่นจากผลจาก

DEVELOPMENT OF ODOR ABSORBED CHARCOAL LUMP PRODUCT FROM NIPA PALM FRUIT

ปริศนา เพียรจริง^{1*}, พนิตพิชา ปุญญาคาม¹, วิภาวินี ประพฤติ¹, ณัฏฐา กิจประเทือง²,
ภูมินทร์ พรหมสาด² และ จารุณี วิเทศ³

¹หลักสูตรสาธารณสุขชุมชน วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300

²หลักสูตรวิทยาศาสตร์สุขภาพและความงาม วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300

³หลักสูตรคหกรรมศาสตร์ โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

Prisna Pianjing^{1*}, Panitpicha Punyakham¹, Wipawinee Prapreud¹, Nustha Kitprathaung²,
Phumin Phromsat² and Jarunee Wites³

¹Public Health Curriculum, College of Allied Health Science,

Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok 10300

²Program of Aesthetic Health Science, College of Allied Health Science,

Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok 10300

³Home economics program, School of Culinary Art, Suan Dusit University, Bangkok 10300

*E-mail: prisna.pi@ssru.ac.th

Received: 06-03-2023

Revised: 25-07-2023

Accepted: 08-08-2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลจากเปลือกทิ้งมาแปรรูปให้เป็นก้อนถ่านเพื่อนำไปใช้ในครัวเรือน และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ดูดกลิ่น โดยนำผลจากที่แก่จัดและผลจากผ่าซีกมาเผาในเตาเผาถ่านประดิษฐ์ ถ่านที่เผาแล้วสูญเสียน้ำหนักไปร้อยละ 50- 60 มีความมันวาวที่ผิว และยังคงสภาพดี จากนั้นนำถ่านผลจากไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมี และค่าความร้อนพบว่าถ่านมีค่าความร้อนสูง 5,883 แคลอรีต่อกรัม มีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 60.40 และปริมาณเถ้าร้อยละ 18.37 ต่อมานำถ่านผลจากไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ถ่านดูดกลิ่น 2 ประเภท ก้อนถ่านจากผลจากจะนำไปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ถุงตาข่ายเป็นถ่านดูดกลิ่น และถ่านจากผลจากผ่าซีกจะนำไปอัด ผสมกับกาวแบ่งเปียกขึ้นรูปเป็นก้อนถ่านดูดกลิ่น นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภทไปทดสอบความพึงพอใจต่อการใช้งานกับอาสาสมัครจำนวน 30 คน ผลการศึกษพบว่า ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ของก้อนถ่านทั้ง 2 ประเภทมากที่สุด แต่พึงพอใจต่อความทนทานของก้อนถ่านต่ำสุดเพราะมีเศษถ่านหลุดร่วงออกมา งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ผลจากเปลือกทิ้งมีศักยภาพที่จะนำไปแปรรูปเป็นก้อนถ่านที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน และเป็นก้อนถ่านดับกลิ่นได้

คำสำคัญ: การพัฒนา ผลิตภัณฑ์ ก้อนถ่าน ดูดกลิ่น ผลจาก

ABSTRACT

This research aimed to produce charcoal lumps from nipa palm fruit wastes for use within households and developed into odor absorbed products. The whole and half cut-nipa palm fruits were burned in an artificial charcoal kiln. The weight of nipa palm fruit charcoal after burning was lost by 50-60%, glossy surface, and perfect shape. Then, these charcoal lumps were investigated the chemical properties and heat values. It was found that the heat value of charcoal lumps was 5,883 calories/gram, fixed carbon content was 60.40%, and ash content was 18.37%. After that, the nipa palm fruit charcoal lumps were developed into 2 types of odor absorbed charcoal products. The whole-nipa palm fruit charcoal lumps were packed in the net bag as an odor absorbed charcoal bag. The half-cut nipa palm fruit charcoal lumps were ground and molded to an odor absorbed charcoal briquette by using tapioca starch as a binding agent. Both odor absorbed charcoal products were estimated for satisfaction by 30 volunteers. The results showed that the volunteers were satisfied with the appearance of both products at the highest level but satisfied with the durability of both products was the lowest level because easily broke out of charcoal products. This research shows that the nipa palm fruit wastes have the potential to be produced into charcoal lumps for use as fuel within households and as odor absorbed products.

Keywords: Development, Product, Charcoal, Odor absorber, Nipa palm fruit

บทนำ

ต้นจาก หรือ *Nypa fruticans* เป็นพืชสกุลปาล์มที่พบได้ทั่วไปตามพื้นที่ชายฝั่ง และจะขึ้นปะปนกับไม้ป่าชายเลนในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และหมู่เกาะต่าง ๆ ในเขตร้อน (Joshi et al, 2008) ในประเทศไทยมีป่าจากขึ้นอยู่มากมายในบริเวณชายฝั่งตั้งแต่ฝั่งตะวันออก อ่าวไทย และอันดามัน ต้นจากเป็นพืชที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลากหลาย โดยมีการวิจัยที่รายงานการใช้ประโยชน์ต้นจากทุกส่วนในประเทศไทยในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งประชาชนนิยมทำน้ำตาลหลากหลายรูปแบบจากช่อดอก การทำน้ำส้มสายชู การนำไปจากมาสานเป็นวัสดุถุงหลังคา (Cheablam & Chanklap, 2020) นอกจากนี้ผลจากยังได้รับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปในรูปแบบโยเกิร์ตผสมลูกจากเชื่อมเพื่อเพิ่มมูลค่า (Boonkong, 2021) ทั้งนี้จากการสัมภาษณ์ผู้นำชุมชนในพื้นที่ภาคกลาง เช่น ในเขต ต.บางจะเกร็ง จ.สมุทรสงคราม นิยมบริโภคผลจากเช่นกันโดยจะผ่าผลจากและนำเนื้อภายในมาบริโภคสด แปรรูปเป็นจากลอยแก้ว แต่ไม่นิยมทำน้ำตาลจากช่อดอกจากเนื่องจากในพื้นที่ จ.สมุทรสงคราม มีต้นมะพร้าวมากมาย และประชาชนมีการทำน้ำตาลมะพร้าวมาแต่บรรพบุรุษเนิ่นนานแล้ว (Klumjit, 2022) อย่างไรก็ตามในการบริโภคเนื้อลูกจากทำให้เกิดมูลฝอยสดจากกะลาผลจาก เนื่องจากไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ผลจากที่แก่เกินไปจนเนื้อในมีลักษณะแข็ง มีเนื้อสัมผัส และรสชาติที่ไม่อร่อย จะถูกทิ้งเกิดเป็นมูลฝอยเช่นกัน ซึ่งในปัจจุบันมูลฝอยเหล่านี้ถูกนำไปทิ้งในพื้นที่ลุ่มในเขต ต.บางจะเกร็ง เพื่อใช้เป็นวัสดุถมที่ให้ดินเงิน (Klumjit, 2022)

ในขณะที่มีงานวิจัย Maliwan et al. (2015) ได้ทดลองนำเปลือกลูกจากมาเผาในเตาเผาชนิด 200 ลิตร แบบตั้ง ร่วมกับเปลือกทุเรียนเพื่อนำมาทำถ่านอัดแท่งซึ่งผลจากการเผาด้วยกันจะได้ก้อนถ่านจากลูกจาก และเปลือกทุเรียน แล้วจึงนำมาบดอัดโดยใช้ตัวประสานเพื่อนำไปทำถ่านอัดแท่ง โดยเมื่อศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านอัดแท่งแล้วพบว่าก้อนถ่านอัดแท่งนี้มีสัดส่วนของลูกจาก ร้อยละ 100 มีคุณสมบัติที่ดีผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่ง อันได้แก่ ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน ปริมาณสารระเหย และการให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำเดือด อย่างไรก็ตามพบว่าการวิจัยนี้ได้นำถ่านจากเปลือกผลจากไปบดอัด และผสมกับเปลือกทุเรียน ซึ่งยังไม่มีการพัฒนากระบวนการเผาถ่านจากผลจากทั้งผล ตลอดจนการนำถ่านจากผลจากไปบดอัดเป็นก้อนถ่าน และพัฒนาเป็นก้อนตุ๊กกลิ้งที่มีการออกแบบบรรจุภัณฑ์ และการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีของถ่านจากชีวมวลต่าง ๆ คือก้อนถ่านมีรูพรุน ซึ่งวัสดุที่มีรูพรุนนั้นจะนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น นำไปเป็นตัวดูดซับ คะตะลิสต์ และเซ็นเซอร์ (Thonglem et al., 2023) โดยเฉพาะรูพรุนในเนื้อถ่านนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการดูดซับกลิ่นต่าง ๆ ได้ดี (Sangwalpetch, 2019)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการแปรรูปผลจาก และกะลาจากจากเศษเหลือทิ้งจากการเกษตรมาเป็นก้อนถ่าน และนำไปแปรสภาพเป็นก้อนถ่านดับกลิ่น ตลอดจนทดสอบการใช้งานและความพึงพอใจของผู้ใช้ ผลการศึกษานี้จะเกิดประโยชน์ต่อชุมชนในพื้นที่ ต.บางจะเกร็งที่จะสามารถนำมูลฝอยจากต้นจากมาใช้ประโยชน์ให้เกิดความคุ้มค่า และเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชนได้

วิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยประยุกต์มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลจากที่เหลือทิ้งมาแปรสภาพให้เป็นก้อนถ่าน และนำก้อนถ่านที่ได้ไปตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านตามมาตรฐาน และนำก้อนถ่านไปแปรสภาพเพื่อใช้ประโยชน์เป็นก้อนถ่านดับกลิ่นสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยมีรายละเอียดของวิธีการวิจัยดังนี้

1. การเตรียมผลจาก

เก็บรวบรวมผลจาก 2 ประเภทอันได้แก่ ผลจากที่ผ่านน้ำส่วนเนื้อในออกแล้วเหลือเพียงส่วนกะลาและกาบผลจาก และผลจากแก่จัดที่ยังไม่ได้ผ่าออก จากพื้นที่ ต.บางจะเกร็ง อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ระหว่างเดือนเมษายน - พฤษภาคม 2565 ดังภาพที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ส่วนของผลจากที่จะนำมาพัฒนาเป็นก้อนถ่าน (ก) ผลจากแก่ (ข) ส่วนของกะลาผลจากที่ผ่าเนื้อในออก

นำผลจาก และกะลาจากมาล้างทำความสะอาดเนื่องจากผลจากและกะลาผลจากมีสิ่งปนเปื้อนอยู่มาก หลังจากล้างทำความสะอาดทำการตากให้แห้งในร่ม เป็นเวลา 2 วัน หลังจากนั้นนำผลจาก และกะลาจากไปแช่น้ำหนัก ก่อนเข้าอบด้วยเครื่องอบลมร้อน (hot air oven รุ่น UN55 Memmert) อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2-3 วัน เพื่อลด ความชื้น และป้องกันเชื้อรา โดยหลังจากอบวันละ 8 ชั่วโมงทำการชั่งน้ำหนักและทิ้งไว้ให้เย็น หลังจากนั้นอบจนกว่า น้ำหนักหลังอบจะคงที่จากการชั่งน้ำหนัก 3 ครั้ง ดังภาพที่ 2



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 2 การเตรียมผลจาก และกะลาจากก่อนนำไปเผา (ก) รวบรวมผลจาก และกะลาจาก
(ข) นำไปล้างทำความสะอาด (ค) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

2. การเผาผลจาก และกะลาจาก

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการเผาผลจาก และกะลาจากเพื่อเปลี่ยนให้เป็นก้อนถ่าน โดยทำการเผาในเตาเผา แบบ 200 ลิตรที่สร้างขึ้นตามการศึกษาของ Kunyakam (2018) ดังภาพที่ 3 โดยใส่ผลจากหรือกะลาจากให้เต็ม ซึ่งประมาณ 100 กิโลกรัม ทั้งนี้การเผาผลจาก และกะลาจากจะใช้กระบวนการอบซึ่งจะเกิดควันน้อยกว่า โดยลักษณะ เตาเป็นประเภทเผาจากด้านล่างด้วยไม้ฟืนจากไม้ มีระบบระบายควันด้านใน และด้านนอก นำผลจาก และกะลาจาก

บรรจุจนเต็ม หรือผสมกับไม้ไผ่ในการเผาพร้อมกัน ดังภาพที่ 3 (ข) ปิดฝาเตาด้วยฝาถังน้ำมัน ยาแนวฝาด้วยดินเหนียว เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ ดังภาพที่ 3 (ค) และความร้อน จุดไฟจากด้านล่าง ดังภาพที่ 3 (ง) โดยแบ่งการเผาออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

2.1 ขั้นตอนการเผาไล่ความชื้น โดยจะเผาในช่วงแรก จะสังเกตเห็นประกายไฟจากภายในเตาบริเวณ ปล่องควัน ช่วงนี้กินเวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง โดยในเตาจะเกิดการหมุนเวียนของอากาศภายในเพื่อไล่ความชื้น

2.2 การเผาในช่วงผลจากเป็นถ่านจะเกิดลักษณะการอบจากภายใน ความร้อนจากเตาจะเปลี่ยน เนื้อลูกจากเป็นถ่าน โดยใช้เวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในช่วงเวลากลางคืน

2.3 การพักเตาเพื่อคลายร้อน หลังจากเตาเย็นลง เปิดเตา และรอนถ่านคลายร้อนจนหมด จึงนำถ่าน ออกจากเตา



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเผาผลจาก และกะลาจาก (ก) เตาเผา 200 ลิตร แบบตั้ง (ข) การบรรจุผลจากบนเตาเผา
(ค) การปิดช่องอากาศด้วยโคลน และ (ง) การเผาด้วยฟืนไม้ไผ่จากด้านล่าง

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ตามการศึกษาของ Kunyakam (2018) โดยวิเคราะห์ที่ ห้องปฏิบัติการ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา ดังนี้

3.1 วิเคราะห์ค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D 3173

3.2 วิเคราะห์ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile matter) ASTM D 7582

3.3 วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ASTM D 7582

3.4 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) ASTM D 7582

4. วิเคราะห์หาค่าความร้อน โดยวิเคราะห์ตามมาตรฐาน In-house method base on BSEN 14918 โดยวิเคราะห์ Gross heating value (G.H.V) ด้วย Bomb calorimeter

5. การทำก้อนถ่านดับกลิ่น

เมื่อเผาผลจาก และกะลาจากจะเป็นถ่านที่สมบูรณ์แล้ว นำไปแปรสภาพให้เป็นก้อนถ่านดับกลิ่น โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

5.1 ถูบก้อนผลจากดับกลิ่น

โดยผลจากสมบูรณ์จะใช้ทั้งผลเป็นก้อนดับกลิ่น ตัดเย็บผ้าตาข่ายครอบเพื่อป้องกันการหลุดร่วงของเนื้อถ่าน และนำไปทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์

5.2 ก้อนดับกลิ่นจากกะลาจาก

โดยพัฒนาก้อนดับกลิ่นมาจากการศึกษาของ Yoddamnern & Yotwinyuwong (2020) ซึ่งเป็นการพัฒนาถ่านจากการบดผงถ่านจากส่วนของกะลาจากและผสมตัวประสาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้ เตรียมส่วนผสมถ่านบดละเอียด 1 กิโลกรัม แป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม น้ำสะอาด 1 ลิตร โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นตอนทำแป้งเปียก

(1) แบ่งน้ำมา 30 มิลลิลิตร เพื่อใช้ละลายแป้งมันสำปะหลัง

(2) แบ่งน้ำ 35 มิลลิลิตร ใส่หม้อต้ม จากนั้นต้มน้ำให้เดือด

(3) นำแป้งมันสำปะหลังที่ละลายแล้วเทใส่หม้อต้มที่มีน้ำเดือด คนจนเนื้อแป้งใส ใช้เวลาประมาณ 1 นาที จากนั้นยกลงจากเตา จะได้แป้งเปียก ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การกวนแป้งเปียก

2) ขั้นตอนการทำถ่านดูดกลิ่น

(1) นำผงถ่านบดละเอียดผสมกับแป้งเปียก คนให้เข้ากัน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผสมถ่านกะลาจากกับแป้งเปียก

- (2) ทยอยเติมน้ำส่วนที่เหลือจนผงถ่านมีความชื้นและเริ่มจับตัวเป็นก้อนขนาดเล็ก
(3) นำผงถ่านจากข้อ 2 อัดก้อนในแม่พิมพ์ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อัดถ่านลงแม่พิมพ์



ภาพที่ 7 ก้อนดับกลิ่นขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว เตรียมเข้าสู่ตู้อบลมร้อน

(4) นำเข้าตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จนถ่านแห้ง นำไปชั่งน้ำหนัก เป็นระยะเพื่อตรวจสอบ หากพบค่าน้ำหนักที่คงที่ภายหลังการชั่งแล้ว จึงนำมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ต่อไปโดยถ่านอัดรูป จะมีน้ำหนักแต่ละก้อน 10 ± 1.05 กรัม

(5) ถ่านดูดกลิ่นเมื่ออบแห้งดีแล้ว นำไปใส่บรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบมาตามเอกลักษณ์ของจังหวัด สมุทรสงคราม กล่าวคือ ใส่ในเชิงปลาทุและใส่กล่องเพื่อเพิ่มความสวยงามได้ถ่านดูดกลิ่นดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ก้อนถ่านดับกลิ่นในบรรจุภัณฑ์

7. การทดสอบการใช้ผลิตภัณฑ์

นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดไปให้นักศึกษาหลักสูตรสาธารณสุขชุมชน และวิทยาศาสตร์สุขภาพและความงามที่อาสาสมัครในการนำถ่านดับกลิ่นไปใช้เพื่อดับกลิ่น จำนวน 30 คน โดยแบ่งเป็นการทดสอบความพึงพอใจของการดับกลิ่นของถ่านถ่าน 2 ชนิดคือ ถ่านถ่านผลจาก และ ถ่านถ่านอัดแท่งจากผลจาก โดยเกณฑ์การคัดเลือกในการทดสอบของอาสาสมัครคือ นักศึกษา 15 คนต้องมีตู้เย็นในห้องพัก และมีการใช้ตู้เย็นเพื่อแช่อาหารที่มีกลิ่น เช่น เนื้อสัตว์ ผลไม้ และนักศึกษาสมัครใจนำถ่านถ่านไปใช้ โดยกลุ่มแรกเป็นการนำถ่านถ่านดับกลิ่นบรรจุในถุงตาข่ายนำไปดับกลิ่นแช่ในตู้เย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ และกลุ่มที่ 2 นำถ่านถ่านอัดแท่งในเชิงปลาทุรูปปลา นำไปดับกลิ่นในตู้เย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เช่นเดียวกัน หลังจากนั้นสำรวจความพึงพอใจ จำนวน 7 ข้อ เป็นข้อคำถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ประกอบด้วยตัวเลือก 5 ระดับ คือ พึงพอใจมากที่สุด – น้อยที่สุด โดยแบ่งระดับความพึงพอใจดังนี้

4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด

3.51 – 4.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก

2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง

1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย

ต่ำกว่า 1.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาการเผาผลาญ และกะลาจากด้วยเตาเผาแบบตั้ง

จากการรวบรวมผลจากจำนวน 50 กิโลกรัม และกะลาจากสดจำนวน 50 กิโลกรัม จากพื้นที่ ต.บางจะเกร็ง อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม นำมาล้างทำความสะอาด และชั่งน้ำหนัก พบว่าหลังจากอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 3 วัน จนได้น้ำหนักหลังอบคั่งที่ โดยน้ำหนักของผลจาก และกะลาจากหายไปเล็กน้อย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักของผลจาก และกะลาจากหลังจากอบด้วยเครื่องอบลมร้อน

ส่วนของจาก	น้ำหนักก่อนอบ (kg)	น้ำหนักหลังอบ (kg)
ผลจาก	50	40.09
กะลาจาก	50	30.82

หลังจากนั้นนำผลจากที่อบเรียบร้อยแล้วเข้าเตาเผาซึ่งเมื่อเผาเรียบร้อยแล้วนำก้อนถ่านทั้งหมดมาชั่งพบว่าผลจาก 50 Kg เมื่อเผาตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้นจะได้ก้อนถ่าน 15.15 kg ส่วนกะลาจากได้ก้อนถ่าน 13.20 kg ดังตารางที่ 2 โดยผลจากมีลักษณะเป็นถ่านที่ยังคงลักษณะของผลสมบูรณ์ มีเนื้อมันวาว ดังภาพที่ 9 ลักษณะของถ่านที่ได้มีความสมบูรณ์ของรูปร่างและเนื้อถ่าน และไม่พบเนื้อลูกจากที่ยังไม่เปลี่ยนเป็นถ่านบริสุทธิ์เจือปน โดยมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Kongkeaw et al. (2008) ที่นำผลมังคุดทำผลิตถ่านด้วยการเผาในเตาเผา ซึ่งผลมังคุดสดเหลือทิ้ง 5 kg เมื่อเผาแล้วจะได้ถ่านผลมังคุด 1 kg ในขณะที่ Rattanathavorn, & Jittiwassurat (2018) รายงานว่าถ่านที่ทำจากผลไม้เหลือทิ้งหรือเปลือกผลไม้ที่มีน้ำหนักก่อนเผา 35 – 40 kg จะเหลือน้ำหนักเมื่อเป็นถ่าน 12 – 16 kg

ตารางที่ 2 น้ำหนักของผลจาก และกะลาจากหลังจากเผาในเตาขนาด 200 ลิตร

ส่วนของจาก	น้ำหนักก่อนเผา (kg)	น้ำหนักหลังเผา (kg)
ผลจาก	40.09	15.15
กะลาจาก	30.82	13.20

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และค่าความร้อนของก้อนถ่าน

เมื่อนำก้อนถ่านผลจากมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมี ดังตารางที่ 3 พบว่าถ่านจากผลจากมีค่าความชื้นสูงกว่าก้อนถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียน และเปลือกทุเรียนผสมผลจาก อย่างไรก็ตามค่าความชื้นของถ่านผลจากยังคงได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน หรือ มพช. ของก้อนถ่านที่กำหนดให้ถ่านอัดแท่งต้องมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 (Torsakul et al., 2012) แต่ทั้งนี้ถ่านผลจากมีค่าคาร์บอนคงตัวสูงกว่าเปลือกทุเรียน และให้ค่าความร้อนสูงกว่าก้อนถ่านอัดแท่งซึ่งค่าความร้อนมีค่า 5883 แคลอรีต่อกรัม สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มพช. ที่กำหนดไว้ว่าถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (Torsakul et al., 2012) การที่ก้อนถ่านจากผลจากมีคาร์บอนคงตัวสูงกว่าก้อนถ่านจากเปลือกทุเรียนจะมีผลต่อกระบวนการเผาไหม้ได้นาน ซึ่งสอดคล้องกับ

ผลของค่าความร้อนที่ตรวจสอบนั้นมีมากกว่าก้อนถ่านจากเปลือกทุเรียน ปริมาณเถ้าที่ค่อนข้างมากคือ ร้อยละ 18.37 นั้นแสดงให้เห็นว่าผลจากมีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่เหมาะสมมากนัก เพราะเหตุว่าปริมาณเถ้าที่มากแสดงให้เห็นถึงปริมาณของสารที่ไม่เผาไหม้ และหลงเหลืออยู่ จากการศึกษาของ Maliwan et al. (2015) ที่ทำการเผาเปลือกผลจากพร้อมกับเปลือกทุเรียน และนำไปผสมกันเพื่อเป็นถ่านอัดแท่ง ซึ่งพบว่าถ่านบดอัดจากเปลือกผลจากเพียงอย่างเดียวมีเถ้าร้อยละ 2.90 ± 0.48 ซึ่งปริมาณเถ้าควรต่ำกว่าร้อยละ 8 จึงจะเป็นถ่านที่ดี ให้ความร้อนที่เหมาะสม มีสารระเหยร้อยละ 13.88 ± 0.10 และมีคาร์บอนคงตัวร้อยละ 77.85 ± 0.50 ซึ่งเมื่อเทียบกับถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพียงอย่างเดียวจะพบว่า ถ่านอัดแท่งจากเปลือกผลจากมีคุณสมบัติทางเคมีที่ดีกว่าโดยส่วนใหญ่ มีเพียงค่าความร้อนที่ต่ำกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังพบว่าค่าคาร์บอนคงตัวของถ่านจากเปลือกผลจากมีค่าสูงกว่าเปลือกทุเรียน ซึ่งหมายความว่า ก้อนถ่านจากเปลือกผลจากจะลุกไหม้ได้นานกว่าก้อนถ่านจากเปลือกทุเรียนเนื่องจากว่าค่าคาร์บอนคงตัวที่มากขึ้นจะส่งผลต่อการลุกไหม้ที่นานขึ้น ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าผลจาก และกะลาจากเหลือทิ้งมีคุณสมบัติที่ดีสามารถนำมาทำเป็นก้อนถ่าน และเป็นเชื้อเพลิงได้ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของเชื้อเพลิงจะยังไม่อยู่ในระดับสูงซึ่งอาจเหมาะสมใช้ในครัวเรือนที่ไม่ต้องการความร้อนมากมายในการทำอาหาร เช่น การปิ้งย่าง เป็นต้น

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางการเคมี และค่าความร้อนของถ่านจากผลจาก เปรียบเทียบกับถ่านจากชีวมวลอื่น ๆ

คุณสมบัติทางเคมี	ก้อนถ่าน จากเปลือกผลจาก ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน การศึกษารุ่นนี้	ก้อนถ่าน จากเปลือกทุเรียน ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน Maliwan et al(2015)	ก้อนถ่าน จากเปลือกผลจาก ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน Maliwan et al (2015)
ความชื้น (ร้อยละ) (ควรน้อยกว่า ร้อยละ 7)	6.63 ± 0.04	5.06 ± 0.08	5.36 ± 0.20
ปริมาณเถ้า (ควรน้อยกว่า ร้อยละ 8)	18.37 ± 0.21	12.30 ± 0.49	2.90 ± 0.48
สารระเหย (ร้อยละ) (ควรน้อยกว่า ร้อยละ 25)	16.06 ± 0.17	23.84 ± 6.54	13.88 ± 0.10
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ) (ควรไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15)	60.40 ± 0.58	58.81 ± 7.02	77.85 ± 0.50
ค่าความร้อน (calories/g) (ไม่น้อยกว่า 5000) (calories/g)	5883	5399	5235
ระยะเวลาที่ให้น้ำเดือด (นาท)	>8	8	8



(ก)



(ข)

ภาพที่ 9 ลักษณะของถ่านเมื่อเผาเสร็จสิ้นแล้ว (ก) ถ่านจากผลจากทั้งลูก (ข) ถ่านจากกะลาจากที่ผ่าแล้ว

3. การนำถ่านจากผลจากไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นก้อนดับกลิ่น

หลังจากนั้นนำผลจากที่เผาเสร็จสิ้นไปบรรจุในถุงตาข่ายโดย 1 ถุง จะใช้ถ่านประมาณ 5 กรัม ดังภาพที่ 10 นำไปให้อาสาสมัครจำนวน 15 คน นำไปใช้ดับกลิ่นในตู้เย็นหรือตู้เสื้อผ้า และการนำถ่านที่ได้จากการบด และผสมผงถ่านจากลูกจากด้วยแป้งเปียกขึ้นรูปจากพิมพ์ดอกไม้และปลา นำไปตกแต่งด้วยเช่ขงปลาทุไม้ไผ่ และใส่ในกล่องเพื่อความสวยงามของผลิตภัณฑ์ นำไปให้อาสาสมัครจำนวน 15 คนทดสอบการใช้ และสอบถามความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลการใช้และความพึงพอใจมีดังนี้



ภาพที่ 10 ก้อนถ่านดับกลิ่นจากผลจากบรรจุในถุงตาข่ายพร้อมใช้งาน

อาสาสมัครจำนวน 15 คนซึ่งเป็นเพศหญิงทั้งหมด มีอายุระหว่าง 20 – 23 ปี ที่นำก้อนถ่านดุดกลิ่นจากผลจากในถุงตาข่ายไปใช้มีความพึงพอใจในเรื่องของรูปลักษณะของก้อนถ่านดุดกลิ่นมากที่สุดคือ 4.60 ± 0.73 เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามให้ทัศนะว่า ก้อนถ่านจากผลจากมีลักษณะแปลกตา มีความมันตามธรรมชาติ สวยงามตลอดจนมีรูปร่างที่ยังคงเอกลักษณ์ของผลจากไว้ครบถ้วน มีความสวยงามเหมาะแก่การนำไปใช้และเป็นของฝากได้ ส่วนประเด็นที่อาสาสมัครให้ความพึงพอใจน้อยที่สุดคือ ความทนทานของก้อนถ่านดุดกลิ่น คือได้คะแนน 3.53 ± 0.74 ดังตารางที่ 4 ซึ่งก้อนถ่านดับกลิ่นจากผลจากยังมีปัญหาเรื่องของการแตกหัก และการหลุดร่วงของเศษถ่านออกจากผลจากทำให้ในบางครั้งมีการตกหล่นและในตู้เย็นหรือตู้เสื้อผ้า ส่วนการดับกลิ่นในตู้เย็นได้ระดับความพึงพอใจในระดับมาก ผู้ตอบแบบสอบถามระบุว่ากลิ่นในตู้เย็นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัย Prachpreecha et al. (2018) รายงานว่าการใช้ถ่านคาร์บอนกัมมันต์จากกากชาบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารพบว่าการใช้ถ่านคาร์บอนกัมมันต์จากกากชาเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงช่วยลดสี และกลิ่นจากน้ำเสียได้ดีมาก โดยน้ำเสียจะมีกลิ่นอ่อนจนแทบจะไม่ได้กลิ่นน้ำเสีย

ส่วนความพึงพอใจต่อก้อนถ่านดับกลิ่นจากกะลาจากบดขึ้นรูป พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 15 คน เป็นเพศหญิง 13 คน เพศชาย 2 คน อายุระหว่าง 19-23 ปี มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณะของถ่านดุดกลิ่นจากกะลาจากมากที่สุดคือ 4.73 ± 0.59 เนื่องจากมีการพัฒนารูปร่างของก้อนดับกลิ่นเป็นรูปปลา ซึ่งทำให้เกิดความสวยงามและนำไปใส่ในเชิงปลาหู ที่สามารถนำไปวางไว้ในตู้หรือในพื้นที่ที่ต้องการใช้ ส่วนประเด็นที่อาสาสมัครให้ความพึงพอใจน้อยที่สุดคือ ความทนทานของก้อนถ่านดุดกลิ่น คือได้คะแนน 3.47 ± 0.63 ดังตารางที่ 5 เนื่องจากมีการแตกหักในบางตัวอย่างขณะใช้งาน และบางตัวอย่างพบว่าถ่านมีความชื้นมาก ทำให้พบลักษณะก้อนถ่านขึ้นและเสียรูปทรง

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ก้อนถ่านดับกลิ่นจากผลจาก

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ	
	(ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	แปลผล
1. ความเหมาะสมของรูปลักษณะของก้อนถ่านดุดกลิ่นต่อการใช้งาน	4.60 ± 0.73	มากที่สุด
2. ความสวยงามของก้อนถ่านดุดกลิ่น	4.07 ± 0.59	มาก
3. ความทนทานของก้อนถ่านดุดกลิ่น	3.53 ± 0.74	มาก
4. ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์	3.87 ± 0.35	มาก
5. ก้อนถ่านจากดับกลิ่นมีการดับกลิ่นในตู้เย็น หรือตู้เสื้อผ้าได้ดี	4.00 ± 0.53	มาก
6. มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า	4.33 ± 0.81	มาก
7. การประยุกต์ทรัพยากรในท้องถิ่นอย่างเหมาะสม	4.27 ± 0.88	มาก
8. โดยภาพรวมทั้งหมดท่านมีความพึงพอใจต่อ “ก้อนถ่านดับกลิ่นผลจาก” อยู่ในระดับใด	4.20 ± 0.41	มาก

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ก่อนถนอมดับกลิ่นขึ้นรูปจากกะลาจาก

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	แปลผล
1. ความเหมาะสมของรูปลักษณ์ของก้อนถนอมดับกลิ่นต่อการใช้งาน	4.73 $\pm$ 0.59	มากที่สุด
2. ความสวยงามของก้อนถนอมดับกลิ่น	4.27 $\pm$ 0.59	มาก
3. ความทนทานของก้อนถนอมดับกลิ่น	3.47 $\pm$ 0.63	มาก
4. ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์	4.13 $\pm$ 0.35	มาก
5. ก้อนลูกจากดับกลิ่นมีการดับกลิ่นในตู้เย็น หรือตู้เสื้อผ้าได้ดี	4.07 $\pm$ 0.45	มาก
6. มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า	4.33 $\pm$ 0.81	มาก
7. การประยุกต์ทรัพยากรในท้องถิ่นอย่างเหมาะสม	4.40 $\pm$ 0.63	มาก
8. โดยภาพรวมทั้งหมดท่านมีความพึงพอใจต่อ “ก้อนถนอมดับกลิ่นขึ้นรูปจากกะลาจาก” อยู่ในระดับใด	4.20 $\pm$ 0.56	มาก

ก้อนถนอมจากผลจากและก้อนถนอมบดอัดขึ้นรูปนั้นมีความสมบัติที่ดีในการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการดูดซับกลิ่นและสิ่งต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมได้ มีการระบุว่ารูปทรงในถนอมจากเนื้อไม้หลากหลายชนิดมีความสมบัติที่ดีในการดูดซับกลิ่นไม่พึงประสงค์ในตู้เสื้อผ้า กลิ่นสารระเหยจากสารเคมี และความชื้น (Sangwalpetch, 2019) ซึ่งการทดสอบในการนำไปใช้เพื่อการดับกลิ่นเป็นวิธีการในการใช้ประโยชน์ที่ไม่ซับซ้อนแต่ช่วยในการลดปัญหากลิ่นได้ดี จากการสอบถามการนำไปใช้ประโยชน์จากกลุ่มนักศึกษาวิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พบว่าโดยภาพรวมนั้นมีความชอบผลิตภัณฑ์ก้อนถนอมดับกลิ่นที่น่าชอบเหลือทิ้งจากการเกษตรมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือน ซึ่งช่วยให้เกิดการนำของเสียมาพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่า

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำของเสียและมูลฝอยจากการใช้ประโยชน์ลูกจากมาพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อเนื่องได้ เพื่อลดมูลฝอย และเพิ่มมูลค่าของของเสีย ผลจากแก่ และกะลาจากเป็นมูลฝอยที่ถูกทิ้งปริมาณมหาศาลในพื้นที่ จ.สมุทรสงครามโดยเฉพาะ ต.บางจะเกร็ง อ. เมือง จ.สมุทรสงครามเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการค้าขายผลิตภัณฑ์จากต้นจาก และจำหน่ายผลิตภัณฑ์บริเวณดอนหอยหลอดอันเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัด ผลจากและกะลาจากสามารถแปรสภาพให้เป็นก้อนถนอมที่สมบูรณ์ได้ด้วยการเผาในเตาเผาประดิษฐ์จากถังน้ำมันเก่าขนาด 200 ลิตร โดยกระบวนการเผาใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง จะได้ก้อนถนอมสภาพดี มีลักษณะมันวาวของผิว มีน้ำหนักเบา โดยน้ำหนักที่หายไปหลังจากเผาเสร็จสิ้นอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 50 – 60 ของน้ำหนักสด มีความสมบัติที่สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมอาหารได้ เมื่อนำมาพัฒนาเป็นก้อนดับกลิ่น ด้วยการพัฒนาบรรจุภัณฑ์และรูปแบบของก้อนถนอมขึ้นรูปจากการบดอัดกะลาจากผสมกับแป้งเปียกและนำไปทดสอบการใช้งาน วัดความพึง

พอใจจากผู้ใช้งานพบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพอใจในรูปลักษณ์ของก้อนถ่านตลอดจนบรรจุภัณฑ์ และผลของการนำไปดับกลิ่นในตู้เย็น

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังขาดการนำก้อนถ่านไปทดสอบคุณสมบัติเชิงประจักษ์ต่าง ๆ ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการดับกลิ่น เช่น การทดสอบการดูดซับโอโดคีนตลอดจนผลของการนำก้อนถ่านไปใช้ในครัวเรือนจึงควรนำก้อนถ่านนี้ไปศึกษาอย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายนิพัทธ์ คล้ำจิต กำนันปฏิบัติหน้าที่ประจำ ต.บางจะเกร็ง อ.เมือง จ.สมุทรสงคราม ที่อนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากต้นจากในพื้นที่ ต.บางจะเกร็ง และช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมผลผลิตจากต้นจาก

เอกสารอ้างอิง

- Boonkong, S. (2021). Development of Yogurt with *Nypa fruticans* in syrup. **Pranakhon Rajabhat Reserch journal : Science and technology**, 16 (2), 1-11. (In Thai).
- Cheablam, O., & Chanklap, B. (2020). Sustainable Nipa Palm (*Nypa fruticans* Wurmb.) Product Utilization in Thailand. **Scientifica**, 2020, 1-20.
- Joshi, L., Kanagaratnam, U., & Adhuri, D. (2008). *Nypa fruticans*– useful but forgotten in mangrove reforestation – useful but forgotten in mangrove reforestation programs?. Retrieved <http://apps.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/leaflet/LE0056-07.pdf>. [2023,02 Mar.]
- Klumjit, N. (2022, 10 Dec). Interview : **Utilization of Nipa palm in Bangjakreang subdistrict**. Subdistric headman of Bangjakreang subdistrict, Amphur meung, Samutsonkhram province. (In Thai).
- Kunyakam, S. (2018). **Production and optimal ratio of charcoal briquette from cassava rhizome using design of experiment technique**. (The research final report). Department of engineering management, Faculty of engineering Rajabhat MahaSarakhm University, MahaSarakhm. (In Thai)
- Kongkeaw, P., Inthalit, P., Aumphophanarak, P., Songkong, S., & Kerdwon, S. (2008). **The Charcoal production from mangosteen peel and mangosteen fruit for charcoal of water filter and moisture and odor sucker**. (The research final report of the grant of Rajamangala university of technology Srivijaya). Songkhla, Thailand : Rajamangala university of technology Srivijaya Songkhla. (In Thai).
- Maliwan, S., Sarana, U., & Yusukworakul, D. (2015). **Charcoal briquettes production from agricultural residues by using durian and nipa palm peel mixtures**. (Bachelor dissertation). Rajamangala university of technology Phranakhon, Bangkok. (In Thai).

- Prachpreecha, O., Prachpreecha, T., & Vongchavalitkul, S. (2018). Study on Characteristic of activated carbon prepared from tea residue and utilization of wastewater treatment. **Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology**, 13(2), 146-166. (In Thai).
- Rattanathavorn, T., & Jittiwasurat, P. (2018). The process of producing biomass charcoal from agricultural residence using local rubber planters' method: A case study of taveepol agricultural group in Namom, Songkhla. **Journal of Agricultural Research and Extension**, 35(2), 44-54. (In Thai).
- Sangwalpetch, N. (2019). **The study of wood charcoal for design odor absorbing tiles**. In Heuer, K., Kerdpitak, C., Mahalik, N.P., Barrett, B. & Nadda, V (Eds), The 2019 International Academic Multidiscipline Research Conference in Brussels. pp 65 – 70, 4-6 November, 2019, Brussels. Belgium. (In Thai).
- Thonglem, S., Khamweera, P., & Lahpun, N. (2023). Production of porous ceramics from soda-lime glass for collecting and releasing essential oils. **Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology**, 18(1), 55-68. (In Thai).
- Torsakul, S. Thongsri, K., & Supharattana, C. (2012). **Development of Charcoal Briquette from Scrapped Coconut for Alternative Energy** In Ketsarapong, S (Ed), IE network conference 2012. pp 1381-1386. 17-19 October, 2012, Phet-chaburi. Thailand. (In Thai).
- Yoddamnern, T., & Yotwinyuwong, S. (2020). Development of charcoal briquette from the cane leaves and the bagasse to community enterprise. **Journal of Energy and Environment Technology**, 7(2), 12-24. (In Thai).

=====

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกกับอาการปวดเข่า
ในนักวิ่งสมัครเล่น

LOWER BACK AND HIP MUSCLES STRENGTH AND KNEE PAIN
IN RECREATIONAL RUNNERS

ลดาวัลย์ ชูติมากุล^{1*} และ ชนวัฒน์ สรรพสิทธิ์²

¹วิทยาลัยการฝึกหัดครู มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

²คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

Ladawan Chutimakul^{1*} and Chanawat Sanpasitt²

¹College of Teacher Education, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

²Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

*E-mail: ladawan.c@pnru.ac.th

Received: 01-06-2023

Revised: 08-08-2023

Accepted: 17-08-2023

บทคัดย่อ

อาการปวดเข่าเป็นการบาดเจ็บที่พบบ่อยในนักวิ่ง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกในกลุ่มที่ไม่มีและมีอาการปวดเข่า เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (Descriptive research) แบบการศึกษาย้อนหลัง (Retrospective Study) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งสมัครเล่น จำนวน 44 คน อายุ 18-35 ปี แบ่งเป็นกลุ่มที่ไม่มีและมีอาการปวดเข่า จำนวนกลุ่มละ 22 คน วัดค่าแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดหลัง (Back extensor) กล้ามเนื้อเอียงลำตัว (Trunk lateral flexor) กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก (Hip extensor) และกล้ามเนื้อกางสะโพก (Hip abductor) ทั้ง 2 ข้าง จำแนกเป็นด้านถนัดและด้านไม่ถนัด ด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงด้วยมือ (Hand-held dynamometer) จำนวน 3 ครั้ง บันทึกค่าที่ได้สูงสุด เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติ Independent t-test กำหนดความนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อเอียงลำตัวทั้งด้านถนัดและด้านไม่ถนัดมีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกล้ามเนื้อเหยียดหลัง กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก และกล้ามเนื้อกางสะโพกทั้ง 2 ด้านไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเอียงลำตัวน่าจะมีความสัมพันธ์กับอาการปวดเข่า สามารถนำไปใช้ในโปรแกรมออกกำลังกายเพื่อป้องกันหรือฟื้นฟูอาการปวดเข่าในนักวิ่งสมัครเล่นต่อไป

คำสำคัญ: นักวิ่งสมัครเล่น อาการปวดเข่า ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ความแข็งแรงกล้ามเนื้อสะโพก

ABSTRACT

Knee pain is the most common problem in runners. The core muscular strength is a related factor. This research aimed to compare the strength of lower back muscles, hip muscles in the group of recreational runners with and without knee pain. The research was conducted on the basis of retrospective descriptive study. The research participants included 44 runners aged 18-35 years, divided into 22 runners without knee pain and 22 runners with knee pain. Maximum isometric voluntary contraction of back extensor, trunk lateral flexor, hip extensor and hip abductor, classified into dominant side and non-dominant side were measured using a hand-held dynamometer for three times. The value of the maximum contraction was recorded. The mean, standard deviation, and data comparison were determined using the Independent T-test, with statistical significance set at 0.05 level. The study results indicated that the mean maximum isometric voluntary contraction of trunk lateral flexor, both dominant side and non-dominant side were statistically significantly different between groups, while the strength of back extensor, hip extensor, and hip abductor were not statistically significantly different between groups. The study results showed that the strength of trunk lateral flexor muscles seem to be another factor of knee pain in recreational runners. The information can be used in an exercise program for preventing or restoring knee pain in recreational runners accordingly.

Keywords: Recreational Runners, Knee Pain, Lower Back Muscle Strength, Hip Muscle Strength

บทนำ

การออกกำลังกายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ทุกคน และมีผลช่วยลดความเสี่ยงกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) หรือโรคที่เกิดจากพฤติกรรมการใช้ชีวิต (Na Phatthalung et al., 2017) การวิ่งเป็นหนึ่งในกิจกรรมการออกกำลังกายที่ได้รับความนิยมอย่างมากและอัตราผู้ที่ออกกำลังกายด้วยการวิ่งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การวิ่งเป็นการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความอดทนของระบบการไหลเวียนโลหิตและการหายใจ (Cardiorespiratory endurance exercise) ซึ่งเป็นหนึ่งในสมรรถภาพทางกายที่สำคัญและจำเป็นทางด้านสุขภาพ (American college of sports medicine, 2018) การบาดเจ็บสามารถเกิดขึ้นได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักวิ่งสมัครเล่น ส่วนใหญ่เป็นการบาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal system) ส่วนที่เกิดการบาดเจ็บพบบริเวณเข่าสูงที่สุด โดยมีความชุกร้อยละ 24.30 รองลงมาคือน่องกับปลายขา ร้อยละ 15.90 และข้อเท้ากับเท้า ร้อยละ 15.00 ตามลำดับ (Dempster et al., 2021) การบาดเจ็บที่บริเวณเข่าสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ อาการปวดเข่าด้านหน้า (Patellofemoral pain syndrome; runner's knee) อาการปวดเข่าด้านนอก (Iliotibial and syndrome; ITB syndrome) เอ็นใต้ลูกสะบ้าอักเสบ (Patellar tendinitis; jumper's Knee) การบาดเจ็บที่หมอนรองกระดูกในเข่า (Meniscus Injury) และถุงน้ำใต้ลูกสะบ้าอักเสบ (Knee bursitis) โดยอาการปวดเข่าด้านหน้าเป็นปัญหาการบาดเจ็บที่เข่าที่เกิดกับนักวิ่งมากที่สุด (Ferber & Macdonard, 2014) สาเหตุที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บในนักวิ่งแบ่งได้เป็น ลักษณะของการวิ่งตามหลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical gait pattern) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) แนวโครงสร้างของร่างกาย (Anatomical alignment) และความยืดหยุ่นของเนื้อเยื่อ (Tissue flexibility) (Ferber &

Macdonard, 2014) การศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการปวดเข่าด้านหน้าในนักวิ่งพบว่ามีความหลากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งด้านชีวกลศาสตร์ ได้แก่ มุมองศาข้อสะโพกที่มากเกินไปในการเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวของกระดูกเชิงกรานที่ผิดปกติ แรงกระทำในแนวตั้งต่อเท้าที่มากขึ้น ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น และด้านความสามารถของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความอ่อนแรงของกล้ามเนื้อส่วนลำตัว กล้ามเนื้อสะโพก และกล้ามเนื้อเข่า (Jungmalm et al., 2020)

การเคลื่อนไหวของขาขณะวิ่งเป็นความเชื่อมโยงกันทั้งร่างกายส่วนล่างได้แก่ ข้อเท้า ข้อเข่า และข้อสะโพก กับแนวแกนกลางลำตัวที่เป็นส่วนให้ความมั่นคงร่างกายทั้งขณะอยู่นิ่งและเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวประกอบด้วยกลุ่มกล้ามเนื้อหลายส่วน ได้แก่ ส่วนท้อง กระดูกสันหลัง และสะโพก ประกอบกันเป็นลำตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อแนวแกนกลางส่วนล่างที่มีความสำคัญในการให้ความมั่นคงขณะวิ่ง (Nicola & Jewison, 2012) กล้ามเนื้อหลังส่วนล่างซึ่งมีบทบาทหลักในการให้ความมั่นคงขณะเคลื่อนไหวมีกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เหยียดลำตัวหรือหลัง (Trunk/back extensor) ที่มีขนาดยาวและวางตัวขนานกับกระดูกสันหลังทั้ง 2 ข้าง และกล้ามเนื้อที่อยู่ทางด้านข้างทางด้านซ้ายและด้านขวาซึ่งเป็นกล้ามเนื้อทำหน้าที่เอียงลำตัวไปด้านข้าง (Trunk lateral flexor) ส่วนที่สะโพกมีกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเหยียดสะโพก (Hip extensor) เป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่และมีกำลังมากที่สุดของร่างกาย เป็นตัวส่งแรงการเคลื่อนไปข้างหน้าขณะวิ่ง และช่วยรักษาสถิตของกระดูกเชิงกรานในระนาบแนวตั้ง (Sagittal plane) ส่วนกล้ามเนื้อกลุ่มกางสะโพก (Hip abductor) มีส่วนช่วยรักษาสถิตของกระดูกเชิงกรานในระนาบแนวส่วนหน้าและส่วนหลัง (Frontal plane) ร่วมกับแกนกลางลำตัว ในขณะที่ช่วงขาข้างหนึ่งรับน้ำหนักของร่างกายทั้งหมด (Nicola & Jewison, 2011; Kapri E et al., 2021)

การทำงานของกล้ามเนื้อข้อต่อใดข้อต่อหนึ่งที่ผิดปกติไป หรือภาวะกล้ามเนื้อที่ไม่แข็งแรงสามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของข้อต่ออื่น ๆ ตามมา มีการศึกษาพบว่ากล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกมีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการปวดเข่าด้วยเช่นกัน (Bolgla et al., 2008; Briani et al., 2019; Chaudhari et al., 2020) แต่ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจนเกี่ยวกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ส่งเสริมความมั่นคงของส่วนแกนกลางร่างกายกับอาการปวดเข่าในนักวิ่งสมัครเล่น ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ได้แก่ กล้ามเนื้อเหยียดหลัง กล้ามเนื้อเอียงลำตัว และกล้ามเนื้อสะโพกได้แก่ กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก กล้ามเนื้อกางสะโพก กับอาการปวดเข่าของนักวิ่งสมัครเล่นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกระหว่างกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและกลุ่มมีอาการปวดเข่า สมมุติฐานของงานวิจัยคือ ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกในนักวิ่งสมัครเล่นกลุ่มมีอาการปวดเข่ามีความแตกต่างกับนักวิ่งสมัครเล่นกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่า ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการให้โปรแกรมส่งเสริมความแข็งแรงกล้ามเนื้อเพื่อป้องกันหรือฟื้นฟูอาการปวดเข่าของนักวิ่งสมัครเล่นต่อไป

วิธีการ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (Descriptive research) แบบการศึกษาย้อนหลัง (Retrospective study) โดยทำการศึกษาแรงหดตัวสูงสุด (Maximum isometric voluntary contraction) ของกล้ามเนื้อเหยียดหลัง (Back extensor) กล้ามเนื้อเอียงลำตัว (Trunk lateral flexor) กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก (Hip extensor) และกล้ามเนื้อกางสะโพก (Hip abductor) ทั้ง 2 ข้างจำแนกเป็นด้านถนัดและด้านไม่ถนัด ด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อด้วยมือ (Hand-held dynamometer) รุ่น 01165 เครื่องหมายการค้า Lafayette ประเทศสหรัฐอเมริกา การศึกษาครั้ง

นี้ได้ผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร (No. 003/65) และทำการเก็บข้อมูลที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 44 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและกลุ่มมีอาการปวดเข่า จำนวนกลุ่มละ 22 คน กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยโปรแกรมคำนวณขนาดตัวอย่างสำเร็จรูป G*power Version 3.1.9.7 ระดับความมีนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 อำนาจของการทดสอบเท่ากับ 0.80 ค่าขนาดอิทธิพลเท่ากับ 0.78 โดยอ้างอิงค่าจากการศึกษาใกล้เคียงของ Briani et al. (2019)

เกณฑ์คัดเข้าและออกของการศึกษา กลุ่มตัวอย่างมีอายุระหว่าง 18-35 ปี กลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการวิ่ง อย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ครั้งละไม่น้อยกว่า 30 นาที ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลามากกว่า 3 เดือน ไม่มีประวัติการบาดเจ็บบริเวณหลัง สะโพก และเข่า ในระยะเวลา 3 เดือนก่อนเข้าร่วมการศึกษา ไม่ได้ได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคข้อเข่าเสื่อม โรคเยื่อหุ้มข้อเข่าอักเสบเรื้อรัง หรือโรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ ไม่มีประวัติผ่าตัดบริเวณรยางค์ส่วนล่าง และไม่เป็นนักกีฬาอาชีพหรือมีการเล่นกีฬาชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นประจำสม่ำเสมอร่วมด้วย กลุ่มตัวอย่างที่มีอาการปวดด้านหน้าข้อเข่าหรือรอบลูกสะบ้าขณะวิ่งหรือหลังวิ่ง โดยมีอาการปวดที่จุดเดิมเป็นเวลามากกว่า 3 เดือน (Geneen et al., 2017) จัดอยู่ในกลุ่มมีอาการปวดเข่า

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยประกาศเชิญชวนอาสาสมัครเข้าร่วมงานวิจัยโดยลงประกาศเชิญชวนทางออนไลน์ในเครือข่ายสังคมออนไลน์ กลุ่มสมาคมนักวิ่งเพื่อสุขภาพ กลุ่มนักวิ่งสมัครเล่น ชมรมนักวิ่งของมหาวิทยาลัย และอธิบายข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยอย่างละเอียด วิธีการเก็บข้อมูล รวมถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น การปกปิดข้อมูลส่วนบุคคล และสิทธิในการถอนตัวออกจากการศึกษาได้ทุกเมื่อ ผู้ที่สนใจเข้าร่วมงานวิจัยตอบแบบสอบถามคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อคัดกรองตามเกณฑ์คัดเข้าและคัดออกของการศึกษา ผู้เข้าร่วมวิจัยที่ผ่านเกณฑ์จะได้รับการนัดหมายวันและเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล รวมถึงการเตรียมเสื้อ กางเกง และรองเท้าวิ่ง ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกายและยืดกล้ามเนื้อก่อนและหลังเก็บข้อมูล ผู้วิจัยทำการทดสอบแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อในรูปแบบความยาวกล้ามเนื้อคงที่ (Maximal isometric voluntary contraction) โดยใช้เครื่องวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อด้วยมือ โดยตำแหน่งการวางเครื่องแต่ละกล้ามเนื้อดังตารางที่ 1 (De Blaiser et al., 2018; Mentiplay et al., 2015) กล้ามเนื้อที่มี 2 ข้างและเมื่อหดตัวทำงานแยกข้างกันมี 3 กล้ามเนื้อ ได้แก่ กล้ามเนื้อเอียงลำตัว กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก และกล้ามเนื้อกางสะโพก ผู้วิจัยทำการทดสอบทั้ง 2 ข้างโดยจำแนกเป็นด้านถนัดและด้านไม่ถนัด ก่อนเริ่มการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยสร้างความคุ้นชินกับเครื่องโดยออกแรงที่ต่ำกว่าแรงสูงสุด (Submaximal) จำนวน 5 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบโดยผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงอย่างเต็มที่ต้านแรงกับเครื่อง จำนวน 3 ครั้ง ระหว่างการทดสอบมีการกระตุ้นโดยใช้เสียงเชียร์ร่วมด้วยทุกครั้ง มีช่วงระยะเวลาพัก 5 นาทีระหว่างการทดสอบ ผู้วิจัยบันทึกค่าแรงหดตัวสูงสุดจากที่ทดสอบได้ในแต่ละกล้ามเนื้อ ลำดับการทดสอบเรียงลำดับจากท่าทางของผู้เข้าร่วมวิจัยโดยเริ่มจากท่านอนคว่ำทำการทดสอบกล้ามเนื้อเหยียดหลัง และกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกด้านถนัดและด้านไม่ถนัด ถัดมาเป็นท่านอนหงายทำการทดสอบกล้ามเนื้อกางสะโพกด้านถนัดและด้านไม่ถนัด และท่านั่งทำการทดสอบกล้ามเนื้อเอียงลำตัวด้านถนัดและด้านไม่ถนัด ดังภาพที่ 1 ผลการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

การศึกษานี้ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ IBM SPSS statcal version 20 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปอร์เซ็นต์ ทดสอบการแจกแจงข้อมูลใช้สถิติ Shapiro-Wilk test พบว่าค่าแรงหดตัวสูงสุดมีการกระจายข้อมูลแบบปกติ ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อระหว่างกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและกลุ่มมีอาการปวดเข่าใช้สถิติ Independent t-test กำหนด

ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หาขนาดอิทธิพล (Effect size) กรณีมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม โดยใช้สถิติ Glass's delta

ตารางที่ 1 ตำแหน่งวางเครื่องวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อด้วยมือที่กล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพก

กล้ามเนื้อ	ท่าทางผู้เข้าร่วมวิจัย	ตำแหน่งวางเครื่อง
กล้ามเนื้อเหยียดหลัง	นอนคว่ำ	กึ่งกลางของกระดูกสันหลังระดับข้อที่ 4 (T4)
กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก	นอนคว่ำ	ด้านหลังส่วนปลายของขาเหนือข้อเท้า
กล้ามเนื้อกางสะโพก	นอนหงาย สะโพกและเข่าเหยียดตรง	ด้านข้างส่วนปลายของขาเหนือข้อเท้า
กล้ามเนื้อเอียงลำตัว	นั่งห้อยขาข้างเดียว	กึ่งกลางของลำตัวด้านข้างตรงเส้นที่ลากผ่านจาก ส่วนกลางของรักแร้ตามแนวตั้ง



ภาพที่ 1 การวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพก

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลอง

กลุ่มตัวอย่างแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและกลุ่มมีอาการปวดเข่า จำนวนกลุ่มละ 22 คน กลุ่มไม่มีอาการปวดเข่ามีอายุเฉลี่ย 34.10 ± 1.49 ปี เพศชายจำนวน 18 คน คิดเป็น 81.82% และเพศหญิงจำนวน 4 คน คิดเป็น 18.18% มีส่วนสูงเฉลี่ย 167.90 ± 7.04 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 66.60 ± 13.13 กิโลกรัม ส่วนกลุ่มมีอาการปวดเข่ามีอายุเฉลี่ย 34.00 ± 1.91 ปี เพศชายจำนวน 17 คน คิดเป็น 77.27% และเพศหญิงจำนวน 5 คน คิดเป็น 22.73% มีส่วนสูงเฉลี่ย 168.80 ± 6.38 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 67.80 ± 6.71 กิโลกรัม เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มในด้านอายุ เพศ ส่วนสูง และน้ำหนัก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

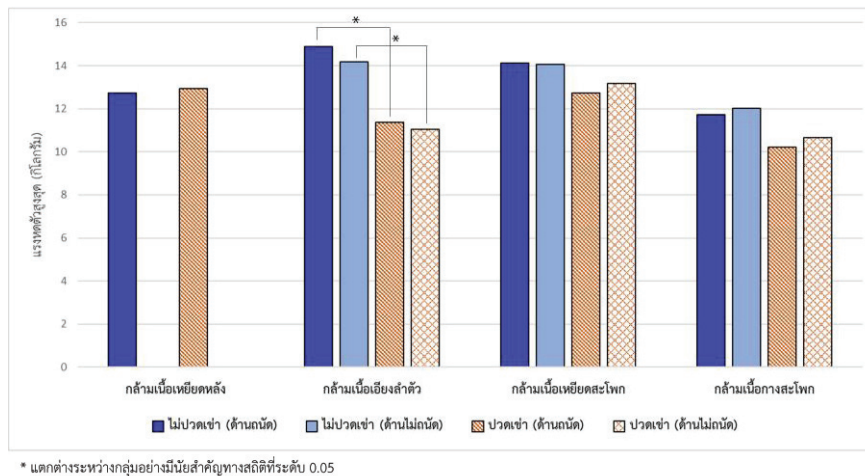
ข้อมูลพื้นฐาน	กลุ่มไม่มีอาการปวดเข่า (จำนวน 22 คน)	กลุ่มมีอาการปวดเข่า (จำนวน 22 คน)
อายุ (ปี)	34.10 ± 1.49	34.00 ± 1.91
เพศ (คน)		
ชาย	18 (81.82%)	17 (77.27%)
หญิง	4 (18.18%)	5 (22.73%)
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	167.90 ± 7.04	168.80 ± 6.38
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	66.60 ± 13.13	67.80 ± 6.71

ผลการทดสอบแรงกดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกในกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและมีอาการปวดเข่าทั้งด้านถนัดและไม่ถนัดมีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มพบว่า ค่าเฉลี่ยแรงกดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อเอียงลำตัวทั้งด้านถนัดและด้านไม่ถนัด มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและกลุ่มมีอาการปวดเข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่ามีค่าเฉลี่ยแรงกดตัวสูงสุดสูงกว่ากลุ่มมีอาการปวดเข่า มีค่าขนาดอิทธิพลด้านถนัด เท่ากับ 0.95 และด้านไม่ถนัดเท่ากับ 1.00 ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มของกล้ามเนื้อเหยียดหลัง กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก และกล้ามเนื้อกางสะโพกทั้งด้านถนัดและด้านไม่ถนัด ดังภาพที่ 2

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยแรงกดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกเปรียบเทียบกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและกลุ่มมีอาการปวดเข่า

กล้ามเนื้อ	แรงกดตัวสูงสุด (กิโลกรัม)		t	P-value	d
	กลุ่มไม่มีอาการปวดเข่า	กลุ่มมีอาการปวดเข่า			
กล้ามเนื้อเหยียดหลัง	12.72 ± 2.78	12.95 ± 1.73	-0.21	0.83	
กล้ามเนื้อเอียงลำตัว					
ด้านถนัด	14.89 ± 3.71	11.36 ± 3.13	2.24	0.04*	0.95
ด้านไม่ถนัด	14.18 ± 3.15	11.03 ± 3.10	2.24	0.04*	1.00
กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก					
ด้านถนัด	14.11 ± 3.32	12.74 ± 3.47	0.90	0.38	
ด้านไม่ถนัด	14.06 ± 3.49	13.18 ± 4.10	0.53	0.60	
กล้ามเนื้อกางสะโพก					
ด้านถนัด	11.72 ± 3.10	10.21 ± 1.89	1.23	0.23	
ด้านไม่ถนัด	12.03 ± 3.51	10.65 ± 2.62	0.96	0.35	

* ระหว่างกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 2 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงหดตัวสูงสุดของหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพก
ด้านถนัดและไม่ถนัด ระหว่างกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและมีอาการปวดเข่า

วิจารณ์

การศึกษาในครั้งนี้ทำการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ได้แก่ กล้ามเนื้อเหยียดหลัง กล้ามเนื้อเอียงลำตัว และกล้ามเนื้อสะโพก ได้แก่ กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก กล้ามเนื้ออกสะโพก โดยทำการทดสอบ ทั้ง 2 ข้างจำแนกเป็นด้านถนัดและด้านไม่ถนัด และนำค่าเฉลี่ยแรงหดตัวสูงสุดของแต่ละกล้ามเนื้อมาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและกลุ่มมีอาการปวดเข่า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกในกลุ่มไม่มีและกลุ่มมีอาการปวดเข่าของนักวิ่งสมัครเล่น สมมุติฐานของงานวิจัยคือ ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างและกล้ามเนื้อสะโพกในนักวิ่งสมัครเล่นกลุ่มมีอาการปวดเข่ามีความแตกต่างกับนักวิ่งสมัครเล่นกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่า ผลการศึกษาเป็นไปตามสมมุติฐานของงานวิจัยที่ตั้งไว้บางส่วน โดยพบว่า ความแข็งแรงกล้ามเนื้อเอียงลำตัวทั้งด้านถนัดและด้านไม่ถนัดของกลุ่มมีอาการปวดเข่ามีความแตกต่างกับกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดหลัง กล้ามเนื้อเหยียดสะโพก และกล้ามเนื้ออกสะโพก ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม

ผลการศึกษาพบว่า แรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อเอียงลำตัวระหว่างกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยของกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าและกลุ่มมีอาการปวดเข่าในด้านถนัดมีค่าเท่ากับ 14.89 ± 3.71 กิโลกรัม และ 11.36 ± 3.13 กิโลกรัม ตามลำดับ มีขนาดอิทธิพลเท่ากับ 0.95 ส่วนด้านไม่ถนัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.18 ± 3.15 และ 11.03 ± 3.10 กิโลกรัม ตามลำดับ มีขนาดอิทธิพลเท่ากับ 1.00 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มมีอาการปวดเข่ามีความแข็งแรงกล้ามเนื้อเอียงลำตัวน้อยกว่ากลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าอย่างชัดเจน กล้ามเนื้อเอียงลำตัวเป็นหนึ่งในกล้ามเนื้อแกนกลางร่างกายที่สำคัญ ตำแหน่งของกล้ามเนื้ออยู่ระดับลิกทางด้านข้างทั้งด้านซ้ายและขวามีแนวการวางตัวโดยเกาะจากขอบบนของกระดูกเชิงกรานไปยังกระดูกซี่โครงคู่ที่ 12 ซึ่งเป็นคู่ล่างสุดและเกาะมาที่กระดูกสันหลังส่วนเอว (Drake et al., 2021) กล้ามเนื้อเอียงลำตัวเป็นตัวช่วยสร้างความมั่นคง (Stabilizer) ทางด้านข้างระหว่างกระดูกสันหลังกับกระดูกเชิงกรานและสะโพก เป็นหนึ่งในกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญในการวิ่ง ขณะวิ่งขาทั้ง 2 ข้างมีช่วงเท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) และช่วงเท้าลอยเหนือพื้น (Swing phase) สลับกันเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่อง

มีการถ่ายน้ำหนักตัวไปมาระหว่างขาข้างซ้ายและขวา ขณะที่ขาข้างหนึ่งรับน้ำหนักและขาอีกข้างลอยเหนือพื้น กล้ามเนื้อแกนกลางร่างกายทำงานร่วมกับกล้ามเนื้อสะโพกในการรักษาสมดุลไม่ให้กระดูกเชิงกรานและสะโพกข้างที่ลอยเหนือพื้นตกลง แต่เมื่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไม่เพียงพอที่จะทำให้กระดูกเชิงกรานอยู่ในภาวะสมดุล ขณะวิ่งได้ มุมองศาของกระดูกเชิงกรานของด้านตรงข้ามเลื้อนลง (Pelvic drop angle) มากเกินไป จนทำให้แนวแรง การลงน้ำหนักของขาผิดปกติไป เกิดแรงกระทำลงมาที่ข้อเข่ามากขึ้น จนส่งผลให้เกิดอาการปวดเข่าขึ้น (Kapri et al., 2021; Nicola & Jewison, 2012) ผลการศึกษานี้คล้ายกันกับการศึกษาของ Nakagawa et al. (2015) ที่รวบรวม การศึกษาทางชีวกลศาสตร์ของลำตัวกับภาวะความผิดปกติของเข่า โดยพบว่าผู้ที่มีอาการปวดเข่ามีการเอียงลำตัว ในขณะที่ทำการยืนขาเดียวอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัวด้านข้างมีความสัมพันธ์กับอาการ ปวดเข่า สอดคล้องกับการศึกษาถึงความแข็งแรงกล้ามเนื้อแนวแกนกลางลำตัวกับอาการปวดเข่าที่พบว่า การสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแนวแกนกลางส่งผลต่ออาการปวดและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในกลุ่มที่มีอาการปวดเข่า โดยมีผลการศึกษาพบว่า การให้โปรแกรมออกกำลังกายเฉพาะกลุ่มกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ช่วยลดอาการปวดเข่าและเพิ่มการทรงตัวขณะเคลื่อนไหวให้ดีขึ้นในกลุ่มเพศหญิงที่มีอาการปวดเข่าได้ (Chevidikunnan et al., 2016) เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Ag Daud et al. (2023) ที่พบว่า การฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อ แนวแกนกลาง 2 สัปดาห์ ทำให้ผู้ป่วยเข่าเสื่อมมีอาการปวดเข่าลดลงและระยะทางการก้าวเดินเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวมีผลต่ออาการปวดเข่า ผลการศึกษานี้เป็นการเป็นข้อมูลสนับสนุนว่า ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อเอียงลำตัวมีผลต่ออาการปวดเข่าในนักวิ่งสมัครเล่น

นอกจากกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างแล้ว ในการศึกษาครั้งนี้ยังทำการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสะโพก ได้แก่ กล้ามเนื้อเหยียดสะโพกและกล้ามเนื้อกางสะโพก ผลการศึกษานี้ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่ากับกลุ่มมีอาการปวดเข่าทั้งด้านถนัดและด้านไม่ถนัด ความแตกต่างระหว่างกลุ่มอาจจะ เห็นได้ไม่ชัดเจนในการศึกษานี้ แต่ค่าเฉลี่ยแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อสะโพกทั้ง 2 มัดในกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่า แนวโน้มมีค่าสูงกว่ากลุ่มมีอาการปวดเข่า กล้ามเนื้อเหยียดสะโพกเป็นกล้ามเนื้อที่สำคัญเกี่ยวข้องกับแนวของกระดูก เชิงกรานทั้งในขณะที่อยู่นิ่งและมีการเคลื่อนไหว ซึ่งมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันกับความมั่นคงของแกนกลางลำตัว (Buckthorpe et al., 2019) หลายการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ความอ่อนแรงของกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกและกล้ามเนื้อ กางสะโพกเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดอาการปวดเข่า มีการศึกษาที่พบว่าในภาวะที่กล้ามเนื้อสะโพกไม่แข็งแรงร่วมกับการ ฝ่าเท้าบิดออกด้านนอก (Foot eversion) ทำให้แนวการเคลื่อนไหวของขาผิดปกติ เกิดการบิดเข่าด้านในของขา ขณะเคลื่อนไหว (Dynamic valgus) หรือมุมข้อเข่าบิดเข่าด้านใน (Knee valgus) ส่งผลต่ออาการปวดเข่าหรือ การบาดเจ็บที่ข้อเข่า (Petersen et al., 2017; Rinaldi et al., 2022; Neamatallah et al., 2020) และการศึกษา ของ Jungmalm et al. (2020) ศึกษาการบาดเจ็บของนักวิ่งสมัครเล่นพบว่าสัดส่วนความแข็งแรงกล้ามเนื้อกางสะโพก ต่อกล้ามเนื้อหุบสะโพกที่ต่ำเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บมากกว่ากลุ่มควบคุม และการศึกษาของ Van Cant et al. (2021) พบว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อกางสะโพกในกลุ่มที่มีอาการปวดเข่ามากและความถี่ของอาการปวดสูง มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่มีอาการปวดเข่าน้อยกว่า

การศึกษานี้มีข้อจำกัดในเรื่องช่วงอายุของกลุ่มตัวอย่างซึ่งอยู่ในวัยที่ไม่มีความเสื่อมของร่างกาย การศึกษา ครั้งต่อไปจึงควรศึกษาในกลุ่มผู้สูงอายุ เนื่องจากจำนวนผู้สูงอายุที่มากขึ้นและแนวโน้มของผู้สูงวัยที่สนใจการดูแลสุขภาพ รวมถึงการออกกำลังกายด้วยการวิ่งมีเพิ่มขึ้น

สรุป

สรุปการศึกษาครั้งนี้พบว่า นักวิ่งสมัครเล่นกลุ่มมีอาการปวดเข่ามีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเอียงลำตัวด้านหน้าและไม่ถนัดน้อยกว่ากลุ่มไม่มีอาการปวดเข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดหลังกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก และกล้ามเนื้อกางสะโพก ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มแต่มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยของกลุ่มไม่มีอาการปวดเข่ามีค่าสูงกว่ากลุ่มมีอาการปวดเข่า ผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการให้โปรแกรมออกกำลังกายที่เสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในนักวิ่งสมัครเล่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อเอียงลำตัวเพื่อป้องกันหรือฟื้นฟูอาการปวดเข่าที่เกิดขึ้นในนักวิ่งสมัครเล่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เอกสารอ้างอิง

- Ag Daud, D. M., Liao, S. N., Sudi, S., Mohd Noh, M., & Khin, N. Y. (2023). A case report on core muscles training for knee osteoarthritis through core muscles activations and gait analysis. *Cureus*, 15(1), e33918.
- American College of Sports Medicine. (2018). *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription*. (9th ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer.
- Bolgia, L. A., Malone, T. R., Umberger, B. R., & Uhl, T. L. (2008). Hip strength and hip and knee kinematics during stair descent in females with and without patellofemoral pain syndrome. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(1), 12-18.
- Briani, R. V., Waiteman, M. C., Albuquerque, C. E. de, Gasoto, E., Segatti, G., Oliveira, C. B., Azevedo, F. M. de, & Silva, D. de O. (2019). Lower trunk muscle thickness is associated with pain in women with patellofemoral pain. *Journal of Ultrasound in Medicine: Official Journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine*, 38(10), 2685-2693.
- Buckthorpe, M., Stride, M., & Villa, F. D. (2019). Assessing and treating gluteus maximus weakness - a clinical commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(4), 655-669.
- Chaudhari, A. M. W., VAN Horn, M. R., Monfort, S. M., Pan, X., Oñate, J. A., & Best, T. M. (2020). Reducing core stability influences lower extremity biomechanics in novice runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(6), 1347-1353.
- Chevidikunnan, M. F., Al Saif, A., Gaowgzeh, R. A., & Mamdouh, K. A. (2016). Effectiveness of core muscle strengthening for improving pain and dynamic balance among female patients with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(5), 1518-1523.
- De Blaiser, C., De Ridder, R., Willems, T., Danneels, L., Vanden Bossche, L., Palmans, T., & Roosen, P. (2018). Evaluating abdominal core muscle fatigue: Assessment of the validity and reliability

- of the prone bridging test. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 28(2), 391-399.
- Dempster, J., Dutheil, F., & Ugbohue, U. C. (2021). The Prevalence of lower extremity injuries in running and associated risk factors: a systematic review. **Physical Activity and Health**, 5(1), 133-145.
- Drake, R. L., Vogl, A. W., Mitchell A. W. M., Tibbitts, R. M., & Richardson, P. E. (2021). **Gray's atlas of anatomy**. (3rd ed.). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Ferber, R., & Macdonard, S. (2014). **Running mechanics and gait analysis**. (1st ed.). Human Kinetics.
- Geneen, L. J., Moore, R. A., Clarke, C., Martin, D., Colvin, L. A., & Smith, B. H. (2017). Physical activity and exercise for chronic pain in adults: an overview of cochrane reviews. **The Cochrane Database of Systematic Reviews**, 2017(4).
- Jungmalm, J., Nielsen, R. Ø., Desai, P., Karlsson, J., Hein, T., & Grau, S. (2020). Associations between biomechanical and clinical/anthropometrical factors and running-related injuries among recreational runners: a 52-week prospective cohort study. **Injury Epidemiology**, 7(1), 10.
- Kapri, E., Mehta, M. & Singh, K. (2021) Biomechanics of running: An overview on gait cycle. **International Journal of Physical Education Fitness and Sports**, 10(3), 1-9.
- Mentiplay, B. F., Perraton, L. G., Bower, K. J., Adair, B., Pua, Y. H., Williams, G. P., McGaw, R., & Clark, R. A. (2015). Assessment of lower limb muscle strength and power using hand-held and fixed dynamometry: a reliability and validity study. **Plos One**, 10(10), e0140822.
- Nakagawa, T. H., Maciel, C. D., & Serrão, F. V. (2015). Trunk biomechanics and its association with hip and knee kinematics in patients with and without patellofemoral pain. **Manual Therapy**, 20(1), 189-193.
- Na Phatthalung, A., Malarat, A., Kuna-apisit, W., & Charoensupmanee, T. (2017). Problems, needs, and guidelines in constructing a new form of basketball. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 12(1), 83-93. (In Thai)
- Neamatallah, Z., Herrington, L., & Jones, R. (2020). An investigation into the role of gluteal muscle strength and EMG activity in controlling HIP and knee motion during landing tasks. **Physical Therapy in Sport: Official Journal of The Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine**, 43, 230-235.
- Nicola, T. L., & Jewison, D. J. (2012). The anatomy and biomechanics of running. **Clinics in Sports Medicine**, 31(2), 187-201.
- Petersen, W., Rembitzki, I., & Liebau, C. (2017). Patellofemoral pain in athletes. **Open Access Journal of Sports Medicine**, 8, 143-154.

-

DRYING MEDICAL PLANTS IN CHAI BADAN, LOPBURI BY SOLAR DRYER FOR PRODUCING THAI HERB PRODUCTS

Suchada Maisont¹, Wisutthana Samutsri^{1*} and Arthit Sansomboon²

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

²Department of Applied Physics, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

*E-mail: wisutthana@pnru.ac.th

Received: 07-09-2023

Revised: 19-09-2023

Accepted: 20-09-2023

ABSTRACT

In this study, white fingerroot, turmeric, and green chiretta were dried using a solar dryer, reducing their moisture contents to 9.72, 10.14, and 9.83% on the wet basis (wb), respectively. The HPLC technique was used to examine the active components. The flavonoids, which include Pinostrobin 66.57 mg/g and Panduratin A 3.04 mg/g, are the active component of dried white fingerroot. Fresh and dried turmeric were found to have 6.78 mg/g and 48.23 mg/g of curcumin, respectively. The dried green chiretta leaf and stem powder contained 34.94 mg/g of andrographolide. In addition, the Thai Community Product Standard of 480/2547 indicated that the total microorganism was fewer than 1×10^3 colonies/gram. Finally, the powdered dry herb was placed into capsules for easy application.

Keywords: COVID-19, Solar dryer, Fingerroot, Turmeric, Andrographis, Curcumin

Introduction

This project was inspired by an academic initiative to increase the value of community products and combat the COVID-19 outbreak in local areas, by the national strategy for social equality. The Chai Badan district in Lopburi province, Thailand, falls under the responsibility of Phranakhon Rajabhat University and is renowned for its agricultural produce, including fingerroot, turmeric, and green chiretta. The project aimed to explore and enhance the processing of these herbs, while preserving their traditional medicinal properties. White fingerroot, for example, is widely recognized as an important herb, with anti-COVID-19 effects attributed to two key substances -

Panduratin A and Pinostrobin - found in its extract. Panduratin A and Pinostrobin can help prevent infection with the COVID-19 virus (Kanjanasirirat et al., 2020). Turmeric, on the other hand, is a beloved Thai herb known for its rich colors and aroma, as well as its medicinal properties. It contains curcuminoids and has been designated as a “Miraculous herb” by the Government Pharmaceutical Organization and included in the National List of Essential Medicines. Turmeric is classified in Thai herbal medicine formula that has properties to prevent and treat various diseases. The herb has recently been in the spotlight for its potential to treat COVID-19 (Chabot & Huntwork, 2021). Similarly, green chiretta has drawn attention for its potential to combat COVID-19, with the National Drug System Development Board’s recent announcement that it can be used to relieve cold symptoms and treat the virus. Scientists are currently exploring the mechanisms behind andrographolide and its derivatives, which have shown promise in inhibiting the multiplication of the COVID-19 virus in vitro. Through an integration of various sciences, including biochemistry, molecular biology, pharmacology, and toxicology, these herbs hold great potential in the fight against COVID-19 (Akaji et al., 2022; Benjaponpithak et al., 2021).

In Southeast Asian countries like Thailand, solar drying is a popular way to preserve fruits and vegetables in rural areas. It is considered an environmentally friendly and renewable technology (Janjai, 2012; Usub et al., 2008; Wang et al., 2014). The dryer has a parabolic curved roof that allows sunlight to enter through the polycarbonate sheet. Using polycarbonate sheets as a transparent material to cover the dryer has many benefits. While solar radiation can penetrate the sheet, a small amount of infrared radiation is emitted, allowing everything inside the dryer to dry evenly. The sheets are connected using a device that prevents air and water leakage, and there is also a coating that protects against ultraviolet radiation.

This work aimed to study the drying of fingerroot, turmeric, and green chiretta by an area of 1x2 m² of parabolic cover-shaped solar dryer. The dried herb powder was analyzed for characteristics, active ingredients, and total microorganisms to value-added fingerroot, turmeric, and green chiretta in another way.

Methods

1. Materials

White fingerroot (*Boesenbergia rotunda*), turmeric (*Curcuma longa* L.), and green chiretta (*Andrographis paniculata*), as shown in Figure 1, were obtained from the Community Enterprise of Chai Badan district, Lopburi province, Thailand. Green chiretta was used during the unfolding stage, the leaves are large, and light green, becoming dark green. While white fingerroot and turmeric were used in the form of mature tubers.



Figure 1 Shows fingerroot; (a), turmeric; (b), and green chiretta; (c)

2. Solar dryer System

The drying process was conducted between March 1, 2022 and March 4, 2022, at Phranakhon Rajabhat University, Thailand at latitude 13.8760° N and longitude 100.5910° E. White fingerroot, turmeric, and green chiretta were washed, trimmed, and spread in a tray. Figure 2 shows the solar dryer with a drying area of 1x2 m². In this research, a Kipp & Zonen pyranometer model CMP11 was used to measure solar radiation. K-type thermocouples were placed in the middle of the dryer at positions 1 m from the front wall and were used to measure an electric potential difference that converted to temperature and a Yokogawa data logger model DC100 was used to record data in this study. The collected data was further analyzed.



Figure 2 The parabola dome solar dryer

3. Moisture content measurement

Moisture content measurements were conducted using the oven drying method according to AOAC (2000). About 3 g of the sample was taken and dried in the hot air oven (BINDER, FD, Germany) at 105°C for 3 hours. The drying sample was cooled in a desiccator until constant weight and was weighed periodically at 2-hour intervals using an electronic digital balance (Tanita, KD-200, Thailand). Finally, the moisture content of the product was determined. Drying continued for subsequent days until a constant moisture content of about 10% (wb) was achieved. The Thai Herbal Pharmacopoeia specifies that the moisture content of whole medicinal plants without essential

oils and herbal plants containing essential oils must not exceed 10% w/w and the moisture content corresponded to that of high-quality dried products.

4. Color measurement

The color of both the fresh products and dried products was also measured to compare by a colorimeter (Minolta, model CR-300) in CIE chromaticity coordinates L^* , a^* , and b^* , where L^* describes lightness, a^* describes intensity in the red-green axis, and b^* describes intensity in the yellow-blue axis (Maisont et al., 2022).

5. Chemical compound measurement

The chemical compounds of the sample were determined by the High-performance liquid chromatography (HPLC) technique and were analyzed by Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. (2022).

6. Statistical analysis

The results were expressed in the calculated means and standard deviations. Statistical analysis was performed using SPSS software (SPSS Statistics 19.0). Data were analyzed by analysis of variance with a one-way ANOVA and Duncan's test was used to determine the difference mean between treatments at the 5% significance level.

Results and Discussions

1. Experimental results

Agricultural products including fingerroot, turmeric, and green chiretta were dried by the parabola dome solar dryer. In general, solar dryers utilize both direct and diffused radiation which is called global radiation. Therefore, in evaluating the performance of the dryer, the global radiation will be measured using a pyranometer with a broad spectrum of response to the solar spectrum. Incident solar radiation on the solar collector of the dryer or on the products to be dried is an important parameter for evaluating the performance of solar drying. Figure 3 shows the variations in solar radiation between March 1, 2022, and March 4, 2022.

Since the beginning of March is the summer season in Thailand, there is a relatively high amount of sunlight throughout the day. The solar radiation intensity measured during this experiment was approximately 200 W/m^2 in the morning and increased to about 800 W/m^2 at noon time, then gradually decreased until the evening. This result corresponds to the air temperature inside the dryer as shown in Figure 4.

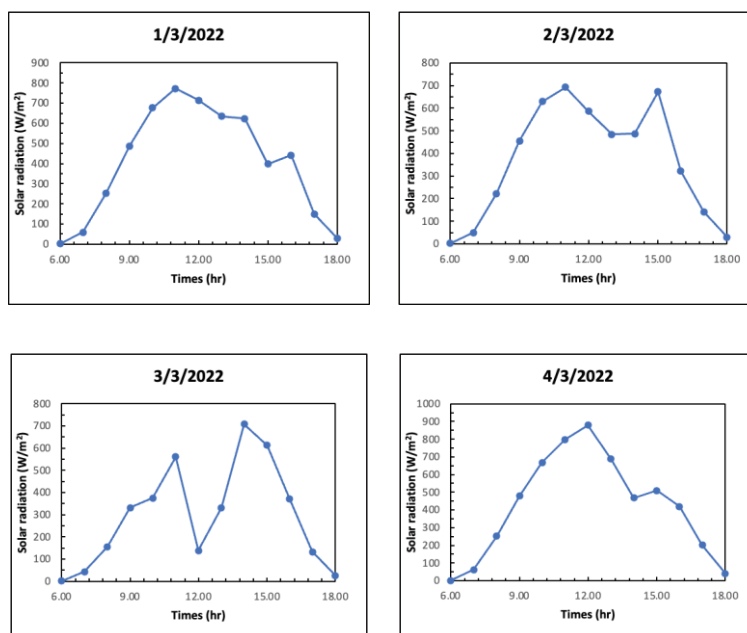


Figure 3 Variation of daily solar radiation

The roof is made of steel pipes that are curved into a parabolic shape. The angle of incidence of the rays on the roof facilitates the transmission of solar radiation throughout the day. There are two layers of galvanized metal floors between the layers with insulation. The top is covered with a polycarbonate sheet. One side has an air inlet. On the other side, there is a fan that uses solar cell power to ventilate the air out. Inside, there are two trays for placing products that need to be dried. The dryers can be moved due to the presence of wheels on the pole. It can be positioned in different directions as needed. Measuring temperature requires an instrument known as many types as possible of thermometers. The type commonly used in solar radiation drying applications is thermocouples because it can measure the temperature of the air at various points within the dryer conveniently. A thermocouple consists of two junctions of metal wires, one junction connecting the pyranometer and another junction connecting the object to measure the temperature. There will be an electric potential difference between the two junctions. This potential difference can be converted to temperature. The data obtained from the pyranometer, and thermocouples is an electrical signal which will be recorded by a data logger and can be transferred to a computer for analysis conveniently.

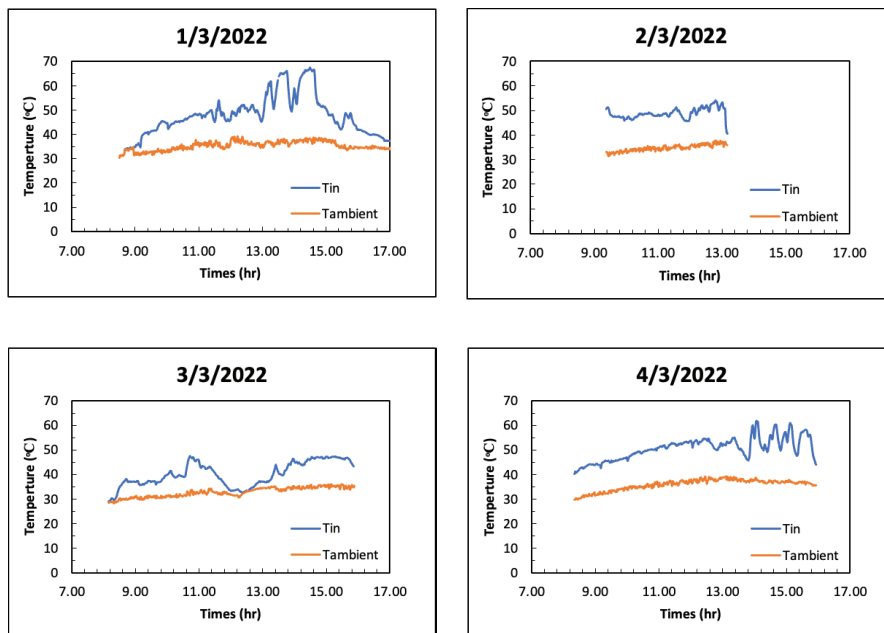


Figure 4 The air temperature in the solar dryer and ambient air

The measurement results in Figure 4 show that the daily ambient air temperature is about 30 to 35 °C throughout the day. The air temperature inside the dryer is slightly higher than the ambient air temperature in the morning then it will increase to a maximum of about 55°C during mid of the day, and then gradually decline until the evening the air temperature inside the dryer is again close to the ambient air temperature outside. However, on March 3, 2022, it still rains from 11:00 AM to 1:00 PM, causing the air temperature inside the solar dryer drop below what it should be. Furthermore, it was also found that when high-intensity radiation, the temperature inside the dryer is very high and then the fan will spin faster as well. Making it possible to ventilate hot air. On the other hand, when the solar radiation intensity is low, the temperature inside the dryer is low and the fan speed is slow. So, the temperature of the air inside the solar dryer does not decrease too rapidly. The dryer has an exhaust fan that spins with electrical energy from solar panels is a mechanism for controlling the temperature inside the dryer by a natural process. Accordingly, the solar dryer has sufficient potential to dry fingerroot, turmeric, green chiretta, or other agricultural products.

Fingerroot had an initial moisture content of approximately 87% (wb), upon completion the moisture content was reduced to 9.7% (wb). And turmeric had an initial moisture content of about 89% (wb), upon completion of drying the moisture content decreased to 9.4% (wb). Fingerroot and turmeric were dried in the solar dryer on March 1-2, 2022. Green chiretta was then dried in the solar dryer on March 3-4, 2022, with an initial moisture content of about 75% (wb). The drying

occurred during the falling rate period in which there was a steep fall in moisture content during the initial drying stages before slowing in later stages (Maisont et al., 2022). The moisture content was reduced to 9.8 % (wb) upon completion. It takes only two days to dry the product with the solar dryer is very satisfying. In addition, farmers do not have to worry about rain or insects interfering with the product which will cause damage to the product, resulting in health problems as well. Drying with a solar dryer still has more advantages than natural drying (Čiplienė et al., 2015; Condori et al., 2017; García-Valladares et al., 2020; Usub et al., 2008).

2. Qualities of the dehydrated product

Table 1 shows the moisture contents of dried fingerroot, turmeric, and green chiretta were 9.72, 10.14, and 9.83% (wb), respectively. Because the polycarbonate sheet is used as a cover material on top of the solar dryer has UV protection properties that keep the color of dried agricultural products slightly different from the fresh products as shown in Figure 5.

Table 1 Moisture content and color values of fresh and dried fingerroot, turmeric, and green chiretta*

Plants		Moisture content (%)	Color		
			L*	a*	b*
Fingerroot	Fresh	87.00 ± 0.57	42.60 ± 0.88	8.94 ± 0.29	21.52 ± 0.25
	Dried	9.72 ± 0.06	61.73 ± 0.21	9.91 ± 0.38	29.48 ± 0.18
Turmeric	Fresh	89.04 ± 0.77	45.68 ± 0.35	10.04 ± 0.38	25.76 ± 0.44
	Dried	9.44 ± 0.11	47.98 ± 0.34	19.93 ± 0.19	34.45 ± 0.32
Green chiretta	Fresh	75.15 ± 0.57	33.62 ± 0.98	-7.81 ± 0.38	14.09 ± 0.86
	Dried	9.83 ± 0.14	45.65 ± 0.91	1.67 ± 0.28	20.26 ± 0.26

*The mean value ± standard deviation of three replicates in the same column for each plant followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).



Figure 5 shows the characteristics of fresh, dried, and ground products;
fingerroot (row 1), turmeric (row 2), and green chiretta (row 2)

The L^* , a^* , and b^* values of dried Fingerroot were 61.73, 9.91, and 29.48, respectively, indicating a red undertone, thus the product was a red-brown color. While the L^* , a^* , and b^* values of dried turmeric and dried green chiretta were 47.98, 4.79, and 34.45, and 43.16, 1.24, and 19.06, respectively, indicating a green undertone, the product was a green-light brown color. It was suggested that the solar-dried treated samples became lighter than the fresh samples (Nimnuan & Nabnean, 2019).

An active compound found in Fingerroot by HPLC technique was Flavonoid. It consists of Panduratin A and Pinostrobin (Kanjanasirirat et al., 2020). After drying, the Panduratin A and Pinostrobin contents of dried Fingerroot were 3.04 and 6.65 mg/g, respectively. The active compound found in turmeric was curcumin, which was 48.23 mg/g, and the active compound found in green chiretta was andrographolide (Benjaponpithak et al., 2021), which was 47.52 mg/g after drying.

In addition, the dry sample was analyzed for microorganisms. It was found that the total microorganism was less than 1×10^3 colony/g, which was under the regulation of the Thai agricultural standard 480/2547 that the total microbial requirement for dry herb is not more than 5×10^5 colony/g. Finally, the dried herb powder including fingerroot, turmeric, and green chiretta was packed in capsules of 0.2070, 0.1934, and 0.2169 g/capsule, respectively, for convenience using as shown in Figure 6.



Figure 6 The products in capsules, fingerroot (a), turmeric (b), and green chiretta (c)

The Thai Food and Drug Administration published a list of plants suitable for use in dietary supplements in 2017. They recommend a daily intake of no more than 50 mg of curcuminoids and 966 mg of flavonoids from turmeric and white fingerroot extract. The Department of Thai Traditional and Alternative Medicine also advises that one should not consume more than 180 mg of andrographolide per day when using *Andrographis paniculata* products for COVID-19 treatment. Based on the important substances found in the dried products in this study, it is suggested that white fingerroot, turmeric, and green chiretta should not be consumed in amounts exceeding 4, 3, and 1 capsule per day, respectively. It is recommended that individuals with normal health, children, and pregnant women avoid consumption.

Conclusions

The solar dryer has sufficient potential to dry fingerroot, turmeric, green chiretta, or other agricultural products. Fingerroot, turmeric, and green chiretta had a final moisture content of 9.72, 10.14, and 9.83% (wb), respectively after two days from drying. Active ingredients including flavonoid, curcumin, and andrographolide were found in the dried products of fingerroot, turmeric, and green chiretta, respectively. The dried products were pulverized into powder and packed in capsules which are easy to use. The increasing value of white fingerroot, turmeric, and green chiretta by drying in a parabolic roof-shaped solar dryer was accomplished. The information may assist in the decision to use it as alternative medicine, and the final product's subjective quality can be kept and treated during the COVID-19 pandemic situation.

Acknowledgement

The authors thank the Academic Services of the Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University for the financial support and the Research and Development

Institute, Phranakhon Rajabhat University for the conference fee. The Tropical Atmospheric Physics Laboratory, Department of Physics, Silpakorn University was appreciated for drying equipment.

References

- Akaji, K., & Kono, H. (2020). Design and evaluation of anti-SARS-Coronavirus agents based on molecular interactions with the viral protease. **Molecules**, **25**, 3920.
- AOAC. (2000). **Official method of Analysis**. 15th ed The Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia.
- Benjaponpithak, A., Visithanon, K., Sawaengtham, T., Thaneerat, T., & Wanaratna, K. (2021). Short communication on the use of *Andrographis* herb (Fa Thalai Chon) for the treatment of COVID-19 patients. **Journal of Thai Traditional and Alternative Medicine**, **19**(1), 229-233.
- Chabot, A. B., & Huntwork, M. P. (2021). Turmeric is a possible treatment for COVID-19-induced Anosmia and Ageusia. **Cureus**, **13**(9), 17829.
- Čiplienė, A., Novošinskas, H., Raila, A., & Zvicevičius, E. (2015). Usage of hybrid solar collector system in drying technologies of medical plants. **Energy Conversion and Management**, **93**, 399–405.
- Condorí, M., Duran, G., Echazú, R., & Altobelli, F. (2017). Semi-industrial drying of vegetables using an array of large solar air collectors. **Energy for Sustainable Development**, **37**, 1–9.
- Department of Thai Traditional and Alternative Medicine. (2021). **Things to know on using andrographolide in *Andrographis paniculata* products for COVID-19 treatment**. Bangkok: Beyond Publishing Company Limited.
- García-Valladares, O., Ortiz, N. M., Pilatowsky, I., & Menchaca, A. C. (2020). Solar thermal drying plant for agricultural products. Part 1: Direct air heating system. **Renewable Energy**, **148**, 1302-1320.
- Janjai, S. (2012). A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: Development and dissemination. International. **Journal of Energy and Environment**, **3**(3), 383-398.
- Kanjanasirirat, P., Suksatu A., Manopwisedjaroen, S., Munyoo B., Tuchinda, P., Jearawuttanakul, K., Seemakhan, S., Charoensutthivarakul, S., Wongtrakoongate, P., Rangkasenee, N., Pitiporn, S., Waranuch, N., Chabang, N., Khemawoot, P., Sa-Ngiamsumton, K., Pewkliang, Y., Thongsri, P., Chutipongtanate, S., Hongeng, S., Borwornpinyo, S., & Thitithanyanont, A. (2020). High-content screening of Thai medicinal plants reveals *Boesenbergia rotunda* extract and its component Panduratin A as anti-SARS-CoV-2 agents. **Scientific Reports**, **10**(1), 19963.
- Maisont, S., Samutsri, W., Sansomboon, A., & Limsuwan, P. (2022). Drying edible jellyfish (*Lobonema smithii*) using a parabolic greenhouse solar dryer. **Food Research**, **6**(6), 165-173.

- Nimnuan, P., & Nabnean, S. (2019). Solar drying of Galangal slices (*Alpinia Galangal* (Linn.) Swartz.) using household solar dryer. **Suranaree Journal Science Technology**, 27(4), 1-8.
- Thai Food and Drug Administration. (2017). **The list of plants approved for use in dietary supplements**. The announcement of the Thai Food and Drug Administration on the 7th of August 2017.
- Usub, T., Lertsatitthanakorn, C., Poomsa-ad, N., Wiset, L., Yang, L. & Siriamornpun, S. (2008). Experimental performance of a solar tunnel dryer for drying silkworm pupae. **Biosystems Engineering**, 101, 209-216.
- Wang, H., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2014). Comparison of three new drying methods for drying characteristics and quality of Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). **Drying Technology**, 32(15), 1791–1802.
-

ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟนกับภาวะสมาธิสั้น
ในประชากรเจนเอเรชั่นวาย

THE RELATIONSHIP OF SMARTPHONE ADDICTION BEHAVIOR
AND ATTENTION DEFICIT HYPERACTIVITY DISORDER (ADHD)
IN THE GENERATION Y POPULATION

ณกรณ์ วัฒนสิทธิโนพคุณ* ไกรสร อัมมวรธน์ และ มนฤดี กীরติพรานนท์
สาขาวิชาการแพทย์บูรณาการ วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต กรุงเทพมหานคร 10210

Nakorn Wattanasittinopkarn, Kraisorn Ammawat and Monruadee Keeratipranon
Department of Integrative Medicine, College of Integrative Medicine,
Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210

*E-mail: 625159140013@dpu.ac.th

Received: 02-06-2023

Revised: 11-10-2023

Accepted: 16-10-2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการเสพติดโทรศัพท์สมาร์ทโฟนต่อภาวะสมาธิสั้น และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนต่อภาวะสมาธิสั้นในประชากรเจนเอเรชั่นวาย โดยการศึกษาเป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ ซึ่งทำการสำรวจประชาชนกลุ่มเจนเอเรชั่นวายที่เกิดระหว่างปี พ.ศ. 2523 - 2543 ที่ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนและอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 317 คน โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่าน Google Forms สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบแบบไคสแควร์

ผลการวิจัย พบว่าพฤติกรรมการเสพติดโทรศัพท์สมาร์ทโฟนมีความสัมพันธ์กับภาวะสมาธิสั้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และอายุ หรือช่วงปีที่เกิด สถานภาพ รายได้ ระยะเวลาในการใช้ ช่วงเวลาในการใช้ จำนวนวันในการใช้ และกิจกรรมในการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน มีความสัมพันธ์กับภาวะการเสพติดโทรศัพท์สมาร์ทโฟนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ขณะที่เพศ อายุหรือช่วงปีเกิด สถานภาพ รายได้ต่อเดือน อาชีพ ระยะเวลาการใช้ และกิจกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน มีความสัมพันธ์กับภาวะสมาธิสั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

คำสำคัญ: การติดใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน ภาวะสมาธิสั้น เจนเอเรชั่นวาย

ABSTRACT

This research aimed to investigate the correlation between smartphone addiction behaviour and attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) among the Generation Y population, as well as explore the association between personal factors and smartphone use behaviour. The study employed a quantitative research design and conducted a survey among Generation Y individuals (born between 1980 and 2000) residing in Bangkok, with a sample size of 317 participants (smartphone users). Data was collected using a questionnaire, and statistical analysis included frequency, percentage, mean, standard deviation, and chi-squared test.

The findings showed a significant association between smartphone addiction behaviour and ADHD at a significance level of 0.05. Moreover, factors such as age or year of birth, status, income, duration of smartphone use, number of days of use, and smartphone activities exhibited a significant relationship with smartphone addiction at a significance level of 0.05. Conversely, gender, age or year of birth, status, monthly income, occupation, duration of use, and smartphone use activities showed a significant correlation with ADHD at a significance level of 0.05.

Keywords: Smartphone Addiction, Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Generation Y

บทนำ

ในยุคปัจจุบันโทรศัพท์มือถือเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้น ยิ่งการเปิดตัวของโทรศัพท์มือถือหลากหลายยี่ห้อ ทำให้จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์มือถือเพิ่มขึ้นอย่างมาก จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารทำให้โทรศัพท์มือถือเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน จึงทำให้เกิดการใช้งานตลอดเวลาบางรายใช้มากจนกระทั่งส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน จากรายงานสถิติดิจิทัลของประเทศไทยจาก Digital Thailand (2020) ได้นำเสนอสถิติผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยปี พ.ศ. 2563 จำนวน 52 ล้านคน โดยใช้งานผ่านโทรศัพท์มือถือ 93.39 ล้านหมายเลข และมีจำนวนผู้ใช้งานโซเชียลมีเดียผ่านโทรศัพท์มือถือจาก 71% เมื่อปี พ.ศ. 2562 เพิ่มขึ้นเป็น 99% ซึ่งมีการใช้แอปพลิเคชันหลากหลายประเภทผ่านโทรศัพท์มือถือ

นอกจากนี้ สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์เผยแพร่ผลสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย Electronic Transactions Development Agency (2021) ระบุว่า ในปี พ.ศ. 2563 มีผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทยเฉลี่ยวันละ 11 ชั่วโมง 25 นาที เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2562 ถึง 1 ชั่วโมง 3 นาที โดยเหตุผลหลักของผู้ใช้ คือ การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ง่ายและการมีเครือข่ายที่ครอบคลุม รองลงมา คือ มีความจำเป็นต้องใช้อินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้น และบริการต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันที่สามารถทำผ่านออนไลน์มากขึ้นด้วย ขณะเดียวกันผลกระทบจาก COVID-19 ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ช่วยกระตุ้นให้ผู้คนหันมาเลือกทำกิจกรรมออนไลน์เพิ่มมากขึ้น แทนการเดินทางจากบ้านเรือน หรือเพื่อหลีกเลี่ยงการต้องพบปะผู้คนโดยเฉพาะในที่สาธารณะอีกด้วย โดยกลุ่มเจนเนอเรชันวาย อายุระหว่าง 20 - 39 ปีมีการใช้อินเทอร์เน็ตมากที่สุดอยู่ที่ 12 ชั่วโมง 26 นาที ซึ่งสาเหตุที่ภาพรวมจำนวนชั่วโมงการใช้อินเทอร์เน็ตในวันธรรมดาเพิ่มมากขึ้น กลุ่มเจนเนอเรชันแซดและกลุ่มเจนเนอเรชันวายที่อยู่ในวัยเรียน/วัยทำงานเป็นกลุ่มที่ใช้อินเทอร์เน็ตเฉลี่ยต่อวันมากที่สุดนั้น ส่วนหนึ่งมาจากสถานการณ์การแพร่ระบาด

ของ COVID-19 ที่มีมาตรการปิดสถานศึกษาให้ทำการเรียน การสอนแบบออนไลน์ และที่ทำงานส่วนใหญ่มีนโยบายการทำงานแบบ Work from Home ทำให้ต้องเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการทำงานเป็นแบบออนไลน์มากขึ้น

ประเทศไทยมีการศึกษาพฤติกรรมและผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบจากการใช้สมาร์ตโฟนของเด็กและเยาวชน หากเยาวชนมีพฤติกรรมการใช้สมาร์ตโฟนที่เหมาะสมจะช่วยเป็นสื่อทางการศึกษาเพิ่มมากขึ้น เกิดการเรียนรู้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เปิดโลกทัศน์ให้กว้างขึ้น ช่วยสร้างความเพลิดเพลิน และผ่อนคลายจิตใจได้นอกจากนั้นสามารถใช้ประโยชน์ในการค้นหาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อการตัดสินใจทางธุรกิจ สั่งซื้อสินค้าออนไลน์ จองตั๋วเครื่องบิน และการชำระค่าสินค้าต่าง ๆ แต่หากมีพฤติกรรมการใช้มากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากขึ้น ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพ คือ ปวดศีรษะ อาการปวดมือ/นิ้วล็อก เนื่องจากกดสมาร์ตโฟนนาน ด้านจิตใจ คือ หงุดหงิด และกังวลเมื่อติดต่อกับใครไม่ได้มีปัญหาด้านการคิด มีอาการซึมเศร้า สมาธิสั้นและอารมณ์ฉุนเฉียว (Kitisri et al., 2017) โดยพฤติกรรมการใช้อินเทอร์เน็ตผ่านสมาร์ตโฟนส่งผลกระทบต่อคุณภาพการนอนที่ไม่ดีและยังใช้มากขึ้น อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อตัววัยรุ่นมากยิ่งขึ้น สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงมุมมองที่มีต่อตนเองอันจะนำไปสู่การเติบโตเป็นผู้ใหญ่ในอนาคตและมีแนวโน้มที่จะยึดติดกับการใช้สื่อสังคมออนไลน์ที่มากเกินไปจนกลายเป็นพฤติกรรมเสพติดได้ (Suwancharoen et al., 2019) อาจถึงขั้นติดหรือขาดสมาร์ตโฟนไม่ได้โดยไม่รู้ตัว หรือที่เรียกกันว่า “โรคโนโมโฟเบีย (Nomophobia)” หรือ “โรคติดโทรศัพท์มือถือ Smartphone” (Silangam, 2018)

โรคสมาธิสั้นเป็นโรคทางจิตเวชเด็กที่มีอาการขาดสมาธิ อยู่ไม่นิ่ง และหุนหันพลันแล่น จากการที่โรคสมาธิสั้นซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงหนึ่งต่อการติดสารเสพติด โรคสมาธิสั้นอาจมีความเกี่ยวข้องกับการเสพติดอินเทอร์เน็ต รวมถึงวิดีโอเกมและสื่อสังคมออนไลน์ ด้วยผู้ที่มีโรคสมาธิสั้นมักพึงพอใจกับกิจกรรมที่ทำแล้ว ได้รับผลตอบแทนในทันทีทันใดมากกว่าที่จะต้องรอคอย ซึ่งอินเทอร์เน็ต วิดีโอเกม และสื่อสังคมออนไลน์นั้นมักมีการเปลี่ยนแปลงของภาพอยู่ตลอดเวลาไม่จำเป็นต้องอาศัยสมาธิความจำระยะสั้น ความพยายามหรือการเขียน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ทำได้ยากในผู้ที่เป็นโรคสมาธิสั้น (Margaret et al., 2011) และส่งผลกระทบต่อปัจจัยทางชีวภาพในผู้ที่มีโรคสมาธิสั้น ทำให้เกิดการหลั่ง Dopamine ภายใน Nucleus Accumbens เพิ่มขึ้นช่วยกระตุ้นวงจรความสุข ทำให้เกิดแรงจูงใจเชิงบวกในการเล่นต่อไป และกิจกรรมเหล่านี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการควบคุมและความเป็นอิสระในการแสดงออกถึงความเป็นตัวของตัวเอง ยิ่งเป็นตัวเสริมแรงจูงใจ และยังพบว่า การบริโภคอาหารของกลุ่มเด็กสมาธิสั้นนั้นมีภาวะโภชนาการที่บริโภคอาหารที่มีพลังงานสูง ซึ่งจะส่งผลเสียต่อการควบคุมน้ำหนักของร่างกายในระยะยาวได้ (Phanichsiri & Tuntasood, 2016)

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่ต้องการจะศึกษาความสัมพันธ์ของพฤติกรรมเสพติดสมาร์ตโฟนต่อภาวะสมาธิสั้นในประชากรเจนเนอเรชันวาย ซึ่งเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ให้สอดคล้องกับการพัฒนาทางเทคโนโลยีที่ส่งผลต่อสุขภาพในปัจจุบัน รวมทั้งผลการศึกษาที่ได้อาจใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขและป้องกันการเสพติดโทรศัพท์สมาร์ตโฟน โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีภาวะสมาธิสั้นอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) เก็บข้อมูลจากกลุ่มเจนเนอเรชันวายที่ใช้โทรศัพท์สมาร์ตโฟนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยมีวิธีการวิจัยดังนี้

1. ประชากรและตัวอย่าง โดยคำนวณจากสัดส่วนประชาชนที่เกิดในช่วง พ.ศ. 2523 - 2543 หรือกลุ่มเจนเนอเรชันวายที่ใช้โทรศัพท์สมาร์ตโฟน และอาศัยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครปี พ.ศ. 2563 จำนวน 1,188,425 คน (National Statistical Office of Digital Economy and Society, 2021) และจากรายงานสถิติดิจิทัลของประเทศไทย

จาก Digital Thailand (2020) นำเสนอสถิติผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยปี พ.ศ. 2563 พบว่า มีจำนวนผู้ใช้งานโซเชียลมีเดียผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนจาก 71% ดังนั้น คำนวณหาขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตร Krejcie & Morgan (1970) ในการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}n &= \frac{NX^2p(1-p)}{e^2(N-1) + X^2p(1-p)} \\&= \frac{1,188,425 \times 3.841 \times 0.71 \times (1-0.71)}{[0.05^2 \times (1,188,425 - 1)] + [3.841 \times 0.71 \times (1 - 0.71)]} \\&= 316.2608 \\&= 317 \text{ คน}\end{aligned}$$

ดังนั้น ผู้วิจัยจะใช้ตัวอย่างจากกลุ่มเจนเอเรชันวายที่ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนในกรุงเทพมหานคร และปริมาณเป็นจำนวนทั้งสิ้น 317 คน โดยเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ แบบสอบถาม โดยประกอบด้วยคำถาม 4 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลการคัดกรองตัวอย่าง ประกอบด้วย มีใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน และเป็นกลุ่มเจนเอเรชันวาย โดยแบบสอบถามมีลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check-List)

ส่วนที่ 2 ข้อมูลลักษณะทางประชากรศาสตร์ ประกอบด้วย เพศ ปี พ.ศ.ที่เกิด สถานภาพ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ และการเป็นสมาชิกรุ่นในช่วงวัยเด็ก โดยแบบสอบถามมีลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check-List)

ส่วนที่ 3 พฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน ประกอบด้วย ระยะเวลาในการใช้/วัน ช่วงเวลาในการใช้ จำนวนวันที่ใช้/สัปดาห์ และกิจกรรมที่ใช้เป็นประจำในสมาร์ทโฟน โดยแบบสอบถามมีลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check-List)

ส่วนที่ 4 แบบประเมินพฤติกรรมการติดสมาร์ทโฟนฉบับสั้น (SAS-SV) ฉบับภาษาไทยที่พัฒนาขึ้นโดย Charoenwanit & Soonthornchaiya (2018) เป็นการประเมินพฤติกรรมในการใช้สมาร์ทโฟนของผู้ถูกประเมินเอง (Self-rating scale) ประกอบด้วย 10 ข้อคำถาม แบบประเมินพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟน เป็นแบบสอบถามมาตราประเมินค่า 6 ระดับ ตั้งแต่จริงที่สุด (6 คะแนน) จนถึงไม่จริงเลย (1 คะแนน)

เกณฑ์การแปลผล

1. ถ้าผลรวมมีมากกว่าหรือเท่ากับ 31 คะแนนในเพศชาย และมากกว่าหรือเท่ากับ 33 คะแนนในเพศหญิง แสดงว่ามีพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟน

2. ถ้าผลรวมมีน้อยกว่า 31 คะแนนในเพศชาย และน้อยกว่า 33 คะแนนในเพศหญิง แสดงว่า มีพฤติกรรมการใช้สมาร์ทโฟนอย่างสร้างสรรค์

ส่วนที่ 5 แบบคัดกรองโรคสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ฉบับภาษาไทย Adult ADHD Self-Report Scale (ASRS) Screener V1.1 (Bussaratid et al., 2016) ประกอบด้วย ข้อคำถาม 6 ข้อ โดยผู้ตอบให้คะแนนในแต่ละข้อคำถามเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ ไม่เคย ถึง บ่อยมาก

เกณฑ์การแปลผล

1. คำถามข้อที่ 1 - 3 หากตอบความถี่ในช่วงเป็นบางครั้ง ถึง บ่อยมาก จะได้คะแนน 1 หากนอกเหนือจากนั้นให้คะแนนเป็น 0
2. ส่วนคำถามข้อที่ 4 - 6 หากตอบความถี่ในช่วงบ่อย ถึง บ่อยมาก จะได้คะแนน 1 หากนอกเหนือจากนั้นให้คะแนนเป็น 0
3. หากคะแนนรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 4 คะแนน เป็นข้อบ่งชี้ว่าอาจมีอาการของโรคสมาธิสั้นในผู้ใหญ่

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถามพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Coefficient) ของครอนบัค (Cronbach) ในส่วนของพฤติกรรมการติดสมาร์ทโฟนฉบับสั้น (SAS-SV) เท่ากับ 0.70 และภาวะสมาธิสั้นจากแบบคัดกรองโรคสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ฉบับภาษาไทย Adult ADHD Self-Report Scale (ASRS) เท่ากับ 0.73

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล การศึกษาวิจัยครั้งนี้ศึกษาจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นประชาชนที่มีอายุระหว่าง 22 - 42 ปี หรือกลุ่มเจนเอเรชันวายที่ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยผู้วิจัยได้ไปดำเนินการเก็บแบบสอบถามด้วย Google Forms ตั้งแต่เดือนสิงหาคม - พฤศจิกายน พ.ศ. 2564

4. การวิเคราะห์ข้อมูล โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล พฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน คะแนนประเมินของพฤติกรรมการติดสมาร์ทโฟนฉบับสั้น (SAS-SV) และภาวะสมาธิสั้นจากแบบคัดกรองโรคสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ฉบับภาษาไทย ได้แก่ ค่าความถี่และร้อยละ ในขณะที่การทดสอบความความสัมพันธ์ต่าง ๆ ด้วยการทดสอบแบบไคสแควร์ (The Chi-Square Test)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการสำรวจพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 317 คน พบว่า มากกว่าครึ่งเป็นผู้หญิงที่เกิดระหว่างปี พ.ศ. 2538 - 2543 หรือมีอายุระหว่าง 22 - 42 ปี มีสถานภาพโสด การศึกษาระดับปริญญาตรี มีรายได้ 20,001 - 30,000 บาท อาชีพพนักงานเอกชน และไม่เคยมีภาวะสมาธิสั้นในวัยเด็ก ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของตัวอย่าง จำแนกตามข้อมูลส่วนบุคคล

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
- ชาย	143	45.11
- หญิง	174	54.89
ปี พ.ศ. ที่เกิด		
- พ.ศ. 2523 - 2527	43	13.56
- พ.ศ. 2528 - 2532	65	20.50
- พ.ศ. 2533 - 2537	102	32.18
- พ.ศ. 2538 - 2543	107	33.76
สถานภาพ		
- โสด	181	57.10
- สมรส	98	30.91
- หย่าร้าง/หม้าย/แยกกันอยู่	38	11.99
ระดับการศึกษา		
- ต่ำกว่าปริญญาตรี	59	18.61
- ปริญญาตรี	208	65.62
- สูงกว่าปริญญาตรี	50	15.77
รายได้		
- น้อยกว่า 10,000 บาท	11	3.47
- 10,001 - 20,000 บาท	78	24.61
- 20,001 - 30,000 บาท	148	46.69
- 30,001 - 40,000 บาท	51	16.09
- 40,001 - 50,000 บาท	19	5.99
- มากกว่า 50,000 บาท	10	3.15
อาชีพ		
- นักเรียน / นักศึกษา	22	6.94
- ข้าราชการ / พนักงานรัฐวิสาหกิจ	22	6.94
- พนักงานบริษัทเอกชน	188	59.31
- ประกอบธุรกิจส่วนตัว	85	26.81
ภาวะสมานิสัยในช่วงวัยเด็ก		
- เคยเป็นมาแต่เด็ก แต่ได้รับการรักษา	15	4.73
- เป็นมาแต่เด็ก แต่ไม่ได้รับการรักษา	24	7.57
- ไม่เคยเป็น	278	87.70

ผลการสำรวจพบว่า เจเนอเรชันวายมีพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนส่วนใหญ่ใช้โทรศัพท์เฉลี่ยวันละ 4 - 5 ชั่วโมง ในช่วง 12.01 - 18.00 น ของทุกวันและเล่นโซเชียลมากที่สุด ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มเจเนอเรชันวาย จำแนกตามระยะเวลาในการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนโดยเฉลี่ยต่อวัน

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระยะเวลาในการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนโดยเฉลี่ยต่อวัน		
- น้อยกว่า 1 ชั่วโมง	9	2.84
- 1 - 2 ชั่วโมง	33	10.41
- 2 - 3 ชั่วโมง	67	21.14
- 4 - 5 ชั่วโมง	150	47.32
- มากกว่า 5 ชั่วโมง	58	18.30
ช่วงเวลาในการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน		
- 06.00 - 12.00 น.	21	6.62
- 12.01 - 18.00 น.	171	53.94
- 18.01 - 24.00 น.	119	37.54
- 00.01 - 06.00 น.	6	1.89
จำนวนวันที่ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนต่อสัปดาห์		
- วันธรรมดา (วันจันทร์ - วันศุกร์)	3	0.95
- วันหยุด (วันเสาร์ - วันอาทิตย์)	3	0.95
- ทุกวัน (วันจันทร์ - วันอาทิตย์)	230	72.56
- ไม่มีกำหนดที่แน่นอน	81	25.55
กิจกรรมที่ใช้สมาร์ทโฟนเป็นประจำในชีวิตประจำวัน		
- สืบค้นข้อมูลทั่วไป	40	12.62
- เล่นโซเชียล	173	54.57
- ติดต่อสื่อสาร	46	14.51
- เล่นเกม	58	18.30

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมกาเสพติดสมาร์ตโฟนและข้อมูลเกี่ยวกับภาวะสมาธิสั้น

การวิเคราะห์พฤติกรรมกาติตสมาร์ตโฟนฉบับสั้น (SAS-SV) ฉบับภาษาไทยพัฒนาขึ้นโดย Charoenwanit & Soonthornchaiya (2018) โดยแบบประเมินประกอบด้วย 10 ข้อคำถาม แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 6 ระดับ ตั้งแต่จริงที่สุด (6 คะแนน) จนถึงไม่จริงเลย (1 คะแนน) ซึ่งมีเกณฑ์การแปลผลคือ ถ้าผลรวมมีมากกว่าหรือเท่ากับ 31 คะแนนในเพศชาย และมากกว่าหรือเท่ากับ 33 คะแนนในเพศหญิงแสดงว่ามีพฤติกรรมกาเสพติดสมาร์ตโฟน และถ้าผลรวมมีน้อยกว่า 31 คะแนนในเพศชาย และน้อยกว่า 33 คะแนนในเพศหญิงแสดงว่ามีพฤติกรรมกาใช้สมาร์ตโฟนอย่างสร้างสรรค์

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบคัดกรองโรคสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ฉบับภาษาไทย Adult ADHD Self-Report Scale (ASRS) Screener V1.1 (Bussaratid et al., 2016) ประกอบด้วย ข้อคำถาม 6 ข้อ แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ คือ ไม่เคย ถึงบ่อยมาก ซึ่งมีเกณฑ์การแปลผล คือคำถามข้อที่ 1 - 3 หากตอบความถี่ในช่วงเป็นบางครั้ง-บ่อยมาก จะได้คะแนน 1 หากนอกเหนือจากนั้นให้คะแนนเป็น 0 ส่วนคำถามข้อที่ 4 - 6 หากตอบความถี่ในช่วงบ่อย-บ่อยมาก จะได้คะแนน 1 หากนอกเหนือจากนั้นให้คะแนนเป็น 0 โดยที่หากคะแนนรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 4 คะแนน เป็นข้อบ่งชี้ว่าอาจมีอาการของโรคสมาธิสั้นในผู้ใหญ่

ผลการสำรวจ พบว่า เจเนอเรชันวายมีพฤติกรรมกาติตสมาร์ตโฟนถึงร้อยละ 71 ขณะที่ พบว่า มีภาวะสมาธิสั้น เพียงร้อยละ 39 ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของประชาชนที่มีอายุระหว่าง 22-42 ปี หรือกลุ่มเจเนอเรชันวาย จำแนกตามพฤติกรรมกาเสพติดสมาร์ตโฟนตามแบบประเมินฉบับสั้น (SAS-SV) และการภาวะสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ (ASRS-V1.1)

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
การมีพฤติกรรมกาเสพติดสมาร์ตโฟน		
- ไม่มี	92	29.02
- มี	225	70.98
การมีภาวะสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ (ASRS-V1.1)		
- ไม่มี	193	60.88
- มี	124	39.12

3. ผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานที่ 1 พฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟนมีความสัมพันธ์กับภาวะสมาธิสั้นในประชากรเจนเนอเรชันวาย

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟนมีความสัมพันธ์กับภาวะสมาธิสั้นในประชากรเจนเนอเรชันวาย พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($p\text{-value} = 0.043$) โดยจะพบว่าประชากรเจนเนอเรชันวายที่มีการมีพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟน จะมีอาการโรคสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ อยู่ที่ร้อยละ 42.67 ขณะที่คนที่มีพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟนแต่ไม่มีอาการโรคสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ อยู่ถึงร้อยละ 57.33 ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดสอบสมมติฐานของพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟนมีความสัมพันธ์กับภาวะสมาธิสั้นในประชากรเจนเนอเรชันวาย

การมีภาวะสมาธิสั้น ในผู้ใหญ่		การมีพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟน			Chi square value	p-value
		ไม่มี	มี	รวม		
ไม่มี	จำนวน	64	129	193	4.102	0.043*
	ร้อยละ	69.57	57.33	60.88		
มี	จำนวน	28	96	124		
	ร้อยละ	30.43	42.67	39.12		
รวม	จำนวน	92	225	317		
	ร้อยละ	100.00	100.00	100.00		

* $p < .05$

สมมติฐานที่ 2 ลักษณะทางประชากรที่แตกต่างกันมีพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า 1) ช่วงปี พ.ศ. ที่เกิด มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในเรื่องระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน ช่วงเวลาที่ใช้สมาร์ทโฟน และจำนวนวันที่ใช้ 2) สถานภาพ มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในเรื่องระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน ช่วงเวลาที่ใช้สมาร์ทโฟน และจำนวนวันที่ใช้ 3) รายได้ มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในเรื่องระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน ช่วงเวลาที่ใช้สมาร์ทโฟน จำนวนวันที่ใช้ และกิจกรรมที่ใช้ 4) อาชีพมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในเรื่องระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน และ จำนวนวันที่ใช้ 5) ภาวะสมาธิสั้นในช่วงวัยเด็กมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนอย่างมีนัยสำคัญในเรื่องระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทางประชากรกับมีพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน

ปัจจัยประชากรศาสตร์		ระยะเวลาที่ใช้ เฉลี่ยต่อวัน	ช่วงเวลาที่ใช้ สมาร์ทโฟน	จำนวนวัน ที่ใช้	กิจกรรม ที่ใช้
เพศ	chi square	0.189	0.139	3.807	1.788
	p-value	0.664	0.710	0.051	0.181
ช่วงปี พ.ศ. ที่เกิด	chi square	33.590	25.868	15.099	0.932
	p-value	0.000*	0.000*	0.002*	0.818
สถานภาพ	chi square	35.748	15.364	6.221	4.336
	p-value	0.000*	0.000*	0.045*	0.114
ระดับการศึกษา	chi square	1.455	1.322	2.311	2.150
	p-value	0.483	0.516	0.315	0.341
รายได้	chi square	26.197	26.441	48.853	15.512
	p-value	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
อาชีพ	chi square	4.259	2.261	8.114	0.112
	p-value	0.039*	0.133	0.004*	0.738
ภาวะสมารถสิ้น ในช่วงวัยเด็ก	chi square	4.049	0.693	0.000	0.436
	p-value	0.044*	0.405	0.989	0.509

*p<.05

สมมติฐานที่ 3 ลักษณะทางประชากรศาสตร์และพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนมีความสัมพันธ์กับภาวะการเสพติดโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปัจจัยทางประชากร ได้แก่ ช่วงปีที่เกิดหรืออายุ สถานภาพ รายได้ต่อเดือน และปัจจัยทางพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน ได้แก่ ระยะเวลาการใช้ ช่วงเวลาการใช้ จำนวนวันที่ใช้ และกิจกรรมที่ใช้โทรศัพท์ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ 0.05 ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทางประชากรศาสตร์และพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน
มีความสัมพันธ์กับภาวะการเสพติดสมาร์ทโฟน

ปัจจัยทางประชากรศาสตร์	chi square	p-value
เพศ	0.387	0.534
ช่วงปี พ.ศ. ที่เกิด	15.557	0.001*
สถานภาพ	9.638	0.008*
ระดับการศึกษา	0.285	0.867
รายได้ต่อเดือน	19.890	0.000*
อาชีพ	1.622	0.203
ภาวะสมาธิสั้นในช่วงวัยเด็ก	1.021	0.312
ปัจจัยทางพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์	chi square	p-value
ระยะเวลาในการใช้เฉลี่ยต่อวัน	12.594	0.000*
ช่วงเวลาในการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน	94.770	0.000*
จำนวนวันที่ใช้สมาร์ทโฟนต่อสัปดาห์	21.421	0.000*
กิจกรรมที่ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน	24.553	0.000*

*p<.05

สมมติฐานที่ 4 ลักษณะทางประชากรศาสตร์และพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนมีความสัมพันธ์กับภาวะสมาธิสั้น

ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปัจจัยทางประชากร ได้แก่ เพศ ช่วงปีที่เกิดหรืออายุ สถานภาพ รายได้ต่อเดือน อาชีพ และปัจจัยทางพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์ ได้แก่ ระยะเวลาการใช้ และกิจกรรมที่ใช้โทรศัพท์ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทางประชากรศาสตร์และพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน มีความสัมพันธ์กับภาวะสมาธิสั้น

ปัจจัยทางประชากรศาสตร์	chi square	p-value
เพศ	17.454	0.000*
ช่วงปี พ.ศ. ที่เกิด	15.223	0.002*
สถานภาพ	12.980	0.002*
ระดับการศึกษา	0.392	0.822
รายได้ต่อเดือน	39.580	0.000*
อาชีพ	6.445	0.011*
ภาวะสมาธิสั้นในช่วงวัยเด็ก	2.764	0.096

ปัจจัยทางพฤติกรรมการใช้โทรศัพท์	chi square	p-value
ระยะเวลาในการใช้เฉลี่ยต่อวัน	6.042	0.014*
ช่วงเวลาในการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน	1.262	0.261
จำนวนวันที่ใช้สมาร์ทโฟนต่อสัปดาห์	1.445	0.229
กิจกรรมที่ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน	5.991	0.014*

*p<.05

จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมการติดสมาร์ทโฟนของกลุ่มเจนเอเรชั่นวายพบถึงร้อยละ 71 มีภาวะสมาธิสั้น ร้อยละ 39 (ตารางที่ 3) และมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ร้อยละ 43 สอดคล้องกับกรมสุขภาพจิต ที่พบว่าการใช้สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตมีผลทำให้เกิดโรคสมาธิสั้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อความคิด การวางแผน และการจัดการบริหารชีวิต จากความผิดปกติของสมองส่วนหน้า (Department of Mental Health, 2019) นอกจากนี้ การติดสมาร์ทโฟนมีผลให้เกิดความเครียดขึ้น ซึ่งหากสะสมเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดความเครียดแฝงได้จิตสำนึก จนอาจก่อให้เกิดโรคทางกาย เช่น ความดันโลหิตสูง (Khotaphan, 2021) ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะสมองเสื่อมขึ้นได้ (Rongmuang et al., 2021)

สรุป

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการเสพติดโทรศัพท์สมาร์ทโฟนต่อภาวะสมาธิสั้นในประชากรเจนเอเรชั่นวาย พบว่ากลุ่มเจนเอเรชั่นวายมีพฤติกรรมติดสมาร์ทโฟนถึงร้อยละ 71 และมีภาวะสมาธิสั้นถึงร้อยละ 39 ซึ่งเมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการเสพติดโทรศัพท์สมาร์ทโฟนกับภาวะสมาธิสั้น พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้ที่มีการเสพติดสมาร์ทโฟนจะมีภาวะสมาธิสั้นถึงร้อยละ 43 สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเสพติดสมาร์ทโฟน พบว่า อายุ สถานภาพ อาชีพ ระยะเวลาการใช้โทรศัพท์ ช่วงเวลาในการใช้ จำนวนวัน และกิจกรรมการใช้โทรศัพท์ จะส่งผลต่อการเสพติดสมาร์ทโฟนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่เพศ อายุ สถานภาพสมรส รายได้ต่อเดือน อาชีพ ระยะเวลาในการใช้ และกิจกรรมที่ใช้โทรศัพท์จะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ต่อภาวะสมาธิสั้น ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้ถือเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นว่าการเสพติดโทรศัพท์สมาร์ทโฟนจะส่งผลต่อการเกิดภาวะสมาธิสั้นในผู้ใหญ่ ดังนั้น จึงควรมีการประชาสัมพันธ์ให้ระวังการใช้โทรศัพท์ที่มากเกินไปจนความจำเป็น อาจส่งผลเสียต่อสุขภาพได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการเล่นโทรศัพท์มือถือต่อภาวะสมาธิสั้นในประชากรเจนเอเรชันวายสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับการอนุเคราะห์จาก อาจารย์นายแพทย์ไกรสร อัมมวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์มนฤดี กิรติพรานนท์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือโดยให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดียิ่งตลอดจนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์กอบกิจ ประดิษฐ์ผลพานิช คณบดีกลุ่มวิชาการ 2 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ซึ่งเป็นผู้สร้างแรงบันดาลใจและคอยชี้แนะให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเล่าเรียนในวิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้ความสนใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ที่คอยช่วยเหลือให้การสนับสนุนในหลาย ๆ ปัจจัยในการทำให้งาน การศึกษาครั้งนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Bussaratid, S., Atsariyasing, W., Wannarit, K., Pukrittayakami, P., Hosiri, T., Wiwatwararom, N., & Pornnoppadol, C. (2016). Reliability and Validity Study of Adult ADHD Self-Report Scale (ASRS) Screener v1.1 Thai Version. *Journal of the Psychiatric Association of Thailand*, 61(2), 145-154. (In Thai)
- Charoenwanit, S., & Soonthornchaiya, R. (2018). Development of Smartphone Addiction Scale: Thai Short Version (SAS-SV-TH). *Journal of Mental Health of Thailand*, 27(1), 25-36. (In Thai)
- Department of Mental Health. (2019). **Attention Deficit Hyperactivity Disorder, A silent danger for children, is not serious but has the potential to become chronic**. Retrieved from <https://dmh.go.th/news-dmh/view.asp?id=29859> [2019, 5 Aug.]
- Digital Thailand. (2020). **Thailand digital statistics from DIGITAL THAILAND**. Retrieved from <https://blog.ourgreenfish.com/digital-statistics-of-thailandfrom-digital-thailand-annual-2020> [2020, 2 Jul.]
- Electronic Transactions Development Agency. (2021). **EDTA Reveals Internet User Behavior Survey in Thailand**. Retrieved from <https://www.etda.or.th/th/newsevents/pr-news/ETDA-released-IUB-2020.aspx> [2021, 5 Jul.]
- Kitisri, C., Nokham, R., & Phetcharat, K. (2017). A smartphone using behavior and health status perception of nursing Students. *Community Health Development Quarterly Khon Kaen University*, 5(1): 19-34. (In Thai)

- Khotaphan, S. (2021). The study in effectiveness of energy medicine in high stress level volunteers. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 16(2): 12-17. (In Thai)
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. **Educational and Psychological Measurement**, 30(3), 607-610.
- Margaret, D.W., Susan, B., Blake, A.A., Kelly, S., & Heidi, S. (2011). The screens culture: Impact on ADHD. **Atten Defic Hyperact Disord**, 3(4), 327-340.
- National Statistical Office of Digital Economy and Society. (2021). **Information Technology and Communication in Household 2020**. Retrieved from <https://www.nso.go.th/sites/2014/DocLib13/ICT/HouseholdTechnology/2020/Pocketbook63.pdf> [2021, 5 Jul.]
- Phanichsiri, K., & Tuntasood, B. (2016). Social Media Addiction and Attention Deficit and Hyperactivity Symptoms in High School Students in Bangkok. **Journal of the Psychiatric Association of Thailand**, 61(3), 191-204. (In Thai)
- Rongmuang, D., Pauchpanpisan, C., Pimtara, P., & Leaungsomnapa, Y. (2021). Prevalence cognitive impairment and ability to perform activities of daily living among the elderly in Muang district, Chantaburi. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 16(1): 1-12. (In Thai)
- Silangam, W. (2018). Dangers of Smartphone Addiciton. **HCU Journal of Academic**, 22(43-44), 193-204. (In Thai)
- Suwancharoen, S., Thamma-in, S., Kerdmuang, S., Pinitchan, O., & Chumchai, P. (2019). Behaviors and Effects of Smartphone Usage among High School Students, Nonthaburi Province. **Nursing Journal of the Ministry of Public Health**, 29(3), 107-117. (In Thai)
-

ผลของซูคราโลสและคาราจีแนนต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และขิง

EFFECTS OF SUCRALOSE AND CARRAGEENAN ON THE QUALITY OF READY-TO-DRINK JELLY PRODUCTS FROM FRUIT AND GINGER

เบญจางค์ อัศจรรย์โพธา* จันทกานต์ งามสวย สุธีธิดา เกสร และ นภัทสร ไวยสุรา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180

Benjang Aschariyaphotha*, Jantakarn Ngamsuay, Suteethida Kesorn and Napatsorn Waisura
Faculty Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage,
Pathum Thani 13180

*E-mail: Benjang@vru.ac.th

Received: 20-06-2023

Revised: 31-10-2023

Accepted: 09-11-2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ซูคราโลสและคาราจีแนนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และขิง ผลการวิจัยพบว่าเยลลี่สูตร A มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสสูงสุดในทุก ๆ ด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม การศึกษาปริมาณซูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครส 4 ระดับ พบว่าเยลลี่ สูตรร้อยละ 40 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนน ความชอบสูงสุดในทุกด้าน ส่วนการใช้คาราจีแนน 4 ระดับในสูตร พบว่า การแทนที่น้ำตาลด้วยซูคราโลสและการลดปริมาณคาราจีแนน ค่าสีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าการแยกตัวของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็ง (Hardness) มีแนวโน้มลดลง เยลลี่ที่ใช้คาราจีแนน 1.25 กรัม มีคะแนนความชอบสูงเกือบทุกด้าน ยกเว้นด้านกลิ่น จึงนำผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และขิงวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ในปริมาณ 100 กรัม มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และเส้นใย คือ เท่ากับ 31.83 ± 1.64 , 0.02 ± 0.01 , 24.87 ± 0.07 , 2.62 ± 0.19 กรัม ตามลำดับ และพลังงาน 226.98 ± 2.3 กิโลแคลอรี เมื่อนำผลิตภัณฑ์ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคมีความชอบผลิตภัณฑ์ในระดับปานกลาง โดยมีร้อยละความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์หากมีการวางจำหน่าย ความพึงพอใจต่อรสชาติอร่อย ความน่ารับประทาน และผลิตภัณฑ์ดีต่อสุขภาพ ร้อยละ 77 39 37 และ 34 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เยลลี่พร้อมดื่ม ผลไม้ ขิง ซูคราโลส คาราจีแนน

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the impact of sucralose and carrageenan application on the quality of ready-to-drink jelly prepared from fruit and ginger. The results of the experiment found that the jelly formula 'A' presents the highest sensory liking scores across all evaluated attributes, including appearance, color, aroma, flavor, texture, and overall preference. Replacing 40% of the sucrose with sucralose in the jelly formulas resulted in the highest liking scores from the testers in all aspects. A study of the 4 levels of carrageenan found that sucralose replaced sucrose and the reduction of carrageenan did not affect color values. The water dissociation value tends to increase and the hardness tends to decrease. The formulation containing 1.25 g of carrageenan was observed to have the highest acceptance score except aroma value by the testers. Therefore, ready-to-drink jelly products made from fruits and ginger were analyzed for chemical composition and found that based on 100 g, carbohydrates, fat, protein, and fiber were 31.83 ± 1.64 , 0.02 ± 0.01 , 24.87 ± 0.07 and 2.62 ± 0.19 g, respectively, and 226.98 ± 2.3 kcal for energy. Consumer acceptance testing found that people preferred the moderate level. The result in terms of consumers interested in purchasing the product if it is available in the market has a good taste, appealing appearance, and is considered healthy were 77, 39, 37 and 34%, respectively.

Keywords: Ready-to-Drink Jelly, Fruit, Ginger, Sucralose, Carrageenan

บทนำ

ขนมหวานเป็นอาหารประเภทหนึ่งที่คนไทยนิยมบริโภคกันทุกเพศทุกวัยอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นขนมเบเกอรี่ ขนมขบเคี้ยว ขนมไทย เป็นต้น ขนมหวานส่วนใหญ่มีรสหวาน ให้พลังงาน สารอาหารคาร์โบไฮเดรต ไขมันสูง เนื่องจากว่าส่วนประกอบส่วนใหญ่คือ แป้ง น้ำตาล เนย กะทิ เป็นต้น หากกินในปริมาณมากเกินไป จะทำให้เกิดโทษแก่ร่างกายได้ สอดคล้องกับสถานการณ์ในปี พ.ศ. 2561 คนไทยมีผู้เสียชีวิตจาก 4 โรคหลักในกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ได้แก่ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคหัวใจขาดเลือด และโรคหลอดเลือดสมอง จำนวน 74,518 คน และมีอัตราการเกิดโรคและการเสียชีวิตจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรังมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในปี พ.ศ.2557 คนไทยมีภาวะความดันโลหิตสูงร้อยละ 24.7 ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2552 หรือคิดเป็นจำนวนกว่า 1.8 ล้านคน (Department of Disease Control, Ministry of Public Health, 2020) และองค์การอนามัยโลกคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2568 จะมีประชากรโลกเป็นความดันโลหิตสูงเพิ่มขึ้น 1.56 พันล้านคน (The ministry of public health, 2016a) ทำให้ปัจจุบันผู้บริโภคห่วงใยสุขภาพ สนใจการรับประทานขนมสุขภาพมากขึ้น มีกลุ่มผู้บริโภคที่นิยมรับประทานอาหารสุขภาพที่มีความหวาน ไขมัน พลังงานต่ำ แนวทางการบริโภคอาหาร ที่องค์การอนามัยโลกและสำนักโรคไม่ติดต่อกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขแนะนำเพื่อป้องกันหรือควบคุมโรค ไม่ติดต่อเรื้อรัง ได้แก่ การควบคุมปริมาณอาหารที่มีโคเลสเตอรอลสูง หลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันทรานส์ ไขมันอิ่มตัว และอาหารที่มีส่วนประกอบของไขมันสูงควบคุมปริมาณการบริโภคอาหารที่มีโซเดียมสูง ควบคุมการบริโภคน้ำตาล และอาหารกลุ่มข้าว-แป้ง และเพิ่มการบริโภคอาหารที่ให้ใยอาหาร (Samaisong, 2020; The ministry of public health, 2016a) ปัจจุบันการใช้

สารให้ความหวานทดแทนการใส่น้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารกำลังเป็นที่นิยมและมีแนวโน้มจำหน่ายตามท้องตลาดมากขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความหวานโดยลดพลังงาน

ผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มหรือเยลลี่เหลว เป็นประเภทขนมหวานที่ได้รับความนิยม โดยเฉพาะกลุ่มเด็กจนถึงกลุ่มวัยรุ่น จากงานวิจัยเรื่องพฤติกรรม ทักษะคิด ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อ และความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่ (Janthasingha et al., 2015) พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบรับประทานเยลลี่เหลวเป็นอันดับ 2 (ร้อยละ 39.5) สนใจในผลิตภัณฑ์เยลลี่เพื่อสุขภาพ และต้องการสีของผลิตภัณฑ์ตามธรรมชาติของผลไม้ โดยหากมีผลิตภัณฑ์เยลลี่เพื่อสุขภาพวางขายในท้องตลาดผู้บริโภคตัดสินใจซื้อร้อยละ 96.8 เยลลี่เหลวมีลักษณะเป็นเยลลี่ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มมีน้ำมาก ใช้ช้อนตักรับประทานหรือใช้หลอดดูด รับประทานสะดวก สามารถรับประทานได้ทุกเพศทุกวัย รวมถึงผู้ที่มีปัญหาด้านสุขภาพฟันด้วย ปัจจุบันเยลลี่เหลวที่จำหน่ายทั่วไปมีส่วนผสมของน้ำตาลไม่เข้มข้นบางส่วน น้ำตาลสีและกลิ่นสังเคราะห์ และสารที่ทำให้เกิดเจล ได้แก่ คาราจีแนน ผงบุก มีการเติมน้ำตาล กรดซิตริก สีส้มอาหาร และสารปรุงแต่งกลิ่นรส (Thai community product standards, 2004) มีสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและพลังงานเป็นหลัก มีเส้นใยอาหารน้อย ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้ ได้แก่ สับปะรด ส้ม แก้วมังกร และชิงชงไทย ซึ่งมีปัญหาการรับซื้อที่ไม่แน่นอน ราคาตกต่ำในช่วงผลผลิตมาก โดยศึกษาคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีปริมาณผลไม้และชิงชงแตกต่างกัน การใช้สารซูโครโลสทดแทนน้ำตาลซูโครส และการใช้สารคาราจีแนนในผลิตภัณฑ์ มีส่วนผสมได้แก่ สับปะรด ส้ม แก้วมังกร ชิง น้ำตาลทราย สารซูโครโลส และคาราจีแนน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีพลังงาน ไขมัน น้ำตาลน้อย มีวิตามิน แร่ธาตุ เส้นใยจากผลไม้ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบ 5 อันดับแรกในตำรับยาพระคัมภีร์ธาตุวิงค์ ซึ่งเป็นหนึ่งในคัมภีร์แพทย์แผนไทยที่มีจำนวนตำรับยาและพืชสมุนไพรอยู่ค่อนข้างสูง (Yuyen, 2017) มีสรรพคุณช่วยขับลม แก้อักเสบ แหน่นท้อง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์การเกษตรของไทย โดยการเพิ่มความหลากหลายในการใช้ประโยชน์จากสับปะรด ส้ม แก้วมังกร และชิงชงในผลิตภัณฑ์อาหาร

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 น้ำสับปะรด ตัดแปลงมาจาก Wirivuthikorn (2022) นำสับปะรดศรีราชาที่ปอกเปลือกและแกะตาสับปะรดแล้วมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก จากนั้นนำมาปั่นด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 2 นาที (ยี่ห้อ Philips รุ่น hr2225/00) นำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้กากสับปะรด และน้ำสับปะรด โดยน้ำสับปะรด มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 4.1 ± 0.2 ค่าของแข็งที่ละลายได้ เฉลี่ยเท่ากับ 11.66 ± 0.57 °Brix

1.2 น้ำส้ม ตัดแปลงมาจาก Hansapan (2006) นำส้มเขียวหวานที่ปอกเปลือกแล้วมาปั่นในโถปั่น จากนั้นนำมาปั่นด้วยความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาที (ยี่ห้อ Philips รุ่น hr2225/00) นำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง โดยน้ำส้มมีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 4.13 ± 0.15 ค่าของแข็งที่ละลายได้ เฉลี่ยเท่ากับ 12.66 ± 0.57 °Brix

1.3 น้ำแก้วมังกร ตัดแปลงมาจาก Butsuwan (2006) นำแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีขาวที่ปอกเปลือกแล้วมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก จากนั้นนำมาปั่นด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 1 นาที (ยี่ห้อ Philips รุ่น hr2225/00) โดยน้ำแก้วมังกรมีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 4.16 ± 0.11 ค่าของแข็งที่ละลายได้ เฉลี่ยเท่ากับ 12.33 ± 0.57 °Brix

1.4 น้ำชิง ตัดแปลงมาจาก Srisuwaphan (2012) นำชิงหยวกแก่ที่ปอกเปลือกแล้วมาทุบให้พอแตก จากนั้นนำชิงแก่หั่นบางขนาดความหนา 3 ± 1 มิลลิเมตรในปริมาณ 150 กรัม ต้มกับน้ำเปล่า 1,250 กรัม ที่อุณหภูมิ

95 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง โดยน้ำขิงมีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.33 ± 0.05 ค่าของแข็งที่ละลายได้ เฉลี่ยเท่ากับ 0 ± 0.00 °Brix

2. การศึกษาคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีผลไม้และขิงแตกต่างกัน

จากการทดลองเบื้องต้น (Pre-Lab) โดยดัดแปลงสูตรและกรรมวิธีการผลิตจาก Konsue & Cheumchaitrukul (2004) จากนั้นคัดเลือกสูตรจำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตร A สูตร B และสูตร C โดยส่วนผสมมีน้ำสับปะรด น้ำส้มคั้น เนื้อแก้วมังกร และขิงมีปริมาณแตกต่างกัน และกากสับปะรด น้ำตาลซูโครส และคาราจีแนน มีปริมาณเท่ากันมาทำการวิจัยในครั้งนี้ โดยนำคาราจีแนนและน้ำตาลมาผสมให้เข้ากันพักไว้ จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดคนให้เข้ากันและพักไว้นาน 5 นาที นำส่วนผสมไปต้มที่อุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ปิดไฟและพักให้เยลลี่มีอุณหภูมิลดลงเหลือ 45 องศาเซลเซียสจึงนำไปบรรจุลงกล่องพลาสติกใส แบบฝาล็อก หรือพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ขนาด 1 ออนซ์ ในปริมาณ 25 กรัม นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 สูตรของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีผลไม้และขิงแตกต่างกัน

ส่วนผสม (กรัม)	สูตร A	สูตร B	สูตร C
น้ำสับปะรด	165	125	80
น้ำส้มคั้น	110	125	120
เนื้อแก้วมังกร	30	125	150
น้ำขิง	195	125	150
กากสับปะรด	20	20	20
น้ำตาลซูโครส	80	80	80
คาราจีแนน	2	2	2

จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี และทดสอบทางประสาทสัมผัสดังนี้

2.1 การศึกษาทางกายภาพและเคมี ได้แก่

2.1.1 ค่าสี (เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CR-400)

2.1.2 ค่าเนื้อสัมผัส (เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Brookfield รุ่น CT3) ได้แก่ Hardness (ความแข็งแรงของเจล) ใช้หัววัด TA5 Cylinder ขนาด 12.7 mmD, 35 mmL ความเร็ว 1 มิลลิเมตร/วินาที ใช้ตัวอย่างที่บรรจุในถ้วยพลาสติก PET ขนาด 6 ออนซ์ ปริมาณ 145 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส

2.1.3 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (เครื่องรีแฟรक्टอมิเตอร์ ATAGO รุ่น N-1E)

2.1.4 ค่า pH (เครื่องวัด pH ยี่ห้อ Si Analytics รุ่น lab 855)

2.1.5 ค่าการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) โดยชั่งตัวอย่างเยลลี่เหลว 50 กรัม แล้วกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่วางบนตะแกรง ที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ตามอุณหภูมิที่เก็บรักษา

เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือออกมาจากการทดสอบ (Tinakorn Na Ayutthaya & Putduang, 2016) จากนั้นทำการคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{ค่าการแยกตัวของน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังแยกตัวของน้ำ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

2.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยใช้วิธี 9 - Point hedonic scale (1 =ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 =ชอบมากที่สุด) โดยให้คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความนุ่มของเจล) ความชอบโดยรวม

3. การศึกษาคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารซูคราโลสทดแทนน้ำตาลชูโครสแตกต่างกัน

ทำการศึกษาปริมาณสารซูคราโลสทดแทนน้ำตาลชูโครส 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) 40 70 และ 100 โดยเทียบเป็นความหวานสัมพัทธ์ (ซูคราโลสให้ความหวาน 600 เท่าของน้ำตาลชูโครส) (ซูคราโลส บริษัท ยูซิง จำกัด) จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี และทดสอบทางประสาทสัมผัสตามข้อ 2.1 และ 2.2

4. การศึกษาคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารคาราจีแนนแตกต่างกัน

ทำการศึกษาปริมาณสารคาราจีแนน 4 ระดับ ได้แก่ 1.75 1.5 1.25 และ 1 กรัม (คาราจีแนน บริษัทกรุงเทพเคมี) และเปรียบเทียบกับสูตรเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารซูคราโลสทดแทนน้ำตาลชูโครสที่ได้รับคัดเลือก จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี และทดสอบทางประสาทสัมผัสตามข้อ 2.1 และ 2.2

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยลลี่พร้อมดื่ม

โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เส้นใย และพลังงาน ตามวิธี AOAC (2000)

6. ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคทั่วไป

ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และซิง โดยใช้แบบสอบถามกับผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน โดยทดสอบแบบ Central location test (CLT) สถานที่ทดสอบคือ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ใช้เครื่องมือแบบสอบถามเกี่ยวกับการยอมรับผลิตภัณฑ์และทัศนคติที่มีต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยแบบทดสอบการยอมรับใช้วิธี 9 Point hedonic scale โดยให้คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสหวาน และความชอบโดยรวม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและทางเคมี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design (RCBD) นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมาเปรียบเทียบความแตกต่าง ด้วย Duncan's new multiple rang test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีผลไม้และซิงแตกต่างกัน

ผลของการศึกษาปริมาณน้ำสับปะรด น้ำส้มคั้น เนื้อแก้วมังกร และซิง ได้แก่ สูตร A สูตร B และสูตร C จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (ตารางที่ 2) พบว่า ทั้ง 3 สูตรมีค่า a^* และ b^* เป็นบวก แสดงถึงมีสีออกทางแดงและเหลือง เมื่อมองด้วยตาเปล่ามีสีออกส้มเหลือง จากการมีสัดส่วนของผลไม้และซิงแตกต่างกัน ทำให้มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 29.00-32.55 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 1.00-1.70 และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 6.65-7.49 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ อยู่ในช่วง 21.00-22.80 °Brix ค่า pH อยู่ในช่วง 3.99-4.24 เยลลี่ทั่วไปควรมีค่า pH ในช่วง 2.8-3.5 ส่วน pH ที่เหมาะสมที่สุดในการปรับค่า pH ของเยลลี่ คือ 3.2 โดยค่า pH ที่เหมาะสมช่วยให้เจลอยู่ตัวมากขึ้น หากมีกรดมากเกินไปจะทำให้ลายความอยู่ตัวของเจลได้ และน้ำตาลที่ใช้ไม่ควรมากกว่า 70 °Brix (Peeraphatchara et al., 2011) ส่วนสารแคปปา-คาร์ราจีแนน (Kappa-carageenan) ที่ใช้ทดลองสามารถละลายได้ดีในน้ำร้อน และละลายได้ในน้ำเชื่อมที่ร้อน (ความเข้มข้นของน้ำตาลต่ำกว่าร้อยละ 50) ซึ่งเกิดเจลได้กับน้ำผลไม้ และคงตัวต่อกรดที่ค่า pH มากกว่า 3.8 โดยใช้ในขนมหวานเยลลี่ประมาณร้อยละ 0.5-1.0 (Pornchaloempong & Rattanapanone, n.d.) ส่วนค่า Hardness อยู่ในช่วง 82.00-115.20 g. และค่าการแยกตัวของน้ำ อยู่ในช่วงร้อยละ 11.86-12.42 ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดผลไม้และซิง ส่งผลให้ค่า pH และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของแต่ละสูตรแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีผลไม้และซิงแตกต่างกัน

ปัจจัยคุณภาพ	เยลลี่พร้อมดื่มที่มีผลไม้และซิงแตกต่างกัน		
	สูตร A	สูตร B	สูตร C
สี			
L^*	32.55 ± 0.1^{2a}	29.00 ± 0.19^c	30.00 ± 0.19^b
a^*	1.70 ± 0.12^a	1.26 ± 0.11^b	1.00 ± 0.12^c
b^*	7.49 ± 0.28^a	6.65 ± 0.25^b	6.67 ± 0.26^b
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°Brix)	21.00 ± 0.00^b	22.60 ± 0.55^a	22.80 ± 0.45^a
pH	3.99 ± 0.01^c	4.14 ± 0.01^b	4.24 ± 0.10^a
Hardness (g)	115.20 ± 1.48^b	133.60 ± 2.79^a	82.00 ± 1.58^c
การแยกตัวของน้ำ (ร้อยละ) ^{ns}	11.86 ± 2.38	12.26 ± 3.06	12.42 ± 2.97

หมายเหตุ : L^* หมายถึง ความสว่าง (ค่า = 0, ขาว = 100)

a^* หมายถึง สีแดงหรือสีเขียว (+ = สีแดง, - = สีเขียว)

b^* หมายถึง สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ = สีเหลือง, - = สีน้ำเงิน)

a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สำหรับผลการวิเคราะห์ทางการยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3) พบว่า สูตร A มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดในด้านทุกด้าน ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยสูตร A มีส่วนผสมของน้ำขิง และสับปะรดมีกลิ่นหอมเฉพาะตัวชัดเจนมากกว่าสูตรอื่น อีกทั้งมีปริมาณน้ำส้มค่อนข้างมากส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีส้มเหลืองนํารับประทาน จึงคัดเลือกสูตร A เป็นสูตรควบคุมเพื่อศึกษา ในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 3 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเฉลี่ยพร้อมดื่มน้ำผลไม้และขิงแตกต่างกัน

ปัจจัยคุณภาพ	เฉลี่ยพร้อมดื่มน้ำผลไม้และขิงแตกต่างกัน		
	สูตร A	สูตร B	สูตร C
ลักษณะปรากฏ	7.88 ± 0.87a	6.85 ± 1.07b	6.85 ± 1.13b
สี	8.05 ± 0.93a	6.58 ± 1.03b	6.51 ± 1.16b
กลิ่น	7.16 ± 1.18a	6.35 ± 1.27b	6.16 ± 6.56b
รสชาติ	7.15 ± 1.23	6.82 ± 1.17	6.88 ± 1.30
เนื้อสัมผัส(ความนุ่มของเจล) ^{ns}	7.36 ± 0.90	7.03 ± 1.12	6.93 ± 1.60
ความชอบโดยรวม	7.57 ± 0.83a	6.92 ± 1.08b	6.90 ± 1.12b

หมายเหตุ : a - b หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



สูตร A

สูตร B

สูตร C

ภาพที่ 1 เฉลี่ยพร้อมดื่มน้ำผลไม้และขิงแตกต่างกัน

2. การศึกษาคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารชูคราโลสทดแทนน้ำตาลชูโครสแตกต่างกัน

ผลของการศึกษาปริมาณสารชูคราโลสทดแทนน้ำตาลชูโครส 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) 40 70 และ 100 จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (ตารางที่ 4) พบว่า การใช้สารชูคราโลสทดแทนน้ำตาลชูโครสแตกต่างกันไม่ส่งผลทำให้ค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากน้ำตาลทรายในส่วนผสมมีปริมาณไม่มาก รวมทั้งใช้ความร้อนและเวลาในการต้มค่อนข้างน้อย จึงทำให้มีปฏิกิริยาการเกิดคาราเมลของน้ำตาล (Caramelization) เกิดขึ้นน้อย ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาล โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้น้ำตาลสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส ค่า pH ระหว่าง 3-9 (Tantapanichkull, 2007; Coca et al., 2004) อีกทั้งชูคราโลสมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อยมาก (Srisangwan, 2012) จึงทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงสีต่ำ การใช้สารชูคราโลสทดแทนน้ำตาลชูโครสมากขึ้นมีผลทำให้ค่า pH มีแนวโน้มค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่า Hardness มีแนวโน้มลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับค่าการแยกตัวของน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการสังเกตปริมาณการใช้สารชูคราโลสทดแทนชูโครสเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้เยลลี่เหลวมีลักษณะการเซตตัวลดลง อัตราการแยกตัวของน้ำมากขึ้นนั่นเอง สอดคล้องกับการศึกษาการใช้สารชูคราโลส และมัลติทอลทดแทนน้ำตาลในเยลลี่ชา พบว่า การเพิ่มปริมาณชูคราโลสและมัลติทอลส่งผลให้ค่า Hardness มีแนวโน้มลดลง (Supaphon & Chuengsungnoen, 2022)

สำหรับการวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5) พบว่า ปริมาณสารชูคราโลสร้อยละ 40 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับมากที่สุดในทุกด้าน ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม จึงคัดเลือกสูตรร้อยละ 40 เป็นสูตรควบคุมเพื่อศึกษาในขั้นตอนถัดไป สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงเพื่อสุขภาพจากกล้วยหอมทองตากเกรด พบว่า เครื่องดื่มแบบผงสูตร C1-50 (ชูคราโลสทดแทนน้ำตาลร้อยละ 50) ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รส ความข้นหนืด ความรู้สึกลึกกลืน และความชอบโดยรวมสูงที่สุด (Ascharyaphotha et al., 2021) จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 381) พ.ศ. 2559 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร (ฉบับที่ 4) (The ministry of public health, 2016b) มีการกำหนดปริมาณชูคราโลสสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ในขนมหวานที่มีผลไม้เป็นส่วนประกอบหลักเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูตรร้อยละ 40 ใช้ปริมาณชูคราโลส 0.093 กรัมต่อกิโลกรัมเป็นไปตามประกาศกำหนด (รหัสของหมวดอาหาร 04.1.2.9) แต่เนื่องจากสูตรร้อยละ 40 มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเจลเซตตัวมากเกินไป จึงทำการศึกษาปริมาณสารคาราจีแนนในผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนถัดไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะเหลวขึ้น สามารถดูดได้ง่ายขึ้นและเป็นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่เหลว (มผช.518/2547) กำหนด (The ministry of industry, 2004)

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเยลลี่พร้อมดื่มที่ใช้สารชูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครสแตกต่างกัน

ปัจจัยคุณภาพ	การใช้สารชูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)			
	0	40	70	100
สี				
L* ^{ns}	32.54 ± 0.13	32.98 ± 0.83	33.13 ± 0.25	33.26 ± 0.72
a* ^{ns}	1.71 ± 0.12	1.695 ± 0.10	1.64 ± 0.15	1.76 ± 0.19
b* ^{ns}	7.52 ± 0.24	7.90 ± 3.78	7.87 ± 0.57	7.86 ± 0.53
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (°Brix)	20.40 ± 0.55 ^a	14.20 ± 0.45 ^b	12.20 ± 0.45 ^c	9.20 ± 0.45 ^d
pH	3.99 ± 0.00 ^c	3.99 ± 0.00 ^c	4.15 ± 0.01 ^b	4.16 ± 0.00 ^a
Hardness (g)	119.00 ± 9.06 ^a	107.80 ± 6.30 ^b	104.80 ± 3.35 ^b	99.60 ± 3.13 ^b
การแยกตัวของน้ำ (ร้อยละ)	10.90 ± 1.69 ^c	18.15 ± 2.75 ^b	26.11 ± 2.90 ^a	27.72 ± 2.59 ^a

หมายเหตุ : L* หมายถึง ความสว่าง (ดำ = 0, ขาว = 100)

a* หมายถึง สีแดงหรือสีเขียว (+ = สีแดง, - = สีเขียว)

b* หมายถึง สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ = สีเหลือง, - = สีน้ำเงิน)

a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≤ 0.05)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p > 0.05)

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารชูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครสแตกต่างกัน

ปัจจัยคุณภาพ	การใช้สารชูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)			
	0	40	70	100
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.46 ± 0.85	7.55 ± 0.98	7.48 ± 0.95	7.50 ± 0.87
สี ^{ns}	7.43 ± 0.83	7.57 ± 0.83	7.43 ± 0.77	7.30 ± 1.01
กลิ่น	7.38 ± 0.96 ^{ab}	7.48 ± 0.94 ^a	7.23 ± 0.87 ^{ab}	7.05 ± 1.16 ^b
รสชาติ	7.43 ± 0.89 ^{ab}	7.56 ± 0.77 ^a	7.18 ± 0.99 ^{bc}	6.93 ± 1.04 ^c
เนื้อสัมผัส (ความนุ่มของเจล)	7.28 ± 0.88 ^{ab}	7.50 ± 0.88 ^a	7.40 ± 0.91 ^{ab}	7.08 ± 1.01 ^b
ความชอบโดยรวม	7.48 ± 0.92 ^{ab}	7.80 ± 0.80 ^a	7.48 ± 0.83 ^{ab}	7.20 ± 1.09 ^b

หมายเหตุ : a- c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)



ร้อยละ 0 ร้อยละ 40 ร้อยละ 70 ร้อยละ 100

ภาพที่ 2 เยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารซูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครสแตกต่างกัน

3. การศึกษาคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารคาราจีแนนแตกต่างกัน

การศึกษาคูณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารคาราจีแนนแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 2 (สูตรเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารซูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครสร้อยละ 40) 1.75 1.5 1.25 และ 1 กรัม ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (ตารางที่ 6) พบว่าการใช้สารคาราจีแนนทั้ง 4 ระดับมีผลทำให้ค่าสี ปริมาณของแข็งและค่า pH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การลดปริมาณสารคาราจีแนนมีแนวโน้มทำให้ค่า Hardness ลดลง ($p \leq 0.05$) และค่าการแยกตัวของน้ำมากขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากคาราจีแนนจัดเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เมื่ออยู่ในรูปของสารละลายในน้ำจะมีโครงสร้างแบบ Random coil เมื่อโดนความร้อนแล้วทำให้เย็นลงจะเกิดตาข่ายโครงสร้างโพลีเมอร์ 3 มิติ แต่ละสายโพลีเมอร์จะรวมตัวกันเข้ามาใกล้กันและเกิด Function point เมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะมีการเกาะตัวกันของ Function point มากขึ้น ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของเจลมีความแข็งแรงและมีความคงตัวมากขึ้น (การรวมตัวกันเป็นร่างแหให้เกิดเจลในอุณหภูมิห้อง) เจลที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถกักเก็บน้ำได้ดี จึงทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำลดน้อยลง (Rattanapanon, 2014; Tinakorn Na Ayutthaya & Putduang, 2016; Nishinari et al, 1990; Piculell, 1995) ดังนั้นเมื่อใช้สารคาราจีแนนลดลง มีผลทำให้โครงร่างตาข่ายของเจลมีความแข็งแรงและความคงตัวลดลง และความสามารถกักเก็บน้ำน้อยลง มีการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้นนั่นเอง สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องอัตราส่วนของ คาราจีแนนและน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเยลลี่ชาเขียวกลิ่นน้ำผึ้งมะนาว 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 (0.5 : 3.9) ชุดการทดลองที่ 2 (0.6 : 3.8) ชุดการทดลองที่ 3 (0.7 : 3.7) และชุดการทดลองที่ 4 (0.8 : 3.6) พบว่า ชุดทดลองที่ 4 ที่มีการใช้สารคาราจีแนนมากที่สุด มีค่าความแข็งแรงของเจลมากที่สุด โดยความแข็งแรงของเจลจะลดลงแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณคาราจีแนนที่เติมน้อยลง (Wirivutthikorn, 2021)

สำหรับผลการวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 7) พบว่า การใช้คาราจีแนนปริมาณ 1.25 กรัม ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยการใช้สารคาราจีแนนแตกต่างกันทำให้ค่าเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการสังเกตสิ่งทดลองพบว่า สูตร 1.25 กรัมมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม มีน้ำแยกตัวออกมาพอเหมาะ สามารถใช้ช้อนตักหรือใช้หลอดดูดได้ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของเยลลี่เหลว จึงคัดเลือกเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และชিং

ตารางที่ 6 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเยลลี่พร้อมดื่มที่ใช้สารคาราจีแนนแตกต่างกัน

ปัจจัยคุณภาพ	การใช้สารซูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)				
	2	1.75	1.5	1.25	1
สี					
L* ^{ns}	32.33 ± 0.22	32.41 ± 0.29	32.65 ± 0.60	32.37 ± 0.35	32.60 ± 0.87
a* ^{ns}	1.67 ± 0.10	1.80 ± 0.74	1.78 ± 0.11	1.75 ± 0.15	1.74 ± 0.17
b* ^{ns}	9.76 ± 0.40	9.08 ± 0.36	9.83 ± 1.09	9.29 ± 0.13	9.60 ± 0.45
ปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ละลายได้ (°Brix)	15.20 ± 0.45	15.60 ± 0.55	15.60 ± 0.55	15.40 ± 0.55	15.40 ± 0.55
pH	3.99 ± 0.00 ^b	4.16 ± 0.00 ^a	4.15 ± 0.00 ^a	4.15 ± 0.00 ^a	4.15 ± 0.00 ^a
Hardness (g)	102.6 ± 6.88 ^a	80.20 ± 1.79 ^b	59.20 ± 5.93 ^c	44.00 ± 1.22 ^d	31.2 ± 3.11 ^e
การแยกตัวของน้ำ (ร้อยละ)	20.83 ± 6.45 ^d	26.19 ± 2.8 ^c	27.90 ± 2.16 ^{bc}	32.94 ± 3.23 ^b	40.66 ± 4.02 ^a

หมายเหตุ : L* หมายถึง ความสว่าง (ดำ = 0, ขาว = 100)

a* หมายถึง สีแดงหรือสีเขียว (+ = สีแดง, - = สีเขียว)

b* หมายถึง สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ = สีเหลือง, - = สีน้ำเงิน),

a-e หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$),

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 7 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารคาราจีแนนแตกต่างกัน

ปัจจัยคุณภาพ	การใช้สารซูคราโลสทดแทนน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)				
	2 (ร้อยละ 40)	1.75	1.5	1.25	1
ลักษณะปรากฏ	7.41 ± 0.76 ^b	7.36 ± 0.78 ^b	7.51 ± 0.83 ^{ab}	7.73 ± 0.73 ^a	7.48 ± 0.59 ^{ab}
สี ^{ns}	7.35 ± 0.63	7.31 ± 0.65	7.40 ± 0.84	7.56 ± 0.81	7.48 ± 0.62
กลิ่น	7.25 ± 0.75 ^b	7.41 ± 0.74 ^{ab}	7.31 ± 0.87 ^b	7.31 ± 0.79 ^b	7.63 ± 0.58 ^a
รสชาติ	7.18 ± 0.77 ^b	7.45 ± 0.74 ^b	7.45 ± 0.89 ^b	7.85 ± 0.91 ^a	7.36 ± 0.82 ^b
เนื้อสัมผัส (ความนุ่มของเจล)	6.61 ± 1.07 ^c	6.83 ± 0.90 ^{bc}	6.90 ± 1.02 ^{bc}	8.05 ± 1.04 ^a	7.18 ± 0.94 ^b
ความชอบโดยรวม	6.78 ± 0.88 ^c	6.86 ± 0.76 ^c	7.06 ± 0.97 ^{bc}	8.18 ± 0.94 ^a	7.30 ± 0.84 ^b

หมายเหตุ : a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



2 กรัม 1.75 กรัม 1.5 กรัม 1.25 กรัม 1 กรัม

ภาพที่ 3 เยลลี่พร้อมดื่มที่มีสารคาราจีแนนแตกต่างกัน

4. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

เมื่อนำผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และซิง (สูตร 1.25 กรัม) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ในปริมาณ 100 กรัมมีสารอาหารคาร์โบไฮเดรต 31.83 ± 1.64 กรัม ไขมัน 0.02 ± 0.01 กรัม โปรตีน 24.87 ± 0.07 กรัม เส้นใย 2.62 ± 0.19 กรัม และพลังงาน 226.98 ± 2.30 กิโลแคลอรี เมื่อเปรียบเทียบกับเยลลี่พร้อมดื่มสูตรการค้าพบว่า สูตรการค้าปริมาณ 1 หน่วยบริโภค (140 กรัม) ส่วนใหญ่มีพลังงานและคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าสูตรที่พัฒนา โดยสูตรการค้ามีพลังงาน 20-60 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 7-13 กรัม โดยมีสัดส่วนของปริมาณน้ำผลไม้เพียงร้อยละ 8-13 มีน้ำตาลทั้งหมด 10-14 กรัม (Editorial team, 2022) เนื่องจากสูตรการค้ามีส่วนผสมที่ให้พลังงาน ได้แก่ น้ำผลไม้ น้ำตาล ในปริมาณน้อยกว่าสูตรที่พัฒนา ส่วนสูตรที่พัฒนามีส่วนผสมรวมของน้ำสับประรด น้ำส้มคั้น และแก้วมังกร ร้อยละ 53.50 น้ำตาลซูโครส 11.79 กรัม และมีเส้นใยมากกว่าคือ 3.93 กรัม ในขณะที่สูตรการค้ามีเส้นใยประมาณ 0 ถึงน้อยกว่า 1 กรัม

5. ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคทั่วไป

จากการนำผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และซิง (สูตร 1.25 กรัม) มาทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ภาพรวมในระดับปานกลาง มีคะแนนเท่ากับ 7.76 โดยผู้บริโภคชอบระดับมากคือ ด้านรสชาติ และเนื้อสัมผัส มีคะแนนเท่ากับ 8.10 และ 8.01 ตามลำดับ ผู้บริโภคชอบระดับปานกลาง คือ ความชอบโดยรวม กลิ่น สี และลักษณะปรากฏ มีคะแนนเท่ากับ 7.83 7.70 7.73 และ 7.20 ตามลำดับ โดยผู้บริโภคคิดว่าผลิตภัณฑ์มีประโยชน์สูง (ร้อยละ 45.00) ให้ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์หากมีการวางจำหน่ายในท้องตลาด (ร้อยละ 77) ส่วนใหญ่ให้เหตุผลที่สนใจซื้อ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) เนื่องจากรสชาติอร่อย (ร้อยละ 39) นำรับประทาน (ร้อยละ 37) และผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ (ร้อยละ 34) สาเหตุที่สนใจซื้อผลิตภัณฑ์ 3 อันดับแรก (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) ได้แก่ ซื้อมาเพื่อรับประทานเอง (ร้อยละ 71) รับประทานร่วมกับคนในครอบครัว หรือเพื่อนฝูง ฯลฯ (ร้อยละ 47) และเป็นของฝากให้ผู้อื่นตามโอกาสต่างๆ (ร้อยละ 28) ส่วนผู้บริโภคที่ไม่สนใจซื้อผลิตภัณฑ์ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) มีสาเหตุจากรสชาติไม่ถูกปาก (ร้อยละ 19) ไม่นำรับประทาน (ร้อยละ 16) และชอบขนมหวานในรูปแบบอื่นมากกว่า (ร้อยละ 12)

ตารางที่ 8 คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์	คะแนนความชอบเฉลี่ย
ลักษณะปรากฏ	7.20 ± 0.91
สี	7.73 ± 0.98
กลิ่น	7.70 ± 1.00
รสชาติ	8.10 ± 0.88
เนื้อสัมผัส	8.01 ± 1.17
ความชอบโดยรวม	7.83 ± 0.95

ตารางที่ 9 คะแนนทัศนคติที่มีต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

ผลิตภัณฑ์เฉลี่ยพร้อมดื่มจากผลไม้และขิง	ร้อยละ
ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์เฉลี่ยพร้อมดื่มมีประโยชน์ระดับใด	
สูงมาก	13.00
สูง	45.00
ปานกลาง	30.00
ต่ำ	7.00
ต่ำมาก	2.00
ไม่ทราบ	3.00
ท่านสนใจซื้อผลิตภัณฑ์หากมีการวางจำหน่ายในท้องตลาด	
สนใจซื้อ	77.00
ไม่สนใจซื้อ	23.00
กรณีสนใจซื้อ เหตุผลที่สนใจซื้อผลิตภัณฑ์ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	
น่ารับประทาน	37.00
รสชาติอร่อย	39.00
สะดวกต่อการรับประทาน	20.00
เป็นผลิตภัณฑ์แปลกใหม่	19.00
ผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ	34.00
อื่น ๆ	0.00

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และขิง	ร้อยละ
กรณีสนใจซื้อ สาเหตุที่สนใจซื้อผลิตภัณฑ์ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	
นำมารับประทานเอง	71.00
นำมารับประทานร่วมกับคนในครอบครัว หรือเพื่อนฝูง ฯลฯ	47.00
เป็นของฝากให้ผู้อื่นตามโอกาสต่าง ๆ	28.00
นำมาจัดเลี้ยงในงานประชุม สัมมนา	2.00
กรณีไม่สนใจซื้อ สาเหตุที่ไม่สนใจซื้อผลิตภัณฑ์ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	
ไม่นำมารับประทาน	16.00
รสชาติไม่ถูกปาก	19.00
ไม่เห็นคุณค่าทางอาหารในผลิตภัณฑ์	5.00
ชอบขนมหวานในรูปแบบอื่นมากกว่า	12.00

สรุป

จากการศึกษาคุณภาพของเยลลี่พร้อมดื่มที่มีผลไม้และขิงแตกต่างกัน พบว่าเยลลี่พร้อมดื่มทั้ง 4 สูตร มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกันตามปริมาณชนิดผลไม้และขิงของแต่ละสูตร โดยสูตร A มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดในด้านทุกด้าน ทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เมื่อนำมาศึกษาปริมาณสารซูโครสทดแทนน้ำตาลซูโครสแตกต่างกัน 4 ระดับ พบว่าการใช้สารซูโครสทดแทนมากขึ้นทำให้ค่าสีไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ค่า pH มีแนวโน้มค่าสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) และค่าการแยกตัวของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ลดลง ($p \leq 0.05$) และค่า Hardness มีแนวโน้มลดลง ($p > 0.05$) ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับการใช้สารซูโครสร้อยละ 40 มากที่สุดในทุกด้าน โดยปริมาณสารซูโครสมีผลต่อคะแนนด้านรสชาติแตกต่างกันอย่างชัดเจน ($p \leq 0.05$) เมื่อศึกษาการใช้สารคาราจีแนนแตกต่างกัน 4 ระดับ พบว่าการลดปริมาณสารคาราจีแนนมีผลทำให้มีค่าสี, ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และค่า pH ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มทำให้ค่า Hardness ลดลง ($p \leq 0.05$) และค่าการแยกตัวของน้ำมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับการใช้คาราจีแนน 1.25 กรัมสูงที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยปริมาณคาราจีแนน 1.25 กรัมมีผลต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัส (ความนุ่มของเจล) และความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบชิมอย่างชัดเจน ($p \leq 0.05$) จึงคัดเลือกเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่มจากผลไม้และขิงเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ พบว่าในปริมาณ 100 กรัม มีสารอาหารคาร์โบไฮเดรต 31.83 ± 1.64 กรัม ไขมัน 0.02 ± 0.01 กรัม โปรตีน 24.87 ± 0.07 กรัม เส้นใย 2.62 ± 0.19 กรัม และพลังงาน 198.56 ± 2.3 กิโลแคลอรี เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบระดับปานกลาง โดยให้ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์หากมีการวางจำหน่ายในท้องตลาด (ร้อยละ 77.00) เหตุผลเพราะรสชาติอร่อย นำมารับประทาน และผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ (ร้อยละ 39 37 และ 34 ตามลำดับ)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (2000). **Official methods of analysis**. 17th ed. USA: The Association of Official Analytical Chemists (AOAC).
- Ascharyaphotha, B., Wankaew, C., Saetae, R., & Sangthum, P. (2021). **Development of healthy powdered instant beverage from out-of-grade Hom-Thong Banana (*Musa Acuminata* ‘Gros Michel’)**. In Pangsri, P., (Ed.), The 8th Academic Science and Technology Conference 2021 (383-391). Pathum Thani: Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage. (In Thai)
- Butsuwan, P. (2006). **The reduction of undesirable odor in canned pitaya (*Hylocereus Undatus* (Haworth Britton & Rose))**. (Master of Science). Silpakorn University, Nakhon Pathom. (In Thai)
- Department of Disease Control, Ministry of Public Health. (2020). **Report on the situation of NCDs, diabetes, high blood pressure, and related risk factors 2019**. Bangkok: aksorn graphic and design. (in Thai)
- Coca, M., Garcia, M. T., Gonzalez, G., Pena, M., & Garcia, J. A. (2004). Study of coloured components formed in sugar beet processing. **Food Chemistry**, 86(3), 421-433.
- Editorial team. (2022). **Survey results of ready-to-drink jelly labels**. Retrieved from <https://www.chaladsue.com/article/4165> [2023, 19 Aug.] (in Thai)
- Hansapan, N. (2006). **Development of Calamondin powder by spray drying technique**. Master of Science). Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi. (in Thai)
- Janthasingha, L., Rimkeeree, H., & Dhamvithee, P. (2015). **Study of behaviors, attitudes, factors affecting purchase, and demands from consumers for jelly products using questionnaires**. Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Science, Genetic Engineering, Architecture and Engineering, Agro-Industry, Natural Resources and Environment (971-977). Bangkok: The Thailand Research Fund. (In Thai)
- Konsue, N., & Cheumchaitrakul, P. (2004). **Development of ginger drinking jelly** (Research report). Chiang Rai, Mae Fah Luang University. (In Thai)
- Nishinari, K., Watase, M., P. A., & Philips, G.O. (1990). K-carrageenan gels: effect of sucrose, glucose, urea, and guanidine hydrochloride on the rheological and thermal properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 38, 1188-1193.

- Peeraphatchara, C., Prajugit, C., Suchachareansuk S., & Suchachareansuk, P. (2011). **Knowledge of jelly**. TechnoMart InnoMart . Retrieved from <http://www.clinictech.most.go.th/online.techlist.attachFile/20122141354261.pdf>. [2021, 17 Aug.] (in Thai)
- Piculell, L. (1995). **Gelling carrageenans**. In A.M., Stephens (ed.) Food Polysaccharides and their Applications; Marcel Dekker (205-244). New York: Marcel Dekker.
- Pornchaloempong, P., & Rattanapanone N., (n.d). **Carrageenan**. Retrieved from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1274/carrageenan-carrageenan>. [2023, 27 Sep.] (in Thai)
- Rattanapanon, N. (2014). **Food chemistry**. Bangkok: Odian Store. (in Thai)
- Samaisong, N. (2020). Dietary management for prevention and reduction risk of non-communicable diseases. **Songklanagarind Journal of Nursing**, 40(4), 122-130. (in Thai)
- Srisangwan, N. (2012). **Nutritional improvement of A-lua and Foi-thong desserts by using nonsugar sweeteners**. (Master of Science). Silpakorn University, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Srisuwaphan, A. (2012). Effect of ginger drink on the starting of lactation period in postpartum women, **Medical Journal of Srisaket Surin Burirum Hospitals**, 27(3), 243-250. (In Thai)
- Supaphon, P., & Chuengsunnoen, P. (2022). Physicochemical properties and nutritional values of reduced-sugar galanga jelly from Galanga Root extract. **Life Sciences and Environment Journal**, 23(1), 143-156. (in Thai)
- Tantapanichkull, R. (2007). **Food chemistry**. Bangkok, Ramkhamhaeng University. (in Thai)
- Tinakorn Na Ayutthaya, K., & Putduang, N. (2016). The product development of healthy cereal jelly. **Journal of Food Technology, Siam University**, 11(1), 13-20. (in Thai)
- The Ministry of Industry. (2004). **Thai community product standards: Ready-to-drink jelly (No. 518/ 2547)**. Retrieved from https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps518_47.pdf [2022, 10 Sep.] (in Thai)
- The Ministry of Public Health. (2016a). **Criteria for healthy alternative food standards for risk groups patients with diabetes and high blood pressure**. Samutsakorn: Born To Be Publishing. (in Thai)
- The Ministry of Public Health. (2016b). **Notification of the ministry of public health (No. 381) B.E. 2559 re: food additives**. Nonthaburi: The Ministry of Public Health. (In Thai)
- Wirivutthikorn, W. (2021). Appropriate carrageenan and sucrose ratios on quality of green tea and jelly with honey lemon flavor. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 39(2), 148-155. (in Thai)
- Wirivuthikorn, W. (2022). **Product development of beetroot juice mixed with carrot juice and pineapple juice supplemented with collagen**, In Research and Innovation

for SDGs in the Next Normal, Poster Presentation (75-84) (Online): Ubon Ratchathani University. Retrieved from https://www.ubu.ac.th/web/files_up/00008f2022090117165333.pdf [2023, 12 Oct.] (In Thai)

Yuyen, Y. (2017). Medicinal plants in that wipagcs textbook. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**, 12(2), 109-134. (In Thai)

=====

เปรียบเทียบผลการเบียนของแตนเบียน *ANISOPTEROMALUS CALANDRAE* (HOWARD)
และ *THEOCOLEX ELEGANS* (WESTWOOD) ต่อด้วงงวงข้าวโพด
COMPARISON OF EFFECT OF PARASITISM OF *ANISOPTEROMALUS CALANDRAE*
(HOWARD) AND *THEOCOLEX ELEGANS* (WESTWOOD) TO MAIZE WEEVIL
(*SITOPHILUS ZAEMAI* MOTSCHULSKY)

ณัฐพงศ์ เมธินธรังสรรค์*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180

Nathapong Matintarangson*

Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage
Pathum Thani 13180

*E-mail: Nathapong@vru.ac.th

Received: 12-08-2023

Revised: 10-11-2023

Accepted: 16-11-2023

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเบียน จำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมา และอัตราส่วนเพศ ของแตนเบียน *Anisopteromalus calandrae* (Howard), *Theocolax elegans* (Westwood) และแตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* ต่อด้วงงวงข้าวโพดวัย 4 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) นำแตนเบียน *A. calandrae*, *T. elegans* และแตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* สัดส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย (1:1) จำนวน 5 คู่ ใส่ลงไปในช่วงเวลาที่บรรจุมดข้าวโพดที่มีระยะหนอนของด้วงงวงข้าวโพด ผลการทดลองพบว่า แตนเบียน *A. calandrae* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนด้วงงวงข้าวโพด จำนวนแตนเบียนที่ฟัก และอัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียสูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* และแตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีเปอร์เซ็นต์การเบียนสูงสุดเท่ากับ 74.38 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนแตนเบียนเท่ากับ 42.60 ± 2.82 ตัว และมีอัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียเท่ากับ 1:1.81 ตัว รองลงมาคือแตนเบียน *T. elegans* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนเท่ากับ 58.62 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนแตนเบียนเท่ากับ 27.60 ± 2.20 ตัว และมีอัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียเท่ากับ 1:1.39 ตัว ในขณะที่แตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนน้อยสุดเท่ากับ 32.24 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนแตนเบียนเท่ากับ 18.20 ± 1.46 ตัว และมีอัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียเท่ากับ 1:1.22 ตัว

คำสำคัญ: การเบียน อัตราส่วนเพศ แตนเบียน ด้วงงวงข้าวโพด

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the impact of percentage parasitism, quantity of progeny, and sex ratio on the fourth larval instar of the maize weevil in *Anisopteromalus calandrae* (Howard), *Theocolax elegans* (Westwood), and *A. calandrae* + *T. elegans*. Complete randomization (CRD) was used in the arrangement of the studies. Five pairs of male and female *A. calandrae*, *T. elegans*, and *A. calandrae* + *T. elegans* (1:1) were released into glass vials containing maize seeds and the larvae of the maize weevil. The result showed that the parasitism, the number of progeny and sex ratio of *A. calandrae* were significantly higher ($p < 0.05$) than those of *T. elegans* and *A. calandrae* + *T. elegans*. *A. calandrae* exhibited the highest parasitism at 74.38%, 42.60 ± 2.82 and 1:1.81, followed by *T. elegans* with 58.62%, 27.60 ± 2.20 and 1:1.39, in terms of parasitism, progeny, and sex ratio. Whereas the parasitism, progeny count, and sex ratio of *A. calandrae* + *T. elegans* were 32.24%, 18.20 ± 1.46 , and 1:1.22, respectively.

Keywords: Parasitism, Sex ratio, Insect parasitoids, Maize weevil

บทนำ

ประเทศไทยเป็นเมืองเกษตรกรรมประชากรส่วนใหญ่ของประเทศทำอาชีพเกษตรกรรม เช่น การเพาะปลูกพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี เมล็ดถั่วต่าง ๆ ซึ่งผลผลิตที่ได้จะถูกเก็บไว้เพื่อบริโภคและขยายพันธุ์ ปัญหาในการเก็บและรักษาผลผลิตคือการเข้าทำลายของแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์ โดยเฉพาะด้วงงวงข้าวโพด (maize weevil) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sitophilus zeamais* Motschulsky จัดอยู่ใน Family Curculionidae อันดับ Coleoptera เป็นแมลงศัตรูเศรษฐกิจที่สำคัญของเมล็ดพันธุ์หลังโรงเก็บหลายชนิด เช่น เมล็ดข้าวสาร ข้าวสาลี และข้าวเปลือก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมล็ดข้าวโพดสร้างความเสียหายทั้งคุณภาพและปริมาณ (Longe, 2016) โดยที่เพศเมียของด้วงงวงข้าวโพดจะเจาะรูที่ผิวเมล็ดข้าวโพดแล้ววางไข่ระยะ 1 ฟอง ไข่มีลักษณะกลมรี สีขาว ประมาณ 3-6 วัน เพศเมีย 1 ตัว จะวางไข่ 300-400 ฟอง ไข่จะฟักเป็นตัวหนอนมีลักษณะลำตัวสั้นป้อมสีขาว ไม่มีรยางค์ หัวแข็งสีน้ำตาลอ่อนกักกินอยู่ในเมล็ดข้าวโพดลอกคราบ 4-5 ครั้ง ใช้เวลาประมาณ 25-30 วัน เข้าสู่ดักแด้ ในตอนแรกจะมีสีขาวเมื่อใกล้ฟักเป็นตัวเต็มวัยสีจะเข้มขึ้นใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน ตัวเต็มวัยมีสีน้ำตาล ลำตัวยาวประมาณ 3.0-3.8 มิลลิเมตร วงจรชีวิตใช้เวลา 30-40 วัน ตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ได้นาน 1-2 เดือน (Kumari et al., 2022) มีการแพร่ระบาดอย่างกว้างขวางในทุกพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวโพด สามารถเข้าทำลายโดยอาศัยกักกินภายในเมล็ด ตั้งแต่ในสภาพไร่หรือในสภาพโรงเก็บสามารถทำความเสียหายให้ผลผลิตข้าวโพดได้ถึง 90% ในการเก็บรักษาเกินกว่า 6 เดือนโดยไม่มีการป้องกันกำจัด (Visarathanonth et al., 2005) และจากรายงานการวิจัยของ Suleiman et al. (2015) พบว่าด้วงงวงข้าวโพดเป็นสาเหตุหลักในการทำลายเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดให้ได้รับความเสียหายทั้งคุณภาพและปริมาณ ไม่สามารถนำไปขยายพันธุ์และใช้เป็นอาหารสัตว์ได้นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Sweelam et al. (2019) พบว่าด้วงงวงข้าวโพดทำลายผลผลิตเมล็ดข้าวโพดให้ได้รับความเสียหาย โดยผลผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลดลงจาก 10 กิโลกรัม เหลือ 7 กิโลกรัม ภายในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งถ้าปล่อยทิ้งไว้นาน ๆ จะส่งผลให้ผลผลิตเสียหายต่อคุณภาพและปริมาณของเมล็ดข้าวโพด

การควบคุมแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่เกษตรกรมักใช้วิธีการควบคุมโดยใช้สารเคมี (Chemical control) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก และสามารถควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต

แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบที่ตามมาหลายประการ อาทิเช่น ผลกระทบต่อสุขภาพ การตกค้างในผลผลิตและสิ่งแวดล้อม และที่สำคัญแมลงสร้างความต้านทานต่อสารเคมี (Dad et al., 2022; Boyer et al., 2013) การควบคุมโดยชีววิธี (Biological control) เป็นการควบคุมแมลงศัตรูพืชอีกวิธีการหนึ่ง โดยการใช้สิ่งมีชีวิตควบคุมสิ่งมีชีวิต ได้แก่ แมลงห้ำ (Insect predators) แมลงเบียน (Insect parasites, parasitoids) และเชื้อโรค (Pathogen) (Nimkingrat et al., 2022) โดยเฉพาะการใช้แมลงเบียนหรือแตนเบียนในการควบคุมแมลงศัตรูในโรงเก็บ โดยลักษณะสำคัญของแตนเบียนคือมีช่วงหนึ่งของชีวิตอาศัยอยู่ในแมลงอาศัยหรือโฮสต์ ตัวหนอนแตนเบียนจะอาศัยกัดกินและเจริญเติบโตอยู่ในแมลงอาศัยแต่ตัวเต็มวัยมักพบอยู่เป็นอิสระ และต้องการแมลงอาศัยเพียงตัวเดียวในการเจริญเติบโต ส่วนใหญ่มักมีขนาดเล็กกว่าแมลงอาศัย (Pangnakorn, 2018) ปัจจุบันมีการนำแตนเบียนมาเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ในการควบคุมแมลงศัตรูในโรงเก็บมีหลายชนิด จากรายงานการวิจัยของ Riudavets et al. (2023) ใช้แตนเบียน *Anisopteromalus calandrae* (Howard) และ *Lariophagus distinguendus* (Förster) พบว่าแตนเบียนทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บได้ดี แต่แตนเบียน *A. calandrae* มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บดีที่สุด โดยจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกจากดักวางวงข้าวมีจำนวนมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมอดข้าวเปลือก และมอดยาสูบ และจากรายงานการวิจัยของ Sitthichaiyakul & Amornsak (2017) ใช้แตนเบียน *Theocolax elegans* (Westwood) ในการควบคุมแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์ พบว่าแตนเบียน *T. elegans* มีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีและสามารถควบคุมประชากรแมลงศัตรูให้อยู่ในระดับต่ำได้

ดังนั้นจากความสำคัญดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่ศึกษาการเปรียบเทียบผลการเบียนของแตนเบียน *A. calandrae*, *T. elegans* และแตนเบียนผสมระหว่าง *A. calandrae* + *T. elegans* ต่อหนอนดักวางวงข้าวโพด นอกจากนี้ยังศึกษาอัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมีย (Sex ratio) จำนวนลูกหลาน (Progeny) ของแตนเบียนที่ฟักออกมาจากดักวางวงข้าวโพด และความหนาแน่นของจำนวนหนอนดักวางวงข้าวโพดที่มีผลต่อการเบียนของแตนเบียน ซึ่งเป็นการควบคุมโดยชีววิธีซึ่งจะมีความปลอดภัยต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม และเป็นข้อมูลพื้นฐานนำไปสู่การประเมินศักยภาพของแตนเบียนและนำแตนเบียนมาเลี้ยงขยายเพิ่มปริมาณในการควบคุมแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์ต่อไป

วิธีการ

1. การเลี้ยงและขยายพันธุ์ดักวางวงข้าวโพด

เก็บตัวอย่างดักวางวงข้าวโพด (ภาพที่ 1) จากแหล่งเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด อำเภอดงหลวง จังหวัดปทุมธานี มาเลี้ยงขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนดักวางวงข้าวโพดในห้องปฏิบัติการชีววิทยาที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมล็ดข้าวโพดจากเกษตรกรที่ปราศจากการรมสารฆ่าแมลง มาเลี้ยงเป็นอาหารสำหรับดักวางวงข้าวโพด โดยบรรจุเมล็ดข้าวโพดที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่แตกหักปริมาณ 300 กรัม ลงในขวดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 16 เซนติเมตร ขนาดปริมาตร 803.84 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ตัวเต็มวัยของดักวางวงข้าวโพดทั้งเพศผู้และเพศเมียลงในขวดแก้วจำนวน 50 คู่ การแยกเพศผู้และเพศเมียของดักวางวงข้าวโพดอ้างอิงจาก Azis & Kasim (2020) โดยสังเกตจากวง (Rostrum) เพศผู้จะสั้นและขรุขระ (ภาพที่ 2ก) ส่วนเพศเมียจะเรียวยาว ไม่ขรุขระ (ภาพที่ 2ข) ปิดด้วยผ้าขาวบางรัดด้วยหนังยางทิ้งไว้ประมาณ 5-7 วัน หลังจากนั้นนำตัวเต็มวัยของดักวางวงข้าวโพดออกให้หมดปิดด้วยผ้าขาวบางรัดด้วยหนังยาง และนำไปวางไว้บนชั้นเลี้ยงแมลง เมล็ดข้าวโพดถูกตัวเต็มวัยของดักวางวงข้าวโพดวางไข่แล้วฟักเป็นตัวหนอนกัดกินอยู่ในเมล็ด จากนั้นเข้าดักแด่และพัฒนาเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยรุ่นที่ 1 (F1) ได้ตัวเต็มวัยที่มีอายุใกล้เคียงกันเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 1 ตัวงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky)

ที่มา: Plantwiseplusknowledgebank (2023)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ลักษณะงวง (rostrum) (ก) เพศผู้ (ข) เพศเมียของตัวงวงข้าวโพด

ที่มา: Sciencedirect.com/science (2023)

2. การเตรียมหนอนตัวงวงข้าวโพดและแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* เพื่อใช้ในการทดลอง

คัดเลือกเมล็ดข้าวโพดที่มีระยะหนอนของตัวงวงข้าวโพดอยู่ในเมล็ดมาใช้ในการทดลอง โดยสังเกตช่วงเวลาการเจริญเติบโตในเมล็ดข้าวโพดเป็นเวลาประมาณ 18-20 วัน (หลังจากปล่อยตัวเต็มวัยของตัวงวงข้าวโพด) ตัวอย่างละ 100 เมล็ด ใส่ในขวดแก้วขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร ขนาดปริมาตร 157 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดด้วยผ้าขาวบางรัดด้วยหนังยาง ข้อสังเกตลักษณะของเมล็ดข้าวโพดที่มีระยะหนอนวัย 4 ของตัวงวงข้าวโพด เมล็ดข้าวโพดจะมีรอยเจาะเป็นรูและแตกพรุนเล็กน้อย พร้อมทั้งจะนำไปทดลองให้แตนเบียนวางไข่ ขณะที่แตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* สักรวจและเก็บตัวอย่างจากโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดของเกษตรกรอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี นำมาเลี้ยงและขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนในห้องปฏิบัติการโดยใช้หนอนตัวงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* Linnaeus) ที่ทำลายข้าวสารเป็นแมลงอาศัย แตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* ใช้เวลาในการพัฒนาการเจริญเติบโตประมาณ 20-25 วัน หลังจากนั้นจึงนำแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* มาใช้ในการทดลองต่อไป

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเบียนของแตนเบียน *A. calandrae* และ *T. elegans* ต่อ หนอนด้วงวงข้าวโพด

นำแตนเบียน *A. calandrae* และ *T. elegans* ซึ่งแยกความแตกต่างภายใต้กล้องสเตอริโอ แตนเบียน *A. calandrae* บริเวณส่วนอกมีสีดำ (ภาพที่ 3ก) ในขณะที่แตนเบียน *T. elegans* มีสีน้ำตาลแดงและมีแถบพาดสีดำ (ภาพที่ 3ข) โดยทำการทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ใช้แตนเบียน *A. calandrae* จำนวน 5 คู่

การทดลองที่ 2 ใช้แตนเบียน *T. elegans* จำนวน 5 คู่

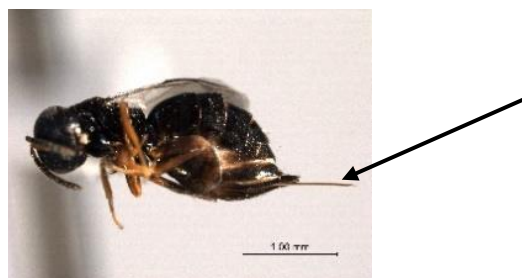
การทดลองที่ 3 ใช้แตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* อย่างละ ชนิดละ 3 คู่

นำตัวแตนเบียนในแต่ละการทดลองใส่ลงไปในขวดแก้วขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ภายในมีเมล็ดข้าวโพดที่มีหนอนด้วงวงข้าวโพดระยะที่ 4 จำนวน 100 เมล็ด หลังจากนั้นปิดฝาขวดด้วยผ้าขาวบางรัดด้วยหนังยาง ปล่อยให้แตนเบียน *A. calandrae* และ *T. elegans* เฝ้ารอหนอนด้วงวงข้าวโพด ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomized design; CRD) โดยเพศเมีย จะใช้อวัยวะวางไข่ที่แทงเข้าเข้าไปในตัวหนอน (ภาพที่ 4) ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแตนเบียน ออกจากขวดแก้ว นำขวดแก้วที่ถูกแตนเบียนทำการเบียนแล้วไปวางไว้บนชั้นเลี้ยงแมลงภายใต้อุณหภูมิห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเบียน (Parasitism) จำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมา (Progeny) และอัตราส่วนเพศ (Sex ratio) ของแตนเบียนที่ฟักออกมา การคำนวณเปอร์เซ็นต์การเบียนโดยใช้วิธีการของ Mahal et al. (2005) จากสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเบียน (\%parasitism)} = \frac{\text{จำนวนแตนเบียนที่ฟัก} \times 100}{\text{จำนวนด้วงวงข้าวโพดที่ฟัก} + \text{จำนวนแตนเบียนที่ฟัก}}$$



ภาพที่ 3 ลักษณะของแตนเบียน (ก) *Anisopteromalus calandrae* (ข) *Theocolax elegans*
ที่มา: Bugguide (2023)



ภาพที่ 4 อวัยวะวางไข่ (ovipositor) ของแตนเบียน *Anisopteromalus calandrae*
ที่มา: Galerie du monde des insectes (2023)

4. การศึกษาความหนาแน่นของหนอนดักแด้วงงช้างโพดต่อการเบียนของแตนเบียน *A. calandrae* และ *T. elegans*

นำเมล็ดข้าวโพดที่มีหนอนดักแด้วงงช้างโพดจำนวน 50, 100, 150 และ 200 กรัม มาทำการศึกษาการเบียนของแตนเบียน *A. calandrae* และ *T. elegans* โดยใส่อัตราส่วนเพศผู้และเพศเมียชนิดละ 5 คู่ ในขณะที่แตนเบียนผสมระหว่างแตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* ใส่อัตราส่วนเพศผู้และเพศเมียชนิดละ 3 คู่ ลงในขวดแก้วขวดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ขนาดปริมาตร 157 ลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างละ 5 คู่ ปลอ่ยให้แตนเบียนทำการเบียนหนอนดักแด้วงงช้างโพดวัย 4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลองละ 5 ซ้ำ หลังจากนั้นนำแตนเบียนออกจากขวดแก้ว ปิดด้วยผ้าขาวบางและรัดด้วยหนังยาง นำไปวางไว้ที่ชั้นเลี้ยงแมลงภายใต้อุณหภูมิห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเปรียบเทียบจำนวนแตนเบียน *A. calandrae*, *T. elegans* และ แตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* ที่ฟักออกมาจากปริมาณความหนาแน่นของหนอนดักแด้วงงช้างโพด

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองแต่ละการทดสอบมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการ DMRT (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการเปรียบเทียบการเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยของ *A. calandrae* และ *T. elegans*

จากผลการเปรียบเทียบการเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยของแตนเบียน *A. calandrae* แตนเบียน *T. elegans* และแตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* ที่ฟักออกมาจากดักแด้วงงช้างโพด พบว่าแตนเบียน *A. calandrae* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนดักแด้วงงช้างโพดวัย 4 สูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* และแตนเบียน *A. calandrae* + *T. elegans* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่แตนเบียน *A. calandrae* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนดักแด้วงงช้างโพดสูงสุดเท่ากับ 74.38 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนแตนเบียน *A. calandrae* ที่ฟักออกมาเฉลี่ยเท่ากับ 42.60 ± 2.82 ตัว มีจำนวนดักแด้วงงช้างโพดที่ฟักออกมา (รอดชีวิต) เท่ากับ 6.84 ± 1.56 ตัว ส่วนแตนเบียน *T. elegans* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนดักแด้วงงช้างโพดเท่ากับ 58.62 เปอร์เซ็นต์

และมีจำนวนแตนเบียน *T. elegans* ที่ฟักออกมาเฉลี่ยเท่ากับ 27.60 ± 2.20 ตัว มีจำนวนด้วงงวงข้าวโพดที่ฟักออกมา (รอดชีวิต) เท่ากับ 10.02 ± 0.86 ตัว ในขณะที่แตนเบียน *A. calandreae* + *T. elegans* มีเปอร์เซ็นต์การเบียนหนอนด้วงงวงข้าวโพดเท่ากับ 32.24 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาเฉลี่ยเท่ากับ 18.20 ± 1.46 ตัว ในขณะที่จำนวนด้วงงวงข้าวโพดที่ฟักออกมา (รอดชีวิต) เท่ากับ 19.42 ± 1.52 ตัว (ตารางที่ 1)

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแตนเบียน *A. calandreae* และแตนเบียน *T. elegans* มีประสิทธิภาพสามารถเบียนด้วงงวงข้าวโพดได้ แต่ถ้านำแตนเบียนทั้งสองชนิดมาทำการเบียนหนอนด้วงงวงข้าวโพด พบว่าเปอร์เซ็นต์การเบียนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แตนเบียนเพียงชนิดเดียว จากงานวิจัยของ Ode et al. (2022) อธิบายว่าเมื่อมีแตนเบียนหลายชนิดที่เข้าเบียนแมลงอาศัย แตนเบียนแต่ละชนิดจะเกิดการแก่งแย่งแข่งขันกัน (Competition) เพื่อเข้าไปวางไข่ในแมลงอาศัย ทั้งนี้ถ้าแตนเบียนวางไข่ในแมลงอาศัยแล้วแตนเบียนชนิดอื่นจะไม่สามารถวางไข่ได้อีก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น เช่น ประสิทธิภาพในการค้นหาเหยื่อ และขนาดลำตัวแตนเบียน และจากผลการวิจัยพบว่าแตนเบียน *A. calandreae* มีประสิทธิภาพการเบียนหนอนด้วงงวงข้าวโพดสูงสุด เนื่องจากแตนเบียน *A. calandreae* มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพในการค้นหาเหยื่อได้ดี กลไกในการค้นหาอาหารอยู่ที่บริเวณลายหนวดซึ่งมีขนแบบ trichoidsensilla ในการรับกลิ่นหรือสารเคมี (Chemoreceptor) หลังจากนั้นจะใช้อวัยวะวางไข่ (Ovipositor) ที่มีลักษณะยาวแหลมคมที่มลงไปในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดและวางไข่ลงในระยะหนอนของด้วงงวงข้าวโพด ซึ่งเป็นการควบคุมแมลงศัตรูเมล็ดพันธุ์โดยชีววิธีเป็นการใช้สิ่งมีชีวิตควบคุมกันเอง (Moosavi et al., 2021) การที่แตนเบียนทั้ง *A. calandreae* และ *T. elegans* เบียนหนอนด้วงงวงข้าวโพด และให้จำนวนแตนเบียนฟักออกมาจำนวนมาก Maneerat et al. (2009) อธิบายว่าแตนเบียน ทั้ง *A. calandreae* และ *T. elegans* เบียนหนอนด้วงงวงข้าวโพดครั้งแรก และอายุของแตนเบียนยังมีอายุน้อยจึงมีความสามารถในการเบียนสูงซึ่งถ้าหนอนด้วงงวงข้าวโพดถูกเบียนซ้ำเป็นครั้งที่ 2 หรือ 3 ส่งผลให้แตนเบียนมีประสิทธิภาพการเบียนน้อยลง ทำให้จำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาจำนวนน้อยลงเช่นกัน นอกจากนี้ Zilch et al. (2017) อธิบายว่ายังมีปัจจัยอื่น ๆ ในการค้นหาเหยื่อของแตนเบียน เช่น ความเข้มข้นของแสง ช่วงเวลาแสง และความหนาแน่นของเหยื่อจะส่งผลต่อการค้นหาเหยื่อของแตนเบียนได้อีกด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Solá et al. (2020) ที่ได้ใช้แตนเบียน *A. calandreae* ควบคุมประชากรมอดข้าวเปลือก (*Rhyzopertha dominica*) ในโรงเก็บเมล็ดข้าวสารในอัตราส่วน 1:1, 2:1 และ 4:1 ผลการทดลองพบว่าแตนเบียน *A. calandreae* ในอัตราส่วน 4:1 สามารถลดจำนวนประชากรของมอดข้าวเปลือกลงได้ 99 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Azam et al. (2023) ยังพบว่ายิ่งอัตราส่วนของแตนเบียน *A. calandreae* มากเท่าใดส่งผลต่อการเบียนหนอนมากขึ้นเท่านั้น โดยจากการทดลองปล่อยแตนเบียน *A. calandreae* 10 คู่ สามารถกำจัดด้วงงวงข้าวโพด (*Callosobruchus maculatus*) โดยมีเปอร์เซ็นต์การเบียนเท่ากับ 94-98% ในขณะที่แตนเบียน *T. elegans* มักชอบเบียนตัวหนอนในเมล็ดพันธุ์ที่ลักษณะภายนอกไม่แข็งแรง เนื่องจากอวัยวะวางไข่บอบบาง ไม่แข็งแรง ถ้าเมล็ดพันธุ์มีลักษณะแข็งแรงจะส่งผลต่อการตีแทงและวางไข่ของแตนเบียน (Sitthichaiyakul et al., 2018)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเบียนและจำนวนแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* ที่ฟักออกมาจากหนอนดั่งวงงข้าวโพด (*S. zeamais*)

แตนเบียน	การเบียน (%)	จำนวนแตนเบียน ที่ฟักออกมาเฉลี่ย	จำนวนดั่งวงงข้าวโพด
	(% + SD)	(ตัว + SD)	(ตัว + SD)
<i>A. calandreae</i>	74.38 ± 1.02	42.60 ± 2.82 ^a	11.20 ± 1.48 ^a
<i>T. elegans</i>	58.62 ± 0.96	27.60 ± 2.20 ^b	16.60 ± 2.64 ^b
<i>A. calandreae</i> + <i>T. elegans</i>	32.24 ± 0.64	18.20 ± 1.46 ^c	20.40 ± 1.64 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's multiple range test.

2. ผลการศึกษาเพศและอัตราส่วนเพศของแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans*

จากผลการศึกษาเพศและอัตราส่วนเพศของแตนเบียน *A. calandreae* แตนเบียน *T. elegans* และแตนเบียน *A. calandreae* + *T. elegans* ที่ฟักออกมาจากดั่งวงงข้าวโพด พบว่าจำนวนเพศผู้และเพศเมียเฉลี่ยและอัตราส่วนระหว่างเพศของแตนเบียน *A. calandreae* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีจำนวนเพศผู้และเพศเมียเฉลี่ยเท่ากับ 18.80 และ 34.20 ตัว และมีอัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียเท่ากับ 1:1.18 ตัว ส่วนแตนเบียน *T. elegans* มีจำนวนเพศผู้และเพศเมียเฉลี่ยเท่ากับ 14.60 และ 20.40 ตัว และมีอัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียเท่ากับ 1:1.39 ตัว ในขณะที่แตนเบียน *A. calandreae* + *T. elegans* มีจำนวนเพศผู้และเพศเมียเฉลี่ย 10.20 และ 12.50 ตัว ตามลำดับ อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1:1.22 ตัว (ตารางที่ 2) จากผลการวิจัยการเบียนของแตนเบียน *A. calandreae* มีจำนวนเพศผู้และเพศเมียจำนวนมากกว่าแตนเบียน *T. elegans* และมีอัตราส่วนระหว่างเพศผู้กับเพศเมียสูงกว่าอีกด้วย อาจเกิดจากพฤติกรรมความชอบการค้นหากลิ่นอาหารของแตนเบียน *A. calandreae* ยังเป็นผลดีทำให้เพศเมียเข้าเบียนแมลงอาศัยได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยของ Belda & Riudavets (2010) ทำการทดสอบกลิ่นของหนอนต่อการค้นหาเหยื่อของแตนเบียน *A. calandreae* โดยใช้เครื่องมือ Y-tube olfactometer ผลการทดลองพบว่าแตนเบียน *A. calandreae* สามารถค้นหากลิ่นตัวหนอนเพื่อวางไข่ในตัวหนอนได้โดยใช้หนวด (antennae) เป็นอวัยวะในการรับรู้กลิ่นของเหยื่อ และขนาดพื้นที่ลำตัวหนอนมีขนาดใหญ่ยังส่งผลต่อการเบียนของแตนเบียน *A. calandreae* ได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้อายุของแมลงอาศัย (Hostage) ยังส่งผลต่ออัตราส่วนเพศ จากงานวิจัยของ Dlamini & Amornsak (2014) พบว่าตัวหนอนที่เป็นแมลงอาศัยของแตนเบียนเมื่อมีอายุมากขึ้นจะมีอัตราส่วนของเพศผู้กับเพศเมียสูงขึ้น และให้เพศเมียสูงกว่าเพศผู้อาจเป็นเพราะลำตัวหนอนอาศัยมีขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวมากซึ่งมีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และพัฒนารังไข่ของระบบสืบพันธุ์ของแตนเบียนเพศเมียเพื่อการขยายพันธุ์และดำรงเผ่าพันธุ์ต่อไป

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบจำนวนเพศผู้เพศเมียและอัตราส่วนระหว่างเพศของแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans* จากหนอนด้วงงวงข้าวโพด (*S. zeamais*)

จำนวนและอัตราส่วน เพศแตนเบียน แตนเบียน	เพศผู้ (ตัว)	เพศเมีย (ตัว)	อัตราส่วนเพศผู้ : เพศเมีย (sex ratio)
<i>A. calandreae</i>	18.80 ^a	34.20 ^a	1:1.81 ^a
<i>T. elegans</i>	14.60 ^b	20.40 ^b	1:1.39 ^b
<i>A. calandreae</i> + <i>T. elegans</i>	10.20 ^c	12.50 ^c	1:1.22 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's multiple range test.

3. ผลความหนาแน่นของหนอนด้วงงวงข้าวโพดต่อการเบียนของแตนเบียน *A. calandreae* และ *T. elegans*

จากการศึกษาผลของความหนาแน่นของหนอนด้วงงวงข้าวโพดต่อการเบียนของแตนเบียน *A. calandreae*, *T. elegans* และ *A. calandreae* + *T. elegans* ผลการทดลองพบว่าปริมาณความหนาแน่นของหนอนด้วงงวงข้าวโพด มีผลต่อการเบียนและจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาจะลดลงเมื่อความหนาแน่นของหนอนด้วงงวงข้าวโพดมากขึ้นทั้งชนิดของแตนเบียน *A. calandreae*, *T. elegans* และ *A. calandreae* + *T. elegans* โดยแตนเบียน *A. calandreae* มีจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาจากปริมาณความหนาแน่นของด้วงงวงข้าวโพดจำนวน 50 100 150 และ 200 กรัม เท่ากับ 51.20 ± 1.44 , 40.80 ± 2.66 , 31.40 ± 2.82 และ 22.10 ± 1.22 ตัว ตามลำดับ ส่วนแตนเบียน *T. elegans* มีจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมา เท่ากับ 30.40 ± 1.82 , 25.20 ± 1.44 , 19.80 ± 1.82 และ 14.40 ± 2.82 ตัว ตามลำดับ ในขณะที่แตนเบียน *A. calandreae* + *T. elegans* มีจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมาเท่ากับ 22.60 ± 1.82 , 17.80 ± 1.44 , 14.20 ± 1.82 และ 10.60 ± 2.82 ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จากผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นของจำนวนหนอนด้วงงวงข้าวโพดวัย 4 มีผลต่อการเบียนและจำนวนแตนเบียนที่ฟักออกมา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zilch et al. (2017) พบว่าปริมาณความหนาแน่นของหนอนมอดยาสูบ (*Lasioderma serricorne*) มีผลต่อการเข้าเบียนและจำนวนตัวเต็มวัยแตนเบียน *A. calandreae* ที่ฟักออกมา โดยที่ปริมาณความหนาแน่นของหนอนมอดยาสูบสูงขึ้น มีผลทำให้แตนเบียน *A. calandreae* มีการเบียนและจำนวนแตนเบียนลดลง นอกจากนี้ Martins et al. (2019) อธิบายว่าแตนเบียนมีความเหมาะสมต่อการเบียนแมลงอาศัยในจำนวนความหนาแน่นที่เหมาะสม ถ้าปริมาณความหนาแน่นของแมลงอาศัยมีจำนวนมากเกินไปอาจส่งผลต่อการเข้าเบียนแมลงอาศัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งหนอนที่ทำลายอยู่ในเมล็ดพันธุ์แล้วถูกอัดแน่นอยู่ด้านล่าง ส่งผลให้แตนเบียนเข้าไปวางไข่ในตัวหนอนด้วงได้ยาก ในขณะที่ปริมาณความหนาแน่นของหนอนด้วงที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการเบียนของแตนเบียนได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบจำนวนแตนเบียน *A. calandrar* และ *T. elegans* ที่ฟักออกมาจากจำนวนความหนาแน่นของหนอนดั่งงวงข้าวโพด (*S. zeamais*)

แตนเบียน	ความหนาแน่น หนอนดั่ง งวงข้าวโพด (ตัว)	ความหนาแน่นของหนอนดั่งงวงข้าวโพดเฉลี่ย (ตัว)			
		50	100	150	200
<i>A. calandrar</i>		51.20 + 1.44 ^{a A}	40.80 + 2.66 ^{b A}	31.40 + 2.82 ^{c A}	22.10 + 1.22 ^{d A}
<i>T. elegans</i>		30.40 + 1.82 ^{a B}	25.20 + 1.44 ^{b B}	19.80 + 1.82 ^{c B}	14.40 + 2.82 ^{d B}
<i>A. calandrar</i> + <i>T. elegans</i>		22.60 + 1.82 ^{a C}	17.80 + 1.44 ^{b C}	14.20 + 1.82 ^{c C}	10.60 + 2.82 ^{d C}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน (ตัวอักษรพิมพ์เล็ก) และแนวดิ่ง (ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่) แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's multiple range test.

สรุป

แตนเบียน *A. calandrar* มีประสิทธิภาพการเบียนหนอนดั่งงวงข้าวโพด และให้จำนวนตัวเต็มวัยและอัตราส่วนระหว่างเพศผู้กับเพศเมียสูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* และแตนเบียน *A. calandrar* + *T. elegans* เนื่องจากแตนเบียน *A. calandrar* มีพฤติกรรมการชอบเหยื่อที่มีขนาดลำตัวใหญ่และมีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งเหมาะต่อการวางไข่และเจริญเติบโตภายนอกตัวเหยื่อ และที่สำคัญแตนเบียน *A. calandrar* มีความว่องไวและรวดเร็วในการค้นหาเหยื่ออาศัยได้ดีกว่าแตนเบียน *T. elegans* และมีอวัยวะวางไข่ที่แหลมคมในการทิ่มผ่านเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเพื่อวางไข่ได้ดีกว่าแตนเบียน *T. elegans* จึงส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเบียน จำนวนตัวเต็มวัยที่ฟักออกมา และอัตราส่วนระหว่างเพศผู้และเพศเมียสูงกว่าแตนเบียน *T. elegans* ดังนั้นการควบคุมโดยชีววิธีเป็นการควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยใช้สิ่งมีชีวิตคอยควบคุมกันเอง ซึ่งเป็นวิถีทางตามธรรมชาติโดยที่เกษตรกรสามารถเพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนให้มีปริมาณมาก ๆ และมีอัตราส่วนเพศเมียสูง เพื่อนำไปปล่อยให้แตนเบียนควบคุมประชากรของแมลงศัตรูพืชซึ่งมีความปลอดภัยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์สัตว์และสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดของเกษตรกร อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าไปเก็บตัวอย่างแมลง และขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Azam, S. M., Faizan, M., Ahmad, N., Shah, S. M. F., Farooq, M., & Sagheer, M. (2023). Biological control potential of *Anisopteromalus calandrar* against *Callosobruchus maculatus* in brown lentils under controlled environmental conditions. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 54(2), 275-279.

- Azis, T. M. F., & Kasim, K. F. (2020). Gender identification of *Sitophilus oryzae* using discriminant analysis and support vector machine: a comparison study. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, **765**, 1-8.
- Belda, C., & Riudavets, J. (2010). Attraction of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Howard) (Hymenoptera: Pteromalidae) to odors from grain and stored product pests in a Y-tube olfactometer. **Biological Control**, **54**(1), 29-34.
- Boyer, S., Zhang, H., & Lemperiere, G. (2013). A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. **Bulletin of Entomological Research**, **102**(2), 213-229.
- Dad, K., Zhao, F., Hassan, R., Javed, K., Nawaz, H., Saleem, M. U., Fatima, T., & Nawaz, M. (2022). Pesticides uses, impacts on environment and their possible remediation strategies- a review. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, **35**(2), 274-284.
- Dlamini, B., & Amornsak, W. (2014). Effect of host age on progeny production of *Theocolax elegans* (Westwood) (Hymenoptera: Pteromalidae) reared on *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae). **Kasetsart Journal Natural Science**, **48**, 1-11.
- Kumari, N., Kumar, V., Kumar, A., Kumar, A., Sati, K., Prakash, O., & Kapoor, N. (2022). Biology of *Sitophilus zeamais* Motsch. on maize grains under laboratory condition. **The Pharma Innovation Journal**, **11**(9), 1388-1391.
- Longe, O. O. (2016). Ecology, life cycle and ways of subjugating the maize weevil *Sitophilus zeamais* in storage. **International Journal of Agriculture and Environmental Research**, **2**(2), 298-313.
- Mahal, N., Islam, W., Parween, S., & Mondal, K. A. M. S. H. (2005). Effect of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) in controlling residual populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in wheat stores. **International Journal of Tropical Insect Science**, **25**(4), 245-250.
- Maneerat, T., Rattanaka, S., & Suasa-ard, W. (2009). **Factor Affecting Sex Ratios of *Cotesia flavipes* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae)**. In: proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Plants (106-110). Bangkok: Kasetsart University
- Martins, D. J., Santos, M. M. D., Sales, T. S., Silva, I. M. D., Soares, M. A., & Júnior, S. L. D. A. (2019). Do parasitoid density and host age affect the parasitism of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae)? **Arquivos do Instituto Biológico**, **86**, 1-6.
- Moosavi, M., Zandi-Sohan, N., & Rajabpour, A. (2021). Olfactory responses of the parasitoid wasp, *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) to odors from hosts and stored grain. **Journal of Plant Protection Research**, **61**(2), 189-194.

- Nimkingrat, P., Jamjanya, T., Siri, N., Tangkawanit, U., & Sripontan, Y. (2022). Biological insect pest control. **Journal of Office of Academic Service for Society**, 1(1), 1-11. (in Thai)
- Ode, P. J., Vyas, D. K., & Harvey, J. A. (2022). Extrinsic inter- and intraspecific competition in parasitoid wasps. **Annual Review of Entomology**, 67, 305–28.
- Pangnakorn, U. (2018). **Beneficial Insects**. 1st edition. Naresuan: Naresuan University Publishing House.
- Riudavets, J., Belda, C., & Castañéet, C. (2023). Impact of the parasitoids *Anisopteromalus calandrae* (Howard) and *Lariophagus distinguendus* (Förster) on three pests of stored rice. **Insects**, 14, 1-9.
- Solá, M., Riudavets, J., & Castañé, C. (2020). Control of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus zeamais* in stored rice with different release rates of the larval parasitoid *Anisopteromalus calandrae*. **Entomologia Generalis**, 40(3), 323–330.
- Sitthichaiyakul, S., & Amornsak, W. (2017). Host-substrate preference of *Theocolax elegans* (Westwood) (Hymenoptera: Pteromalidae), a larval parasitoid of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae). **Agriculture and Natural Resources**, 51, 36-39.
- Sitthichaiyakul, S., Kengkanpanich, R., Noochanapai, P., & Amornsak, W. (2018). **Host-age preference of *Theocolax elegans* (Westwood) (Hymenoptera: Pteromalidae), a larval parasitoid of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae) and the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Chrysomelidae)**. In: Proceedings of the 12th International Working Conference on Stored Product Protection (IWCSP) (454-458). October 7–11, Germany: Berlin publisher.
- Suleiman, R., Rosentrater, K. A., & Bern, C. J. (2015). Evaluation of maize weevils *Sitophilus zeamais* Motschulsky infestation on seven varieties of maize. **Journal of Stored Products Research**, 64, 97-102.
- Sweelam, M. E., El-Raheem, A. M. A., Taka, S. M. A., & Mousa, M. M. (2019). The effect of infestation with three *Sitophilus* species on the weights of grains stored under laboratory conditions for one year. **Menoufia Journal of Plant protection**, 4, 227-235.
- Visarathanonth, P., Nualvatna, K., Chankaewmanee, B., Uraichuen, J., Kengkanpanich, R., Pengkum, K., Tongpan, J., Suthisut, D., L. Romyen, L., & Noochanapai. P. (2005). **Stored pest insect and control**. Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok. 150 p. (in Thai)
- Zilch, K., Jahnke, S., Köhler, A., & Bende, E. (2017) Effect of diet, photoperiod and host density on parasitism of *Anisopteromalus calandrae* on the tobacco beetle and biological parameters of the parasitoid. **American Journal of Plant Sciences**, 8, 3218-3232.



การคำนวณค่าพลังงานจากยูเรเนียม-236

CALCULATE THE ENERGY FROM URANIUM-236

ชโนภาส ชนลักษณ์ดาว* และ รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Chanopat Chonlakdao* and Ratsamee Sangsirimongkolying

Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

*E-mail: chanopatp@gmail.com

Received: 12-09-2023

Revised: 06-11-2023

Accepted: 09-11-2023

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้กล่าวถึงหลักการต่าง ๆ เพื่อเข้าใจการคำนวณพลังงานจากยูเรเนียม-236 ที่เหมาะสมสำหรับครูและอาจารย์ทั่วไป โดยได้อธิบายประวัติความเป็นมา ความสัมพันธ์มวลพลังงานของไอน์สไตน์ พลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ย และอื่น ๆ เพราะธรรมชาติที่แปลกของนิวเคลียร์ฟิชชัน เราจึงต้องเข้าใจความหมายของนิวเคลียร์ฟิชชัน เพื่อจะได้เข้าใจการคำนวณพลังงานจากยูเรเนียม-236 ในบทความนี้เราสามารถประมาณค่าพลังงานจากยูเรเนียม-236 โดยใช้ผลต่างในค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของยูเรเนียม-236 กับค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของผลผลิตจากนิวเคลียร์ฟิชชัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพลังงานจากยูเรเนียม-236 มีค่าประมาณ 203 MeV

คำสำคัญ: ความสัมพันธ์มวลพลังงานของไอน์สไตน์ พลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ย นิวเคลียร์ฟิชชัน

ABSTRACT

This academic article provides all the principles necessary to understand the calculation of the energy in uranium-236 which are suitable for the general teachers and lecturers. The histories, Einstein's mass energy, average binding energy, were explained. Owing to the strange nature of nuclear fission, one must understand the interpretations of nuclear fission before properly understanding the calculation of the energy from uranium-236. We can now estimate the energy from uranium-236, using the deviation between the average binding energies of the uranium-236 parent nuclide and the fission product nuclei, which suggests that the energy of uranium-236 is about 203 MeV.

Keywords: Einstein's mass energy relation, Average binding energy, Nuclear Fission

บทนำ

ในปี ค.ศ. 1919 (Woolfson, 2010) รัทเธอร์ฟอร์ด (Rutherford) เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ประสบความสำเร็จในการแปลงธาตุ โดยการยิงอนุภาคอัลฟา (α particle, ${}^4_2\text{He}$) จากเรเดียม (Radium) ไปยังนิวเคลียสของไนโตรเจน (Nitrogen, ${}^{14}_7\text{N}$) รัทเธอร์ฟอร์ดพบความจริงว่า ไนโตรเจนที่ถูกยิงแล้วจะเปลี่ยนเป็นอะตอมออกซิเจน (Oxygen, ${}^{17}_8\text{O}$) กับโปรตอน (Proton, ${}^1_1\text{p}$) รวมทั้งให้รังสีแกมมา (Gamma radiation, γ) ออกมาด้วย ดังสมการ (1)



สมการ (1) ตั้งชื่อว่า ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear reaction) โดยการทำให้นิวเคลียสแตกออก เมื่อตอนที่นิวเคลียสของไนโตรเจนแตกไปนั้น ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับนิวเคลียสยังไม่ค่อยเข้าใจเท่าใดนัก คือไม่มีใครรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบของมันมากนัก ที่รู้แน่นอนคือมีโปรตอนอยู่ในนิวเคลียส แต่ก็คิดกันว่าต้องมียูเรเนียมอยู่ด้วย เพราะอะตอมของยูเรเนียม (Uranium) ที่มีโปรตอน 92 ตัว แต่หนักกว่าโปรตอนถึง 238 เท่า เรามีเหตุผลพอที่จะถือว่าต้องมีอนุภาคอื่นอีก และอนุภาคอื่นซึ่งก่อให้เกิดปัญหานี้ถูกตั้งชื่อว่า นิวตรอน (Neutron) ซึ่งยังไม่มีข้อพิสูจน์ว่ามีอยู่จริงในตอนนั้น ต้องรอไปจนถึงปี ค.ศ. 1932 ชาดวิก (Chadwick) ได้ยิงเบริลเลียม (Beryllium) ด้วยอนุภาคอัลฟา และพบว่าเมื่อเบริลเลียมแตกตัวจะให้อนุภาคที่มีมวลเหมือนโปรตอนแต่ไม่มีประจุไฟฟ้าออกมา อนุภาคนี้นี้คนตั้งชื่อไว้แล้วว่านิวตรอน ซึ่งนิวตรอนนี้ต่อมาได้ถูก แฟร์มี (Fermi) นำมาใช้เป็นกระสุนแทนอนุภาคอัลฟา เพราะนิวตรอนนั้นไม่มีประจุไฟฟ้าทำให้เดินทางได้ไกลกว่าอนุภาคอัลฟา ด้วยเหตุนี้แฟร์มีจึงคิดว่านิวตรอนคงมีโอกาที่จะชนนิวเคลียสและทำให้นิวเคลียสแตกตัวออกได้ดีกว่าอนุภาคอัลฟา โดยยิงนิวตรอนช้า (Slow neutron) ซึ่งนิวตรอนจะถูกลดความเร็วลงด้วยน้ำหรือพาราฟิน (Paraffin) หรือที่เรียกกันว่าตัวหน่วงความเร็ว (Moderator) และพบว่านิวตรอนเหล่านี้สามารถจับกับนิวเคลียสของอะตอมได้ง่ายกว่าอนุภาคนิวตรอนที่มีความเร็วสูงกว่า

การยิงยูเรเนียมด้วยนิวตรอนช้าแบบนี้ให้ผลลัพธ์ที่น่าประหลาดใจคือเกิดธาตุใหม่ที่เบากว่าอย่างไม่น่าคิด ซึ่งไม่ได้รับการระบุชื่ออยู่นานเพราะนักวิทยาศาสตร์ไม่เชื่อว่าจะมีธาตุใหม่ขึ้นมาได้เองจากการระดมยิง จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1938 (Lemons, 2018) ฮาห์น (Hahn) ไมต์เนอร์ (Meitner) และสเตรสซแมน (Strassmann) ได้เริ่มทำการทดลองแบบเดียวกับแฟร์มีโดยยิงยูเรเนียมด้วยนิวตรอนช้า จากนั้นก็ตรวจสอบสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดจากการแตกตัวของยูเรเนียม จากผลการทดลองทั้งสามคนเชื่อว่า สิ่งที่เกิดขึ้นนี้เป็นพวกธาตุที่เรียกว่าธาตุทรานส์ยูเรนิค (Transuranic) ซึ่งเป็นชื่อที่ใช้เรียกธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่ายูเรเนียม และในเวลาต่อมาทั้งสามคน ทราบว่าไอเรเน โจลิโอท์ (Irene Joliot) และผู้ร่วมงานได้ตรวจพบธาตุชนิดใหม่ธาตุหนึ่งในกลุ่มธาตุทรานส์ยูเรนิค ซึ่งเกิดจากการรวมยิงยูเรเนียม แต่ธาตุที่พบนี้ไม่เป็นธาตุทรานส์ยูเรนิค ในเวลาต่อมาฮาห์นและสเตรสซแมนได้วางแผนที่จะทำการทดลองเลียนแบบไอเรเน โจลิโอท์ซ้ำอีก เพื่อดูให้แน่ใจว่าจะได้ผลอย่างเดียวกันหรือไม่ เขาพบว่าสิ่งที่ได้นั้นมีคุณสมบัติทางเคมีคล้าย ๆ กับเรเดียม ตอนแรกเขาก็คิดว่าเป็นเรเดียม แต่ต่อมาเขาได้ตรวจสอบสิ่งที่เกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำอีกหลายครั้ง จนในที่สุดก็สรุปว่า สิ่งที่เขาทดลองได้ที่แท้ก็คือแบเรียม (Barium) ซึ่งมีเลขอะตอม 56 นั่นเอง และเขาก็เชื่อในผลงานของเขาอย่างไม่มีข้อสงสัย เนื่องจากเขาเป็นนักเคมี เขาทั้งสองยังรือที่จะประกาศการค้นพบซึ่งจะต้องขัดกับกฎต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวิชาฟิสิกส์สมัยนั้น ดังนั้นเขาตัดสินใจเขียนจดหมายเล่าให้ไมต์เนอร์ฟังถึงเรื่องการค้นพบแบเรียมในผลผลิตที่ได้จากการรวมยิงยูเรเนียม ไมต์เนอร์ทราบตัวว่าอะไรเกิดขึ้น อะตอมของยูเรเนียมบางตัวได้แบ่งแยกออกเป็นสองส่วนเกือบเท่า ๆ กัน ต่อมาไม่นาน ได้มีผู้ค้นพบอีกส่วนหนึ่งที่คู่กับแบเรียมซึ่งเป็นคริปตอน (Krypton) ซึ่งมีเลขอะตอม 36 เมื่อนำเลขอะตอมของแบเรียมรวมเข้าด้วยกัน

กับเลขอะตอมของคริปทอนก็จะได้ 92 ซึ่งเป็นเลขอะตอมยูเรเนียมพอดี ไมต์เนอร์ได้ตั้งชื่อการค้นพบในลักษณะที่อะตอมยูเรเนียมแบ่งแยกออกเป็นสองส่วนว่าฟิชชัน (Fission, คล้ายการแบ่งตัวของเซลล์ที่มีชีวิตออกเป็นสองส่วนซึ่งก็เรียกฟิชชันเหมือนกัน) ยิ่งไปกว่านั้นไมต์เนอร์คิดว่าเมื่อยูเรเนียมแบ่งแยกออกเป็นสองส่วนเกือบเท่า ๆ จะมีพลังงานจำนวนหนึ่งที่มีค่ามหาศาลถูกปลดปล่อยออกมาด้วย และชิ้นส่วนทั้งสองก็จะวิ่งแยกออกจากกันด้วยความเร็วสูง ตอนที่ไมต์เนอร์ได้รับจดหมายจากฮาห์นนั้นเป็นเวลาพอดีกับหลานของเธอชื่อฟริช (Frisch) ได้รับรู้เรื่องราวในจดหมายของฮาห์นด้วยในตอนแรกฟริชไม่เชื่อว่าอะตอมของยูเรเนียมจะแบ่งแยกออกเป็นสองส่วนที่เกือบเท่ากันได้ เขายังแอบคิดว่าฮาห์นและสแตรซ์แมนจะต้องทำการทดลองผิดพลาด

ในช่วงเวลานั้นทั้งไมต์เนอร์และฟริชได้พูดคุยกันเพื่อที่จะหาสาเหตุว่าเกิดอะไรขึ้นกันแน่ ซึ่งเต็มไปด้วยความยากลำบากเป็นอย่างมาก ทั้งในเรื่องของความเข้าใจทางทฤษฎีและเทคนิคในการทดลอง อย่างไรก็ตามความลับไม่เป็นความลับอีกต่อไปแล้ว เมื่อไมต์เนอร์และฟริชได้ตัดสินใจบอกชาวนีแอกโบร์ (Bohr) ซึ่งเป็นผู้หนึ่งที่ศึกษาค้นคว้าเรื่องธรรมชาติของอะตอมและโบร์ได้รับการยกย่องว่าเป็นนักฟิสิกส์ที่ยิ่งใหญ่คนหนึ่ง โดยโบร์ได้แนะนำการทดลองเพื่อวัดหาคำนวณค่าพลังงานที่ปล่อยออกมาเมื่อยูเรเนียมแตกตัวออกเป็นสองส่วน โบร์สนใจการค้นพบนี้มากเพราะว่าในปรากฏการณ์นิวเคลียร์ฟิชชันนั้น มันไม่เป็นไปตามความรู้ที่มีมาก่อนเลย การค้นพบของฮาห์นและสแตรซ์แมนเช่นนี้ได้เปิดทางให้นักวิทยาศาสตร์ทำการค้นคว้าและวิจัย หนทางใหม่เหล่านี้จะให้องค์ความรู้ใหม่เป็นอะไรได้บ้าง

บทความวิชาการนี้นำเสนอขึ้นมาเพื่อให้ข้อมูลพื้นฐานแก่ผู้ที่ต้องการความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของนิวเคลียร์ฟิชชัน ยิ่งไปกว่านั้นยังได้ให้เทคนิคที่จำเป็นในการคำนวณค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาอีกด้วย

บทความนี้แบ่งออกเป็นสามส่วนหลักคือ 1) ประวัติความเป็นมา 2) หลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับนิวเคลียร์ฟิชชัน และ 3) เทคนิคที่จำเป็นในการคำนวณค่าพลังงานจากนิวเคลียร์ฟิชชัน

ประวัติความเป็นมา

550 ปีก่อนคริสตศักราช (Tiner, 2021) พวกกรีกโบราณเป็นพวกแรก ที่กล่าวเตือนกันว่า สสารเป็นส่วนประกอบของอะตอม (Atom) เริ่มจาก ดีโมคริตัส (Democritus) กล่าวว่า ถ้าตัดสสารทั้งหลายออกเป็นชิ้น ๆ และตัดลงไปเป็นชิ้นเล็กลงไปเรื่อย ๆ ในที่สุดจะได้ชิ้นส่วนซึ่งเล็กเกินไปที่จะแบ่งได้อีก และเรียกชิ้นส่วนนี้ว่าอะตอมจากภาษากรีกอะตอมแปลว่าไม่สามารถจะแบ่งได้ นี่เป็นเพียงทฤษฎีและยังไม่เป็นเรื่องที่รับรองกันทั่วไป จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1896 เบ็กเกอร์เรล (Becquerel) พบว่าผลึกของผงเกลือของยูเรเนียม (Uranium) ย่อมปลดปล่อยแสงประหลาดซึ่งสามารถทำให้ฟิล์มถ่ายรูปดำได้ ทำให้เขาเป็นคนแรกที่ค้นพบกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) ต่อมาในปี ค.ศ. 1898 มารี คูรี (Marie Curie) เชื่อว่าแสงประหลาดเหล่านั้นมาจากธาตุเคมีในแร่ยูเรเนียมแล้วให้ชื่อว่าเรเดียม ซึ่งแปลว่าธาตุส่องแสงหรือเรืองแสงได้ สมบัติที่ประหลาดของเรเดียม คือการปลดปล่อยพลังงานออกมาในสภาพรังสีได้ตลอดเวลา ยิ่งไปกว่านั้น ยังพบว่าเรเดียมมีน้ำหนักลดลงไปเล็กน้อยหลังจากวางทิ้งไว้นาน ๆ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1905 (Born, 1965) ไอน์สไตน์ (Einstein) พิสูจน์ว่า เมื่อสารกัมมันตรังสีปล่อยรังสีออกมา น้ำหนักจะลดลงเล็กน้อย เป็นเพราะว่ามวลสารบางส่วนถูกทำให้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วของแสงยกกำลังสองพร้อมกับเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน

ยูเรเนียมคือธาตุกัมมันตรังสีที่เป็นโลหะหนักที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ไอโซโทป (Isotope) ที่พบในธรรมชาติได้แก่ยูเรเนียม-235 และยูเรเนียม-238 ไอโซโทปคือกลุ่มธาตุที่มีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสเท่ากันแต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน คือยูเรเนียม-235 มีจำนวนนิวตรอนเท่ากับ $235 - 92 = 143$ ตัว และยูเรเนียม-238 มีจำนวนนิวตรอนเท่ากับ $238 - 92 = 146$ ตัว

ยูเรเนียมที่มีอยู่อยู่ตามธรรมชาติบนโลกนี้ส่วนใหญ่เป็นยูเรเนียม-238 ในขณะที่ยูเรเนียม-235 อันเป็นไอโซโทปที่แตกตัวและเกิดนิวเคลียร์ฟิชชันนั้นมีเพียงเล็กน้อยคือมีเพียง 0.7202% ของยูเรเนียม-238 เท่านั้น ตัวเลข 0.7202% นี้เป็นจริงเสมอไม่ว่าจะเป็นยูเรเนียมที่ได้มาจากเหมืองแร่แห่งใด ๆ บนโลกนี้ (Eklund, 1975)

ยูเรเนียม-235 กับ ยูเรเนียม-238 นั้นมีอายุครึ่งชีวิตแตกต่างกัน อายุครึ่งชีวิตของสารกัมมันตภาพรังสีนั้นหมายความว่าระยะเวลาที่สารกัมมันตภาพรังสีใช้ในการสลายตัวจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น หรือความยาวนานกว่าที่ธาตุเดิมจะสลายเป็นธาตุอื่นครึ่งจำนวนของปริมาณที่มีอยู่เดิม เช่น ยูเรเนียม-235 นั้นมีครึ่งชีวิต 710 ล้านปี ดังนั้น ถ้ามียูเรเนียม-235 อยู่ 5 กรัมในขณะนี้ อีก 710 ล้านปีข้างหน้าเราจะมียูเรเนียม-235 เหลือเพียง 2.5 กรัม เป็นต้น อายุครึ่งชีวิตของยูเรเนียม-238 เท่ากับ 4,470 ล้านปี (Knoll, 2021) ซึ่งใกล้เคียงอายุโลก (4,540 ล้านปี) นั้นหมายความว่าตั้งแต่โลกถือกำเนิดมา ครึ่งหนึ่งของยูเรเนียม-238 ที่โลกเคยมีได้สลายไปแล้วครึ่งหนึ่ง เนื่องจากยูเรเนียม-238 มีครึ่งชีวิตที่นาน ดังนั้นมันจึงสลายตัวช้ามากมีผลให้พลังงานที่ปล่อยออกมาจากการสลายตัวมีค่าน้อยทำให้สารประกอบของยูเรเนียม-238 มีอุณหภูมิไม่สูง แต่ยูเรเนียม-235 มีครึ่งชีวิตที่สั้น ดังนั้นกระบวนการปล่อยพลังงานจะมีค่าสูงทำให้อุณหภูมิของสารประกอบยูเรเนียม-235 ค่อนข้างสูง

วิทยาศาสตร์ที่นำไปสู่ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) เป็นครั้งแรก (Eklund, 1975) เริ่มต้นด้วยความตื่นเต้นเนื่องด้วยเพราะความหลักแหลมและไหวพริบของนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสกลุ่มหนึ่ง ใน ค.ศ. 1975 มีการประชุมวิทยาศาสตร์ด้านนิวเคลียร์ฟิสิกส์ที่กาบอง (Gabon) ซึ่งเป็นประเทศในตอนกลางของภาคตะวันตกของทวีปแอฟริกา การประชุมครั้งนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติที่แปลกประหลาดอย่างหนึ่ง ได้เกิดขึ้นที่กาบองเมื่อ 1,800 ล้านปีมาแล้ว คือที่ฝรั่งเศสมีโรงงานแยกไอโซโทปยูเรเนียม-235 ออกจากแร่ยูเรเนียมธรรมชาติ เจ้าหน้าที่จะต้องคอยตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 ที่ได้รับมา ที่ต้องตรวจสอบก็เพื่อให้แน่ใจว่าแร่ยูเรเนียมนั้นเป็นแร่ที่ได้มาจากเหมืองแร่จริง ๆ ไม่ได้มาจากโรงงานอื่น ๆ ซึ่งอาจจะแอบแยกเอายูเรเนียม-235 ออกไปใช้บ้างแล้ว ในระหว่างการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นคราวหนึ่ง ใน ค.ศ. 1972 เจ้าหน้าที่พบว่าปริมาณความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 มีน้อยกว่าค่าที่ควรจะมี คือเขาคำนวณได้เพียง 0.7171% เท่านั้น (ค่าที่ควรจะมีคือ 0.7202%)

ถ้าหากนักวิทยาศาสตร์ไม่ระมัดระวังก็คงจะปล่อยเลยตามเลยไปแล้ว เพราะค่านี้น้อยกว่าค่าที่ควรจะเป็นเพียง 0.0031% แต่ด้วยความรอบคอบ พวกเขาจึงตรวจสอบซ้ำอีกหลายหน และพบว่า ค่าดังกล่าวนี้ไม่ใช่ค่าที่วัดได้ผิดพลาดกว่าแร่ยูเรเนียมนั้นมีปริมาณยูเรเนียม-235 น้อยกว่าแร่ยูเรเนียมตามธรรมชาติจริง ๆ และจากการสอบสวนก็พบว่าแร่ยูเรเนียมนั้นมาจากเหมืองแร่แห่งหนึ่งชื่อ โอโกล (Oklo) ของประเทศกาบอง

หลังจากแน่ใจว่าปริมาณยูเรเนียม-235 ในสินแร่แห่งนี้มีน้อยกว่าธรรมชาติแล้ว ก็มีการให้แนวคิดที่ว่า สาเหตุที่ปริมาณยูเรเนียม-235 มีน้อยลงคงเป็นเพราะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่เมื่อนานมาแล้ว และต่อมาก็มีการประกาศแนวคิดนี้เป็นทฤษฎี คือถ้านิวเคลียสของธาตุหนักแบ่งแยกตัวแล้วจะปล่อยพลังงานออกมาจำนวนหนึ่งต่อหนึ่งครั้งของการแบ่งแยกตัว และจะปล่อยนิวตรอนออกมาไปชนกับนิวเคลียสข้างเคียง ทำให้เกิดการแบ่งแยกตัวต่อเนื่องต่อไปอีกเป็นลูกโซ่ เรียกปฏิกิริยาการแบ่งแยกแบบต่อเนื่องนี้ว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งถ้าหากไม่มีการควบคุมอัตราการแบ่งแยกตัวแล้ว จำนวนครั้งของการแบ่งแยกจะเพิ่มทวีคูณอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาอันสั้น และได้พลังงานออกมาจำนวนมากมหาศาล ซึ่งทฤษฎีนี้ถูกนำไปใช้ทำอาวุธนิวเคลียร์ (Nuclear weapons) เพื่อการสงคราม

การสำรวจทางด้านธรณีวิทยาปรากฏว่า ที่โอโกลเมื่อประมาณ 1,800 ล้านปีมาแล้ว มีสถานะทั้งสี่อย่างมาประชุมพร้อมกันพอดี คือ 1) มีปริมาณยูเรเนียมอยู่ในสายแร่เข้มข้นมาก 2) มีอัตราส่วนของยูเรเนียม-235 มากกว่า 3% 3) ไม่มีสารที่สามารถดูดซับนิวตรอนได้เป็นปริมาณมาก และ 4) มีน้ำเป็นตัวหน่วงนิวตรอน เมื่อปัจจัยทุกอย่างพร้อม

ก็ชักนำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ในบริเวณบางส่วนของเหมืองแห่งนี้เป็นเวลามานานนับแสนปี ในเรื่องนี้ต้องขอสดุดีนักวิทยาศาสตร์ฝรั่งเศสที่นึกเฉลียวใจทันและช่วยกันสำรวจจนสามารถสรุปผลอันน่าตื่นใจได้ในเวลารวดเร็ว

นิวเคลียร์ฟิชชัน (Nuclear Fission)

ในปี ค.ศ. 1938 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ฮาห์น และ สเตรซแมน ได้ทดลองใช้นิวตรอนยิงนิวเคลียสของธาตุชนิดต่าง ๆ พบว่านิวเคลียสของธาตุต่าง ๆ ทั่วไปนั้นมักจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นหลังจากดูดนิวตรอน แต่สำหรับธาตุยูเรเนียมนั้นนิวเคลียสของมันจะเปลี่ยนแปลงอย่างมาก คือนิวเคลียสของยูเรเนียมแบ่งแยกออกเป็นสองส่วนเท่ากันอย่างคร่าว ๆ และเรียกเหตุการณ์นี้ว่าการแบ่งแยกตัวของนิวเคลียส หรือนิวเคลียร์ฟิชชัน แต่ทว่านิวเคลียสของยูเรเนียมนั้นไม่คงทนถาวรมากนัก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากน้ำหนักของมัน โดยเปรียบเทียบนิวเคลียสเหมือนกับหยดน้ำขนาดใหญ่ (Loachavanich, 2516) ซึ่งเมื่อมีการรบกวนก็จะมีผลเคลื่อนไหวย่างรุนแรง ยิ่งถ้ามีการเพิ่มพลังงานเข้าไปให้มีการเคลื่อนไหวยิ่งรุนแรงพอ หยดน้ำเช่นนั้นก็จะแยกตัวเองออกเป็นสองหยดเล็ก ๆ ดังนั้นจึงดูเหมือนจะเป็นไปได้ว่านิวเคลียสของยูเรเนียมมีรูปลักษณะที่มั่นคงเพียงเล็กน้อย และภายหลังเมื่อจับเอานิวตรอนเข้าไว้แล้วก็อาจแบ่งแยกออกเป็นสองนิวเคลียสและมีลักษณะเท่า ๆ กัน (Whipple & Davies, 2020)

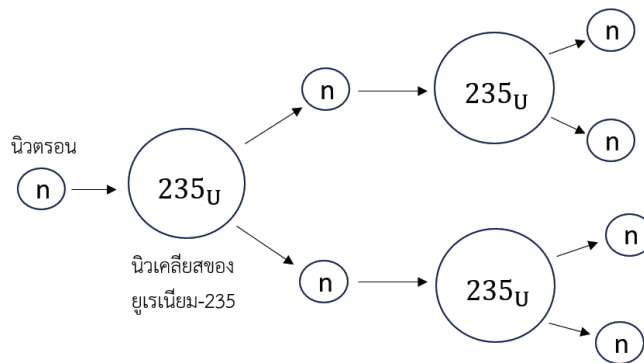
การแบ่งแยกของนิวเคลียสของยูเรเนียมออกเป็นสองส่วนนั้น เมื่อนำเอาน้ำหนักของทั้งสองส่วนนี้มารวมกันปรากฏว่าน้อยกว่าของนิวเคลียสของยูเรเนียมเดิม โดยฟิสิกส์ได้ยืนยันว่าการแบ่งแยกนั้นจะเกิดการปลดปล่อยพลังงานจำนวนมหาศาลขึ้นมาอีกด้วย และนั่นก็คือพลังงานซึ่งยึดนิวเคลียส (Binding energy) เข้าไว้ด้วยกัน การแบ่งแยกตัวของนิวเคลียสนั้น อาจเทียบเท่ากับการเอาชนะพันธะที่เชื่อมกันเป็นสองส่วน แต่การรวมน้ำหนักของชิ้นไม้สองชิ้นนั้นเข้าเป็นอันเดียวกันก็ย่อมมีน้ำหนักเป็นอันเดียวกันกับท่อนไม้ชิ้นเมื่อก่อนผ่า ยิ่งไปกว่านั้นการรวมน้ำหนักของนิวเคลียสทั้งสองส่วนพบว่าเบากว่าน้ำหนักของนิวเคลียสเมื่อก่อนผ่า ทั้งนี้เพราะสารบางส่วน (มวลส่วนหนึ่ง) ได้หายไปนั่นเอง จากสมการของไอน์สไตน์ที่ทำนายไว้เมื่อ ค.ศ. 1905 (Wilkinson, 2020) เราทราบว่ามวลสารบางส่วนที่หายไปนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ของชิ้นส่วนทั้งสอง ซึ่งเป็นเหตุให้มันวิ่งออกจากกันด้วยอัตราเร็วที่สูงมาก นอกจากนั้นยังไปเป็นพลังงานจลน์ของนิวตรอนที่ถูกปล่อยออกมาอีกด้วย และเรียกปรากฏการณ์แบบนี้เรียกว่านิวเคลียร์ฟิชชัน

ทั้งยูเรเนียม-235 และยูเรเนียม-238 ต่างก็เป็นธาตุยูเรเนียมเหมือนกัน แต่ก็มีเพียงยูเรเนียม-235 เท่านั้นที่ให้พลังงานนิวเคลียร์ ในขณะที่นิวเคลียสของยูเรเนียม-238 จะไม่แบ่งแยกตัวเวลารับนิวตรอนเข้าไป แต่นิวเคลียสของยูเรเนียม-235 เมื่อมีการรับนิวตรอนเพียงตัวเดียวก็จะได้นิวเคลียสใหม่ที่ไม่เสถียร (ยูเรเนียม-236) และในเวลาต่อมา ก็จะแบ่งแยกตัวออกเป็นนิวเคลียสที่เล็กลงสองนิวเคลียส ขณะเดียวกันก็ปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมาพร้อมกับนิวตรอนออกมาถึงสองหรือสามตัว

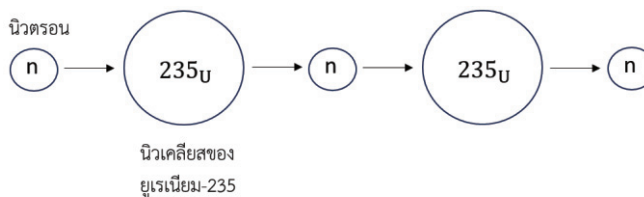
ในปี ค.ศ. 1939 นักวิทยาศาสตร์พบลักษณะพิเศษของยูเรเนียมที่สำคัญที่สุดคือ การแบ่งแยกนิวเคลียสจะเกิดปฏิกิริยาชนิดที่เรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (Lemons, 2018) โดยสมมติให้จำนวนนิวตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียร์ฟิชชันของนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 ตัวหนึ่งมีค่าเป็น N นิวตรอน และนิวตรอนเหล่านี้ก็ไปฟุ้งชนยูเรเนียม-235 อีก N นิวเคลียส โดยแต่ละนิวตรอน จะทำให้ได้พลังงานมหาศาลพร้อมกับนิวตรอนอีก N ตัวด้วยหลักการเช่นนี้ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป n รอบ ปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณและขยายขนาดเป็น N^n ปฏิกิริยาลักษณะนี้ขยายขนาดแบบฟังก์ชันเลขชี้กำลัง (Exponential function) ซึ่งจะก่อให้เกิดการระเบิด ลักษณะนี้เป็นปฏิกิริยา ลูกโซ่แบบแตกแขนงของการแบ่งแยกนิวเคลียส และเป็นปฏิกิริยาที่เกิดในระเบิดนิวเคลียร์ เช่น ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ครั้งหนึ่งให้นิวตรอนออกมา 2 ตัว เมื่อไปทำปฏิกิริยาต่อ จะได้นิวตรอนออกมาอีก 4 ตัว หลังจากทำปฏิกิริยาอีกชุดหนึ่ง

ก็จะได้ 8 ตัว ถัดไปอีกครั้ง ก็จะได้ 16 ตัว กระบวนการนี้ใช้เวลาน้อยมากเพราะว่านิวตรอนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วมาก ประมาณ 13,000 กิโลเมตรต่อวินาที

สาเหตุที่ปฏิกิริยาแบบแบ่งแยกนิวเคลียสก่อให้เกิดการระเบิดได้นั้นเป็นเพราะ จำนวนนิวตรอน N ที่เกิดขึ้นจากการชนมีค่าเป็น $N > 1$ แต่ถ้านิวตรอนที่ถูกปลดปล่อยมีเพียงแค่ 1 ตัว ปฏิกิริยาก็จะดำเนินไปด้วยขนาดที่เท่าเดิม ไม่เกิดการระเบิด ปฏิกิริยาลักษณะนี้เรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่แบบคงตัว ด้วยหลักการง่าย ๆ เช่นนี้ ช่วยให้สามารถกำหนดได้ว่า จะสร้างระเบิดนิวเคลียร์ (อาวุธสงคราม) หรือเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (โรงไฟฟ้านิวเคลียร์) โดยมีสิ่งที่แตกต่างกันชัดเจนคือ ระเบิดนิวเคลียร์ใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่แบบแตกแขนง ส่วนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่แบบคงตัว ดังแสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 การระเบิดลูกโซ่แบบแตกแขนง (ดัดแปลงจาก Semat, 1962)



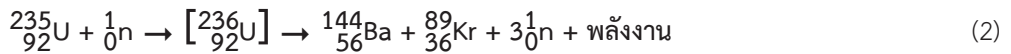
ภาพที่ 2 การระเบิดลูกโซ่แบบคงตัว (ดัดแปลงจาก Semat, 1962)

โดยธรรมชาติ นิวตรอนจะวิ่งผ่านสารต่าง ๆ ได้ดีมาก เพราะฉะนั้นโอกาสที่จะชนจิง ๆ กับนิวเคลียสจะมีน้อย เนื่องจากนิวเคลียสมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของอะตอม แต่นิวตรอนที่ยิงเข้าไปก็ก่อนยูเรเนียมจะเหนียวนำให้เกิดการแบ่งแยกนิวเคลียสได้นั้น นิวตรอนจะต้องชนกับนิวเคลียส แต่โอกาสที่จะชนมีน้อยมาก ฉะนั้นปฏิกิริยาลูกโซ่จะเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมให้เกิดนิวเคลียร์ฟิชชัน เพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ดีขึ้น ก็อาจทำได้โดยเพิ่มขนาดของก้อนยูเรเนียม-235 ที่ใช้ให้มีขนาดพอเหมาะ เรียกววลของยูเรเนียม-235 ที่พอเหมาะนี้ว่า มวลวิกฤติ (Critical mass) การระเบิด ต้องการมวลวิกฤติของยูเรเนียม-235 เพียงก้อนโตประมาณเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรเท่านั้น (Meyerhof, 1967) เพื่อว่านิวตรอนที่ถูกปลดปล่อยจะได้มีโอกาสชนกับนิวเคลียสหลาย ๆ ครั้ง ก่อนที่จะหนีหายออกไปจากก้อนยูเรเนียม-235 หากก้อนยูเรเนียม-235 มีขนาดเล็กกว่ามวลวิกฤติ ก่อนที่นิวตรอนจะได้ชนกับนิวเคลียส ก็คงหลุดรอดออกไป ทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่นั้นไม่สามารถดำรงอยู่ได้ ดังนั้นนิวตรอนจะผ่านเข้าสู่ก้อนยูเรเนียม-235 แล้วชน

นิวเคลียสหรือไม่ นั่น ขนาดของก๊อญูเรเนียม-235 จะต้องพอเหมาะ (มวลวิกฤติ) ยิ่งไปกว่านั้น หากก๊อญูเรเนียม-235 มีขนาดใหญ่กว่ามวลวิกฤติ แม้ว่างไว้เฉย ๆ ก็สามารถระเบิดได้ ดังนั้นข้อกำหนดของการเก็บรักษาญูเรเนียมคือ จะต้องไม่เก็บให้มีมวลสูงกว่ามวลวิกฤติ

การคำนวณพลังงานจากนิวเคลียร์ฟิชชัน

นิวเคลียร์ฟิชชันเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญ ปรากฏการณ์นี้ เกิดจากการยิงนิวตรอนที่มีความเร็วไม่สูงเข้าไป ในนิวเคลียสของญูเรเนียม-235 ทำให้นิวเคลียสนั้นถูกเร้า (Excited nucleus) (นิวเคลียสที่ไม่เสถียร) แล้วในเวลาต่อมา เกิดการแตกออกเป็นสองเสี่ยงพร้อมกับให้นิวตรอนตัวใหม่เกิดขึ้น 3 ตัวอีกด้วย ดังสมการ (2)



สัญลักษณ์นิวเคลียร์ที่ใช้นี้ กำหนดให้ $[{}^{236}_{92}\text{U}]$ เป็นนิวเคลียสของญูเรเนียมที่ถูกเร้า ซึ่งเกิดจากนิวเคลียสของญูเรเนียม-235 จับนิวตรอนตัวหนึ่ง โดยที่ 236 คือเลขมวลหรือจำนวนนิวคลีออนมีค่าเท่ากับจำนวนโปรตอนรวมกับจำนวนนิวตรอน (Ghoshal, 2007; Laohavanich, 1973)

จากสมการ (2) หมายความว่านิวเคลียสของญูเรเนียม-235 หนึ่งตัว เมื่อถูกนิวตรอนพุ่งชน ได้แบ่งแยกตัวเป็นแบเรียมกับคริปตอน และมีนิวตรอนเกิดขึ้นอีก 3 ตัว พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานออกมา ยิ่งไปกว่านั้นสมการ (2) แสดงให้เราเห็นว่า ด้านซ้ายของสมการ (2) เรียวก่อนเกิดปฏิกิริยาจะมีนิวตรอนหนึ่งตัวและด้านขวาของสมการ (2) เรียกว่าหลังเกิดปฏิกิริยาจะมีนิวตรอนสามตัว ดังนั้นนิวตรอนสามตัวก็จะพุ่งชนนิวเคลียสของญูเรเนียม-235 ที่ยังไม่แบ่งแยกตัวต่อไป ซึ่งจะทำให้เกิดนิวตรอนอีกเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ซึ่งก็คือปฏิกิริยาลูกโซ่นั้นเอง ทุกครั้งที่นิวเคลียสของญูเรเนียม-235 แบ่งแยกตัว (นิวเคลียร์ฟิชชัน) ก็จะได้พลังงานออกมา ด้วยเหตุนี้ปฏิกิริยาลูกโซ่จึงให้พลังงานมหาศาล เพราะมวลของญูเรเนียม-235 กับนิวตรอนหนึ่งตัวรวมกันมีค่ามากกว่ามวลของแบเรียม-141 กับคริปตอน-92 และนิวตรอนทั้งสามตัว หรือเขียนสั้น ๆ ได้ว่า มวลรวมของนิวเคลียสหลังเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่ามวลของญูเรเนียม-235 รวมกับนิวตรอนหนึ่งตัว ดังนั้นมวลที่หายไปจะต้องถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานตามสมการของไอน์สไตน์

การศึกษาพลังงานนิวเคลียร์เริ่มต้นภายหลังจากที่ไอน์สไตน์เสนอทฤษฎีมวลสารและพลังงาน พบว่ามวลสารและพลังงานมีความเกี่ยวข้องกัน ดังสมการ (3) (Peplow, 2023)

$$E = mc^2 \quad (3)$$

สมการ (3) ของไอน์สไตน์นี้กำหนดให้ E คือพลังงาน (ในหน่วยจูล, J) ที่สมมูลกับมวล m (ในหน่วยกิโลกรัม, kg) และ C คืออัตราเร็วของแสง ($\approx 3 \times 10^8$ m/s) สมการ (3) บอกเราว่า มวลสารคือพลังงานรูปหนึ่ง บรรดานักวิทยาศาสตร์รู้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานชนิดใหม่ ดังนั้นหากมีการทดลองโดยอาศัยปฏิกิริยาใดก็ตาม เช่น ปฏิกิริยานิวเคลียร์แล้วทำให้มวลของสารตั้งต้นเปลี่ยนไป ในที่นี้มวลส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปเรียกว่ามวลพร่อง (mass defect, Δm) ดังนั้นพลังงานที่เกิดขึ้นคือ

$$\Delta E = (\Delta m)c^2 \quad (4)$$

ในปี ค.ศ. 1960 นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดมาตรฐานสากลเพื่อใช้วัดมวลของนิวเคลียส โดยกำหนดน้ำหนักอะตอมของคาร์บอนที่เป็นกลางให้มีค่าเท่ากับ 12 พอดีและกำหนดให้ $1/12$ ของมวลของอะตอมคาร์บอนใช้อักษรย่อ u หรือ amu (Unified atomic mass unit) ในที่นี้ $1 u \approx 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ และพลังงานจะใช้หน่วยพลังงานของอิเล็กตรอน (Electron volt) ใช้อักษรย่อ eV กำหนดให้ $1 eV \approx 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ จากทฤษฎีมวลสารและพลังงานของไอน์สไตน์จะได้ว่า มวล $1 u$ จะให้พลังงานคือ

$$E = Mc^2 = (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}) (3 \times 10^8 \text{ m/s}) \left(\frac{1 eV}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} \right)$$

หรือ $E \approx 931 \times 10^6 eV = 931 \text{ MeV}$

โดยที่ $10^6 eV = 1 \text{ MeV}$

ดังนั้น $1 u \approx 931 \text{ MeV}$ (5)

จากทฤษฎีเมื่อนิวเคลียส 2 ตัวทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กัน ถ้ามันปลดปล่อยพลังงานออกมาแล้ว มวลของนิวเคลียสที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาจะต้องน้อยกว่ามวลของนิวเคลียสก่อนทำปฏิกิริยากัน ดังนั้นการคำนวณค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา ต้องการแค่ความรู้ในระดับปีหนึ่งของมหาวิทยาลัยเท่านั้น เช่น ปฏิกิริยาจากสมการ (2) เมื่อเราทราบว่าแต่ละนิวเคลียสมีมวลเท่าใด เราก็สามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดขึ้นในสมการ (2) ได้ จากสมการของไอน์สไตน์ในทางปฏิบัติเรามักจะใช้มวลของอะตอมที่เป็นกลางของธาตุแทนมวลของนิวเคลียส ยกตัวอย่างการคำนวณพลังงานแบบแรก ตามทฤษฎีมวลสารและพลังงานของบทความนี้ คือ

พิจารณามวลของอะตอมก่อนเกิดปรากฏการณ์นิวเคลียร์ฟิชชัน

$${}_{92}^{235}\text{U} = 235.0439 u$$

$${}_0^1n = 1.0087 u$$

ดังนั้น ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1n = 236.0526 u$

พิจารณามวลของอะตอมหลังเกิดปรากฏการณ์นิวเคลียร์ฟิชชัน

$${}_{56}^{144}\text{Ba} = 143.9226 u$$

$${}_{36}^{89}\text{Kr} = 88.9175 u$$

$${}_0^3n = 3.0261 u$$

$$\text{ดังนั้น } {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n} = 235.8662 \text{ u}$$

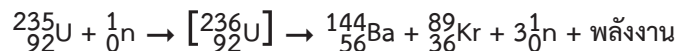
$$\text{ดังนั้นมวลพร่อง } \Delta m = 236.0526 \text{ u} - 235.8662 \text{ u} = 0.1864 \text{ u}$$

ดังนั้น พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาต่อหนึ่งนิวเคลียร์ฟิชชัน จากสมการ (4) จะได้

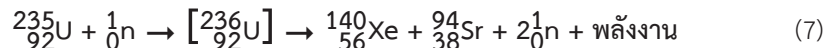
$$\Delta E = 0.1864 \text{ u} \times 931 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = 173.5 \text{ MeV} \quad (6)$$

ค่าพลังงานจากสมการ (6) สามารถประมาณได้ **173 MeV** ซึ่งส่วนใหญ่ปรากฏอยู่ในรูปพลังงานจลน์ของผลผลิตจากนิวเคลียร์ฟิชชัน

สิ่งที่ต้องพิจารณาคัดไปคือ จากสมการ (2) สำหรับนิวเคลียสที่ไม่เสถียร นั้น ไม่แน่นอนอาจให้ผลผลิตเป็นไปได้อย่างไร เช่น



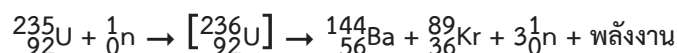
หรือ



ค่าพลังงานในสมการ (7) จะให้ค่าพลังงานเป็นบวก สังเกตได้จาก ถ้ามวลลดลงภายหลังการเกิดปฏิกิริยาแล้วมวลกลายเป็นพลังงานจะจัดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นนิวเคลียสของธาตุหนักมีอัตราส่วนนิวตรอนต่อโปรตอนสูง ดังนั้นเมื่อนิวเคลียสของธาตุหนัก เช่นยูเรเนียมแตกออก จะได้นิวตรอนเสรี 2 หรือ 3 เป็นผลให้การแตกตัวครั้งหนึ่ง ๆ คิดเป็นค่าเฉลี่ยแล้วจะได้นิวตรอนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันประมาณ 2.5 อนุภาค

สำหรับการคำนวณพลังงานทั้งหมดที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียร์ฟิชชัน ในบทความนี้เราได้แสดงตัวอย่างการคำนวณไว้เป็นแบบสอง ซึ่งให้ค่าพลังงานที่แตกต่างจากการคำนวณแบบแรก ที่ให้ผลลัพธ์ในสมการ (6) การคำนวณแบบสองที่ว่านี้ เราได้มีการพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของพลังงานที่ถูกปลดปล่อยจากนิวเคลียร์ฟิชชัน โดยใช้แนวคิดที่แตกต่างจากทฤษฎีมวลสารและพลังงาน ดังที่แสดงไว้ในตัวอย่างการคำนวณแบบแรกก่อนหน้านี้ ดังนั้นเราต้องหาจำนวนโปรตอนและนิวตรอนให้ถูก แล้วนำมาคูณกับมวล เพราะว่าแต่ละนิวเคลียสมีจำนวนนิวคลีออนไม่เท่ากัน รวมทั้งมวลโปรตอนและนิวตรอนที่กำหนดให้มาก็เป็นแค่ค่าของ 1 อนุภาคเท่านั้น ลำดับถัดไปที่ต้องนำมาพิจารณาในแนวคิดแบบสอง คือ เนื่องจากนิวเคลียสแต่ละชนิดมีจำนวนนิวคลีออนต่าง ๆ กัน ดังนั้น ถ้าเราใช้ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ยแล้ว ย่อมทำให้การคำนวณง่ายยิ่งขึ้น โดยพิจารณาพลังงานจากนิวเคลียร์ฟิชชันของยูเรเนียม-236 ในเทอมของผลต่างระหว่างค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของยูเรเนียม-236 กับผลผลิตที่ได้จากนิวเคลียร์ฟิชชัน

การคำนวณตามแนวคิดแบบสอง เริ่มต้นจากสมการ (2)



ในเมื่อ $[^{236}_{92}\text{U}]$ เป็นนิวเคลียสที่ถูกร้าว ซึ่งเกิดจาก $^{235}_{92}\text{U}$ จับนิวตรอนตัวหนึ่ง และเนื่องจากภายในนิวเคลียสยูเรเนียมมีแรงยึดเหนี่ยว เพื่อป้องกันไม่ให้โปรตอนที่อยู่รวมกันผลักรันจนหลุดออกนอกนิวเคลียส เรียกแรงยึดเหนี่ยวนี้ว่าแรงนิวเคลียร์ สำหรับการหาค่าพลังงานยึดเหนี่ยว จะให้นิวเคลียสยูเรเนียมแตกตัวเป็นนิวคลีออนอิสระ (โปรตอนและนิวตรอน) และหาค่าพลังงานที่เกิดขึ้น หลังจากเกิดนิวเคลียร์ฟิชชัน

จากสมการ (2) พลังงานยึดเหนี่ยว (BE) ของนิวเคลียสยูเรเนียม-236 หาได้จากผลต่างระหว่างผลรวมมวลนิวคลีออนของยูเรเนียม-236 กับมวลของนิวเคลียสยูเรเนียม-236 ดังนี้

$$\Delta m = (m_{92\text{โปรตอน}} + m_{144\text{นิวตรอน}}) - m_{\text{ยูเรเนียม-236}} \quad (8)$$

เมื่อโปรตอนมีมวล 1.00782 u นิวตรอนมีมวล 1.00866 u และ ยูเรเนียม-236 มีมวล 236.04556 u จะเห็นว่า ยูเรเนียม-236 มีมวลน้อยกว่าโปรตอนและนิวตรอนรวมกัน หรือมวลส่วนหนึ่งก็คือพลังงานยึดเหนี่ยวนั่นเอง

$$\Delta m = [92(1.00782 \text{ u}) + 144(1.00866 \text{ u})] - 236.04556 \text{ u}$$

$$\Delta m = 237.96648 \text{ u} - 236.04556 \text{ u} = 1.92092 \text{ u}$$

จากสมการ (5) คิดเป็นพลังงาน (BE) คือ $1.92092 \times 931 \text{ MeV} = 1788.3765 \text{ MeV}$ จะเห็นได้ว่าหลังจากแยกโปรตอนและนิวตรอนออกจากนิวเคลียสยูเรเนียม-236 จะมีมวลส่วนหนึ่งเพิ่มขึ้นมา ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณเป็นพลังงาน จะถือว่าพลังงานนี้คือ พลังงานที่ยึดเหนี่ยวนิวเคลียสยูเรเนียม-236 นั้นเอง และถ้านิวเคลียสใหญ่มากขึ้น ก็จะต้องใช้แรงยึดเหนี่ยวมากขึ้นเนื่องจากจำนวนนิวคลีออนมีมากขึ้น ถัดไปเราจะคำนวณอัตราส่วนระหว่างพลังงานยึดเหนี่ยวต่อจำนวนนิวคลีออน (BE/A) (เลขมวล, $A = 236$) ดังนี้

$$\frac{BE}{A} = \frac{1788.3765}{236} = 7.58 \text{ MeV/นิวคลีออน}$$

จากค่า BE/A จะสามารถประมาณความเสถียรของนิวเคลียสอย่างประมาณได้ นั่นคือถ้าค่า BE/A มีค่ามาก นิวเคลียสก็จะเสถียรมาก ใช้เทคนิคการคำนวณเดียวกัน เราจะได้ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{144}_{86}\text{Ba}$ มีค่าเป็น 8.26 MeV/นิวคลีออน และพลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{89}_{36}\text{Kr}$ มีค่าเป็น 8.62 MeV/นิวคลีออน เพราะว่าค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน ทั้งสองค่าที่เกิดจากนิวเคลียร์ฟิชชันนั้นแตกต่างกันไม่มาก ดังนั้นในบทความนี้เราจะใช้ค่าเฉลี่ย (Average) ของสองชิ้นส่วนที่เป็นผลผลิต (แบเรียมและคริปตอน) จากนิวเคลียร์ฟิชชัน ด้วยเหตุนี้ เราจะเรียกพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนว่าพลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ย (Average binding energy) เพื่อคำนวณค่าพลังงาน (E) ที่ปลดปล่อยออกมาจากยูเรเนียม-236 โดยใช้สมการ (2) ดังนี้



$$E = \left[\left(\frac{BE}{A} \right)_{\text{ผลผลิตของฟิชชัน}} - \left(\frac{BE}{A} \right)_{\text{ยูเรเนียม236}} \right] \times 236 \text{ นิวคลีออน} \quad (9)$$

เราสามารถให้ $\left(\frac{BE}{A} \right)_{\text{ผลผลิตของฟิชชัน}}$ เป็นค่าเฉลี่ยของสองชิ้นส่วนที่เป็นผลผลิตจากนิวเคลียร์ฟิชชัน
ดังนั้นสมการ (9) คือ

$$E = \left[\left(\frac{(B/A)_{144}\text{Ba} + (B/A)_{89}\text{Kr}}{2} \right) - \left(\frac{B}{A} \right)_{\text{ยูเรเนียม236}} \right] \times 236 \text{ นิวคลีออน}$$

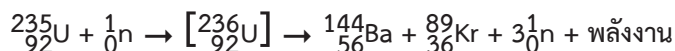
$$E = \left[\left(\frac{8.26 \frac{\text{MeV}}{\text{นิวคลีออน}} + 8.62 \frac{\text{MeV}}{\text{นิวคลีออน}}}{2} \right) - 7.58 \frac{\text{MeV}}{\text{nucleon}} \right] \times 236 \text{ นิวคลีออน}$$

$$E = (0.86 \text{ MeV/นิวคลีออน}) (236 \text{ นิวคลีออน}) = 202.96 \text{ MeV} \quad (10)$$

เพราะฉะนั้น พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากการนิวเคลียร์ฟิชชันหนึ่งครั้งคือ 202.96 MeV หรือประมาณ 203 MeV ต่อการนิวเคลียร์ฟิชชันหนึ่งครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดคือ 200 MeV (Koch, 1995; Seaborg et al., 2006) โดยทั่วไปแล้ว เราพยายามมองหาข้อเท็จจริงโดยเริ่มจากคำนวณผลลัพธ์จากนั้นเราก็จะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ด้วยผลการทดลอง หากมันไม่สอดคล้องกับการทดลองก็แสดงว่า แนวคิดที่เราทำมานั้นผิด (Ottaviani & Dye, 2022) คำกล่าวง่าย ๆ ดังกล่าวนี้อเอง ที่เป็หัวใจสำคัญของวิทยาศาสตร์ หากแนวคิดไม่สอดคล้องกับผลการทดลองวัด ก็แสดงว่าแนวคิดดังกล่าวผิด (Feynman, 1998)

สรุป

เมื่อไอโซโทปที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของยูเรเนียม-235 จับกับนิวตรอนที่เคลื่อนที่ช้า ไอโซโทปดังกล่าวจะสามารถดูดซับนิวตรอนเพื่อสร้างนิวไคลด์ยูเรเนียม-236 ที่ไม่เสถียรได้ นิวไคลด์ใหม่นี้จะปลดปล่อยอนุภาคแอลฟาและรังสีแกมมาออกมา เมื่อพิจารณาจากสมการ (2)



พบว่าเมื่อนิวตรอนเข้าใส่ยูเรเนียม-235 แล้วถูกจับยึดไว้ จะเปลี่ยนไปเป็นไอโซโทปยูเรเนียม-236 ที่ไม่เสถียร เราพบว่า มีการแตกตัวออกเป็นสองส่วนย่อย โดยทั่วไป ชนิดของนิวเคลียสทั้งสองที่เป็นผลผลิตจากนิวเคลียร์ฟิชชันอาจเป็นไปได้หลายแบบ และมีขนาดเล็กลงประมาณครึ่งหนึ่งของนิวเคลียสวัตถุดิบตั้งต้น พร้อมกับนิวตรอนอีกสองถึงสามตัวพร้อมกับให้ค่าพลังงานดังแสดงไว้ในสมการ (7) ซึ่งต่อมาถูกนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง

เพราะจากสมการ (2) เราได้แสดงการคำนวณนิวเคลียร์ฟิชชันของยูเรเนียม-236 หนึ่งครั้ง พบว่าให้ค่าพลังงานรวมทั้งหมดปล่อยออกมาประมาณ 203 MeV ต่อมาเรานำค่าพลังงาน 203 MeV มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากสมการ (6) ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่เราคำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีมวลสารและพลังงานของไอน์สไตน์ให้ค่าประมาณ 173 MeV ตัวเลขนี้ไม่รวมพลังงานจลน์ของนิวตรอนประมาณ 6 MeV (Meyerhof, 1967) เนื่องจากมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับ 173 MeV สรุปได้ว่าการแบ่งแยกตัวของยูเรเนียม-236 ปล่อยพลังงานรวมทั้งหมดโดยประมาณ 203 MeV แบ่งแยกค่าพลังงานออกเป็นดังนี้

1) 173 MeV หรือ 85.22% ของ 203 MeV เป็นค่าพลังงานจลน์ของผลผลิตจากนิวเคลียร์ฟิชชัน

2) 30 MeV หรือ 14.78% ของ 203 MeV เป็นค่าพลังงานจลน์ของอนุภาคนิวตรอน ทั้งที่เกิดขึ้นที่จากนิวเคลียร์ฟิชชันและที่เกิดจากการสลายตัวของผลผลิตจากนิวเคลียร์ฟิชชัน รวมทั้งยังมีค่าพลังงานจลน์จากรังสีบีตา (Beta rays) รังสีแกมมา (Gamma rays) และรังสีเอ็กซ์ (X-rays) ทั้งที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดนิวเคลียร์ฟิชชันและที่เกิดจากการสลายตัวของผลผลิตจากนิวเคลียร์ฟิชชันอีกด้วย

สรุปจากสมการ (2) เราได้แสดงการคำนวณไว้สองแบบดังนี้ 1) แบบแรก ผลลัพธ์จากสมการ (6) เราคำนวณหาพลังงานตามสมการของไอน์สไตน์พบว่าปล่อยพลังงานออกมาประมาณ 173 MeV เพราะนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน ซึ่งมีแรง 3 ชนิด ที่ทำให้นิวเคลียสรักษารูปร่างไว้ได้คือ แรงผลักระหว่างประจุ (โปรตอนผลักกับโปรตอน) แรงดึงดูดระหว่างมวล (นิวคลีออนดึงดูดกันเอง) และแรงนิวเคลียร์ (แรงที่นิวคลีออนยึดเหนี่ยวกัน) เมื่อนิวคลีออนอยู่ใกล้กัน จะมีมวลบางส่วนเปลี่ยนเป็นพลังงานยึดเหนี่ยว มวลที่หายไปนี้เรียกว่ามวลพร่อง (Δm) ถ้าเรารู้มวลพร่องแล้วจะได้ $\Delta E = (\Delta m) \times 931 \text{ MeV}$ ในทำนองเดียวกัน ถ้าเรารู้ความเร็วอนุภาคแล้วจะได้ $\Delta E = \frac{1}{2}mv^2$ ดังนั้นค่าพลังงานที่เราคำนวณได้ประมาณ 173 MeV นี้จัดเป็นพลังงานจลน์ของผลผลิตชิ้นส่วนทั้งสองจากนิวเคลียร์ฟิชชัน

ค่าพลังงานที่ปล่อยออกมา นอกจากจะคำนวณหาได้จากแบบแรก เรายังนำเสนอการคำนวณแบบสอง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างในค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของนิวเคลียสยูเรเนียม-236 กับนิวเคลียสของผลผลิตจากนิวเคลียร์ฟิชชันได้อีกด้วย ซึ่งผลลัพธ์การคำนวณแบบสอง ในสมการ (10) ให้พลังงานรวมทั้งหมดออกมาประมาณ 203 MeV

สิ่งที่น่าสนใจจากการวิจัยนี้คือ การคำนวณพลังงานทั้งแบบแรกและแบบสองนั้นให้พลังงานประมาณ 173 MeV และ 203 MeV ตามลำดับ และเมื่อนำตัวเลขทั้งสองมาหาผลต่างจะได้ค่า 30 MeV ตัวเลขนี้มีค่าใกล้เคียงกับผลจากการวัด (Seaborg et al., 2006) โดย Seaborg et al (2006) แสดงค่าพลังงานไว้ดังนี้ 172 MeV และ 200 MeV ตามลำดับ ($200 \text{ MeV} - 172 \text{ MeV} = 28 \text{ MeV}$ หรือ 14% ของพลังงานรวมทั้งหมดที่ปล่อยออกมา) ถ้าพิจารณาถึงค่าพลังงานรวมทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมา แล้วนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานรวมทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาจากวัฏธรมะเปิดธรรมชาติ จะพบว่าการระเบิดของยูเรเนียม-235 มีค่าเท่ากับการระเบิดของวัฏธรมะเปิดธรรมชาติหลาย ๆ พันต้น จึงเป็นไปได้ในการนำพลังงานมหาศาลนี้ไปใช้ในการผลิตอาวุธเพื่อการสงครามและนำไปใช้เป็นประโยชน์ในทางสันติ เช่น เอาไปทำเป็นพลังงานไฟฟ้า (โรงไฟฟ้านิวเคลียร์) เอาไปทำเป็นเครื่องยนต์พลังงานนิวเคลียร์ของเรือดำน้ำ เอาไปทำเป็นแบตเตอรี่พลังงานนิวเคลียร์ของสถานีอวกาศ ยิ่งไปกว่านั้น ก็มันมหาพรั่งสีกจากยูเรเนียมได้นำเอาไปใช้ในการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรมอีกด้วย

ดังนั้นเรสรุปได้ว่า จากข้อมูลทั้งหมดทำให้เราทราบว่า นิวเคลียสแต่ละชนิดประกอบด้วยจำนวนโปรตอนและนิวตรอนอย่างละเท่าไร เมื่อเราคำนวณมวลของนิวเคลียสจากอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบ จะพบว่ามวลของนิวเคลียสมีค่าน้อยกว่ามวลที่คำนวณจากมวลของโปรตอนและนิวตรอนที่ประกอบกันเป็นนิวเคลียสนั้น ความแตกต่างของมวล

เอกสารอ้างอิง

- Born, M. (1965). **Einstein's Theory of Relativity**. New York: Dover.
- Eklund, S. (1975). Oklo Phenomenon. **IAEA Bulletin**, 17(3), 2-4.
- Feynman, P. R. (1998). **The Meaning of it All: Thoughts of a Citizen-Scientist**. New York: Perseus.
- Ghoshal, N. S. (2007). **Nuclear Physics**. New Delhi: S. Chand & Company LTD.
- Knoll, H. A. (2021). **A Brief History of Earth**. New York: HarperCollins.
- Koch, L. (1995). Radioactivity and fission energy. **Radiochimica Acta**, 70-71(s1), 397-402.
- Laohavanich, Y. (1973). **Introduction to Modern Physics**. Bangkok: Mahidol Printing. (in Thai)
- Lemons, D. (2018). **Seeing Physics**. London: Andre Deutsch.
- Meyerhof, W. (1967). **Elements of Nuclear Physics**. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Ottaviani, J., & Dye, J. (2022). **Einstein**. New York: First Second.
- Peplow, M. (2023). **Short Cuts Science**. London: Icon Books.
- Seaborg, T. G., Morrissey, W., & Loveland, W. (2006). **Modern Nuclear Chemistry**. New York: Wiley Interscience.
- Semat, H. (1962). **Introduction To Atomic AND Nuclear Physics**. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Tiner, H. J. (2021). **Exploring The World of Physics**. Green Forest: Master Books.
- Whipple, T., & Davies, J. (2020). **Get Ahead in Physics**. London: Walker Books.
- Wilkinson, C. (2020). **Theory of Relativity**. London: Laurence King.
- Woolfson, M. (2010). **Materials, Matter & Particles: A Brief History**. London: Imperial College Press.

[illegible]



ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Preparation Process of PNRU Research Journal Science and Technology

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารราย 6 เดือน เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานในลักษณะบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) และบทความปริทัศน์ (Review Article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่นักวิจัย นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ

► ขอบเขตของผลงานที่ตีพิมพ์

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตีพิมพ์บทความด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

► การพิจารณาบทความ

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) อย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้แต่งและผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความจะไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (Double-blind Peer Review)

► ประเภทของบทความที่รับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Article)

เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ การดำเนินการวิจัย

2. บทความวิชาการ (Academic Article)

งานเขียน ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เป็นความรู้ใหม่ กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ แนวทางการแก้ไขปัญหา มีการใช้แนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยจากแหล่งข้อมูล เช่น หนังสือ วารสารวิชาการ อินเทอร์เน็ตประกอบการวิเคราะห์วิจารณ์ เสนอแนวทางแก้ไข

3. บทความปริทัศน์ (Review Article)

งานวิชาการที่ประเมินสถานะล่าสุดทางวิชาการ (State of the art) เฉพาะทางที่มีการศึกษาค้นคว้า มีการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ทั้งทางกว้าง และทางลึกอย่างทันสมัย โดยให้ข้อพิพากษ์ที่ชี้ให้เห็นแนวโน้ม ที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไป

➤ หลักเกณฑ์ในการส่งบทความ

1. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ
2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียน หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่นโดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)
3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระเบียบการส่งบทความของ วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น
5. กรณีขอเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าว มายังกองบรรณาธิการ

➤ คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

รับการตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word 2003 ขึ้นไป โดยใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด 14 pt. ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ กำหนดตั้งค่าน้ำกระดาษ ขน 1.5 นิ้ว ซ้าย 1.5 นิ้ว ล่าง 1.0 นิ้ว ขวา 1.0 นิ้ว โดยความยาวของบทความควรเป็นดังนี้

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. บทความวิจัย (Research article) | ประมาณ 12 หน้า ต่อบทความ |
| 2. บทความทางวิชาการ (Academic article) | ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ |
| 3. บทความปริทัศน์ (Review article) | ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ |

โดยมีส่วนประกอบดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)	บทความวิชาการ (Academic Article)	บทความปริทัศน์ (Review Article)
1. บทนำ (Introduction)	1. บทนำ (Introduction)	1. บทนำ (Introduction)
2. วิธีการ (Methods)	2. เนื้อหา (Context)	2. เนื้อหา (Context)
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ (Results and Discussions)	3. สรุป (Conclusions)	3. สรุป (Conclusions)
4. สรุป (Conclusions)	4. เอกสารอ้างอิง (References)	4. เอกสารอ้างอิง (References)
5. เอกสารอ้างอิง (References)		

ชื่อเรื่อง	ควรมีความกระชับและชัดเจน ไม่ยาวจนเกินไป บทความภาษาไทยต้องมีชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด
ชื่อผู้แต่ง	ระบุชื่อเต็มและนามสกุลเต็มของผู้แต่งทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยไม่ใส่ยศหรือตำแหน่งสำหรับผู้แต่งหลักต้องใส่ E-mail address ที่ติดต่อได้และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับ
บทคัดย่อ	บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 250 คำ
คำสำคัญ	ให้มีคำสำคัญ 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
รูปภาพ	แยกบันทึกเป็นไฟล์ภาพที่มีนามสกุล TIFF, หรือ JPEG ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับเพื่อคุณภาพในการพิมพ์ หมายเลขรูปภาพและกราฟให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านล่างของรูปภาพ ปรับรูปแบบให้เหมาะสมกับการตีพิมพ์แบบขาว-ดำ หรือ Greyscale
เนื้อหา	ใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด 14 พอยท์ จัดเนื้อหาตามรูปแบบบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) หรือบทความปริทัศน์ (Review Article) หน่วยที่ใช้ให้เป็นไปตามรูปแบบสากล ศัพท์ภาษาอังกฤษในวงเล็บให้ใช้ตัวพิมพ์เล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ หากมีสมการให้ใช้ Equation Editor โดยจัดให้อยู่ในตำแหน่งกลางหน้ากระดาษ พร้อมระบุหมายเลขสมการ
ตาราง	หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านบนของตาราง
เอกสารอ้างอิง	เป็นรายชื่อเอกสารที่ใช้อ้างถึงในบทความ โดยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ และจัดรูปแบบอ้างอิงตามระบบ APA 6 th edition

รูปแบบการอ้างอิง

1. การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation)

กรณีอ้างอิงชื่อผู้แต่งก่อนข้อความ	ชื่อผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์).....
ตัวอย่าง	Kelly (2004) แสดงให้เห็นว่า..... Saikaew & Kaewsarn (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ..... Lui et al. (2000) พบว่า..... Saikaew & Kaewsarn (2009) และ Lui et al. (2000) พบว่า.....
กรณีอ้างอิงชื่อผู้แต่งท้ายข้อความ	 (ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)
ตัวอย่าง	 (Kelly, 2004) (Saikaew & Kaewsarn, 2009) (Lui et al., 2000) (Saikaew & Kaewsarn, 2009; Lui et al., 2000)

2. การอ้างอิงในส่วนท้ายบทความ (References)

2.1 อ้างอิงจากหนังสือ (Books)

รูปแบบ	ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อหนังสือ . (ครั้งที่พิมพ์). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง	Crawley, R. B., Dockery, L. M., Branson, T. S., Carmichael, L. E., Carson, J. C., Findlay, A. F., & Smith, D. M. (2015). Manor houses of the early 1900s . London, England: Taylor & Francis.

รูปแบบ	ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่(ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
ตัวอย่าง	Yingsanga, P., & Mathurasa, L. (2009). Yellowing development of Chinese Kale (Brassica oleracea var. alboglabra). Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology , 14(1), 76-90. (In Thai)
	Morrisa, G.A., Fosterb, T.J., & Hardinga, S.E. (2000). The effect of the degree of esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. Food Hydrocolloids , 14(3), 227-235.

รูปแบบ	ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อวิทยานิพนธ์ . (ระดับวิทยานิพนธ์). มหาวิทยาลัย, เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง	Caprette, C.L. (2005). Conquering the cold shudder: The origin and evolution of snake eyes . (Doctoral dissertation). Ohio State University, Columbus, OH.

รูปแบบ	ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (ประเภทของเอกสาร). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง	Tayama, T. (2006). Velocity influence on detection and prediction of changes in color and motion direction (Report No. 38). Sapporo, Japan: Psychology Department, Hokkaido University.

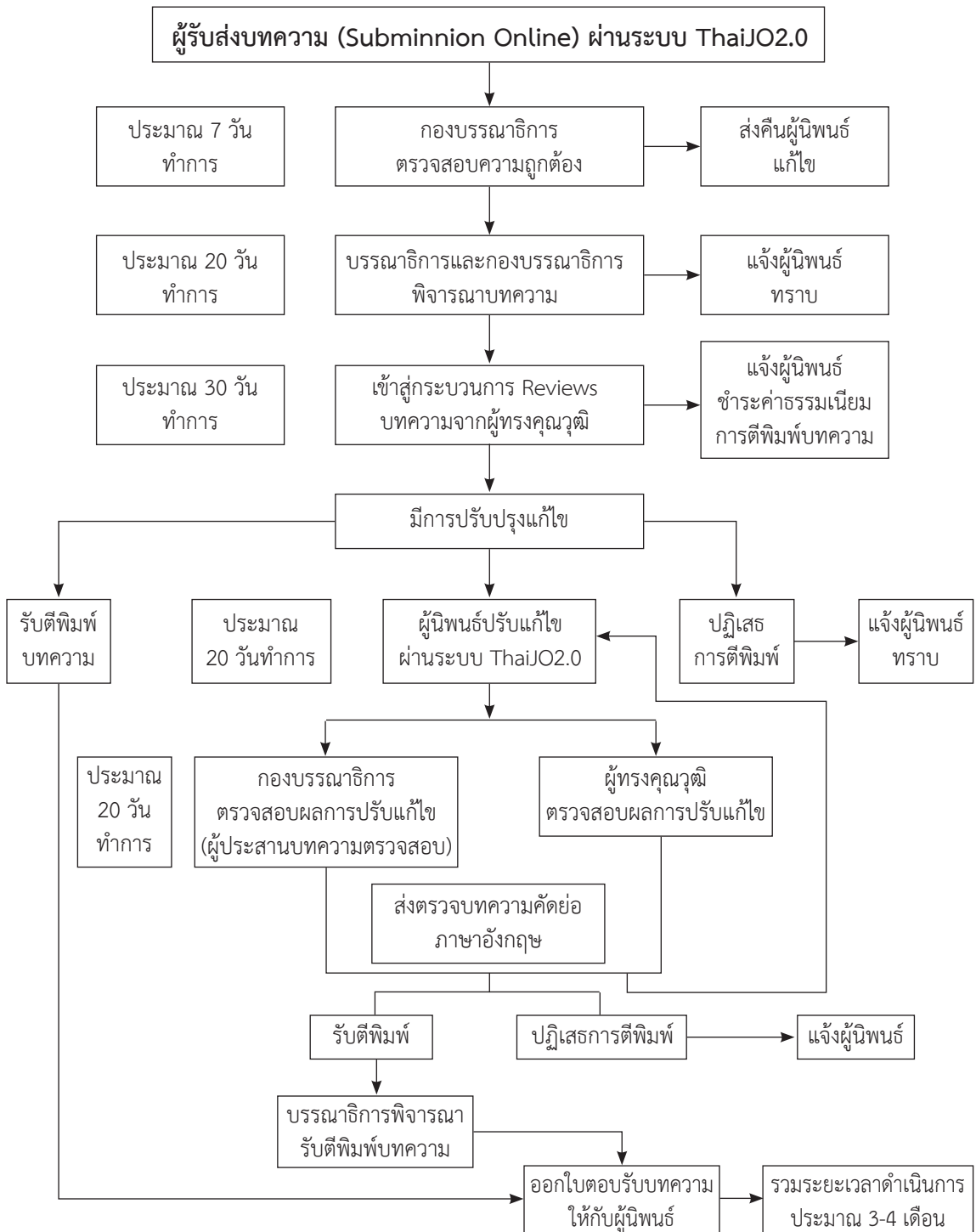
รูปแบบ	ชื่อผู้แต่งในบท. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง . ใน ชื่อบรรณาธิการ, (บรรณาธิการ), ชื่อการประชุม (หน้าแรก-หน้าสุดท้าย). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง	Deci, E.L., & Ryan, R.M. (1991). A motivational approach to self: Integration in personality . In R. Dienstbier (Ed.), Nebraska Symposium on motivation: Vol. 38 Perspectives on motivation (237-288). Lincoln, NM: University of Nebraska Press.

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). **ชื่อเรื่อง**. Retrieved from <http://.....> [ไ้วันที่สืบค้น].

ตัวอย่าง Centers for Disease Control and Prevention. (2003). **Take charge of your diabetes**. Retrieved from <http://www.cdc.gov/diabetes /pubs/paf/ted.pdf> [2015, 25 Oct.]

รูปแบบ	ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์. (ปีที่ให้สัมภาษณ์, วัน เดือน). สัมภาษณ์. ตำแหน่งผู้ให้สัมภาษณ์. หน่วยงาน.
ตัวอย่าง	Phae-ngam, W. (2016, 10 Jan.). How to write a good research article. Assistant Professor. Faculty of Science and Technology. Phranakhon Rajabhat University.

ขั้นตอนการพิจารณาบทความ วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



หมายเหตุ: ทางวารสารขอสงวนสิทธิ์ที่จะเรียงเรียงและอาจปรับปรุงการนำเสนอบทความตามความเหมาะสม

รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK ขนาด 16pt. ตัวหนา)

ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ^{1*} ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ² (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)

¹ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

²ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

Author ^{1*}, Author ² (TH SarabunPSK 14pt. normal)

¹Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

²Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

*E-mail: address@mailservice.com (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Received: xx-xx-xx

Revised: xx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

บทคัดย่อ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อในกรณีเป็นบทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ยกเว้น
บทความหนังสือ บทคัดย่อควรมีย่อหน้าเดียว ไม่ควรเกิน 250 คำ บทคัดย่อควรกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของบทความ
ผลลัพธ์หรือ สรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย คำสำคัญที่เป็นภาษาไทยไม่ต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างคำ

(TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

คำสำคัญ: คำสำคัญ1 คำสำคัญ2 คำสำคัญ3 คำสำคัญ4 คำสำคัญ5 (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)

ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)

For a Thai article, an abstract in English must accompany the Thai version. The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

บทนำ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

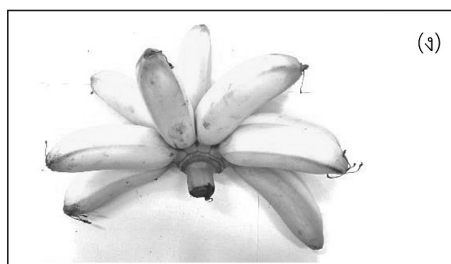
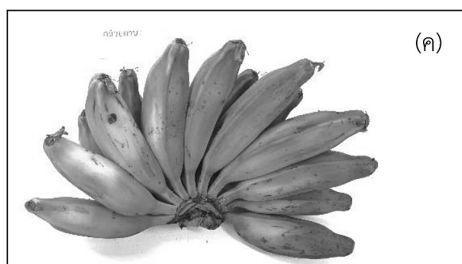
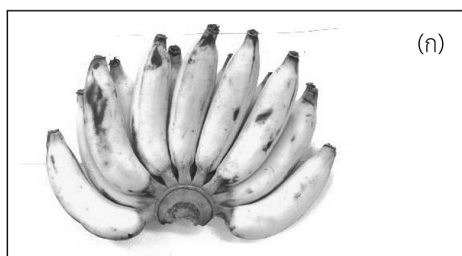
เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

วิธีการ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

ผลการทดลองและวิจารณ์ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....



ภาพที่ 1 ชื่อภาพ....(ก)..... (ข)..... (ค)..... (ง).....

ตารางที่ 1 ชื่อตาราง

เวลาที่ใช้ (นาท)	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย (mbar)
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048

หมายเหตุ : (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

สรุป (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

.....

กิตติกรรมประกาศ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา) (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

.....

เอกสารอ้างอิง (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt.).....

.....

.....

รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาอังกฤษ)

ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

Author 1*, Author 2 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

¹Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

²Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

*E-mail: address@mailservice.com (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Received: xx-xx-xx

Revised: xx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)

The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

Introduction (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....

Methods (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....

Results and Discussions (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....

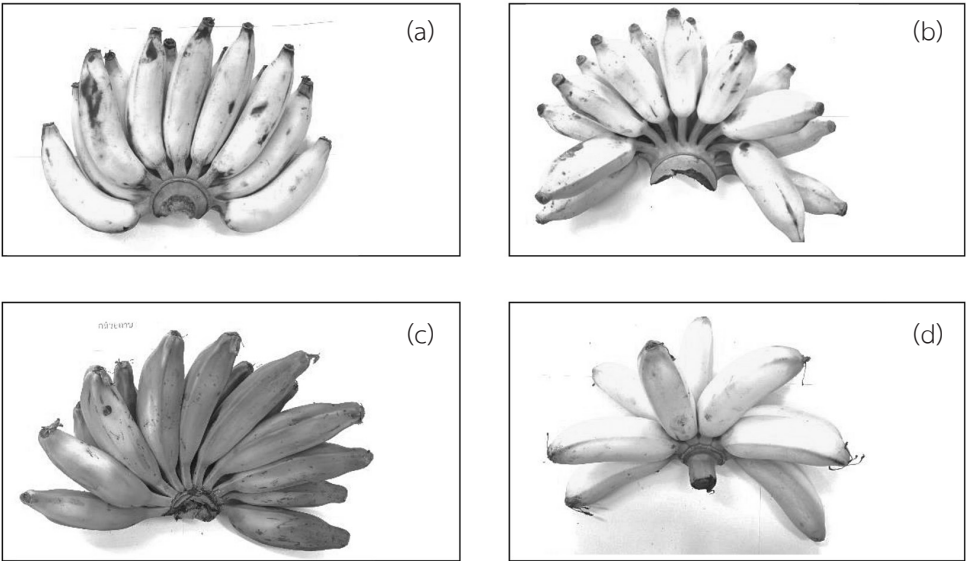


Figure 1(a)..... (b)..... (c)..... (d).....

Table 1 table name

Time (minuts)	Pressure (mbar)				Avg. Pressure (mbar)
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048

Note: (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Conclusions (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....
.....

Acknowledgement (TH SarabunPSK 14pt. bold) (optional)

(TH SarabunPSK 14pt. normal).....
.....

References (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt.).....
.....

จริยธรรมในการตีพิมพ์ Publication Ethics

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีมาตรฐานทางจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ
ดังนี้

➤ จริยธรรมของผู้แต่งบทความ

1. บทความที่ส่งต้องเป็นบทความที่ไม่เคยมีการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน และต้องไม่คัดลอกผลงาน
ผู้อื่นโดยขาดการอ้างอิงที่ถูกต้อง ยกเว้นบทความที่แปลจากภาษาต่างประเทศที่ผู้แต่งบทความได้รับการยินยอม
และมีหลักฐานแสดงแก่วารสาร
2. ชื่อบทความ ข้อความ รูปภาพ ตารางประกอบ และอื่น ๆ ที่ปรากฏในบทความเป็นความคิดเห็นของผู้แต่ง
ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่ง กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบร่วมใด ๆ ทั้งสิ้น
3. บทความต้องรายงานผลการทดลอง รวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ตามข้อเท็จจริง
4. หากมีการทดลองเกี่ยวกับมนุษย์หรือสัตว์ ผู้แต่งต้องปฏิบัติตามหลักจริยธรรมในการวิจัยและข้อกำหนด
ที่เกี่ยวข้อง
5. บทความต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ของวารสารอย่างเคร่งครัด ตาม "คำแนะนำสำหรับผู้แต่ง" ทั้งในรูปแบบ
การจัดบทความ การเขียนอ้างอิง และควรระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนการวิจัย (ถ้ามี)
6. เมื่อผู้แต่งได้รับผลการประเมินบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิ ควรเคารพความคิดเห็นทางวิชาการและแก้ไข
ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ แล้วส่งกลับมายังกองบรรณาธิการตามระยะเวลาที่กำหนด
7. ชื่อผู้แต่งที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในผลงานวิชาการนี้จริง

➤ จริยธรรมของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการมีหน้าที่ดำเนินงานวารสารให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวารสาร
2. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร
3. บรรณาธิการมีหน้าที่กลั่นกรองตรวจสอบคุณภาพและพิจารณาความถูกต้องของบทความร่วมกับ
กองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์
4. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่งผู้ประเมินบทความ และบุคคลอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง
5. บรรณาธิการต้องสนับสนุนให้มีกระบวนการพิจารณาการประเมินบทความจากผู้ประเมินที่มีความชำนาญ
ต่อเนื้อหาของบทความ รวมถึงระบบการปกปิดความลับของการพิจารณาการประเมิน และระบบการป้องกันข้อมูล
ส่วนตัวของผู้แต่งและผู้ประเมินบทความ (Double blinded)
6. บรรณาธิการมีหน้าที่รักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพอยู่เสมอ

➤ จริยธรรมของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักถึงความเชี่ยวชาญตามศาสตร์ของตนเองในการรับประเมินบทความ และพิจารณาบทความตามหลักวิชาการและจริยธรรมสากล โดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับ และไม่มีส่วนได้เสียหรือผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้แต่ง
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตรวจสอบความซ้ำซ้อนของบทความกับงานตีพิมพ์อื่น ๆ
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่เปิดเผยข้อมูลทุกส่วนของบทความที่ทำการประเมินให้แก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในระหว่างกระบวนการประเมินบทความ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่นำข้อมูลในบทความที่ตนประเมินไปเป็นผลงานของตนเองก่อนบทความนั้นได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่
5. ผู้ทรงคุณวุฒิควรตรงต่อเวลาในการส่งผลการประเมินบทความ และหากตรวจพบเนื้อหาในบทความที่มีความซ้ำซ้อนกับผลงานอื่น ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้กับบรรณาธิการทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ

