

วารสาร มรภ.กพ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Techonology

SCOPE :

Pure/Applied/Educational Sciences

Physics, Chemistry, Biology,
Mathematics, Computer Science,
Food Science and Technology,
Information Technology,
Environmental Science,
Public Health

Published by

Faculty of Science and Technology
Kamphaeng Phet Rajabhat University

<https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/smt>



ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2565

วารสาร มรภ.ภพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

©Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

วารสาร มรภ.ภพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้ถูกจัดทำขึ้นให้เป็นสื่อกลางในการรวบรวมและเผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานทางวิชาการ สำหรับนักวิชาการ นักวิจัย บุคลากรทางการศึกษา นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป โดยไม่หวังผลกำไรในการดำเนินการต่างๆ เพื่อใช้ในการเพิ่มพูนองค์ความรู้และใช้เป็นผลงานทางวิชาการสำหรับผู้สนใจในด้านวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

เจ้าของ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร		
เว็บไซต์	https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/smt		
หัวหน้าบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
รองหัวหน้าบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.นิรุดี พิพรรณจินดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิไลลักษณ์ สอนมะลิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัตรี โพธิ์ระวัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	อาจารย์กิริศักดิ์ พะยะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	อาจารย์ณัฐพงศ์ ดิษฐเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ฝ่ายจัดการ	นายประทีป เพ็ญแจ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	นายกฤษณะ จันทร	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	

ขอบเขต เป็นวารสารที่รับบทความวิจัยและบทความวิชาการในด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์/ประยุกต์/การศึกษา ในสาขา วิชา ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ สิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีการอาหาร สาธารณสุขศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ภาษาที่พิมพ์ ภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ

รูปแบบการประเมินบทความ วารสารนี้มีรูปแบบการประเมินบทความแบบ Double Blinded และผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความมาจากหน่วยงานที่ไม่ใช่หน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์และผู้ร่วมประพันธ์ จำนวน 3 ท่าน จากหน่วยงานที่ต่างกัน และบทความจะต้องได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์จากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 ท่าน

กำหนดการออกวารสาร 2 ฉบับ/ปี ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

จำนวนบทความ/ฉบับ 8 - 10 บทความ/ฉบับ

ผู้สนับสนุน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, MOU เครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ 4 สถาบัน, บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) จังหวัดกำแพงเพชร

กองบรรณาธิการ	Professor Dr. Boyko	Gyurov	Georgia Gwinnett College USA
	ศาสตราจารย์ ดร.ทศวรรษ	สีตะวัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
	ศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์	เพชรโรจน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	Associate Prof. Dr. Bounphanh	Tonpheng	National University of Laos
	รองศาสตราจารย์ ดร.สายัญ	ปันมา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	มาสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิรต์น	มูลศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรวจี	ยะสะกะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
	รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์	พิญาพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุการ	ดาจันทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	รองศาสตราจารย์อุมาพร	ฉัตรวิโรจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์	กบ้งเกิด	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย	ชูสำโรง	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์	เขมาชีวกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกลักษณ์	สุนนพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล- ล้านนา ตาก
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุจรี	สิงห์พันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์	สุวรรณราช	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินันท์	ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจริย์	พิมพ์พิมุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร	พงศ์ธพฤกษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา	วทานีเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ	เสื่อนุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมินทร์	ตันอุตม์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หมัมิษา	ตันติสันติสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรจงศักดิ์	พักสมบุรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แดนชัย	เครื่องเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร	วงศา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร	ฤทธิธรรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	Dr. Phoui	Souksomvang	National University of Laos
	Dr. Phengxay	Deevanhxay	National University of Laos
	Dr. Somsack	Inthasone	National University of Laos
	Dr. Somphouthone	Phimmachak	National University of Laos
	อาจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี	แสนยาเจริญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทบรรณาธิการ

วารสาร มรภ.ภพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้ถูกจัดทำขึ้นให้เป็นสื่อกลางในการรวบรวม และเผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานทางวิชาการ สำหรับนักวิชาการ นักวิจัย บุคลากรทางการศึกษา นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป โดยไม่หวังผลกำไรในการดำเนินการต่างๆ เพื่อใช้ในการเพิ่มพูนองค์ความรู้และใช้เป็นผลงานทางวิชาการสำหรับผู้สนใจในด้านวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

วารสารนี้เผยแพร่เป็นฉบับแรก (ปีที่ 1 ฉบับที่ 1) ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งเป็นการนำเสนอบทความวิจัยทั้งหมด 9 เรื่อง มีเนื้อหาครอบคลุมในสาขาฟิสิกส์ เคมี เทคโนโลยีการอาหาร คณิตศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ และการศึกษา ตามลำดับ โดยทุกบทความมีผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาเป็นผู้ประเมิน จำนวน 3 ท่านต่อบทความ ซึ่งมาจากหน่วยงานที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการทำผลงานวิชาการ หรือนำไปประยุกต์ในการบริการวิชาการได้

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้อ่านที่ให้ความสนใจติดตามวารสาร ทั้งนี้ ทางวารสารจะพัฒนาในส่วนเนื้อหาของอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความถูกต้อง ทันสมัย และเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน พบกันใหม่ในฉบับหน้า

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา
หัวหน้าบรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	i
บทบรรณาธิการ	iii
■ บทความวิจัย ■	
ข้อเสนอแนะบางประการสมมติเชิงควมค้นของโศคนในไฟเบอร์ออฟติกที่พิสุจน์ โดยสมการคลื่น	1
▶ สรายุทธ์ พานเทียน	
สมมติเชิงกายภาพของอิฐปูพื้นที่มีส่วนผสมของผงหินอ่อนและเกล็ดหินอ่อน	9
▶ นงลักษณ์ จันทรพิชัย	
วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาเอกลักษณ์ของโกโก้ในจังหวัดเชียงราย	19
▶ วลีพรรณ รกิตกุล	
การศึกษาผลของการเผาที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของควมคั้ธรรมชาติจาก ตำบลนาพระงาม จังหวัดลพบุรี	35
▶ กันตพัฒน์ กิตติอัฐวาลย์	
ผลของพลังงานอินฟราเรดและเวลาที่ใช้ในการอบต่อคุณภาพค้ำกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ของด้วมคคาเคเมียบ	45
▶ แดนชัย เครื่องเงิน	
ผลของการให้ความร้อนที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมค้ำ	63
▶ บุญยกฤต รัตนพันธุ์	
การประมาณค่าสันประสิทธิ์การแปรผันเมื่อมีข้อมูลสูญหาย	73
▶ ชูเกียรติ โพนแก้ว	
ความชุกและปัจจัยที่สัมพันธ์กับภาวะส้นลงพุงของประชาชนในตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร	85
▶ วณิชชา คันธสร	
ปัญหาและการแก้ไขการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์	97
▶ กาญจน์ คุ่มทรัพย์	

ข้อเสนอแนะบางประการสมบัติเชิงควอนตัมของโฟตอนในไฟเบอร์ออฟติก ที่พิสูจน์โดยสมการคลื่น

Some Conjecture about Quantum Properties of Photon in optical fiber Proved by Wave Equations

สรายุทธ์ พานเทียน*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

Sarayut Pantian*

Science Program, Faculty of Science and Technology,

Thepsatri Rajabhat University, Lopburi 15000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมของโฟตอนในวัสดุไฟเบอร์ออฟติกแบบไม่เชิงเส้น โดยการเริ่มต้นของสมการแมกซ์เวลล์คำนวณจนได้สมการคลื่นและหาผลเฉลย จากนั้นใช้การแปลงฟูเรียร์และนำไปเปรียบเทียบกับสมการไคลน์-กอร์ดอนภายใต้สมมติฐานว่าโฟตอนมีเนื้อเดียวกันในทุกทิศทางและอยู่ในภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลาพบว่ามีความสอดคล้องกัน รวมถึงใช้สมการมวลพลังงานตามทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษมาจัดรูปสมการจนได้ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความถี่และเลขคลื่น ผลปรากฏว่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในไฟเบอร์ออฟติกมีพฤติกรรมคล้ายอนุภาคที่บรรจุคลื่นในตัวพร้อมทั้งมีความเป็นระเบียบสูงหรือกล่าวได้ว่ามีเฟสเริ่มต้นเท่ากันในทุก ๆ อนุภาคกระทั่งสามารถใช้หลักการทับซ้อนของคลื่นกับแอมพลิจูดได้ค่าสูงสุดพอดี ทั้งนี้ ยังพบอีกว่าอนุภาคดังกล่าวเมื่อพิจารณาเชิงควอนตัมและลดรูปให้เลขควอนตัมเป็นศูนย์ยังให้ผลสอดคล้องกับแบบจำลองมาตรฐานของฟิสิกส์อนุภาค

คำสำคัญ : โฟตอน, สมการคลื่น, การแปลงฟูเรียร์, ไฟเบอร์ออฟติก, สมการไคลน์-กอร์ดอน

* Corresponding author : sarayut.p@lawasri.tru.ac.th

Received : 15/03/2022

Revised : 31/05/2022

Accepted : 16/06/2022

Abstract

This work examines the behavior of photons in optical fiber materials that are not affected by nonlinear polarization. Maxwell's equation, the wave equation was obtained and the solution was obtained. Then considered the Fourier transformation then compare its solution with the Klein-Gordon equation under the assumption that the photons are homogeneous in all directions and isotropy in a time-independent form. Relation between mass-frequency and wave number was obtained when using the mass-energy equation according to the special theory of relativity to form the equation. As a result, the electric field generated in the optical fiber behaves like a self-contained particle and is highly systematic that the wave-amplitude superposition principle can be applied. They also found that the particles, when considered quantum regime then reduced the quantum numbers as zero, were consistent with the Standard Model of particle physics.

Keywords : Photon, Wave equation, Fourier transformation, Optical fiber, Klein-Gordon equation

ที่มาและความสำคัญ

โฟตอน (photon) คือ อนุภาคภาคมูลฐานชนิดหนึ่งที่มีสมบัติภาวะคู่คลื่นอนุภาค (wave-particle duality) ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสรรพสิ่งในจักรวาล นอกเหนือจากการให้ประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตแล้ว [1] โฟตอนยังเป็นตัวการหลักในการเกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ตามระบุในแบบจำลองมาตรฐานของฟิสิกส์อนุภาค (standard model of particle physics) อาทิเช่น อันตรกิริยาไฟฟ้าเกิดจากการแลกเปลี่ยนโฟตอน ทั้งนี้ ปัจจุบันการอธิบายกฎทางกายภาพของโฟตอนนั้นอาศัยทฤษฎีสำคัญอย่างทฤษฎีสันามควอนตัม (quantum field theory) ที่ระบุให้โฟตอนมีสมมาตรในทุก ๆ ตำแหน่งในกาลอวกาศ (spacetime) และสมบัติทางกายภาพของโฟตอนอย่าง มวล ประจุ หรือสปินถูกกำหนดโดยสมมาตรเกจ (gauge symmetry) ซึ่งระบุว่าโฟตอนนั้นไม่มีมวล ไม่แสดงอำนาจทางไฟฟ้าและเป็นอนุภาคที่เสถียร นอกจากนั้นเลขควอนตัมทุกชนิดของโฟตอนมีค่าเป็นศูนย์ [2] และมีพฤติกรรมตามแบบสถิติของโบส-ไอน์สไตน์ (Bose-Einstein statistic) ที่ไม่เป็นไปตามหลักการกีดกันของเพาลี (Pauli exclusion principle) [3]

จากความหมายและสมบัติเชิงควอนตัมของโฟตอนดังกล่าวมาแล้วนั้นกระบวนการศึกษาต้องอาศัยความรู้ด้านกลศาสตร์ควอนตัมผนวกกับทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ สัมพัทธภาพทั่วไป และกลศาสตร์สถิติเป็นหลัก ซึ่งจำเป็นต้องใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงในการคำนวณ สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอรูปแบบการบรรยายสมบัติเชิงควอนตัมของโฟตอนโดยใช้สมการคลื่นเป็นหลักภายใต้สมมติฐานว่าโฟตอนมีเนื้อเดียวกันในทุกทิศทางและอยู่ในภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลาในกรณีที่ไม่มีสนใจสนามแม่เหล็กและไม่เกิดกระแสไฟฟ้าระหว่างกระบวนการภายในไฟเบอร์ออฟติกเพื่อถ่ายทอดความเข้าใจและประโยชน์ในการประยุกต์ใช้การอธิบายพฤติกรรมของโฟตอนในระบบของไฟเบอร์ออฟติก

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น ส่วนดังต่อไปนี้

1. ตั้งสมมติฐาน โดยสมมติฐานในงานวิจัยนี้ ได้แก่ โฟตอนมีลักษณะเป็นคลื่นอนุภาคที่รวมตัวกันอย่างเป็นระเบียบในตัวกลางแบบเชิงเส้นที่ไม่มีประจุและกระแสไฟฟ้าภายใน

2. ออกแบบการคำนวณ โดยการคำนวณมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 พิจารณาสมการแมกซ์เวลล์ ดังสมการ

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

เมื่อ $\vec{E}$ และ $\vec{H}$ คือ สนามเวกเตอร์ของไฟฟ้าและแม่เหล็ก ตามลำดับ $\vec{D}$ และ $\vec{B}$ คือ ความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้าและแม่เหล็ก ตามลำดับ ทั้งนี้ ภายในตัวกลางไฟเบอร์ออฟติกมีการเกิดโพลาไรเซชันของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (5)$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M} \quad (6)$$

เมื่อ ϵ_0 และ μ_0 คือ สภาพยอมของสุญญากาศ (vacuum permittivity) และสภาพซึมได้ของสุญญากาศ (vacuum permeability) ในขณะที่ $\vec{P}$ และ $\vec{M}$ คือ โพลาไรเซชันของไฟฟ้าและแม่เหล็ก ตามลำดับ กำหนดให้ภายในไฟเบอร์ออฟติกไม่เกิดโพลาไรเซชันของแม่เหล็ก [4]

2.2 นำสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (4) มาจัดรูปสมการจนได้สมการคลื่นโดยการใช้สมบัติของเวกเตอร์ แทนค่าสมการที่ (5) และ สมการที่ (6) ลงไปพร้อมทั้งเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในไฟเบอร์ออฟติก

2.3 กระจายพจน์โพลาไรเซชันของไฟฟ้า ดังสมการ

$$\vec{P}(\vec{r}, t) = \vec{P}_L(\vec{r}, t) + \vec{P}_{NL}(\vec{r}, t) \quad (7)$$

เมื่อ $\vec{P}_L(\vec{r}, t)$ และ $\vec{P}_{NL}(\vec{r}, t)$ คือ พจน์โพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นของสนามไฟฟ้า ตามลำดับ งานวิจัยนี้ถือว่าผลจากโพลาไรเซชันแบบไม่เชิงเส้นมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้อันเนื่องมาจากสมบัติของวัสดุที่ใช้ผลิตไฟเบอร์ออฟติก ทั้งนี้ พจน์โพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นที่เริ่มต้น ณ เวลา t ไปจนถึงเวลา t' เขียนได้ดังสมการ

$$\vec{P}_L(\vec{r}, t) = \epsilon_0 X^{(1)}(t_0) \vec{E}(\vec{r}, t) \quad (8)$$

เมื่อ เวลาในการพิจารณาเป็น $t_0 = t - t'$ และ $X^{(1)}$ คือ สัมประสิทธิ์การโพลาไรเซชันอันดับที่หนึ่งซึ่งเป็น สัมประสิทธิ์แสดงความเป็นเชิงเส้นของสนามไฟฟ้า

2.4 นำสมการคลื่นที่ได้มาพิจารณาความถี่เชิงมุมด้วยการแปลงฟูเรียร์ ดังสมการ

$$\vec{E}(\vec{r}, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \vec{E}(\vec{r}, t) \exp(i\omega t) dt \quad (9)$$

จากนั้นแก้สมการหาผลเฉลยทั่วไปของสนามไฟฟ้าที่ขึ้นกับเลขคลื่นและตำแหน่ง

2.5 นำขนาดผลเฉลยที่ได้ผนวกกับสมมติฐานว่าโฟตอนมีเนื้อเดียวกันในทุกทิศทางและอยู่ในภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลาจนทำให้เวกเตอร์ใด ๆ สามารถมองได้ในรูปของปริมาณสเกลาร์มาเปรียบเทียบกับสมการไคลน์-กอร์ดอน (Klein-Gordon equation) ซึ่งเป็นสมการที่อธิบายพฤติกรรมของอนุภาคตามแนวทางของทฤษฎีสถานควอนตัม ดังสมการ

$$\left(-\frac{\partial^2}{\partial t^2} + \nabla^2 - \frac{m^2 c^2}{\hbar^2}\right)\phi = 0 \quad (10)$$

เมื่อ $\phi(x)$ คือ สนามสเกลาร์ ซึ่งเมื่อหาค่าเฉลี่ยพลังงานและโมเมนตัมด้วยวิธีการทางควอนตัม จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\langle E \rangle = \left\langle \phi \left| i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \right| \phi \right\rangle = \hbar \quad (11)$$

$$\langle p \rangle = \langle \phi | -i\hbar \nabla | \phi \rangle = \hbar k \quad (12)$$

จากนั้น นำความสัมพันธ์นี้มาใช้ร่วมกับสมการการแปลงมวล-พลังงานตามแนวคิดของทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษของไอน์สไตน์, $E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$, จัดรูปสมการจนได้ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความถี่และเลขคลื่น

2.6 กำหนดผลเฉลยทั่วไปที่ได้จากขั้นตอนที่ 2.4 ใหม่ด้วยความสัมพันธ์จากขั้นตอนที่ 2.5 จากนั้นเพิ่มแนวคิดว่าสนามไฟฟ้ารวมนั้นเป็นผลจากการรวมกันของสนามไฟฟ้าย่อยแบบการวางทับซ้อน (superposition) ที่มีความเป็นระเบียบสูง

2.7 แปลความว่าสนามไฟฟ้าที่ได้นั้นเป็นอนุภาคควอนตัมชนิดหนึ่งจากนั้นนำสนามไฟฟ้าดังกล่าวมาแทนค่าลงในสมการไคลน์-กอร์ดอนในสมการที่ (10) และพิจารณาด้วยระบบพิกัดทรงกลมในสามมิติ (r, θ, ϕ) และหาผลเฉลยด้วยการแยกตัวแปร (separation of variable) เพื่อพิจารณาสนามไฟฟ้าดังกล่าวว่าแสดงสมบัติคล้ายกับอนุภาคควอนตัมหรือไม่

3. คำนวณตามแนวทางที่ออกแบบและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. จากการพิจารณาสมการแมกซ์เวลล์ด้วยข้อกำหนดต่าง ๆ ตามหัวข้อวิธีดำเนินการวิจัย ข้อ 2.1 และ 2.2 จะได้สมการ

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2} = 0 \quad (13)$$

จากสมการที่ (13) จะได้สมการคลื่นที่อธิบายสนามไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดโพลาไรเซชันตามเวลา

2. เมื่อนำสมการคลื่นดังกล่าวมาพิจารณาโพลาไรเซชันเชิงเส้นอันดับที่ 1 ตามสมการที่ (8) จะได้

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{\epsilon_0}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (14)$$

จากสมการที่ (14) จะพบว่ายังอยู่ในรูปของสมการคลื่นที่ปราศจากพจน์ของโพลาไรเซชัน

3. นำสนามไฟฟ้ามาแปลงฟูเรียร์ตามสมการที่ (9) และแก้สมการหาผลเฉลยทั่วไปของสนามไฟฟ้าที่ขึ้นกับเลขคลื่นและตำแหน่ง จะได้ขนาดของสนามไฟฟ้าดังสมการ

$$E = |\vec{E}(\vec{r}, t)| = Ae^{i(kr - \omega t)} \quad (15)$$

ผลเฉลยที่ได้มีความคล้ายคลึงกับฟังก์ชันคลื่นที่ได้จากพิจารณาอนุภาคอิสระในบ่อศักย์แบบสูงอนันต์ ผนวกกับสมมติฐานว่าโฟตอนมีเนื้อเดียวกันในทุกทิศทางและอยู่ในภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลาจนทำให้เวกเตอร์ใด ๆ สามารถมองได้ในรูปของปริมาณสเกลาร์ จึงเป็นเหตุให้สามารถพิจารณาเทียบเคียงว่าสนามไฟฟ้านั้นมีพฤติกรรมแบบอนุภาคอิสระ

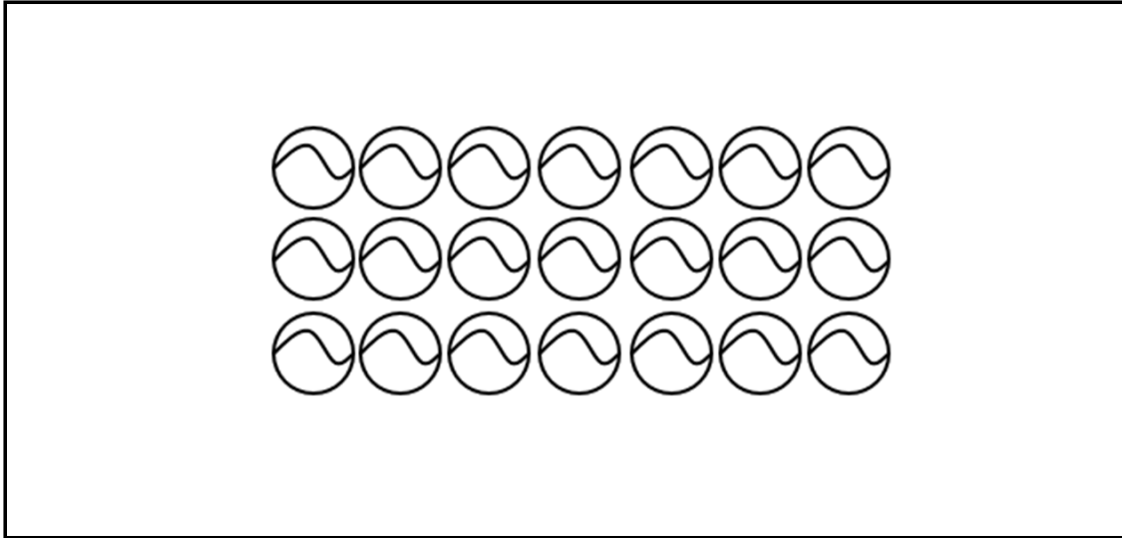
4. เมื่อนำผลเฉลยที่ได้มาใช้กับสมการไคลน์-กอร์ดอน และสมการมวล-พลังงานตามทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{m^2 c^4}{h^2} = \omega^2 - k^2 c^2 \quad (16)$$

เมื่อนำความสัมพันธ์ดังสมการที่ (16) แทนลงในการสมการที่ (15) จะได้ผลเฉลยดังนี้

$$E_n = \sum a_n e^{i(k_n r - \epsilon_n t)} \quad (17)$$

สมการที่ (17) แปลความว่าสนามไฟฟ้าแสดงพฤติกรรมเป็นอนุภาคเชิงควอนตัมที่บรรจุสมบัติทางฟิสิกส์ทั้งโมเมนตัมและพลังงานที่สามารถตรวจวัดได้ตามวิธีการทางควอนตัม ทั้งนี้ ตัวห้อย n แสดงถึงลำดับอนุภาคซึ่งด้วยการแปลความดังกล่าวสามารถขยายความเพิ่มแนวคิดว่าสนามไฟฟ้านั้นเป็นผลจากการรวมกันของสนามไฟฟ้าย่อย



ภาพที่ 1: แสดงแบบจำลองลักษณะการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของอนุภาคโฟตอนที่มีคลื่นวางตัวทับซ้อนแอมพลิจูดของคลื่นพอดีจึงส่งผลให้สนามไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของอนุภาคโฟตอนย่อยที่มีเฟสเริ่มต้นเท่ากัน

แบบการวางทับซ้อนที่มีความเป็นระเบียบสูงกล่าวคือเป็นเนื้อเดียวกันในทุกทิศทางและมีเฟสเท่ากันในทุก ๆ อนุภาค ซึ่งการแปลความจะเป็นไปตามภาพที่ 1 จะพบว่าอนุภาคโฟตอนหรือแสงที่เคลื่อนที่ในไฟเบอร์ออฟติก แสดงความเป็นอนุภาคที่มีคลื่นในตัวโดยอนุภาคคลื่นดังกล่าวมีการจัดเรียงตัว ณ เฟสตรงกันอย่างเป็นระเบียบทำให้แอมพลิจูดของอนุภาคคลื่นแต่ละตัวเสริมกันแบบการวางทับซ้อนพอดีตามสมการที่ (17)

5. พิจารณาด้วยระบบพิกัดทรงกลมในสามมิติ (r, θ, ϕ) และหาผลเฉลยด้วยการแยกตัวแปรเพื่อพิจารณาอนุภาคคลื่นดังกล่าวว่าแสดงพฤติกรรมเชิงควอนตัมหรือไม่ พบว่า อนุภาคไฟฟ้ามีผลเฉลยดังสมการ

$$E(r, \theta, \phi) = \sum_{l,m} (-1)^m \sqrt{\frac{2l+1(l-m)!}{4\pi(l+m)!}} (A_{lm} r^l + B_{lm} r^{-l-1}) P_l^{|m|}(\cos \theta) (A'_{lm} \cos m\phi + B'_{lm} \sin m\phi) \quad (18)$$

จากสมการที่ (18) มีความคล้ายคลึงกับผลเฉลยของอนุภาคในบ่อศักย์แบบสูงอนันต์ในระบบพิกัดแบบทรงกลม และเมื่อกำหนดเลขควอนตัมต่าง ๆ เป็นศูนย์ ตามเงื่อนไขที่แบบจำลองมาตรฐานของฟิสิกส์อนุภาคกำหนดไว้ [2] สมการที่ (18) สามารถลดรูปให้ความหมายเดียวกันได้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมของโฟตอนที่เคลื่อนที่ในไฟเบอร์ออฟติกที่ปราศจากผลของการโพลาไรเซชันแบบไม่เชิงเส้น พบว่า โฟตอนแสดงสมบัติความเป็นอนุภาคที่บรรจุคลื่นขณะเคลื่อนที่อาจเรียกได้ว่าอนุภาคคลื่นที่เข้ากันได้กับสมการไคลน์-กอร์ดอนที่อธิบายพฤติกรรมของอนุภาคสัมพัทธภาพ ผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณผนวกกับแนวคิดแบบจำลองลักษณะการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของอนุภาคโฟตอนที่มีคลื่นวางตัวทับซ้อนแอมพลิจูดของคลื่นที่มี

เฟสตรงกันยังสอดคล้องกับแนวคิดตามแบบจำลองมาตรฐานของฟิสิกส์อนุภาค ทั้งนี้ ยังพบอีกว่าเมื่อนำผลเฉลยที่ได้มาพิจารณาตามแนวคิดแบบควอนตัมด้วยระบบพิกัดทรงกลมในสามมิติในกรณีกำหนดเลขควอนตัมเท่ากับศูนย์ก็ยิ่งให้ผลสอดคล้องกับแบบจำลองมาตรฐานของฟิสิกส์อนุภาคอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนสถานที่และเวลารวมถึงผลักดันให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Blankenship, R. E. 2002. Molecular mechanisms of photosynthesis. 2nd Edition. Oxford, UK: Blackwell Science.
- [2] Amsler, C.; et al. 2008. Review of Particle Physics. Physics Letters B. 667(1-5): 1-6.
- [3] Halliday, D. Resnick, R. and Walker, J. 2005. Fundamental of Physics. 7th Edition. John Wiley and Sons, Inc.
- [4] Tanaram, C. Phatharacorn, P. Chiangga, S. and Yupapin, P.P. 2015. Analytical and simulation results of micro-ring resonator system using two eyes imaging model. International Journal of Scientific World. 3(2): 227-238.
- [5] Fabiha, R. Lundquis, J. Majumder, S. Topsaka, E. Barman, A and Bandyopadhyay, S. 2022. Spin Wave Electromagnetic Nano-Antenna Enabled by Tripartite Phonon-Magnon-Photon Coupling. Adv. Sci. 2104644 : 1-10.

สมบัติเชิงกายภาพของอิฐปูพื้นที่มีส่วนผสมของผงหินอ่อนและเกล็ดหินอ่อน

Physical Properties of Paving Bricks Mixed with Marble Powder and Marble Flakes

สุทธินันท์ สมิราย, นงลักษณ์ จันทร์พิชัย*,

ณัฐพงศ์ ดิษฐเจริญ, ไพโรจน์ เอกอุหาร, วิจิตร ฤทธิธรรม

โปรแกรมวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

Suthinan Sameeray, Nongluk Chanpichai*,

Nutthapong Discharoen, Phairot Ekauran, Wijit Rittidhum

Physics Program, Faculty of Science and Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์ผงหินอ่อนและเกล็ดหินอ่อนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ในอำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร โดยการนำไปเป็นส่วนผสมเพื่อผลิตอิฐปูพื้นรูปคดกริช ขึ้นรูปขนาด $11 \times 22 \times 6$ เซนติเมตร เมื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของอิฐปูพื้นที่ผลิตได้ พบว่าอิฐปูพื้นที่มีอัตราส่วนผสมโดยมวล ระหว่างปูนซีเมนต์ : ทราย : ผงหินอ่อน : เกล็ดหินอ่อน เท่ากับ $0.5 : 0.4 : 0 : 0.1$ กิโลกรัม เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าทดสอบที่ดีที่สุด มีความหนาแน่น 1.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 6.85 และค่ารับกำลังอัด 34.06 เมกะปาสคาล เนื่องจากมีปูนซีเมนต์เป็นตัวยึดเกาะระหว่างส่วนผสมและเพิ่มความแข็งแรงของอิฐปูพื้น เกล็ดหินอ่อนช่วยเพิ่มช่องว่างภายในอิฐทำให้มีการระบายน้ำได้ดีลดการดูดซึมน้ำ สามารถใช้เป็นอิฐปูพื้นทางเดินเท้า ประดับตกแต่งได้

คำสำคัญ : อิฐปูพื้น, ผงหินอ่อน, เกล็ดหินอ่อน

* Corresponding author : nongluk_j@kpru.ac.th

Received : 10/03/2022

Revised : 06/06/2022

Accepted : 27/06/2022

Abstract

The purpose of this research is to make use of waste marble powder and shards from the marble business in Prankratai District, Kamphaeng Phet Province. by fabricating a paving block in the Uni Pave 11 x 22 x 6 cm shape. Investigate the physical qualities of the brick paving that is possible. It was discovered that the paving bricks with the highest mass ratio of mixture were the best test values are obtained when the ratio of cement to sand, marble powder, and marble flake is 0.5: 0.4: 0: 0.1 kg. It is 1.90 g/cm³ dense, 6.85% water absorption rate, and has 34.06 MPa compressive strength. The use of cement as an adhesive agent between the mixture and the paving bricks increases the hardness of the paving bricks. Marble flakes increase the gaps within the brick, enhancing drainage and decreasing water absorption. The use of cement as an adhesive agent between the mixture and the paving bricks increases the hardness of the paving bricks. Marble flakes expand the gaps within the brick, enhancing drainage and decreasing water absorption. it is suitable for usage as a brick-paved pathway or decorative purposes.

Keywords : paving block, marble powder, marble flakes

ที่มาและความสำคัญ

หินอ่อนเกิดจากหินปูนถูกแปรสภาพและมีการตกผลึกใหม่ ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของหินอ่อนก็คล้ายๆ กับของหินปูนหรือหินโดโลไมต์ แต่ที่แตกต่างกัน คือมีการตกผลึกใหม่ของเม็ดแร่ โดยหินอ่อนที่ประกอบด้วยเม็ดผลึกแร่ละเอียดย่อมมีความคงทนกว่าหินอ่อนที่ประกอบด้วยเม็ดผลึกแร่หยาบ สามารถขัดเงาและนำมาแกะสลักได้ดีกว่า แหล่งหินอ่อนที่สำคัญในจังหวัดกำแพงเพชร อยู่ที่อำเภอพรานกระต่าย บริเวณทิวเขาสว่างอารมณ์ ในทางธรณีวิทยา หินอ่อนที่เขาสว่างอารมณ์ เป็นหินอ่อนในแง่การค้า โดยทั่วไปมีชั้นหนา ลักษณะการเรียงตัวลดหลั่นของขนาดเม็ดตะกอนในบริเวณช่วงต่อกับหินทัพพ์ แหล่งหินอ่อนที่เขาสว่างเป็นแหล่งที่พบหินอ่อนมาก และมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์หินอ่อน ทำให้พบซากเหลือทิ้งจำนวนมากมีลักษณะเป็นผงหรือเรียกว่าผงหินอ่อน เกิดจากการตัดหินอ่อนเป็นแผ่นและขัดหินให้เรียบในแต่ละเดือนจะมีผงหินอ่อนเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ ผงหินอ่อนสามารถฟุ้งกระจายตัวไปในอากาศได้ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมทั่วบริเวณรอบข้างและไม่มีประโยชน์ ซึ่งผงหินอ่อนเป็นเศษจากอุตสาหกรรมการผลิตหินอ่อนมีทั้งเนื้อละเอียดและเนื้อหยาบมีคุณสมบัตินำความร้อนต่ำ[1] โดยผงหินอ่อนที่ใช้จะมีลักษณะเป็นสีขาว มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.75 ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.48 และมีร้อยละที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับ 7.00 (น้อยกว่า ร้อยละ 34) ซึ่งสามารถใช้เป็นวัสดุพอลิโพรพิลีนได้[2] ด้วยสมบัติข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้นำเกร็ดและผงหินอ่อนมาใช้ประโยชน์ในการเป็นส่วนผสมของอิฐปูพื้น เพื่อลดต้นทุนในการผลิตอิฐปูพื้น ลดการใช้ปูนซีเมนต์ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผงหินอ่อนในจังหวัดกำแพงเพชร จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าผงหินอ่อนสามารถนำมาเป็นส่วนผสมอิฐปูพื้นได้[3] โดยรูปแบบของอิฐปูพื้นที่ผลิตขึ้นในโรงงานวิจัยครั้งนี้ เป็นแบบรูปคดกริชหนา 6 เซนติเมตร ผิวเรียบ เหมาะสำหรับปูพื้นทางเดินเท้า[4]



ภาพที่ 1: แสดงการร่อนผงหินอ่อน



ภาพที่ 2: แสดงการตากไล่ความชื้นของเกล็ดหินอ่อน

ตารางที่ 1: แสดงอัตราส่วนผสม

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (ร้อยละ)			
	ปูน	ทราย	ผงหินอ่อน	เกล็ดหินอ่อน
1	0.3	0.7	0	0
2	0.4	0.5	0.1	0
3	0.3	0.5	0.2	0
4	0.5	0.4	0	0.1
5	0.5	0.3	0	0.2
6	0.4	0.4	0.1	0.1
7	0.3	0.3	0.2	0.2

ด้วยเหตุผลนี้โครงการวิจัยเรื่องนี้จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมในการใช้งานบริเวณภายนอกอาคารของอิฐปูพื้น และเพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ของเกร็ดและผงหินอ่อนที่เขาสว่างอารมณ์ อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร ที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผงหินอ่อน เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง สร้างผลิตภัณฑ์ที่มีเอกลักษณ์ของจังหวัดกำแพงเพชร

วิธีการดำเนินการวิจัย

การผลิตอิฐปูพื้น

1) นำผงหินอ่อนและเกล็ดหินอ่อนไปตากเพื่อไล่ความชื้นออกและร่อนเอาสิ่งปนเปื้อนออก ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 3: แสดงการนำส่วนผสมมารวมให้เข้ากัน

2) นำทราย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผงหินอ่อน และเกล็ดหินอ่อน มาชั่งในอัตราส่วนที่กำหนด ดังตารางที่ 1 แล้วนำไปผสมในภาชนะให้เข้ากัน

โดยส่วนผสมสูตรที่ 1 เป็นอัตราส่วนที่ได้มาจากโรงผลิตอิฐปูพื้นที่ผู้วิจัยใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับส่วนผสมอื่น ๆ ที่มีผงหินอ่อนและเกล็ดหินอ่อนเป็นส่วนผสมเพิ่มเติม

การขึ้นรูปอิฐปูพื้น

1) เตรียมแม่พิมพ์โดยการทาน้ำมันเบนซินให้ทั่ว เพื่อให้แกะอิฐจากแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น โดยเลือกใช้แม่พิมพ์รูปคดกริช มีขนาดยาว 22 เซนติเมตร กว้าง 11 เซนติเมตร หนา 6 เซนติเมตร เหมาะสำหรับปูทางเท้า ที่จอดรถ ทำถนนภายในสวน

2) นำ ทราย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผงหินอ่อน เกล็ดหินอ่อน มาคลุกเค้าให้เข้ากัน ทบยอยเติมน้ำโดยหมั่นสังเกตให้ส่วนผสมมีความเหนียว สามารถขึ้นรูปได้ ดังภาพที่ 3

3) นำส่วนผสมอัดใส่ในแม่พิมพ์ขนาด $11 \times 22 \times 6$ เซนติเมตร ที่เตรียมไว้ โดยอัดส่วนผสมเข้าแบบด้วยมือและไม้ให้แน่นแล้วปาดให้เรียบ ดังภาพที่ 4 โดยการวิจัยครั้งนี้ จัดทำชิ้นงานในอัตราส่วนผสมละ 10 ชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่อไป

4) นำชิ้นงานตัวอย่างไปตากแดดให้แห้งเพื่อให้สามารถนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ จากนั้นนำอิฐไปตากแดดจำนวน 24 ชั่วโมง เมื่อหมดแสงแดดเก็บเข้าอาคารที่มีอากาศถ่ายเท และนำชิ้นงานออกตากแดดในวันถัด ๆ ไปโดยสลับให้อิฐโดนแดดทุกด้าน

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1) ความหนาแน่นของอิฐ [5]

ความหนาแน่นของอิฐ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของอิฐต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอิฐ เมื่อมวลของอิฐ



ภาพที่ 4: (ก) แสดงลักษณะแม่พิมพ์



(ข) แสดงการใส่ส่วนผสมลงไปในแม่พิมพ์

หาได้โดยการชั่ง ซึ่งมีหน่วยเป็น กรัม (g) ส่วนปริมาตรของอิฐนั้นมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้ว่า

$$P = \frac{m}{V} \quad (1)$$

เมื่อ P คือ ความหนาแน่นของอิฐ (g/cm^3)

m คือ มวลของอิฐหาได้โดยการชั่ง (g)

V คือ ปริมาตรของอิฐ (cm^3)

2) การหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำของอิฐปูพื้น

การดูดซึมน้ำของอิฐสามารถบอกถึงความคงทนต่อความชื้นของอิฐ นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ [5] ดังสมการที่ (2)

$$(\%) \text{ การดูดซึมน้ำของอิฐ} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_1 คือ มวลของมวลอิฐเปียก (แช่น้ำ 24 ชั่วโมง)

W_2 คือ มวลของมวลอิฐแห้ง

นำตัวอย่างทดสอบไปชั่งมวลแห้ง แล้วหลังจากนั้นนำตัวอย่างทดสอบไปแช่ในภาชนะใส่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดสอบออกจากน้ำควรรนำผ้าซับก้อนตัวอย่างทดสอบ ก่อนนำไปชั่งเพื่อหาค่ามวลขณะเปียก ดังภาพที่ 5

3) การหาค่ากำลังอัด

นำตัวอย่างทดสอบมาวางบนเครื่องทดสอบแรงอัดไฮดรอลิก PT-1100 - 600 ลักษณะดังภาพที่ 6 เครื่องจะ



ภาพที่ 5: แสดงการแช่อิฐตัวอย่าง เพื่อหาค่าอัตรา
การดูดซึมน้ำ



ภาพที่ 6: ตัวอย่างทดสอบบนเครื่องทดสอบ
การรับแรงอัด

ตารางที่ 2: ผลการทดสอบความหนาแน่นของอิฐปูพื้น

สูตรที่	มวลเฉลี่ย(g)	ปริมาตรเฉลี่ย(cm3)	ความหนาแน่นเฉลี่ย(g/cm3)
1	2431.67	1480.50	1.64
2	2621.00	1480.50	1.77
3	2670.33	1480.50	1.80
4	2816.67	1480.50	1.90
5	2777.00	1480.50	1.88
6	2759.33	1480.50	1.86
7	2753.00	1480.50	1.86

ค่อยๆ เพิ่มแรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งเกิดการแตกร้าวดังภาพที่ 7 ทำการอ่านค่ากำลังอัดที่กระทำต่ออิฐปูพื้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบความหนาแน่นของอิฐปูพื้น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของอิฐปูพื้น โดยนำตัวอย่างไปชั่งมวลแล้วทำการวัดขนาดของตัวอย่างทดสอบ สูตรละจำนวน 10 ตัวอย่าง จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าปริมาตรรวมของวัตถุ ซึ่งปริมาตรของอิฐเป็นปริมาตรของบล็อกที่ใช้อัดขึ้นงาน จึงทำให้มีค่าปริมาตรเฉลี่ยเท่ากัน ได้ผลการทดสอบความหนาแน่นดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นส่วนผสมสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนผสมทั่วไปของโรงผลิตอิฐปูพื้นเพื่อขายทั่วไปตามท้องตลาด[4] เปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่น ๆ ที่เพิ่มผงหินอ่อนและเกร็ดหินอ่อนทดแทนอัตราส่วนระหว่างปูนและทราย พบว่า อัตราส่วนที่ 1 มีความหนาแน่นน้อยที่สุด มวลอิฐหลังตากแห้งหายไปเนื่องจากการระเหยของน้ำ และอัตราส่วนสูตรที่ 4 มีความหนาแน่นมากที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วนสูตรที่ 5 เนื่องจาก

ตารางที่ 3: ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของอิฐปูพื้น

สูตรที่	มวลแห้งเฉลี่ย (g)	มวลเปียกเฉลี่ย (g)	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
1	2431.67	2697.00	10.92
2	2621.00	2865.67	9.33
3	2670.33	2911.67	9.06
4	2816.67	3009.67	6.85
5	2777.00	2969.33	6.96
6	2759.33	3014.33	9.23
7	2753.00	2988.33	8.56

ในสูตรผสมมีปูนทรายและเกล็ดหินอ่อนเป็นส่วนผสมหลัก การสูญเสียน้ำจึงมีน้อย เพราะเกล็ดหินอ่อนไม่มีการดูดซึมน้ำไว้ตั้งแต่ขั้นตอนการผสม

ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของอิฐปูพื้น

ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของอิฐปูพื้นทำการทดสอบโดยนำอิฐปูพื้นซึ่งน้ำหนักแห้งจากนั้นแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักเปียกทำการคำนวณอัตราการดูดซึมน้ำได้ผลดังตารางที่ 3

จากตารางอัตราส่วนผสมทุกสูตรมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำต่ำ เหมาะกับการทำเป็นอิฐปูพื้นภายนอกอาคาร เนื่องจากความชื้นเป็นตัวแปรที่ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุมีค่าลดลง[4] หากอิฐมีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำ จะช่วยในเรื่องของอายุการใช้งานที่ทนต่อน้ำได้ โดยสูตรที่ 4 และ 5 มีค่าร้อยละอัตราการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดอยู่ที่ 6.85% และ 6.96% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสูตรที่มีเกร็ดหินอ่อนเป็นส่วนผสม โดยเกร็ดหินอ่อนไม่มีการดูดซึมน้ำซึ่งเป็นสมบัติเบื้องต้นของหิน ในสูตรที่ 2, 3, 6 และ 7 มีผงหินอ่อนแทนที่ปูนซีเมนต์จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ส่งผลให้น้ำคอนกรีตมีโพรง[3] จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกับสูตรทั่วไป คือสูตรที่ 1

ผลการทดสอบค่ารับกำลังอัดของอิฐปูพื้น

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของอิฐปูพื้น ทำการทดสอบโดยเครื่องทดสอบแรงอัดไฮดรอลิก อ่านค่าจากเครื่องและบันทึกผลการทดสอบได้ผลดังตารางที่ 4

จากตารางอัตราส่วนผสมสูตรที่ 4 ให้ค่าผลการทดสอบค่ารับกำลังอัดได้สูงสุด คือ 34.06 MPa และ 31.41 MPa ตามลำดับ ใกล้เคียงค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.827-2531[6] ที่กำหนดให้ค่ารับกำลังแรงอัดของอิฐปูพื้นมีค่าไม่น้อยกว่า 35 MPa และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 MPa ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากส่วนผสมที่ 4 และ 5 มีเกล็ดหินอ่อนที่มีความแข็งแรงมากกว่าทราย ซึ่งเป็นส่วนผสมทั่วไป และมีปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ จึงส่งผลให้การยึดเกาะและความแข็งแรงของอิฐปูพื้นมีความแข็งแรงมาก ขณะที่สูตรผสมที่ 2, 3, 6 และ 7 มีส่วนผสมของผงหินอ่อนแทนที่ปูนซีเมนต์ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ลดการยึดเกาะ ส่งผลให้มีค่ารับกำลังอัดต่ำ[3] และเนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ใช้การอัดขึ้นรูปด้วยมือ จึงอาจส่งผลต่อความหนาแน่นและการเข้ากันของส่วนผสม

ตารางที่ 4: ผลการทดสอบค่ารับกำลังอัดของอิฐปูพื้น

สูตรที่	แรงกดเฉลี่ย (kg))	แรงอัดเฉลี่ย (Ksc)	ค่ารับกำลังอัดเฉลี่ย (MPa)
1	20987.67	83.90	8.22
2	50776.00	203.10	19.91
3	43372.67	173.49	17.01
4	86849.00	347.37	34.06
5	80082.00	320.33	31.41
6	45417.00	181.67	17.81
7	40415.00	161.66	15.85

สรุปผลการวิจัย

อิฐปูพื้นจากงานวิจัยนี้ มีคุณภาพน้อยกว่ามาตรฐานความต้านทานรับแรงกำลังอัดของอิฐปูพื้นจากโรงงาน ตามกำหนดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 40 เมกะปาสคาล อาจเป็นเพราะอิฐปูพื้นที่ได้จากงานวิจัยนี้ทำด้วยมือจึงทำให้การเกาะตัวของวัสดุไม่ดีเท่าที่ควร จากการทดสอบพบว่าสูตรที่ 4 มีค่ารับกำลังแรงอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 34.06 เมกะปาสคาลใกล้เคียงกับมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40 เมกะปาสคาล มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยร้อยละ 1.90 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 6.85 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าอิฐปูพื้นที่ผลิตขึ้นยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในเรื่องของการรับกำลังอัด เป็นเพราะอิฐปูพื้นที่ได้จากงานวิจัยทำด้วยมือจึงทำให้ การเกาะตัวของวัสดุไม่ดี ค่าการทดสอบไม่เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.827-2531 แต่สามารถใช้เป็นอิฐปูพื้นทางเดินเท้าประดับตกแต่งแบบไม่รองรับน้ำหนักได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท สว่างหินอ่อน จำกัด อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงหินอ่อนและเกล็ดหินอ่อนสำหรับใช้ในงานวิจัย ขอขอบพระคุณโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์การผลิตอิฐปูพื้น และเครื่องมือเพื่อใช้ทดสอบค่ารับกำลังอัด ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และการสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] นงลักษณ์ จันทรพิชัย. (2561). สมบัติทางกายภาพ และ สมบัติเชิงกล ของ หิน อ่อน เขา สว่างอารมณ์ อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร. สักทอง วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5(2), 55-63.

- [2] สุทธิ นิ โฆจิตา นนท์. (2554). การพัฒนา สูตร น้ำ เคลือบ ผลิตภัณฑ์ กระเบื้อง จาก ผง หิน อ่อน บ้าน เขา สว่าง อำเภอบางสะพาน จังหวัด กาญจนบุรี. กาญจนบุรี: สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี.
- [3] เอกสิทธิ์ เทียนมาศ และ สุรเชษฐ์ ตุ่มมี. (2562). การศึกษาสมบัติของแผ่นคอนกรีตปูพื้นทางเท้าผสมผงหินอ่อน. สักทอง วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 6(1), 73-82.
- [4] อาทร ชูพลสัตย์ และ นิชาภา มินาบุลย์. (2561). การพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของบล็อกปูพื้นที่ผลิตจากการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (รายงานผลการวิจัย). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.
- [5] ณัฐภูมิ อินทบุตร. (2561). การศึกษาและพัฒนาอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนที่เหลือทิ้งในการผลิตน้ำประปา และผักตบชวา (รายงานการวิจัย). สุพรรณบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- [6] สำนักงาน มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม กระทรวง อุตสาหกรรม. (2557). มาตรฐาน เลข ที่ มอก. 827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม. สืบค้น 25 กุมภาพันธ์ 2562. จาก https://www.tisi.go.th/data/PR/pdf/R827_2531_00.pdf

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาอัตลักษณ์ของโกโก้ในจังหวัดเชียงราย

Chemical Composition Analysis to Determine the Identity of Cocoa in Chiang Rai Province

วลีพรรณ รกิติกุล^{1,*}, จินดา ศิริตา¹,ปิยดา ยศสุนทร¹, ธนายุทธ ช่างเรือนงาม², สุรัสวดี นางแล²¹ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย 57100² โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย 57100Waleepan Rakitikul^{1,*}, Jinda Sirita¹,Piyada Yodsuntorn¹, Thanayut Changruanngam², Surusawadee Nanglae²¹ Program of Physical Science, Faculty of Science and Technology,

Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100

² Program of Mathematics, Faculty of Science and Technology,

Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai 57100

บทคัดย่อ

การศึกษาข้อมูลองค์ความรู้การผลิตเพื่อหาอัตลักษณ์ของโกโก้ในจังหวัดเชียงราย มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการปลูกโกโก้ในจังหวัดเชียงราย สำหรับการศึกษาความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกโกโก้ของจังหวัดเชียงราย พบว่าปัจจัยด้านศักยภาพของดินมีค่าน้ำหนักมากที่สุด ซึ่งจากผลการวิเคราะห์คุณภาพดินของแหล่งปลูกโกโก้จากสวนตัวอย่าง ลักษณะทางกายภาพของดินเป็นดินร่วนสีน้ำตาลเข้ม ดินค่อนข้างแห้ง ค่า pH อยู่ในช่วงเหมาะสมต่อการเพาะปลูกโกโก้ ปริมาณสารอินทรีย์วัตถุของสวนโกโก้มีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นควรมีการบำรุงดินอย่างสม่ำเสมอ ผลการตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ในโกโก้ตามขั้นตอนการแปรรูปใน เมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้ พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และไม่มีการปนเปื้อนของ *Escherichia coli* ในทุกตัวอย่างที่นำมาทดสอบ รวมถึงไม่พบสารพิษโอคราที่ออกซิน เอ ในตัวอย่าง สำหรับองค์ประกอบทางด้านเคมี พบ

* Corresponding author : em_waleepan_r@rru.ac.th

Received : 10/03/2022

Revised : 08/06/2022

Accepted : 17/06/2022

ว่า มีค่า pH อยู่ในช่วงของกรดอ่อนถึงกลาง (pH 5.22 – 7.19) แต่ถือว่าเป็นเมล็ดโกโก้ที่มีค่า pH สูงที่อาจเกิดจากกระบวนการหมักที่นานเกินไปทำให้กลิ่น-รส ผิดปกติ มีการผลิตกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ lauric (C-12), oleic (C-16) และ palmitic (C-18) นอกจากนี้พบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ที่ส่งผลกระทบต่อกลิ่น-รส คือกรดซิตริกและอะซิติก สอดคล้องกับปริมาณที่พบในสารอินทรีย์ระเหยได้ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบในเมล็ดโกโก้คั่วนั้นมีปริมาณมากที่สุดเนื่องจากผ่านกระบวนการหมักและคั่วแต่ยังไม่มีการบีบโกโก้บัตเตอร์ออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาอะมิโนโปรไฟล์และสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ พบว่าปริมาณของแอสปาร์ติกและกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ทำให้เกิดสารประกอบแอลดีไฮด์เพิ่มขึ้นในผงโกโก้ ส่งผลให้มีกลิ่น-รสของช็อกโกแลตเพิ่มขึ้นในผงโกโก้มากกว่าในโกโก้ดิบ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในสวนตัวอย่าง 1 ซึ่งเป็นการปลูกพืชโกโก้รวมกับการปลูกพืชอื่น ๆ ได้แก่ ลูกหม่อน เซอร์รี่ ข้าวคั่ว ดอย กระเจียบ บัว และมีการเพาะเลี้ยงผึ้งเพื่อเก็บน้ำผึ้ง จะทำให้ได้โกโก้ที่มีรสชาติหรือกลิ่นหอมของดอกไม้ (Floral) และน้ำผึ้ง (Honey) ผสมกับความเปรี้ยวของผลไม้อยู่ด้วยจากสารประกอบกลุ่ม aldehyde ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของกลิ่นและรสชาติช็อกโกแลต หรือโกโก้ของสวนตัวอย่าง 1

คำสำคัญ : โกโก้, องค์ประกอบของโกโก้, องค์ความรู้

Abstract

A study of production knowledge database about cocoa in Chiangrai province aims to survey the basic information of cocoa growing in Chiangrai province. For the study of the land suitability of cocoa in Chiang Rai Province, the estimation of soil potential is the most important part. The results of soil quality analysis of cocoa plantations from the sample plantations shown that the soil characteristics was dark brown and the moisture in soil at low level making the soil dry. The pH range was in the suitable condition for cocoa planting and the organic substances was at low level. In the case of cocoa planting, should frequently maintain the nutrients in soil. The results of total microbial such as yeast and fungi in cocoa in the production process in raw cocoa seed, fermented cocoa, roasted cocoa and powdered cocoa have been investigated in the level of standard pass. Moreover, contamination of Escherichia coli and Ochratoxin A were not found in all samples. The result of chemical composition study depicted pH range between 5.22 – 7.19. This was identified as high pH level cocoa according to the longer fermentation. Therefore, it's getting abnormal taste and odor and cause the production of low molecular weight of lipid including lauric (C-12), oleic (C-16) and palmitic (C-18) by total free lipid acid determination. Moreover, the organic acid such as citric acid can affect the taste and odor relating to the content of volatile organic substances. The contents of reducing sugar found in all samples showed the highest level in the roasted cocoa having passed the fermented and roasted processes without cocoa butter extraction. The investigation of amino profiles and volatile organic substances found contents of aspartic acid and other types of amino acids resulting in the generation of aldehyde enhancement in powdered cocoa, making the

increase of odor and taste comparing with raw cocoa. The analysis of various components in the sample garden 1 is a mixed crops such as mulberry, cherry, rice, krachiab, plum, etc. and bees are bred to collect honey. Thus, it's presents cocoa with a flavor or aroma of flowers (Floral) and honey as aldehyde volatile group shown, mixed with the sourness of the fruit. That is the unique smell and taste of chocolate or cocoa of the sample garden 1.

Keywords : Cocoa, Cocoa composition, Knowledge

ที่มาและความสำคัญ

โกโก้ (Cocoa) จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่เป็นที่ต้องการในตลาดมากขึ้น โดยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Theobroma cacao* L. จัดอยู่ในตระกูล STERCULIACEAE เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลาง เจริญเติบโตได้ดีในลักษณะภูมิอากาศของประเทศเขตร้อนชื้น (Tropical) ตั้งแต่ประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตรจนถึงประเทศที่มีอุณหภูมิระหว่าง 15-30 °C และต้องการปริมาณน้ำฝนที่สม่ำเสมอตลอดปี ซึ่งนิยมนำมาแปรรูปเป็นเครื่องดื่มโกโก้และช็อกโกแลต สำหรับประเทศไทยปัจจุบันมี 2 พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ โกโก้พันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 และโกโก้พันธุ์ ไอ.เอ็ม.1 โดยโกโก้พันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 เป็นโกโก้ลูกผสมระหว่าง Parinari 7 x Nanay 32 (Pa7 x Na32) โดยผลการทดลองของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ตั้งแต่ปี 2524-2536 พบว่า โกโก้ลูกผสมชุมพร 1 เป็นพันธุ์โกโก้ลูกผสมที่ดีทั้งในด้านการให้ผลผลิต และคุณภาพของเมล็ด ซึ่งเหมาะสมกับพื้นที่ปลูกโกโก้ทางภาคใต้ของประเทศไทย ส่วนโกโก้พันธุ์ ไอ.เอ็ม.1 เป็นคู่ผสมระหว่างพันธุ์ ICS กับโกโก้ลูกผสมระหว่างกลุ่ม Criollo และ กลุ่ม Forastero สาย Amelonado ซึ่งมีความโดดเด่นด้านเมล็ดมีขนาดใหญ่และผลผลิตสูง ทนแล้ง คุณภาพเมล็ดมีกลิ่นหอมเมื่อนำไปแปรรูป เป็นสายพันธุ์ที่มาจากการวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ [1] จากข้อมูลของ รศ.ดร.สันต์ ละอองศรี สาขาไม้ผล ภาควิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ศึกษาพบว่า ประเทศไทยสามารถปลูกโกโก้ปลูกได้เกือบทั้งประเทศ ตลาดช็อกโกแลตที่ใช้โกโก้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปทั่วโลกมีอัตราการเติบโตปีละ 6% มูลค่ากว่า 3.6 ล้านบาท และที่บริโภคส่วนใหญ่ไม่สามารถปลูกโกโก้ได้ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสมจึงถือว่าเป็นโอกาสของประเทศไทย

ประเทศไทยเริ่มมีเกษตรกรให้ความสนใจปลูกโกโก้มากขึ้น โดยพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศอยู่ที่ 5,464.39 ไร่ และพื้นที่เก็บเกี่ยว 4,090.66 ไร่ ส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือ คิดเป็นพื้นที่ 3,957.59 ไร่ ซึ่งจังหวัดที่ปลูกมาก คือ น่าน เชียงราย ลำปาง ตาก [2] ประกอบกับปัญหาการปลูกพืชผลทางเกษตรในภาคเหนือในหลายพื้นที่มีการบุกรุกป่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความต้องการผลผลิตมีมาก ในขณะที่ผลตอบแทนเชิงมูลค่าลดลงเรื่อย ๆ สร้างผลกระทบต่อการพัฒนาทั้งการเพาะปลูกพืช ผาตอซึ่ง ก่อให้เกิดหมอกควันในทุกฤดูกาลเตรียมเพาะปลูก แนวทางการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืนคือการขับเคลื่อนโครงการปลูกไม้ผล ไม้ใช้สอย ไม้เศรษฐกิจ เข้าไปในกระบวนการเพาะปลูกตามความเหมาะสมของพื้นที่ นั้น ๆ ซึ่งการปลูกต้นโกโก้ก็เป็นอีกหนึ่งพืชทางเลือกที่ถูกนำมาส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก [3] จากการสำรวจพื้นที่ในจังหวัดเชียงราย พบว่า บริษัทโกโก้แลนด์คอร์ปอเรชั่น จำกัด ได้จัดทำโครงการส่งเสริมปลูกโกโก้ การรับซื้อผลผลิตและการแปรรูปให้กับเกษตรกรที่สนใจ ทำให้เริ่มมีการปลูกโกโก้ในจังหวัดเชียงรายมากขึ้น ประกอบกับเริ่มมีเกษตรกรหันมาปลูกโกโก้ในพื้นที่จังหวัดเชียงรายทั้งการปลูกแบบอินทรีย์และการปลูกแบบเกษตรพันธสัญญา นอกจากนี้ยังพบอีกว่า จังหวัดเชียงรายยังไม่มีการจัดทำฐานข้อมูลการปลูกโกโก้ เนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจใหม่ ซึ่งหากมีฐานข้อมูลไม่ว่าจะ

เป็นข้อมูลพื้นฐานทางการผลิต ข้อมูลพื้นฐานเชิงพื้นที่ หรือ ข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศ จะนำไปสู่กระบวนการจัดการส่งเสริมการเพาะปลูกที่เป็นระบบและยั่งยืน อีกทั้งยังสามารถกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตจากโกโก้มีคุณภาพตามที่ต้องการได้

โกโก้มีความเป็นเอกลักษณ์และกลิ่นที่มีความซับซ้อน โดยมีสารประกอบหลักๆ ที่ส่งผลต่อกลิ่นมากกว่า 600 ชนิด ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยทางเคมี ชีววิทยา และทางกายภาพ โกโก้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ชอคโกแลต โกโก้ผล ส่วนของเนยโกโก้จะใช้เครื่องสำอางเป็นต้น [4] การยอมรับคุณภาพของชอคโกแลต กลิ่น-รส ถือเป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญที่สุดที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจ [5] จากการศึกษาพบว่ากระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อการพัฒนาชอคโกแลตที่มีรส-กลิ่นเหมาะสมคือ กระบวนการหมักซึ่งเป็นกระบวนการที่จะสร้างสารตั้งต้นที่สำคัญต่อกระบวนการทางเคมีอื่นๆ ในกระบวนการผลิตชอคโกแลต การทำให้แห้ง และการคั่วผลโกโก้ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการสร้างสารประกอบที่ให้กลิ่นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Maillard's reaction [6] กลิ่น-รส ที่เด่นคือ กลิ่นกรด รสกรด รสฝาด และ รสขม ซึ่งกลิ่น-รส เหล่านี้มีผลจากส่วนประกอบทางเคมีในสายพันธุ์โกโก้ โดยในแต่ละทวีปหรือในแต่ละประเทศเองก็ตามจะมีเอกลักษณ์ของรสชาติต่างกันเนื่องจาก สายพันธุ์ที่ต่างรวมไปถึงสภาพภูมิอากาศ แร่ธาตุในดินที่ต่างกันก็มีผลต่อคุณภาพเมล็ด เหล่านี้จึงมีผลต่อส่วนประกอบทางเคมีในเมล็ดโกโก้กันเอง โดยการได้มาซึ่งคุณภาพเมล็ดโกโก้ดังกล่าว จึงจำเป็นจะต้องประเมินคุณภาพเมล็ดโกโก้หลังจากกระบวนการหมักและการทำให้แห้งแล้ว การศึกษาวิจัยนี้จะเป็นการดำเนินการเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นของคุณภาพเมล็ดโกโก้ และนำไปสู่อัตลักษณ์ของเมล็ดโกโก้ในแต่ละแหล่งพื้นที่การปลูกซึ่งก็เป็นสิ่งสำคัญ จึงเห็นสมควรที่จะศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการวิจัยภายในพื้นที่จังหวัดเชียงรายซึ่งมีพื้นที่ 11,587.7 ตารางกิโลเมตร ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ ประชากรคือ สวนโกโก้ ในจังหวัดเชียงราย โดยผู้วิจัยได้เลือกกลุ่มตัวอย่างสวนโกโก้ 3 สวน ในการเก็บรวบรวมข้อมูลทางภูมิศาสตร์สารสนเทศ และสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีนั้นเก็บตัวอย่างดินจากสวน 1 และสวน 2 เท่านั้น สวนที่ 1 มีพิกัดตำแหน่งสวนที่ 20.109735 องศาเหนือ 99.696996 องศาตะวันออก สวนที่ 2 สวน มีพิกัดตำแหน่งสวนที่ 20.104328 องศาเหนือ 99.705283 องศาตะวันออก สวนที่ 3 มีพิกัดตำแหน่งสวนที่ 20.112195 องศาเหนือ 99.702642 องศาตะวันออก

การเก็บรวบรวมข้อมูลทางภูมิศาสตร์สารสนเทศ

การเก็บตัวอย่างดิน สุ่มเก็บตัวอย่างดินจากสวนตัวอย่าง 2 สวน แปลงละประมาณ 15 จุด โดยใช้อุปกรณ์ขุดดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่ระดับความลึก 6 นิ้ว และ 12 นิ้ว หลังจากนั้นแฉะดินข้างหลุม (ด้านเรียบ) ให้ได้ดินเป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร จนถึงก้นหลุมดินที่ได้เก็บรวบรวมใส่ถุงพลาสติกแล้วนำตัวอย่างดินที่เก็บมาในแต่ละความลึกให้เข้ากัน เทลงบนผ้าพลาสติกหลังจากนั้นทำกองดินเป็นรูปฟาซี แล้วใช้มือตบยอดกองให้แบนราบ แบ่งดินเป็น 4 ส่วน เอาตัวอย่างดินจากกองนี้ 1 ส่วนเพื่อไปทำการวิเคราะห์

การหาปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน นำตัวอย่างดินจากแหล่งปลูกโกโก้ 2 แหล่ง คือ สวน 1 และสวน 2 มาชั่งน้ำหนักก่อนอบ โดยเลือกตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนดินในกอง อบที่อุณหภูมิ 105.0-110.0 °C ไม่น้อยกว่า



ภาพที่ 1: การแบ่งดินเป็น 4 ส่วน

25 ชั่วโมง ให้แห้งและบันทึกน้ำหนักก่อนและหลังอบ จากนั้นหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน สำหรับการวัดค่าความเป็นกรดต่างของดินซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อขบวนการทางเคมีและชีวภาพในดินซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช เกี่ยวข้องกับ hydrogen ion (H^+) และ hydroxyl ion (OH^-) ในสารละลายดิน (soil solution) สำหรับการทดลองนี้ทำการวัดค่าความเป็นกรดต่างของดิน (pH) หาปริมาณสารอินทรีย์ (Total organic matter) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity: CEC) ธาตุอาหารเช่น Nitrogen Potassium และ Phosphorus ตามวิธีมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน [8]

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโกโก้ วิเคราะห์ตามขั้นตอนการผลิตโกโก้ โดยเริ่มจากองค์ประกอบทางเคมีของผลดิบ โกโก้หลังหมัก โกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้ การเตรียมตัวอย่างส่วนประกอบของโกโก้ โดยนำตัวอย่างมาทำความสะอาด แล้วนำไปอบให้แห้ง เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2

จากนั้นการหาค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเครื่อง pH meter นำเมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หมัก เมล็ดโกโก้คั่ว ผงโกโก้ ที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างแล้ว นำมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำมาทดสอบเพื่อหาค่าความเป็นกรด - ด่าง สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างโกโก้โดยวิธีแบบประมาณ (Proximate analysis) ตามวิธีมาตรฐาน AOAC โดย (1) ความชื้น (moisture) ตามมาตรฐาน AOAC1998 [9] (2) เถ้า (ash) ตามมาตรฐาน AOAC1998 [9] (3) ไขมันหยาบ (crude fat) ตามมาตรฐาน AOAC2005[10] (4) โปรตีนหยาบ (crude protein) ตามมาตรฐาน AOAC1998[9] (5) เส้นใยหยาบ (crude fiber) ตามมาตรฐาน AOAC1998 [9] และ (6) คาร์โบไฮเดรต (nitrogen free extract) ตามมาตรฐาน AOAC 1998 [9] ส่วนการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปี [12] ด้วยวิธี DNS method (Dinitrosalicylic acid method) ที่ค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 540 nm ทำการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส และการหาปริมาณกรดอินทรีย์เช่น กรดซิตริก กรดอะซิติก กรดแลคติก และ



ภาพที่ 2: ตัวอย่างผลดิบ โกโก้หลังหมัก โกโก้หลังคั่ว อบแห้ง

กรดออกซาลิก โดยใช้วิธีไทเทชัน [12] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยค่า milliequivalent factor (meq.wt) ของกรดต่างๆ โดยอ้างอิงตาม Hach Company/Hach Lange GmbH, 2019 ดังสมการ

$$\text{กรดซิตริก (\%)} = \frac{N \text{ ของ NaOH} \times \text{มิลลิลิตรของ NaOH ที่ใช้} \times \text{meq.wt citric acid} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \quad (1)$$

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของสารในหน่วย นอร์มอลของสารละลาย NaOH

Meq.wt คือ น้ำหนักสมมูล milliequivalent weight ของกรดซิตริก

สำหรับการหาปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ใช้วิธีการไทเทรชันด้วย 0.1 M alcoholic KOH ตามวิธีมาตรฐานกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ [13] การคำนวณและการรายงานผล (Calculation and expression of result) ตามวิธี AOCS Official Method Cd 3d-63 revised., 2003 โดยการรายงานค่าในรูปของกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) ในรูปของ % lauric, % oleic หรือ % palmitic acid ให้การคำนวณโดยการหารค่าของกรดที่ได้ด้วยแฟคเตอร์ 2.81, 1.99 หรือ 2.19 ตามลำดับ

วิธีการตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ในโกโก้ ใช้วิธีการตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา โดยวิธี standard plate count ด้วยเทคนิค pour plate [14]

การวิเคราะห์หา volatile compound ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หา volatile compound ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) และการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งอ้างอิงมาตรฐาน [15,16]

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

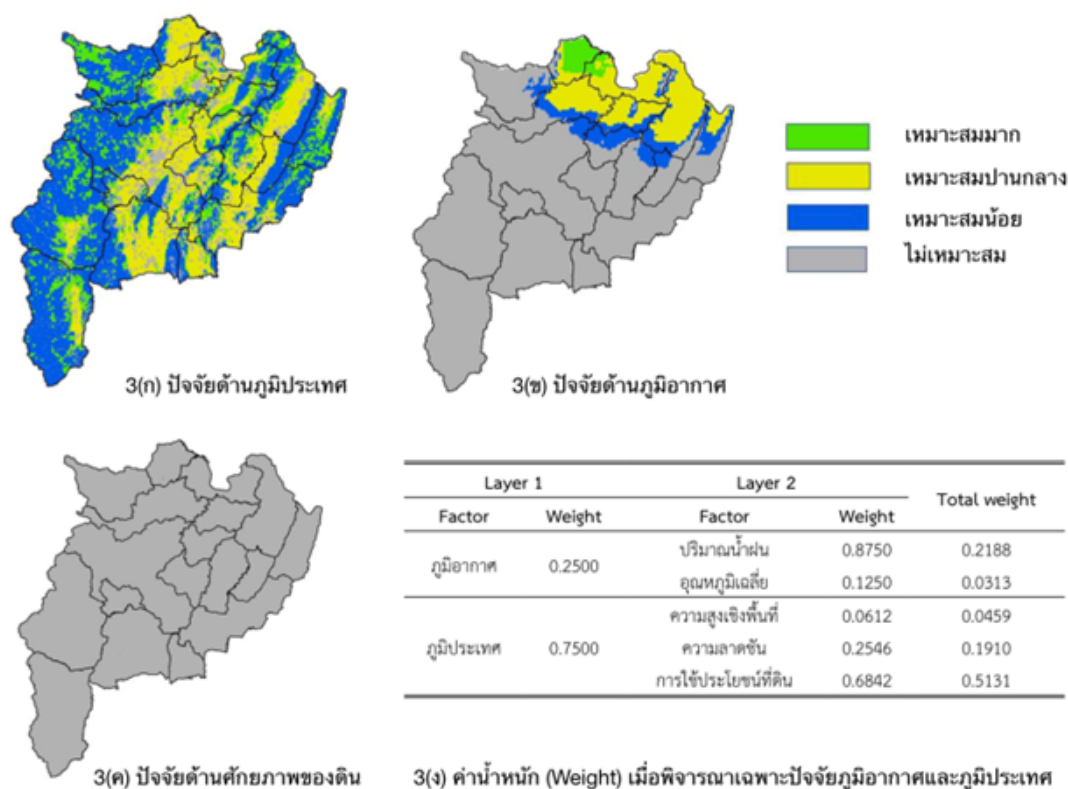
การปลูกโกโก้ของสวนตัวอย่างทั้ง 3 สวนนี้เป็นการปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ 2 สวนคือ สวน 1 และสวน 2 ในขณะที่สวน 3 ก็มีการปลูกแบบใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยปีละครั้ง การบำรุงรักษาต้นโกโก้มีเพียงสวน 1 เท่านั้นที่มีการตัดแต่ง

กึ่งอย่างสม่ำเสมอ การให้ปุ๋ยมีเพียงส่วน 1 และส่วน 2 ที่มีระยะเวลาการให้ปุ๋ยแน่นอน ส่วนปัญหาโรคพืชโรคแมลง ทุกส่วนประสบปัญหาเช่นเดียวกัน มีแค่เพียงส่วน 2 ที่ใช้ยาฆ่าแมลง ทำให้ปัญหาเรื่องแมลงลดลงได้บ้าง

จากภาพที่ 3 (ก) แสดงแผนที่แสดงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกโกโก้ในจังหวัดเชียงรายเมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านภูมิประเทศ พบว่า พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกโกโก้กระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่จังหวัดเชียงราย โดยเป็นพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 800 เมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ตรงกับระดับความสูงที่เหมาะสมกับการปลูกโกโก้ในประเทศอินโดนีเซีย [17] ส่วนภาพที่ 3 (ข) แสดงแผนที่แสดงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกโกโก้ในจังหวัดเชียงรายเมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านภูมิอากาศ พบว่า พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกโกโก้ กระจายอยู่ทางเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดเชียงราย โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เหมาะสมปานกลาง (พื้นที่สีเหลือง) ส่วนภาพที่ 3(ค) แสดงแผนที่แสดงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกโกโก้ในจังหวัดเชียงรายเมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านศักยภาพของดิน พบว่า พื้นที่แทบทั้งหมดของจังหวัดเชียงรายไม่เหมาะสมกับการเพาะปลูกโกโก้ (พื้นที่สีเทา) และเมื่อวิเคราะห์ตามเนื้อที่ที่เหมาะสม โดยแยกตามลักษณะของปัจจัยหลักจากแผนที่ความเหมาะสมที่ได้ พบว่า ศักยภาพดินสำหรับการเพาะปลูกโกโก้อยู่ในระดับต่ำ ทำให้พื้นที่แทบทั้งจังหวัดเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น จึงได้ทำการพิจารณาเฉพาะปัจจัยภูมิประเทศและภูมิอากาศ โดยเริ่มจากการคำนวณค่าน้ำหนักใหม่ ได้ผลดังภาพที่ 3 (ง) ค่าน้ำหนักของปัจจัยภูมิประเทศมีค่ามากกว่าภูมิอากาศ และเมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าน้ำหนักมากที่สุด (0.5131) รองลงมาคือ ปริมาณน้ำฝน (0.2188), ความลาดชัน (0.1910), ความสูงเชิงพื้นที่ (0.0459) และอุณหภูมิเฉลี่ย (0.0313) ตามลำดับ ดังนั้นในการเพาะปลูกโกโก้ควรพิจารณาจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ของที่ดินเป็นอันดับแรก

เมื่อพิจารณาข้อมูลดินที่สกัดมาจากแผนที่ดินของส่วน 1 และส่วน 2 เทียบกับข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินตัวอย่าง 2 ส่วน ได้ผลดังตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกโกโก้ ลักษณะดินควรเป็นดินร่วน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูง หน้าดินลึก การระบายน้ำในดินค่อนข้างดี จากการเก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 ส่วน ลักษณะทางกายภาพ ของดิน เป็นดินร่วนสีน้ำตาลเข้ม ผลปริมาณความชื้นของดินจากตัวอย่างดินจากส่วน 1 และส่วน 2 พบว่าค่าความชื้นในดินอยู่ในช่วง 10.01-11.16% ซึ่งพบว่าเป็นดินที่ค่อนข้างแห้งอาจส่งผลในระยะยาวต่อสารองค์ประกอบที่มีอยู่ในดิน [18]

ค่า pH ในดินทั้ง 2 ตัวอย่างที่วัดในตัวอย่างน้ำอยู่ที่ 5.40- 5.97 ซึ่งอยู่ในช่วงของ pH ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกโกโก้ คือ pH 5.6-7.0 [19] ค่าความเป็นกรดที่ระดับความลึก 6 นิ้วและ 12 นิ้วของตัวอย่างดินในตัวอย่างที่ 1 มีค่ามากกว่าในตัวอย่างที่ 2 อาจเนื่องมาจากการชะล้างไอออนบวกของพื้นที่ในตัวอย่างที่ 1 ที่มีค่ามากกว่าในตัวอย่างพื้นที่ 2 เนื่องจากเกลือที่ละลายน้ำได้จะมีอิทธิพลทำให้ ค่า pH ของ soil suspension จะลดลง ถ้ามีปริมาณเกลือที่ละลายได้เพิ่มขึ้น โดยปกติแล้ว pH ของดินจะต่ำในฤดูแล้งและมีค่าสูงในฤดูฝน เนื่องจากการสะสมของเกลือที่ละลายได้ในฤดูแล้ง และมีการชะล้างในฤดูฝน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้ จึงต้องใช้ สารละลาย KCl และ CaCl_2 วัด pH ร่วมกับน้ำ CaCl_2 ในอัตราส่วน 1 : 2 pH ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่า pH ที่วัดได้จากน้ำอยู่ 0.5 หน่วย pH ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ดังตาราง 1 จากค่า pH ของดินในสารละลาย CaCl_2 ของตัวอย่างดิน 1 อยู่ในช่วงต่ำกว่า 5 แสดงว่า ตัวอย่างดินนี้จัดอยู่ในคลาส Acid class ในขณะที่ตัวอย่างดิน 2 มีค่า pH อยู่ในช่วง มากกว่าหรือเท่ากับ 5 นั้นจัดอยู่ในคลาส non-acid class สำหรับตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์ (Total organic matter), ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation



ภาพที่ 3: ข้อมูลแสดงพื้นที่เหมาะสมด้านภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และศักยภาพดิน สำหรับการเพาะปลูกโกโก้ในจังหวัดเชียงราย และตารางแสดงน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อความเหมาะสมปลูกโกโก้ในจังหวัดเชียงราย

Exchange Capacity: CEC), ธาตุอาหารเช่น Nitrogen, Potassium และ Phosphorus ได้ทำการส่งตัวอย่างดินไปทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการปฐพีศาสตร์ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ของทั้ง 2 สวน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูง ประมาณ 1.23 % หน้าดินลึก การระบายน้ำในดินค่อนข้างดี แต่ปริมาณสารอินทรีย์วัตถุของที่สวนโกโก้ยังมีค่าค่อนข้างต่ำอยู่

การวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างโกโก้โดย Proximate analysis

จากผลที่ได้ตามตารางที่ 2 พบว่า ค่า pH ของเมล็ดโกโก้ตามขั้นตอนการแปรรูป อยู่ในช่วง 5.22 – 7.19 การที่ค่า pH เพิ่มขึ้นมีผลต่อกลิ่นกรดลดลงพร้อมช่วยให้กลิ่น-รสโกโก้เพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นแสดงว่าในกระบวนการหมักโกโก้ของเกษตรกรปริมาณกรดอินทรีย์ลดลง สำหรับค่า pH ที่ปรากฏอยู่ในเมล็ดโกโก้หมักแห่งนั้น Jinap และ Dimick [20] ได้จำแนกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่ม pH ต่ำ (pH 4.75-5.19) กลุ่ม pH ปานกลาง (pH 5.20-5.49) และกลุ่ม pH สูง (pH 5.50-5.80) และพบว่าเมล็ดโกโก้จากอัฟริกาตะวันตก ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศที่ผลิตเมล็ดโกโก้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นั้นมีค่า pH อยู่ในช่วงปานกลาง และเมล็ดโกโก้ที่ได้จากการกระบวนการแปรรูปของสวน 1 มีค่า pH สูง (pH 5.89-7.19) ซึ่งจากการศึกษาของ Jinap และ คณะ [21] ที่รายงานว่าช็อกโกแลตที่ผลิตจากเมล็ดโกโก้แห้งที่มี pH ต่ำ และสูงจะมีกลิ่น-รสช็อกโกแลตลดลง ในขณะที่เมล็ดที่มี pH ปานกลาง (เช่นเมล็ดโกโก้จากประเทศกานา) จะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ Lopez และ Quesnel [22] ได้รายงานว่าเมล็ดโกโก้ที่มี pH มากกว่า 6.0 นั้น เกิดจากการหมัก

ตารางที่ 1: แสดงปริมาณสารอินทรีย์ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ธาตุอาหาร (Nitrogen, Potassium และ Phosphorus) ของดินจากแหล่งปลูกโกโก้ดินสวน 1 และส่วน 2 ที่ระดับความลึก 6 นิ้ว และ 12 นิ้ว และการสกัดข้อมูลจากแผนที่ดิน

คุณสมบัติที่ทำการวิเคราะห์	สวน 1			สวน 2		
	ความลึก	ความลึก	แผนที่ดิน	ความลึก	ความลึก	แผนที่ดิน
	6 นิ้ว	12 นิ้ว		6 นิ้ว	12 นิ้ว	
ปริมาณสารอินทรีย์ (%)	1.76	1.74	-	1.23	0.95	-
ความสามารถในการแลกเปลี่ยน						
ไอออนบวก (cmol/kg)	11.72	12.03	15.6	9.23	9	15
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N, %)	0.17	0.16	0.119	0.1	0.08	0.124
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/kg)	6.7	5.37	-	24.44	14.91	-
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	270.9	222.76	-	58.28	57	-
pH	5.61	5.56	5.50	5.97	5.97	5.40

นานเกินไป (overfermentation) ซึ่งจะทำให้เมล็ดโกโก้มีลักษณะกลิ่น-รสผิดปกติ (hammy flavor) และมีการผลิตกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นผลให้กลิ่น-รสผิดปกติเพิ่มขึ้นด้วย การวิเคราะห์ Proximate analysis ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) โดยวิธีมาตรฐาน AOAC พบว่า ส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดโกโก้ทั้ง 4 ตัวอย่าง ด้วยวิธี Proximate Analysis พบว่า วัตถุแห้ง 95.38-97.69% เถ้า 2.92-8.33% เยื่อใย 20.23-28.99% ไขมัน 22.94-41.45% โปรตีน 14.0-22.2% คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย 8.1-25.0% พบว่าปริมาณโปรตีนลดลงเล็กน้อยในเมล็ดโกโก้หลังหมัก แสดงว่าโปรตีนในเมล็ดโกโก้ในระหว่างการหมักจะถูกเอนไซม์ภายในเมล็ดโกโก้ย่อยสลายและบางชนิดมีผลต่อกลิ่น-รสของโกโก้ จากการศึกษาของ Niimoto and Tanitsu [23] พบว่า กลิ่น-รสของช็อกโกแลตสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนของกรดแอสปาร์ติกกับกรดอะมิโนชนิดอื่นในเมล็ดสด ทั้งนี้เนื่องจากการดออะมิโนแอสปาร์ติกจะย่อยสลายเป็น acetaldehyde ซึ่งเป็นสารประกอบกลิ่น-รสของช็อกโกแลตตัวหนึ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าการลดลงของกรดอะมิโนแอสปาร์ติกในระหว่างการหมักจึงมีผลต่อกลิ่นและรสของช็อกโกแลต ส่วนปริมาณไขมัน พบว่าหลังคั่วและผงโกโก้จะมีปริมาณลดลง เกิดจากผลของการแปรรูปทำให้ไขมันถูกสกัดออกไป ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของโกโก้ตามขั้นตอนการแปรรูป อยู่ในช่วง 0.0327 - 0.0851 g/L การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเมล็ดโกโก้เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดช็อกโกแลตในปฏิกิริยา Maillard และปฏิกิริยา Strecker degradation ในระหว่างการคั่วเมล็ดโกโก้ด้วย [24]

การหาปริมาณกรดอินทรีย์

ปริมาณกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดซิตริก และกรดออกซาลิก โดยปริมาณกรดที่ไต (Titratable acidity, TA) โดยการไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH โดยใช้ phenolphthalein เป็น indicator คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดที่มีอยู่ในตัวอย่าง ได้ผลตามตารางที่ 3

ตารางที่ 2: แสดงผลการวิเคราะห์ Proximate analysis ของเมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้

ส่วนประกอบของตัวอย่าง (Compositon, Air dry basis)	ตัวอย่างเมล็ดโกโก้			
	ผลดิบ	หลังหมัก	หลังคั่ว	ผงโกโก้
วัตถุแห้ง (DM, %) *	96.72	95.38	97.69	96.92
เถ้า (DM, %) *	3.89	2.92	3.07	8.33
เยื่อใย (EF, %)*	28.99	20.63	28.77	20.23
ไขมัน (EE, %) *	40.17	41.45	26.06	22.94
โปรตีน (CP, %) *	15.5	14.0	14.8	22.2
คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (NFE, %)	8.1	16.4	25.0	23.2
pH	5.22	5.89	5.97	7.19
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/L)	0.0327	0.0654	0.0851	0.0701

หมายเหตุ * ตามวิธีมาตรฐาน AOAC

จากการทดลองพบว่า ปริมาณกรดซิตริก มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.037 - 0.074% กรดออกซาลิก มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.007 - 0.014% กรดแลคติก มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.008 - 0.016% และกรดอะซีติก มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.034 - 0.068% โดยเมล็ดหลังคั่วมีปริมาณกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆมากที่สุด รองลงมาเป็นผงโกโก้ เมล็ดโกโก้ดิบและเมล็ดโกโก้หลังหมัก ตามลำดับ จากความสัมพันธ์ของค่า pH เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นมีผลต่อกลิ่นกรดลดลงพร้อมช่วยให้กลิ่น-รสโกโก้เพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นแสดงว่าในกระบวนการหมักโกโก้ของเกษตรกรปริมาณกรดอินทรีย์ลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับการทดลองที่ปริมาณกรดอินทรีย์มีค่าน้อยสุดในเมล็ดโกโก้หลังหมัก จากการศึกษาที่ผ่านมาชนิดกรดอินทรีย์ที่พบในเมล็ดโกโก้มีหลายชนิด [25] กรดที่มีบทบาทต่อกลิ่น-รสของโกโก้มี 4 ชนิด ได้แก่ กรดอะซีติก กรดแลคติก กรดซิตริก และกรดออกซาลิก โดยพบว่า กรดอะซีติก และกรดแลคติก มีความสัมพันธ์กับกลิ่น-รสโกโก้ แบบ negative แต่มีความ

ตารางที่ 3: แสดงค่าปริมาณกรดอินทรีย์และปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวของเมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว และ ผงโกโก้

ตัวอย่างโกโก้	ปริมาณกรดอินทรีย์ (%)				ปริมาณ กรดไขมันอิสระ (%)		
	Acetic acid	Citric acid	Oxalic acid	Lactic acid	lauric	oleic	palmitic
เมล็ดโกโก้ดิบ	0.048	0.053	0.010	0.012	7.99	11.28	10.25
เมล็ดโกโก้หลังหมัก	0.034	0.037	0.007	0.008	9.07	12.81	11.64
เมล็ดโกโก้หลังคั่ว	0.068	0.074	0.014	0.016	11.30	15.95	14.50
ผงโกโก้	0.045	0.049	0.009	0.011	15.16	21.40	19.45

ตารางที่ 4: แสดงค่าผลการตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ในเมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้

ตัวอย่าง/จุลินทรีย์	จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม)	ยีสต์ (โคโลนี/กรัม)	รา (โคโลนี/กรัม)
เมล็ดโกโก้ดิบ	$<2.5 \times 10^3$	15	<10
เมล็ดโกโก้หลังหมัก	3.8×10^3	<10	10
เมล็ดโกโก้หลังคั่ว	4.6×10^3	<10	10
ผงโกโก้	$<2.5 \times 10^3$	<10	<10

สัมพันธ์กับกลิ่นกรดแบบ positive ในทางตรงข้ามกรดออกซาลิกและกรดซิตริก มีความสัมพันธ์กับกลิ่น-รสโกโก้ แบบ positive แต่มีความสัมพันธ์กับกลิ่นกรดแบบ negative ในงานวิจัยนี้พบว่าโกโก้ที่ศึกษา กลุ่ม volatile acid มีปริมาณกรดอะซิติกสูงกว่ากรดแลคติก ส่วนกลุ่ม non-volatile acid ปริมาณกรดซิตริก สูงกว่ากรดออกซาลิก ซึ่งอาจเกิดจากระบวนการหมักที่แตกต่างกันของแต่ละที่ เมล็ดโกโก้ที่ผ่านการหมักอย่างดี จะพบว่ามีสีน้ำตาล มีรสขมเล็กน้อยและมีกลิ่นหอม เมล็ดที่หมักไม่ดีจะมีสีม่วง รสเปรี้ยวรุนแรง ส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดโกโก้แห้ง โดยเฉพาะเกี่ยวกับเรื่องของกลิ่นและรสชาติ ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ของโกโก้ตามขั้นตอนการแปรรูป อยู่ในช่วง 22.44 – 42.59 และกรดไขมันอิสระ พบว่า % lauric acid อยู่ในช่วง 7.99 - 15.16 % oleic acid อยู่ในช่วง 11.28 - 21.40 และ % palmitic acid อยู่ในช่วง 10.25 - 19.45 พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวของตัวอย่างที่ศึกษามีค่าใกล้เคียงกัน

การตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ในโกโก้ โดยวิธี Pour plate

การตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ในโกโก้ โดยวิธี Pour plate อ้างอิงมาตรฐาน BAM (2001) ผลการทดลองตามภาพต่อไปนี้

จากตารางที่ 4 แสดงผลการตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์ของตัวอย่างโดยวิธี Pour plate พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ในเมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้ อยู่ในช่วง $<2.5 \times 10^3$ - 4.6×10^3 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณยีสต์ในเมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้ อยู่ในช่วง <10 - 15 โคโลนี/กรัม ปริมาณราในเมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้ อยู่ในช่วง <10 - 10 โคโลนี/กรัม ผลการตรวจ Escherichia coli พบว่าทุกตัวอย่าง ในขั้นประมาณการณ (Presumptive test) ไม่เกิดแก๊สใน หลอดดักแก๊ส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีการปนเปื้อนของ Escherichia coli ในทุกตัวอย่างที่นำมาทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน มอก.1137-2550 [26] ระบุว่า Escherichia coli ที่เจริญโดยใช้ อากาศ (Aerobic plate count) ในโกโก้ผงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม ต้องน้อยกว่า 3 ในตัวอย่าง 1 กรัม พบว่าทุกตัวอย่าง ในขั้นประมาณการณ (Presumptive test) ไม่เกิดแก๊สใน หลอดดักแก๊ส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีการปนเปื้อนของ Escherichia coli ในทุกตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

นอกจากนี้ยังพบว่าในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.1137-2550 ระบุว่า จุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ที่เจริญ โดยใช้อากาศ (Aerobic plate count) ในโกโก้ผงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 3×10^3 โค

โลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์ ไม่เกิน 50 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม และ รา ไม่เกิน 50 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม พบว่าตัวอย่างโกโก้ที่เป็นผงโกโก้ และ ตัวอย่างเมล็ดโกโก้ผลดิบ มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผ่านเกณฑ์ มาตรฐาน ($< 2.5 \times 10^3$ โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม) และทุกตัวอย่าง (เมล็ดโกโก้ดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว ผงโกโก้) มีจำนวน ยีสต์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (<10 , 15, <10 และ <10 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ) และจำนวนรา ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (<10 , <10 , 10 และ 10 โคโลนี/ตัวอย่าง 1 กรัม ตามลำดับ) ทั้ง 4 ตัวอย่างเช่นกัน จากข้อมูลอ้างอิง (กองบรรณาธิการ, 2564) ได้มีรายงานผลตรวจวิเคราะห์เชื้อราและสารพิษโอคราที่ออกซิน เอ ในผลิตภัณฑ์เมล็ดกาแฟคั่ว โดยอ้างอิงวิธีมาตรฐาน BAM พบว่า ปริมาณเชื้อราน้อยกว่า 10 โคโรนิต่อกรัม และไม่พบสารพิษโอคราที่ออกซิน เอ ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการวิเคราะห์ตัวอย่างปริมาณราในตัวอย่างทั้ง 4 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และมีค่าอยู่ในช่วง $<10 - 10$ โคโรนิต่อกรัม แสดงให้เห็นว่าไม่พบสารพิษโอคราที่ออกซิน เอ ในตัวอย่างด้วยเช่นกัน การศึกษาปริมาณออกคราที่ออกซิน เอ ในแหล่งปลูกโกโก้ต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณสารพิษจากเชื้อราที่ปนเปื้อนในเมล็ดโกโก้ และมาตรการในการลดการปนเปื้อนของเชื้อรา พบปริมาณสารพิษจากเชื้อรา $0.88 \mu\text{g/kg}$ ซึ่งไม่เกินมาตรฐานกำหนด (มาตรฐาน $5 \mu\text{g/kg}$) นอกจากนี้พบเชื้อรา *A. flavus* ที่สร้างสารพิษ Aflatoxin เกือบทุกตัวอย่างเฉลี่ย 20.17 % และ *Penicillium* 12.93% ที่เหลือเป็นเชื้อรา *Aspergillus* sp. และ *Mycelium* สาเหตุเกิดจากขั้นตอนการแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา นอกจากนั้นปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ เป็นตัวการสำคัญที่ส่งเสริมให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษจากเชื้อรา การปฏิบัติที่ถูกต้องเป็นมาตรการลดการปนเปื้อนของเชื้อรา ได้เป็นอย่างดีย่อมส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดโกโก้เช่นกัน [27]

การวิเคราะห์หา volatile compound ของตัวอย่างเมล็ดโกโก้ดิบและผงโกโก้

สารระเหยชนิดกรดที่พบในตัวอย่างผงโกโก้มากที่สุด คือ D-alanine ส่วน acetic acid หลังผ่านกระบวนการแปรรูปจากเมล็ดโกโก้ดิบเป็นผงโกโก้ ปริมาณกรดอินทรีย์กลุ่ม volatile acid ก็ลดลงไป ในกลุ่มของชนิดสารระเหยประเภท Aldehyde พบ ปริมาณของ 3-methyl- butanal มากที่สุด รองลงมาเป็น 2-methyl- propanal และ benzeneacetaldehyde ซึ่งเป็นสารในกลุ่มที่ให้กลิ่น ดอกไม้และน้ำผึ้ง (honey, floral) นอกจากนี้ยังพบกลุ่มชนิดสารระเหยประเภท amine และที่แตกต่างไปจากชนิดสารที่พบในเมล็ดโกโก้ดิบ คือ กลุ่ม ester และ ketone จากการศึกษาพบว่า สารประกอบอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดอินทรีย์ เอสเธอร์ ไพราซีน และฟีนอล เป็นสารที่เกิดขึ้นมาระหว่างการหมัก ที่จะนำไปสู่กลิ่น – รส สุดท้ายในช็อกโกแลต [28] ในการวิเคราะห์ตัวอย่างผงโกโก้ดิบและผงโกโก้หลังผ่านกระบวนการ หมัก คั่ว และบีบอัดเอาโกโก้บัตเตอร์ออกไป พบว่า ในผลดิบนั้นมีสารประกอบจำพวก กรดอินทรีย์อยู่ 6 ชนิด แอลดีไฮด์อยู่ 4 ชนิด เอมีน อยู่ 2 ชนิด และมีฟิวแรนอยู่ 1 ชนิด จากข้อมูลการวิเคราะห์พบกลุ่มกรดอินทรีย์ โดย D-alanine ซึ่งเป็น hydrophobic free amino acid ที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดกลิ่นซึ่งพบมากที่สุด และกลุ่มของแอลดีไฮด์รองลงมา สารอินทรีย์ระเหยได้พบมากที่สุดในกลุ่มนี้คือ butanal ที่ปริมาณ 24.13 สำหรับในกรณีของโกโก้ผงหลังผ่านกระบวนการหมัก คั่วและบีบอัดโกโก้บัตเตอร์แล้วนั้นจะพบว่า แนวโน้มของสารอินทรีย์ระเหยได้เปลี่ยนไปจากโกโก้ดิบนั้นคือ กลุ่มของแอลดีไฮด์มีปริมาณมากที่สุดและกลุ่มกรดอินทรีย์มีมากเป็นอันดับ 2 โดยสารประกอบที่มีมากที่สุดในแต่ละกลุ่มยังคงเป็น butanal (45.01) และ D-alanine (33.66) ตามลำดับ ทั้งนี้จะสังเกตพบว่า กลิ่นของผงโกโก้จะมีกลิ่นช็อกโกแลตเป็นหลัก

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

การหาปริมาณกรดอะมิโน ของเมล็ดโกโก้ผลดิบ และผงโกโก้ รสชาติของช็อกโกแลตจะเริ่มจากการหมักเมล็ด โดยเมล็ดโกโก้ที่มีเนื้อขาวติดอยู่จะถูกหมักไว้ระยะเวลาหนึ่ง กระบวนการเริ่มการหมักโดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลในเนื้อของโกโก้เป็นกรดและแอลกอฮอล์ จากนั้นยีสต์จะตายเพราะ แอลกอฮอล์ที่ถูกสร้างขึ้น และในขณะเดียวกันอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสภาวะที่แลคติกแอซิดแบคทีเรีย เช่น Lactobacillus และ Streptococcus จะเจริญเติบโต และเมื่อเพิ่มออกซิเจนในถังหมักโดยการคนเนื้อและเมล็ดโกโก้ ในขณะที่ pH ต่ำ จะเป็นช่วงที่อะซิติกแอซิดแบคทีเรีย Acetobacter และ Gluconobacter เจริญเติบโต จากนั้นกรดที่ได้จากการหมักด้วยยีสต์จะค่อย ๆ แทรกเข้าไป ในเมล็ดโกโก้ และจะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการทางชีวเคมีที่จะเป็นการเริ่มต้นของกลิ่นรสช็อกโกแลต ซึ่งเป็นกระบวนการที่ลด ปริมาณสารอื่น ๆ ที่อยู่ในเมล็ด ส่งผลให้เมล็ดโกโก้มีความขมลดลง จากนั้นโปรตีนในเมล็ดจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโน ทำให้เมล็ดโกโก้หลังกระบวนการหมักมีปริมาณกรดอะมิโนเพิ่มขึ้น

ส่วนกรดอะมิโนแอสปาร์ติก ซึ่ง Niimoto and Tanitsu [23] กล่าวว่า มีผลต่อกลิ่น-รสของโกโก้ โดยพบว่า กลิ่น-รสของช็อกโกแลตสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนของกรดแอสปาร์ติกกับกรดอะมิโนชนิดอื่นในเมล็ดสด ทั้งนี้เนื่องจากกรดอะมิโนแอสปาร์ติกจะย่อยสลายเป็น acetaldehyde ซึ่งเป็นสารประกอบกลิ่น -รสของช็อกโกแลตตัวหนึ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณกรดอะมิโนแอสปาร์ติกในเมล็ดสดของมาเลเซียน้อยกว่าเมล็ดโกโก้สดของประเทศแถบอเมริกากลางซึ่งถือว่าเป็นเมล็ดโกโก้ที่มีคุณภาพมากกว่า [15] ดังนั้นการลดลงของกรดแอสปาร์ติกในระหว่างการหมักจึงมีผลต่อกลิ่น-รสช็อกโกแลต

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์โดยการคำนวณค่าน้ำหนักพบว่า ปัจจัยภูมิประเทศมีค่ามากกว่าภูมิอากาศ และเมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าน้ำหนักมากที่สุด (0.5131) และดินจากสวนทั้ง 2 นั้น อยู่ใน acid class ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงประมาณ 1.23 % หนาดินลึก การระบายน้ำในดินค่อนข้างดี

การวิเคราะห์ Proximate analysis ของทั้ง 4 ตัวอย่างคือ เมล็ดโกโก้ผลดิบ เมล็ดโกโก้หลังหมัก เมล็ดโกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้ ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) โดยวิธีมาตรฐาน Analytical Methods (AOAC) พบว่ามี วัตถุแห้ง 95.38-97.69% เถ้า 2.92-8.33% เยื่อใย 20.23-28.99% ไขมัน 22.94-41.45% โปรตีน 14.0-22.2% คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย 8.1-25.0%

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางด้านเคมี ข้อมูลลักษณะเด่นของผลิตผลโกโก้เมล็ดผ่านกระบวนการต่างๆ จนเป็นโกโก้ผง พบว่า มีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง pH กรดอ่อน ไปจนถึงเกือบๆ กลาง (pH 5.22 – 7.19) แต่ถือว่าเป็นเมล็ดโกโก้ที่มีค่า pH สูง ที่อาจเกิดจากกระบวนการหมักที่นานเกินไปทำให้กลิ่น - รส ผิดปกติ มีการผลิตกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ มี lauric (C-12), oleic (C-16) และ palmitic (C-18) นอกจากนี้ปริมาณกรดอินทรีย์ที่ส่งผลต่อกลิ่น-รส คือกรดซิทริกและอะซิติก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณที่พบในสารอินทรีย์ระเหยได้ สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ นั้นพบในตัวอย่างเมล็ดโกโก้คั่วในปริมาณมากที่สุด เนื่องจากผ่านกระบวนการหมักและคั่วแต่ยังไม่มีกระบวนการบิโกโก้บัตเตอร์ออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากค่า อะมิโนโปรไฟล์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ พบว่าปริมาณของแอสปาร์ติก

และกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ทำให้เกิดสารประกอบแอลดีไฮด์เพิ่มขึ้นในผงโกโก้ ส่งผลให้มีกลิ่น-รส หอมดอกไม้ (floral) และน้ำผึ้ง (honey) ของช็อกโกแลตเพิ่มขึ้นในผงโกโก้มากกว่าในโกโก้ดิบ

นอกจากนี้จากการตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ในโกโก้ตามขั้นตอนการแปรรูป พบว่า ปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด ในเมสตีโกโก้ดิบ เมสตีโกโก้หลังหมัก เมสตีโกโก้หลังคั่ว และผงโกโก้ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และไม่มีการปนเปื้อนของ *Escherichia coli* ในทุกตัวอย่างที่นำมาทดสอบ รวมถึงไม่พบสารพิษโอคราที่ออกซิน เอ ในตัวอย่าง จากความสัมพันธ์ปริมาณของเชื้อราทั้งหมดที่ตรวจวิเคราะห์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2564 และขอขอบคุณ โปรแกรมวิทยาศาสตร์กายภาพและโปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับสาธารณูปโภค อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สันต์ ละอองศรี. (2558, 8 สิงหาคม). พันธุ์โกโก้ในประเทศไทย. <https://www.cocoathailandcenter.com/>
- [2] ไทย พี บี เอส. (2561, 23 เมษายน). วิเคราะห์ “โกโก้” พืช เศรษฐกิจ ใหม่ ร่วง หรือ รอด?. <https://news.thaipbs.or.th/content/276088?sfns=1>
- [3] เชียงใหม่นิวส์. (2561, 8 สิงหาคม). ส่งเสริมเกษตรกรปลูกโกโก้ พืชทางเลือกลดเผาป่าภาคเหนือ. <https://www.chiangmainews.co.th/page/archives/719132/>
- [4] ศุภางค์ จำเนียรกุล. (2558). การพัฒนาสารสกัดเปลือกโกโก้เพื่อใช้ในทางเครื่องสำอาง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- [5] Anon. (1984). Cocoa Bean (3rd ed.). London. Haines Clark Co.ltd.
- [6] V. Barisic, M. Kopjar, A. Jozinovic, I. Flanjak, B. Milicevic, D. Subaric, S. Jokic, J. Babic, D. Ackar, (2019). The chemistry behind Chocolate production. *Molecules*, 24, 3163.
- [7] SoilGrids - global gridded soil information. (2563, 9 สิงหาคม) <https://soilgrids.org/>
- [8] คู่มือการปฏิบัติงาน. (2533). กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี (แก้ไขครั้งที่ 01). กรมพัฒนาที่ดิน.
- [9] AOAC (1990). Official Method of Analysis of the Association of Analytical Chemists (15th ed.). Association of Official Chemists, U.S.A. p1214.
- [10] AOAC (2000). Official methods of analysis, Association of Official Analytical Chemists. Washington DC.

- [11] Afoakwa, E.O. (2010). *Chocolate Science and Technology*. Wiley-Blackwell, Chichester, U.K., 58e71.
- [12] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2558). *วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหาร เล่มที่ 3 (Standard Methods for Food Analysis, Volume III) (พิมพ์ครั้งที่ 1)*.
- [13] V. Tournas, M. E. Stack, P. B. Mislivec, H.A. K. R. Bandler (2001). *Bacteriological Analytical Manual*, (8th Ed.). Revision A, Chapter 18. FDA.
- [14] X.W. Qin, J.X. Lai, L.H.Tan, C.Y.Hao, F.P.Li, S.Z. He, Y.H. Song, (2017). Characterization of volatile compounds in Criollo, Forastero, and Trinitario cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) in China. *International Journal of Food Properties*, 20 (10), 2261-2275.
- [15] M. Padavatan, S. K. Berry, (1979). Amino acid and fatty acid profile of Malaysian cocoa beans during processing. *Procceeding of Malaysian Biochemistry Society Conference* (5), 137-147.
- [16] N. Nael, F.S. Papilaya, (2019). Spatial Analysis of the Land Suitability for Cocoa Plantations in East Dusun District. *Journal of Applied Geospatial Information* (3), 228-234.
- [17] W. Niether, A. Glawe, K. Pfohl, N. Adamtey, M. Schneider, K. Petr, E. Pawelzik, (2020). The effect of short-term vs. long-term soil moisture stress on the physiological response of three cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation* (92), 295-306.
- [18] Umaharan, P. (2018). *Achieving sustainable cultivation of cocoa* (1st ed). London: Burleigh Dodds Science Publishing.
- [19] S. Jinap, P.S. Dimick, (1990). Acidic characteristics of fermented and dried cocoa bean from different counties of origin. *Journal of Food Science* (55), 547-550.
- [20] S. Jinap, P. S. Dimick, R. Hollender, (1995). Flavour evaluation of chocolate formulated from cocoa beans from different countries. *Food Control* (6), 105-110.
- [21] A. Lopez, V. C. Quesnel, (1973). Volatile fatty acid production in cocoa fermentation and the effect on chocolate flavor. *Journal of Science Agriculture* (24), 319-326.
- [22] Niimoto, H., Tanitsu, K. (1974). *The Quality Assessment of cocoa bean produced in Nigeria, Sabah and Papua New Guinca*. Mneiiji Seika Kaishe, Ltd., Tokyo. p121.
- [23] Quesnel, V.C. (1972). *Cocoa curing in retrospect and proapect* (4th). *International Cocoa Confonference*, St. Augustine, Trinidad.616 p.

- [24] อรพิน ภูมิภมร, จันทนา จินดา, บุญให้ แหลมเพชร และ ปิยนุช นาคะ. (2540). การหมักโกโก้ IV : การประเมินคุณภาพทางเคมีและประสาทสัมผัสของโกโก้หมักด้วยกล้าเชื้อผสม. วิทยาศาสตร์สาขาวิทยาศาสตร์(31), 419-428.
- [25] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1137-2550). โกโก้ผงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม
- [26] กลุ่มงานวิจัยพืชอุตสาหกรรม. (2563). กลุ่มวิชาการ. สถาบันวิจัยพืชสวน. สถานการณ์การผลิตโกโก้
- [27] A. C. Aprotosoaie, (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa products. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety (15), 73-91.

การศึกษาผลของการเผาที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของควอตซ์ธรรมชาติจาก ตำบลเขาพระงาม จังหวัดลพบุรี

The Effect of Heat Treatment on Physical Properties of Natural Quartz from Khoaprangam, Lopburi

ธัญวรรณ จันทา, ทิฆัมพร พรหมฉวี, กันตพัฒน์ กิตติอัฐวาลย์*, วลัยลิกา สุขสำราญ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

Thanyawan Janta, Tikumporn Promchawee , Kantapat Kittiauchawal*, Wallika Suksomran

Science Program, Faculty of Science and Technology,

Thepsatri Rajabhat University, Lopburi 15000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของการเผาควอตซ์ธรรมชาติจากเขาพระงาม ตำบลเขาพระงาม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี ก่อนและหลังการเผา และหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพควอตซ์ธรรมชาติโดยการเผา ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างควอตซ์ธรรมชาติจากท้องถิ่นมาเผาที่อุณหภูมิ 200, 400, 600, 800 และ 1,000 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละ 2 ตัวอย่าง เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำควอตซ์ที่ได้มาทดสอบสมบัติทางกายภาพเปรียบเทียบกับควอตซ์ที่ไม่ได้เผา เช่น ความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง รูปแบบผลึก ค่าดัชนีหักเห และคุณสมบัติทางแสง ผลที่ได้พบว่า ความถ่วงจำเพาะ 2.64 วัดความแข็งได้ 7.5 ค่าดัชนีหักเหมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีคือ 1.544 และพบธาตุองค์ประกอบซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) และการดูดกลืนแสงที่ไวที่สุดอยู่ที่ 482 นาโนเมตร และ 478 นาโนเมตร สรุปได้ว่าควอตซ์ที่เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีความใสและสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับควอตซ์ธรรมชาติมากที่สุด

คำสำคัญ : ควอตซ์, การเผา, สมบัติทางกายภาพ

* Corresponding author : kantapat.k@lawasri.tru.ac.th

Received : 21/03/2022

Revised : 16/06/2022

Accepted : 22/06/2022

Abstract

This research aim to study physical properties of heat treatment natural quartz from Kha-oprangam, Lopburi and in heat treatment the conduction for improving natural quartz by heat treatment. Natural quartz from local area were cut and burn at temperature of 200oC, 400oC, 600oC, 800oC and 1,000oC, respectively. At each temperature, two quartz were burn for 1 hour. Then, physical properties of the quartz were investigated comparing to unburned quartz Such as density, hardness, and optical properties, forms and crystals refraction. The results show that density of quartz 2.64 hardness 7.5, refraction of quartz 1.544 have SiO₂ , optical properties 482 nm and 478 nm. In conclusion quartz which heat treatment at 200oC is bright and its physical properties are closet to natural quartz.

Keywords : quartz, heat treatment, physical property

ที่มาและความสำคัญ

อัญมณีและเครื่องประดับ เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศและมีผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย มีจุดเด่นในด้านการส่งออก และนำรายได้เข้ามาในประเทศเป็นลำดับต้น ๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออัญมณีและเครื่องประดับนั้นนิยมมากในตลาดทั่วโลกเพราะสังคมยุคปัจจุบันนิยมความหรูหรา และนอกจากนั้นยังให้ความสำคัญต่อธุรกิจของชุมชน จากสถิติการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับของไทย ระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคม 2561 มีมูลค่าลดลงร้อยละ 16.56 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การส่งออกลดลงเนื่องจากการขาดแคลนวัตถุดิบแรงงานภาครัฐไม่เอื้ออำนวยต่อธุรกิจค้าขายอัญมณีมากเท่าที่ควร ตลาดการค้าหลักมีปัญหา และผู้บริโภคมุ่งเน้นอัญมณีท้องถิ่นโดยต้องมีการวิจัยและการพัฒนา [1] คอวตซ์ (ซิลิกอนออกไซด์) เป็นอัญมณีเนื้อแข็งหลากสี แต่ยังไม่ได้รับความนิยม และราคาไม่แพงมาก นอกจากนั้นยังมีตำหนิอยู่ในเนื้อคอวตซ์ ความหลากหลายสีของคอวตซ์ทำให้เป็นที่นิยมนำมาทำเครื่องประดับ แต่คอวตซ์ที่มีสีใส นิยมนำมาทำเป็นเครื่องรางของขลังที่ผู้ใดมีไว้กับตัวจะช่วยให้แคล้วคลาดจากภัยอันตราย นำโชคดีมาให้ นำความเบิกบานใจและความสุขมาให้แก่ผู้ที่ได้ครอบครอง [2] ลักษณะสีที่แตกต่างกันออกไปนั้นเกิดจากการที่มีธาตุปริมาณน้อยเข้าไปแทนที่โครงสร้างของผลึกคอวตซ์ ทำให้การดูดกลืนแสงและสีเปลี่ยนแปลง [3] เขาพระงาม จังหวัดลพบุรี เป็นแนวภูเขาหินปูนที่ถูกแทรกดันด้วยหินอัคนีแทรกซอนซึ่งมีส่วนประกอบทางแร่เป็นชนิดหินแกรนิต-แกรโนไดออไรต์ ที่มีการแปรสภาพของชั้นหินปูนเดิม ปะปนไปกับหินอัคนี พบว่ามี แร่ควอร์ต เป็นจำนวนมาก เกิดเนื่องมาจากน้ำแร่ที่มาจากมวลหินอัคนีแทรกซอน หรือแมกมาไหลไปบรรจุ ในรอยแตก รอยแยก และในโพรงหินอ่อนปนแคลก์-ซิลิเกต ที่กลายเป็นตำนาน “เพชรเขาพระงาม” [4] งานวิจัยนี้จึงนำคอวตซ์จากแหล่งท้องถิ่นมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆและทดสอบสมบัติทางกายภาพจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ นับว่าเป็นแนวทางที่ดีในการพัฒนาอัญมณีท้องถิ่น



ก) เครื่องตัด



ข) เครื่องเจียร



ค) เตาเผาไฟฟ้า



ง) เครื่องขัดเงา

ภาพที่ 1: เครื่องตัด, เครื่องเจียร, เตาเผาไฟฟ้า และเครื่องขัดเงา

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำควอตซ์ธรรมชาติจาก ตำบลเขาพระงาม จังหวัดลพบุรี มาทำการตัดและเจียรให้ได้รูปทรงที่ง่ายต่อการทดสอบสมบัติทางกายภาพของอัญมณีโดยใช้อุปกรณ์ดังภาพที่ 1 ก) และ 1 ข) จากนั้นทำควอตซ์ที่ได้มาเผาโดยเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 200 400 600 800 และ 1000 องศาเซลเซียส ตามลำดับเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และขัดเงา ดังภาพที่ 1 ค) และ 1 ง) แล้วนำควอตซ์มาทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

1) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

หาค่าความถ่วงจำเพาะโดยนำอัญมณีชิ้นนั้นไปหาปริมาตรโดยการแทนที่ในน้ำ เพื่อหาว่าน้ำถูกแทนที่ด้วยปริมาณเท่าใด ปริมาตรนั้นก็คือปริมาตรของน้ำที่เท่ากับปริมาตรของอัญมณีชิ้นนั้น หลักการของ อาร์คิมิดีส (Archimedes)

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ} = \frac{\text{มวลของวัตถุในอากาศ}}{\text{มวลของวัตถุในอากาศ} - \text{มวลของวัตถุในน้ำ}} \quad (1)$$

2) ความแข็ง (hardness)

ความทนทานต่อการขีดข่วน ขัดสีความแข็งของแร่ ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะเคมี แร่แรงยึดเกาะกันระหว่างอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแร่นั้น ถ้าแร่ยึดเกาะของพันธะเคมีที่มีสูง จะทำให้เกิดความแข็งมากไป



ภาพที่ 2: เครื่องวัดดัชนีหักเห ยี่ห้อ PRESIDIUM รุ่น Refractive Index Meter II

ด้วย การวัดความแข็งของแร่จะบอกเป็นค่าตัวเลข 1-10 โดยยึดตามมาตรฐานความแข็งของโมห์สเกล

3) การหักเหของแสง (refraction)

แสงสีขาว เมื่อตกกระทบบนผิววัตถุหรืออณูณที่มีมีความโปร่งให้แสงผ่านได้ แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับ (reflection) และบางส่วนจะผ่านทะลุเข้าไปในวัตถุหรืออณูณ แสงสีขาวที่ผ่านอากาศแล้วผ่านเข้าไปในวัตถุหรืออณูณที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ จะทำให้ความเร็วของแสงลดลง และเกิดการเบี่ยงเบนเข้าหาเส้นปกติ (แนวเส้นตั้งฉากกับผิววัตถุ) หรือเส้นปกติเราเรียกว่า เกิดการหักเหของแสง นักวิทยาศาสตร์จะพิจารณาในรูปของค่าดัชนีหักเห (refractive index ; RI) โดยอาศัยกฎทางแสงของสเนลล์ ที่กล่าวไว้ว่า อัตราส่วนของ $\sin$ ของมุมตกกระทบ (i) กับ $\sin$ ของมุมหักเห (r) จะมีค่าคงที่ และค่าคงที่นี้จะเรียกว่า ค่าดัชนีหักเห (RI) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$RI = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (2)$$

4) หาราตุองค์ประกอบทางเคมี

เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างโดยอาศัยหลักการที่อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม เปลี่ยนระดับชั้นที่มีพลังงานสูงไปยังชั้นที่มีพลังงานต่ำกว่า และคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานจำเพาะ ของแต่ละธาตุ อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม

5) การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ข้อมูลที่ได้จากเทคนิคดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุได้หลากหลาย เช่น ชนิดของธาตุ หรือสารประกอบ ระบบผลึก ขนาดของผลึก และค่าแลตทิซพารามิเตอร์ เป็นต้น ความรู้พื้นฐานที่สำคัญและเกี่ยวกับเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 3 เรื่อง คือ ผลึกวิทยาเบื้องต้น การแทรกสอดของคลื่น และกฎของแบร็กก์ (Bragg law)

6) การตรวจวัดปริมาณแสง

การตรวจวัดปริมาณแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสง และค่าความเข้มแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือโดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์



ภาพที่ 3: เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (XRD) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น Lab XRD-6100



ภาพที่ 4: แสงที่มองเห็นได้

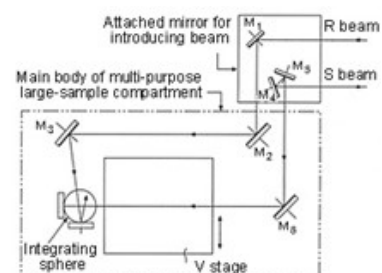
$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda \quad (3)$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

n คือ ลำดับของการสะท้อน

$2d_{hkl}$ คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ (hkl)

θ คือ มุมตกกระทบและมุมสะท้อนเมื่อวัดจากแนวระนาบที่กำลังพิจารณา



ภาพที่ 5: เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV-3600 Shimadzu UV-VIS-NIR spectrophotometer

ตารางที่ 1: ตารางแสดงอุณหภูมิและคุณสมบัติทางกายภาพ (ความถ่วงจำเพาะ ความแข็ง และดัชนีหักเห)

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (องศาเซลเซียส)	(คุณสมบัติทางกายภาพ)		
	ความถ่วงจำเพาะ	ความแข็ง Mohs Scale	ดัชนีหักเห
ไม่เผา	2.6507	7.5	1.6196
200	2.6533	7.5	1.4340
400	2.6473	8.5	1.3956
600	2.6478	8.5	1.3850
800	2.6559	7.5	1.4210
1000	2.6253	7.5	1.4150

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความถ่วงจำเพาะ จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาควอตซ์พบความถ่วงจำเพาะมากที่สุดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และที่ยังไม่เผา 200, 400, 600 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะที่สอดคล้องกับทฤษฎีของควอตซ์คือ 2.64-2.66 ยกเว้นอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ที่ความจำเพาะน้อยที่สุดคือ 2.6253 น่าจะมาจากการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้มวลหินบางชนิดหายไป

จากตารางที่ 1 สามารถหาค่าความแข็ง หาได้จากอุปกรณ์วัดความแข็ง DELUXE HARDNESS PICKS BY MINERALAB แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความแข็งแบบ Mohs Scale พบว่าที่ไม่เผา และการเผาที่อุณหภูมิ 200, 800 และ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งเท่ากับ 7.5 ตามทฤษฎีความแข็งของควอตซ์ แต่ที่อุณหภูมิ 400, 600 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งมากอยู่ที่ 8.5

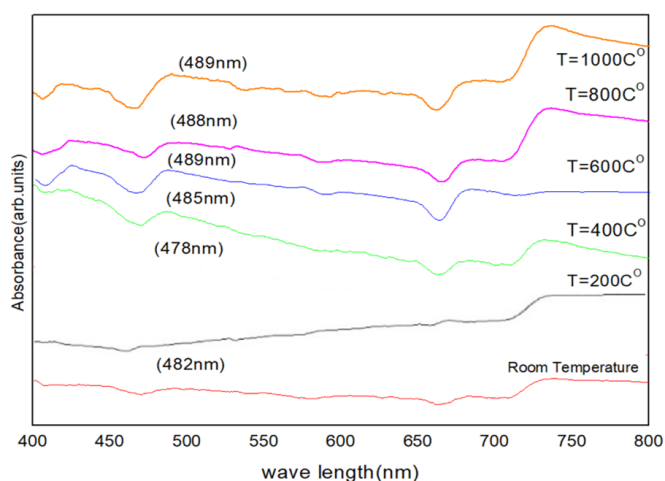
ค่าดัชนีหักเหแสง หาได้จากเครื่องวัดดัชนีหักเห ยี่ห้อ PRESIDIUM รุ่น Refractive Index II จากตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าดัชนีหักเหพบว่าค่าดัชนีหักเหของควอตซ์ที่ยังไม่เผามีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.6196 และลดลงที่อุณหภูมิ 200 – 600 องศาเซลเซียส คือ 1.4340 1.3956 และ 1.3850

ตารางที่ 2 เป็นการทดสอบธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในตัวอย่างของแร่ควอตซ์โดยใช้เครื่อง วิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมี ยี่ห้อ PANalytical BV - MiniPal 4 ในการทดสอบพบว่า ธาตุหลักของควอตซ์คือ ซิลิกอนออกไซด์ นั้นพบในตัวอย่างที่ 1000 องศาเซลเซียส มี ซิลิกอนออกไซด์ มากที่สุดคือ 97.329 และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีค่ามี ซิลิกอนออกไซด์ น้อยที่สุด

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าการดูดกลืนแสงของควอตซ์ การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 600 และ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 489 นาโนเมตร และควอตซ์ที่สามารถดูดกลืนแสงได้เร็ว คือควอตซ์ที่ไม่เผา และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เท่ากับ 482 นาโนเมตร และ 478 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยค่าการดูดกลืนแสงจะขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานและอุณหภูมิด้วย

ตารางที่ 2: ตารางแสดงธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในตัวอย่างของควอตซ์

ธาตุองค์ประกอบของควอตซ์จากเครื่อง X-ray Fluorescence								
อุณหภูมิที่ใช้ ในการเผา (องศาเซลเซียส)	SiO ₂	Ag ₂ O	CaO	WO ₃	BaO	Fe ₂ O ₃	CO ₃ O ₄	Cl
ไม่เผา	96.895	0.822	0.029	2.175	0.139	-	-	-
200	96.218	-	0.026	3.517	-	0.035	0.204	-
400	96.345	-	-	3.365	-	0.065	0.225	-
600	94.671	-	-	4.756	-	0.072	0.359	0.142
800	95.248	-	-	4.285	-	0.102	0.367	-
1000	97.329	-	-	2.441	-	0.046	0.184	-

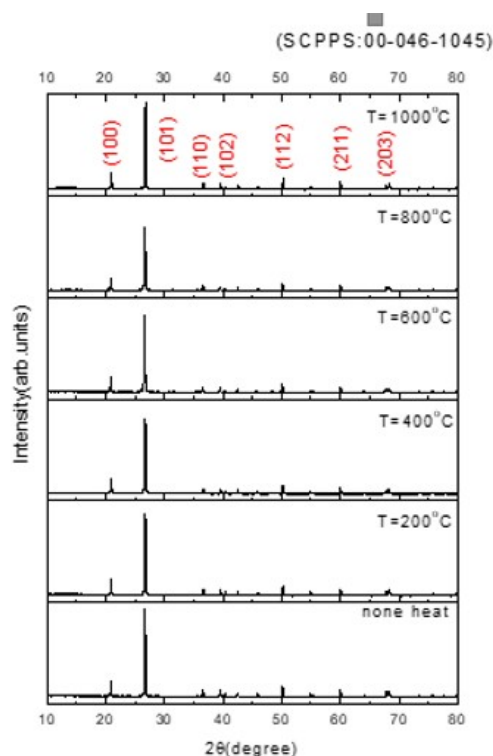


ภาพที่ 6: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าการดูดกลืนแสง

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกในภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างผลึกของควอตซ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 °C จะยังคงความเป็นผลึกควอตซ์อยู่

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของควอตซ์ธรรมชาติ จากเขาพระงาม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี ก่อนเผาและหลังเผาเพื่อหาเงื่อนไขที่อุณหภูมิ 200 400 600 800 และ 1,000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลดังนี้ วัดความถี่จำเพาะ มากที่สุดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ไม่เผาและเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และ 600 องศาเซลเซียส คือ 2.6559 2.6507 2.6473 และ 2.6478 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีความถี่จำเพาะของควอตซ์ที่มีความถี่จำเพาะ 2.64-2.66 วัดความถี่แบบโมห์สเกล พบว่าควอตซ์ที่มีผลตามทฤษฎีคือควอตซ์คือยัง



ภาพที่ 7: ผลการวิเคราะห์ผงควอตซ์ก่อนเผาและหลังเผาโดยใช้เทคนิค XRD

ไม่เผา และเผาที่อุณหภูมิ 200 800 และ 1,000 องศาเซลเซียส มีค่าความเข้มที่ระดับ 7 ค่าดัชนีหักเหค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีคือ 1.544 และ 1.553 การวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร ที่เห็นได้ชัดคือการดูดกลืนแสงของควอตซ์ก่อนเผาและเผาที่ 200 องศาเซลเซียส สามารถดูดกลืนแสงได้ไวกว่าควอตซ์ที่เผาที่อุณหภูมิสูงกว่านั้น การดูดกลืนแสงอยู่ที่ 482 นาโนเมตร และ 478 นาโนเมตร เป็นไปตามทฤษฎีของฟาเรียสที่ว่าควอตซ์จะดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 450-650 นาโนเมตร การวัดธาตุองค์ประกอบของควอตซ์จากเครื่อง X-ray Fluorescence พบค่าเฉลี่ยของแร่ $\text{SiO}_2 = 96.117$ $\text{Ag}_2\text{O} = 0.822$ $\text{CaO} = 0.0275$ $\text{WO}_3 = 3.423$ $\text{BaO} = 0.139$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.064$ $\text{Co}_3\text{O}_4 = 0.267$ และ $\text{Cl} = 0.142$ ในควอตซ์ธรรมชาติทั้งก่อนและหลังการเผา การวิเคราะห์รูปแบบผลึก โดยได้ทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (XRD) เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล SCPPS:00-046-1045 ของควอตซ์ธรรมชาติ เป็นโครงสร้างผลึกแบบ เฮกซะโกนอล (hexagonal) จากการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ยังคงเป็นโครงสร้างผลึกและคุณสมบัติทางภาพคงเดิม ที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยนั้นจะมีผลต่อความใสและสีของควอตซ์ ซึ่งเป็นผลมาจากพลังงานความร้อนไปกระตุ้นให้เกิดการจัดระเบียบในโครงสร้างให้สมบูรณ์มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพงษ์ แก้วขาว หัวหน้าศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือในการทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ. “สถานการณ์การส่งออกสินค้าอัญมณี และเครื่องประดับไทย.” พ.ศ. 2562.
- [2] ศิวาพร สหวัฒน์. “อัญมณีศาสตร์” กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พ.ศ. 2564.
- [3] Thongnopkun P. “Color Change of Green Tourmaline from Madagascar by Heat Treatment, Gems and Jewelry Research Unit, Faculty of Gems.” Burapha University Chanthaburi Campus. 2017.
- [4] กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม. “แร่.” พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์รุ่งเรืองรัตน์, พ.ศ. 2520.

ผลของพลังงานอินฟราเรดและเวลาที่ใช้ในการอบต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของถั่วแมคคาเดเมียอบ

Effect of Infrared Wattage and Treatment Duration on Physicochemical Properties and Sensory Attribute of Roasted Macadamia Nuts

แดนชัย เครื่องเงิน^{1,*}, อัสฎา เหมสุวรรณ¹, วิษณุ บัวเทศ², ศิริลดา ศรีกอก³

¹โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

²โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

³โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

Danchai Kreungngern^{1,*}, Atsada Hemsuwan¹, Witsanu Buathes², Sirilada Srikok³

¹Food Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

²Electrical Engineering Technology Program, Faculty of Industrial Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

³ Food Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology,

Thepsatri Rajabhat University, Lopburi 15000

บทคัดย่อ

แมคคาเดเมียเป็นพืชชนิดถั่วมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ไม่มีคลอเรสเตอรอล จึงช่วยลดไขมันในเลือดได้ดี นอกจากบริโภคแล้วยังสามารถสกัดเป็นน้ำมันที่ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางที่ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นและความลื่นแก่ผิว การแปรรูปแมคคาเดเมียจะให้การทำให้แห้งเพื่อลดความชื้นทั้งเปลือกก่อนหลัง

* Corresponding author : danchai.kpru@gmail.com

Received : 09/03/2022

Revised : 05/07/2022

Accepted : 19/07/2022

จากนั้นจะกะเทาะเปลือกออกแล้วนำเมล็ดมาแปรรูปโดยการคั่ว การทอด หรือการอบ ปัญหาที่สำคัญของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียคือการหืนและการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพลดลงจนไม่สามารถบริโภคได้ การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงอินฟราเรดซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาสั้น คงคุณค่าทางโภชนาการ และต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยต่ำในการอบเมล็ดแมคคาเดเมีย โดยพัฒนาให้เป็นเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานอัตโนมัติทำให้การใช้งานสะดวกและผลิตได้มากขึ้น การศึกษานี้จะทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมคือพลังงานอินฟราเรดที่ 6,000 7,200 และ 8,000 วัตต์ และเวลาในการอบที่ 5 6 และ 7 นาที ในการอบเมล็ดแมคคาเดเมีย พบว่า ที่พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที มีความชื้นร้อยละ 1.78 ค่า a_w เท่ากับ 0.35 ค่าสี L^* เท่ากับ 77.00 a^* เท่ากับ 1.46 b^* เท่ากับ 21.40 ค่าความเป็นกรด 2.99 มิลลิกรัมของ KOH ต่อกรัมของเมล็ดแมคคาเดเมียและการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้รับคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมสูงสุด และจากการคำนวณต้นทุนทางด้านพลังงานของการผลิตการอบเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานพบว่าจะมีต้นทุนการผลิตจากค่าไฟฟ้า 0.85 บาทต่อกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน

คำสำคัญ : แมคคาเดเมีย, อินฟราเรด, การหืน

Abstract

Macadamia nuts are highly nutritious nuts, especially with a high content of unsaturated fatty acids and low cholesterol. The function is useful of macadamia to reduce fat in the blood. In addition to being edible, it can also be extracted as an oil that is used as a cosmetic ingredient to increased the moisture and smoothness of the skin. The processing of kernels macadamias firstly involves drying to reduce moisture in the shell. The kernels processed are husks and shell removed and then roasting or frying or baking processing. The rancidity and browning reaction have deteriorated the qualities of the macadamia products to the extended shelf life and are unsuitable to consume. The infrared of electromagnetic waves technique was provides highly efficient heating, short time, maintains a nutritional value, and low unit energy cost to drying kernels macadamia. In this study, the infrared drying instrument was developed to be an automatic infrared conveyor, it was made more convenient to use and more productive. The infrared heating examined optimal conditions were investigated infrared powers of 6,000, 7,200, and 8,000 watts, and 5, 6, and 7 minutes of processed times. The optimal heating condition of kernels macadamia product by infrared technique was found at 7,200 watts of infrared wattage and 6 minutes during processing. That condition was found that the moisture content, a_w , L^* , a^* , b^* , and acid value were 1.78 %, 0.35, 77.00, 1.46, 21.40, and 2.99 mg of KOH/gram of kernels macadamia, respectively. In the optimal condition, the sensory attribute was had the highest appearance, odor, flavor, and overall acceptance score. In addition, the calculation of the energy cost of the optimal condition by infrared dryer was had 0.85 baht per kilogram kernels macadamia per 8 hours of work.

Keywords : Macadamia, Infrared, Rancidity

ที่มาและความสำคัญ

แมคคาเดเมีย (Macadamia Integrifolia) เป็นพืชชนิดถั่วมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ไม่มีคลอเรสเตอรอลจึงช่วยลดไขมันในเส้นเลือดได้ดี นอกจากบริโภคแล้วยังสามารถสกัดเป็นน้ำมันที่ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางที่ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นและความอ่อนนุ่มผิว นอกจากนั้นกะลาของเมล็ดยังสามารถนำมาเผาเป็นถ่านช่วยดูดกลิ่นและจับอนุภาคลิเธียมได้ดี ในประเทศไทยแมคคาเดเมียปลูกได้ดีที่โครงการพัฒนาโดยตั้งอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง) โดยผลิตได้มากประมาณ 60 ตันต่อปี โดยสร้างมูลค่าสูงถึงปริมาณ 96,000,000 ล้านบาทต่อปี นอกจากนี้ยังสามารถปลูกได้ดีในพื้นที่ดอยมูเซอ จังหวัดตาก เขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และภูเรือจังหวัดเลย การแปรรูปแมคคาเดเมียหลังเก็บเกี่ยวและผ่านการกะเทาะกะลาออกแล้วให้นำมาคัดเลือกเอาเมล็ดพันธุ์ที่มีตำหนิออกนำเฉพาะเมล็ดที่มีคุณภาพดีมาอบหรือทอดโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 127-135 องศาเซลเซียส หรือใช้เวลาทอดประมาณ 12 - 15 นาที โดยอบแห้งจะอบจนความชื้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 1.5 - 2 เมล็ดแมคคาเดเมียที่มีเปลือกมีสีน้ำตาล คือเป็นเมล็ดที่สุกนานแล้ว ถ้าเมล็ดแมคคาเดเมียมีดำควรนำไปกะเทาะเปลือกออกแล้วนำไปอบแห้งภายใน 24 ชั่วโมง เพราะจะทำให้เกิดความร้อนทำให้เนื้อในมีคุณภาพไม่ดี [1]

ปัญหาของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบคือการเหม็นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ถั่วแมคคาเดเมียอบแห้ง โดยความหืนเป็นหนึ่งในข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่สำคัญของถั่วแมคคาเดเมียที่มีสาเหตุจาก การเกิดออกซิเดชันและการไฮโดรไลซิส [2] ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนจะถูกออกซิไดส์ได้เร็วกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวโดยเฉพาะที่พันธะคู่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ไม่ให้กลิ่น แต่สารประกอบนี้ไม่คงตัวจะสลายตัวให้สารประกอบชนิดอื่น เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน ที่ให้กลิ่นหืน ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อไขมันหรืออาหารสัมผัสกับอากาศ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้แม้อยู่ที่อุณหภูมิห้องและสามารถถูกเร่งโดยแสง ความร้อน โลหะหนัก โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้จะมีกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ เช่น มีความมันเยิ้ม มีรสชาติเปลี่ยน เกิดกลิ่นหืนและที่สำคัญจะมีผลทำให้ปริมาณวิตามินเอถูกทำลายและสูญเสียวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ได้ [1] นอกจากนั้นแล้วยังเกิดการเน่าเสียจากการเกิดรา คือ การเน่าเสียจากจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินขึ้นได้ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ.2529 เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนได้กำหนดไว้ว่าให้มีการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินได้ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในผลิตภัณฑ์ถั่ว แมคคาเดเมียอบแห้ง สามารถเกิดราได้ง่ายทั้งในระหว่างการขนส่งจากไร่ถั่วแมคคาเดเมียมายังโรงงานผลิต และจากกระบวนการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานซึ่งถั่วแมคคาเดเมียนั้นยังไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งมีปริมาณค่าความชื้นสูงสามารถเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย [1]

ดังนั้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบแห้งมีคุณภาพดีไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และไม่เกิดการเสื่อมเสียโดยเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว โดยปกติการอบแห้งแมคคาเดเมียจะใช้วิธีแบบลมร้อนโดยจากการศึกษาของ Buthelezi, et al. (2021) [2] พบว่าการอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที [2] จะให้ผลิตภัณฑ์เมล็ดแมคคาเดเมียอบที่มีสารต้านอนุมูลอิสระประเภทฟีนอลสูงอย่างมีนัยสำคัญ ได้รับการยอมรับทางคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส: กลิ่น รส และลักษณะโดยรวม มีฟอสฟีนอลออกซิเดส (PPO) คาเปอร์ออกไซด์ (PV) และกรดไขมัน (FAs) ในระดับต่ำ เมื่อสิ้นสุดการจัดเก็บรักษาในสภาวะเร่งเป็นเวลา 70 วัน ซึ่งการอบโดยการใช้น้ำมันนี้

เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน ทำการควบคุมได้ง่ายและต้นทุนต่ำแต่จะใช้เวลาในการอบนาน อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูง การศึกษานี้จึงเสนอวิธีทางเลือกอีกวิธีหนึ่ง คือการใช้เทคนิควิธีการอบแห้งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงความถี่ที่เป็นอินฟราเรด (IR) เป็นเทคนิคการแปรรูปที่อาหารสามารถดูดซับพลังงานความร้อนของ IR ได้ดี ให้ความร้อนสม่ำเสมอ มีอุปกรณ์น้อย ใช้เวลาสั้น สูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมน้อย และที่สำคัญใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบธรรมดา[3] [4] และจุดที่สำคัญอินฟราเรดสามารถแผ่กระจายผ่านอากาศ, ถูกดูดซึมโดยอาหาร และถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารโดยไม่ให้ความร้อนกับอากาศโดยรอบภายในห้องอบ [5] และจากการรายงานของ Yan, et al. (2020) [6] ที่รายงานว่า การให้ความร้อนโดยใช้อินฟราเรดสามารถคงคุณสมบัติของกลิ่นหอมของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี ส่วนในการออกแบบกระบวนการก็สามารถออกแบบโดยใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมซึ่งมีขนาดกะทัดรัด ง่ายต่อการ ควบคุม ทำงานอัตโนมัติ และปลอดภัย [5] ในขณะที่ระยะเวลาการแปรรูป การใช้พลังงาน และการใช้จ่ายต้นทุนต่ำ [7] ดังนั้นการแปรรูปแมคคาเดเมียด้วยเทคนิคอินฟราเรดจึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจ ทั้งในแง่ของต้นทุนพลังงาน การให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงมาก และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงที่คงสีและคุณค่าทางโภชนาการได้ดี

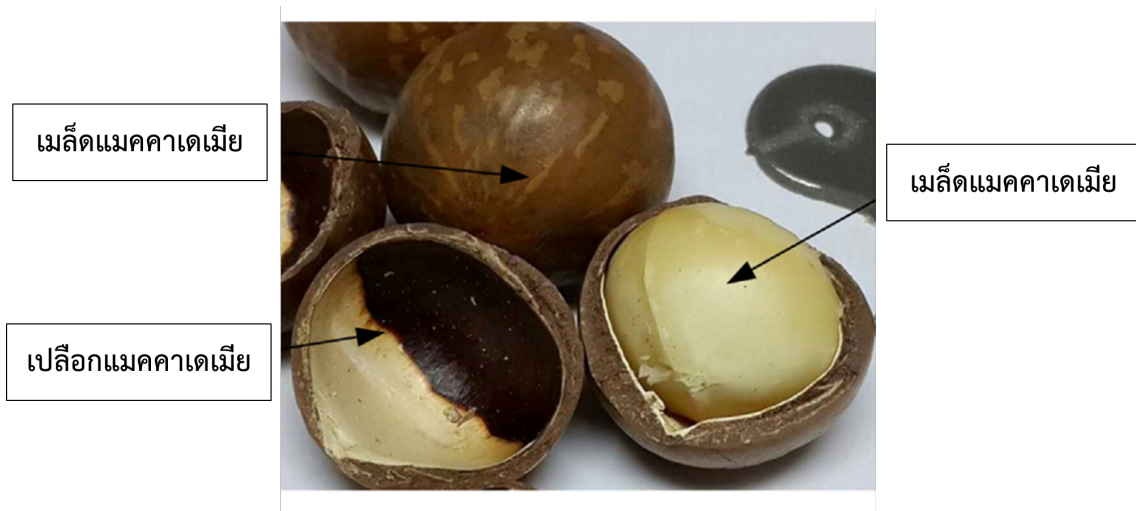
จากการวิเคราะห์ปัญหาและทางเลือกในการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอินฟราเรดทดแทนการอบแห้งแมคคาเดเมียข้างต้น ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้เครื่องอบร้อนอบแมคคาเดเมียแบบสายพานที่ผลิตขึ้นเพื่อหาวิธีการอบแมคคาเดเมียที่เหมาะสม โดยการศึกษาคุณภาพด้านเคมี กายภาพ ประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบที่ผลิตจากเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน และศึกษาต้นทุนของการผลิตเปรียบเทียบกับวิธีการอบแบบธรรมดา

วิธีการดำเนินการวิจัย

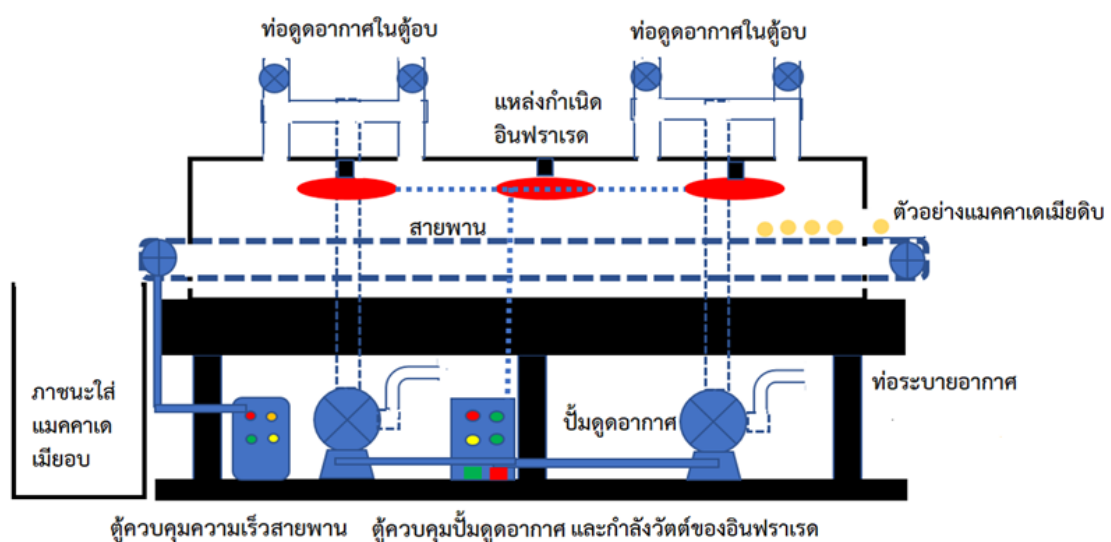
การศึกษาผลของพลังงานอินฟราเรดและเวลาที่ใช้ในการอบต่อคุณภาพด้านกายภาพ-เคมี และประสาทสัมผัสของถั่วแมคคาเดเมียอบครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัยดังรายละเอียดดังนี้

วัตถุดิบ

ในการศึกษานี้ใช้เมล็ดแมคคาเดเมียจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเสีราษฎร์ เลขที่ 216 หมู่ที่ 6 ตำบลช่องแคบ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก โดยใช้แมคคาเดเมียดิบและสดที่ผ่านการอบแห้งทั้งเปลือกด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 2 วัน โดยเก็บตัวอย่างทันทีหลังจากกะเทาะเปลือกนอกและเปลือกใน (ภาพที่ 1) ด้วยมือบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ที่ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จนกระทั่งทำการทดลองหาความชื้น a_w วัดค่าสี ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าเปอร์ออกไซด์ ของแมคคาเดเมียสด จากนั้นหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน โดยใช้ความชื้น a_w วัดค่าสี ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าเปอร์ออกไซด์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ภาพที่ 1: ส่วนประกอบของถั่วแมคคาเดเมีย
ที่มา: Pankaew et al. (2016)[7]



ภาพที่ 2: แผนผังกระบวนการอบเมล็ดแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพาน

วิธีการวิจัย

1) การหาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแมคคาเดเมียด้วยอินฟราเรดแบบสายพาน

1.1) สภาวะในการอบแมคคาเดเมีย

ทำการอบแมคคาเดเมียดิบและสดจำนวน 100 กรัม ด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน (ผลิตโดยบริษัท Dielectric Technology.co.,LTD, ประเทศไทย) ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังภาพที่ 1

โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ตามกำลังวัตต์ระหว่าง 6,000-8,400 วัตต์ และเวลาที่อบระหว่าง 5-7 นาที ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 1

1.2) การวิเคราะห์คุณภาพของแมคคาเดเมียอบ



ภาพที่ 3: เครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพาน

ตารางที่ 1: แสดงการทดลองในการอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน

สิ่งทดลองที่	พลังงานอินฟราเรด (วัตต์)	เวลาที่อบ (นาที)
1	6,000	5
2	6,000	6
3	6,000	7
4	7,200	5
5	7,200	6
6	7,200	7
7	8,400	5
8	8,400	6
9	8,400	7

เมื่อทำการอบแมคคาเดเมียจากสภาวะในตารางที่ 1 เสร็จแล้วนำแมคคาเดเมียที่อบด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานที่มอดให้ละเอียด แล้วทำการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

- ค่าสี (Hunter Lab รุ่น color flex, U.S.A) ทำการวัดสีของตัวอย่างโดยวัดค่า L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสีเป็นเครื่องมือที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานก่อนนำมาใช้งาน ทำการวัดตัวอย่าง 3 ครั้ง ณ ตำแหน่งที่ต่างกัน ข้อมูลที่ใช้รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด ค่าสี L^* , a^* และ b^* คือ สีมืด-สีสว่าง, สีเขียว-สีแดง และสีน้ำเงิน-สีเหลือง ตามลำดับ และทำการคำนวณค่าสีที่เปลี่ยนไปรวม จากสมการ

$$\text{ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงจากเมล็ดแมคคาเดเมียสดรวม} = [(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2]^{1/2}$$

- การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้วิธี AOAC (2012) [8]

- ค่า a_w ทำการวัดค่า Water activity โดยใช้เครื่องวัด a_w (AQUA LAB รุ่น Series 3 TE, U.S.A) โดยใส่ตัวอย่างที่ผ่านการบดแล้วในถ้วยสำหรับวัดค่า a_w ประมาณ 3 ส่วน 4 ของถ้วย จากนั้นทำการวัด 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิ 25

องศาเซลเซียส

- ค่าความเป็นกรด (Acid Value: AV) หาค่าความเป็นกรดของแมคคาเดเมียอบและบดทุกการทดลอง 3 ครั้ง โดยใช้วิธีการไทเทรตมาตรฐาน ตามวิธีของ AOAC (1999) [9]

- การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) หาปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ของแมคคาเดเมียอบและบดทุกการทดลอง 3 ครั้งโดยวิธี IUPAC 2.501 (แก้ไขเพิ่มเติม), AOCS Cd 8b –90 (97) หรือ ISO 3961: 1998 [10]

1.3) การคัดเลือก

การคัดเลือกสภาวะการอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานโดยทำการเลือกจากค่าสี ความชื้นค่า a_w และปริมาณกรดไขมันอิสระ ที่ได้กล่าวมานั้นสามารถเลือกผลิตภัณฑ์จำนวน 4 สิ่งทดลอง ที่จะนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้เกณฑ์ในการเลือกผลิตภัณฑ์ดังนี้

- ค่าสี ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีค่าสี L^* สูงกว่า 75 หรือแมคคาเดเมียอบจะต้องมีสีขาว มีสีแดงกับสีเหลืองน้อย โดยจะทำการตัดผลิตภัณฑ์ที่มีสีคล้ำออกและเหลือการทดลองที่ต้องหาจำนวนไม่ต่ำกว่า 4 สิ่งทดลอง

- ปริมาณความชื้นและค่า a_w น้อยกว่า 0.4 โดยเลือกจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำอิสระที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต โดยจะทำการตัดผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นและค่า a_w สูงออกและเหลือการทดลองที่ต้องหาจำนวนไม่ต่ำกว่า 4 สิ่งทดลอง

- ค่าความเป็นกรดไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมีย 1 กรัม

โดยจะคัดเลือกแมคคาเดเมียอบจำนวนไม่ต่ำกว่า 4 สิ่งทดลองเพื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส

2) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อใช้เกณฑ์ทางกายภาพ คือ ค่าสี ทางเคมี คือ ความชื้น a_w และค่าความเป็นกรด ที่เหมาะสมเลือก แมคคาเดเมียอบจำนวน 4 สูตร พร้อมทั้งใช้ตัวอย่างควบคุม คือ แมคคาเดเมียอบที่มีขายตามท้องตลาดมาเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน โดยให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ประเมินผลตามความชอบโดยใช้ 9-points Hedonic scale กำหนดให้ตัวเลข 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด

3) การวิเคราะห์ทางสถิติ

โดยการตรวจสอบคุณภาพของแมคคาเดเมียอบใช้แผนการทดลอง Completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดสอบ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ทดสอบทางประสาทสัมผัสของแมคคาเดเมียอบใช้แผนการทดลอง Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

4) การวิเคราะห์ค่าพลังงานในการใช้เครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบสายพาน

โดยการคำนวณการใช้พลังงานของเครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบสายพานต่อน้ำหนักของแมคคาเดเมียเป็นกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน (Man-day) และการอบแมคคาเดเมียจะมีต้นทุนจากค่าไฟฟ้าที่บาทต่อกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน โดยใช้สูตรในการคำนวณ [11]

ตารางที่ 2: ความชื้น และค่า a_w ของตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน

การ ทดลองที่	พลังงาน อินฟราเรด (วัตต์)	เวลาในการอบ (นาท)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	ความชื้น (ร้อยละ)
1	เมล็ดแมคคาเดเมียสด		$0.51^a \pm 0.00$	$2.39^a \pm 0.04$
2	6,000	5	$0.34^b \pm 0.02$	$1.99^{ab} \pm 0.46$
3	6,000	6	$0.35^b \pm 0.00$	$1.82^{ab} \pm 0.09$
4	6,000	7	$0.36^b \pm 0.00$	$1.82^{ab} \pm 0.12$
5	7,200	5	$0.36^b \pm 0.00$	$1.78^{ab} \pm 0.08$
6	7,200	6	$0.35^b \pm 0.00$	$1.78^{ab} \pm 0.05$
7	7,200	7	$0.36^b \pm 0.00$	$1.66^b \pm 0.06$
8	8,400	5	$0.35^b \pm 0.00$	$1.97^{ab} \pm 0.13$
9	8,400	6	$0.37^b \pm 0.01$	$1.61^b \pm 0.11$
10	8,400	7	$0.36^b \pm 0.00$	$1.93^{ab} \pm 0.57$

หมายเหตุ: ทำการวัดและวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งของแต่ละการทดลอง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

พลังงานไฟฟ้า (ยูนิต หรือ KW-hour) = กำลังไฟฟ้า (KW) $\times$ เวลา (ชั่วโมง)

หรือ ถ้าคิดกำลังไฟฟ้าหน่วยเป็นวัตต์ (W) หารด้วย 1,000 จะได้

พลังงานไฟฟ้า (ยูนิต หรือ KW-hour) = กำลังไฟฟ้า (W) $\times$ เวลา (ชั่วโมง) / 1,000

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างแมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอบ แมคคาเดเมียด้วยอินฟราเรดแบบสายพาน มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) ปริมาณน้ำอิสระและความชื้น

นำตัวอย่างแมคคาเดเมียมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี คือ ความชื้น ค่า a_w ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 2 ดังนี้

Pankaew et al. (2016) [12] ได้รายงานไว้ว่า ถั่วแมคคาเดเมียสดหลังการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นสูงและมีแนวโน้มที่จะเสื่อมสภาพโดยอาจจะทำให้เกิดเชื้อราได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาจะต้องทำให้ถั่วมีความชื้นต่ำลงโดยวิธีการต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วิธีการทอด การอบ ในรายงานการศึกษา ของ Wall & Gentry (2007) [13] ได้รายงานความชื้นของแมคคาเดเมียทั้งเปลือกอยู่ในช่วง 16-25 กรัมต่อ 100 กรัม ส่วนค่า a_w จะมากกว่า 0.8 ซึ่งในความชื้นและ a_w ของเมล็ดแมคคาเดเมียนี้เป็นสภาวะที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ เอนไซม์สามารถทำงานได้ และ

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลสามารถเกิดได้เร็ว และเมื่อทำการอบทั้งเปลือกด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 2 วัน จนเปลือกแห้งซึ่งแมคคาเดเมียทั้งเปลือกจะมีลักษณะแห้ง มีรอยแตก น้ำหนักเบาลง ซึ่ง Wall & Gentry (2007)[11] ได้รายงานว่าการตากแมคคาเดเมียทั้งเปลือกให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 เพื่อยับยั้งการสูญเสียคุณภาพระหว่างการจัดเก็บ หลังจากนั้นทำการกะเทาะเปลือกออกทั้งเปลือกนอกและเปลือกใน (ภาพที่ 1) นำมาหาความชื้นและค่า a_w โดยแนะนำว่าเมล็ดแมคคาเดเมียอบควรจะมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 1.5 และมีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.2–0.3 ซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับความคงตัวของอาหารแห้งและ จากการวิจัยนี้จะได้ ความชื้นและค่า a_w ของเมล็ดแมคคาเดเมียจะเป็นร้อยละ 2.39 (ต่อน้ำหนักแห้ง) และ 0.51 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการอบแมคคาเดเมียด้วยอินฟราเรดแบบสายพานจะมีค่าความชื้นและ a_w สูงกว่าการอบด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 2 วัน ทั้งนี้เนื่องจากการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานใช้เวลาอบน้อยกว่าและผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียที่ผลิตได้มีความชื้น และค่า a_w อยู่ในเกณฑ์ที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ประกอบกับคุณภาพด้านอื่นๆของผลิตภัณฑ์ เช่น ค่าสี ค่าความเป็นกรด ค่าความหืน และได้รับยอมรับทางการทดสอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับดีพอใช้ จึงใช้สภาวะนี้ในการอบแมคคาเดเมียได้

จากตารางที่ 2 ค่า a_w ของตัวอย่างแมคคาเดเมียสดจะลดลงประมาณร้อยละ 30 เมื่ออบด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพาน และผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบทุกการทดลอง (พลังงานอินฟราเรด 6,000 – 8,400 วัตต์ ด้วยเวลา 5 – 7 นาที) มีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าช่วงของพลังงานอินฟราเรดและเวลาช่วงดังกล่าวแคบจนทำให้ไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความแตกต่างได้ ส่วนความชื้นตัวอย่างที่อบด้วยอินฟราเรดจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยภาพรวมจะสามารถลดความชื้นจะมีค่าน้อยกว่าแมคคาเดเมียสด ($p \leq 0.05$) และจะมีความชื้นลดลงได้ประมาณร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับแมคคาเดเมียสด โดยที่สภาวะพลังงานอินฟราเรด 8,400 วัตต์ ใช้เวลาอบ 6 นาทีมีความชื้นลดลงจากตัวอย่างแมคคาเดเมียสดมากที่สุด (มีความชื้นร้อยละ 1.61 น้ำหนักแห้ง หรือลดลงประมาณร้อยละ 30) ทั้งนี้ปริมาณความชื้น และค่าน้ำอิสระในตัวอย่างแมคคาเดเมียอบจะมีผลต่ออัตราการเสื่อมเสียของตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่มีความชื้น และค่าปริมาณอิสระต่ำจะเก็บไว้ได้นานกว่าเนื่องจากมีสภาวะอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะต่ำกว่าและในสภาวะนี้เอนไซม์ไลเปส และไลพอกซิเจเนสซึ่งเกี่ยวข้องกับการหืน[13] ดังนั้นผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถเก็บได้โดยไม่ทำให้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบมีคุณภาพที่ไม่พึงประสงค์

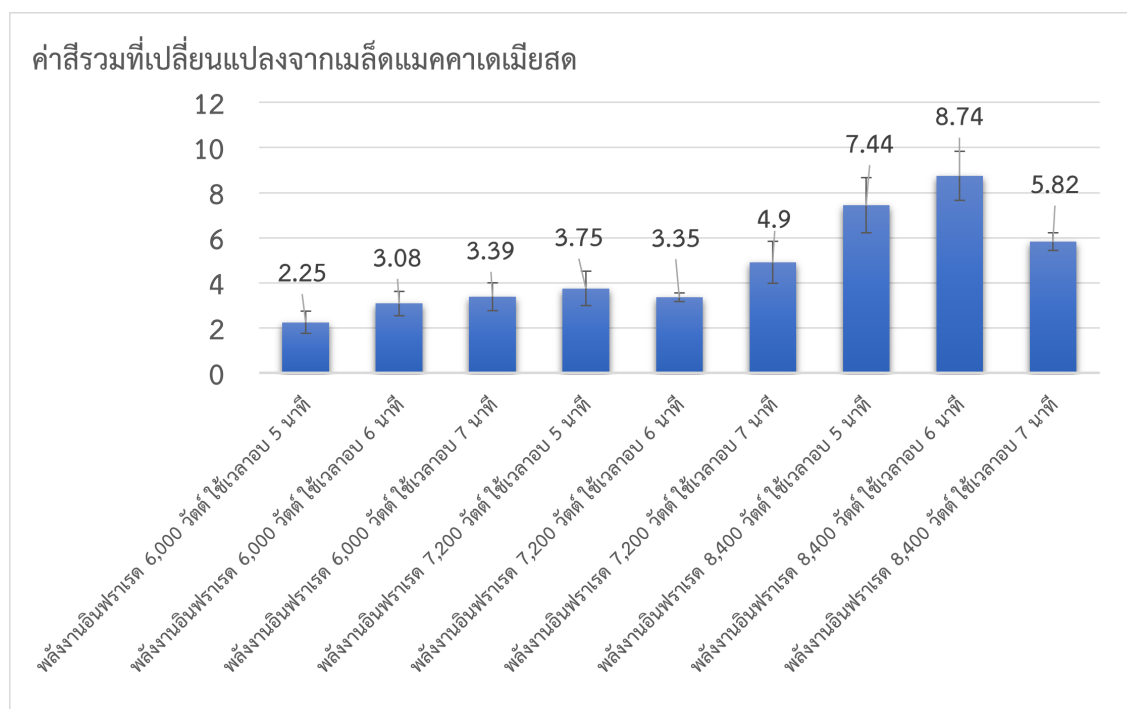
2) ค่าสี

จากการนำตัวอย่างควบคุมคือแมคคาเดเมียสด และตัวอย่างแมคคาเดเมียอบด้วยอินฟราเรดแบบสายพานจำนวน 9 การทดลองนำมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี พบว่าได้ผลการวัดดังตารางที่ 3 โดยค่าสีของตัวอย่างแมคคาเดเมียสด พบว่าผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานมีความเข้มของสีเพิ่มขึ้นโดยจะมีความสว่าง (L^*) ลดลง มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีเหลืองมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และพบว่า การอบด้วยเครื่องอินฟราเรดที่พลังงาน 6,000 – 8,400 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 5 – 7 นาที มีค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่าแมคคาเดเมียสด ตัวอย่างที่มีค่าความสว่างมากที่สุด คือ การอบด้วยอินฟราเรดที่พลังงาน 6,000 วัตต์ ที่ 6 นาที ส่วนค่าสีแดง (a^*) ของตัวอย่างแมคคาเดเมียที่อบด้วยอินฟราเรดทุกการทดลองตัวอย่างมีสีแดงเพิ่มมากขึ้น โดย Wall & Gentry (2007)[13] ที่ทำการศึกษากล้วยที่มีอยู่ในแมคคาเดเมียมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียคั่วแห้งซึ่งพบว่า น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสที่มีอยู่ในเมล็ดแมคคาเดเมียสดเมื่อทำการคั่วที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 3: ค่าสีของตัวอย่างแมคคาเดเมียสด และตัวอย่างแมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน

การ ทดลองที่	พลังงาน อินฟราเรด (วัตต์)	เวลาในการอบ (นาที)	L^*	a^*	b^*
1	เมล็ดแมคคาเดเมียสด		79.45 ^a ± 0.20	0.71 ^f ± 0.17	21.78 ^a ± 0.47
2	6,000	5	77.69 ^b ± 0.05	1.04 ^b ± 0.26	20.62 ^b ± 0.39
3	6,000	6	77.13 ^c ± 0.14	1.21 ^e ± 0.14	21.05 ^a ± 0.26
4	6,000	7	76.99 ^c ± 0.13	1.55 ^c ± 0.15	20.99 ^a ± 0.51
5	7,200	5	76.83 ^d ± 0.05	1.22 ^e ± 0.28	21.17 ^a ± 0.81
6	7,200	6	77.00 ^c ± 0.13	1.46 ^c ± 0.08	21.40 ^a ± 0.29
7	7,200	7	76.66 ^e ± 0.13	1.23 ^d ± 0.08	20.46 ^b ± 0.72
8	8,400	5	75.92 ^g ± 0.17	2.26 ^a ± 0.20	21.88 ^a ± 0.73
9	8,400	6	75.43 ^h ± 0.181	1.86 ^b ± 0.15	21.71 ^a ± 0.19
10	8,400	7	76.15 ^f ± 0.07	1.35 ^c ± 0.11	21.19 ^a ± 0.24

หมายเหตุ: ทำการวัดและวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งของแต่ละการทดลอง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

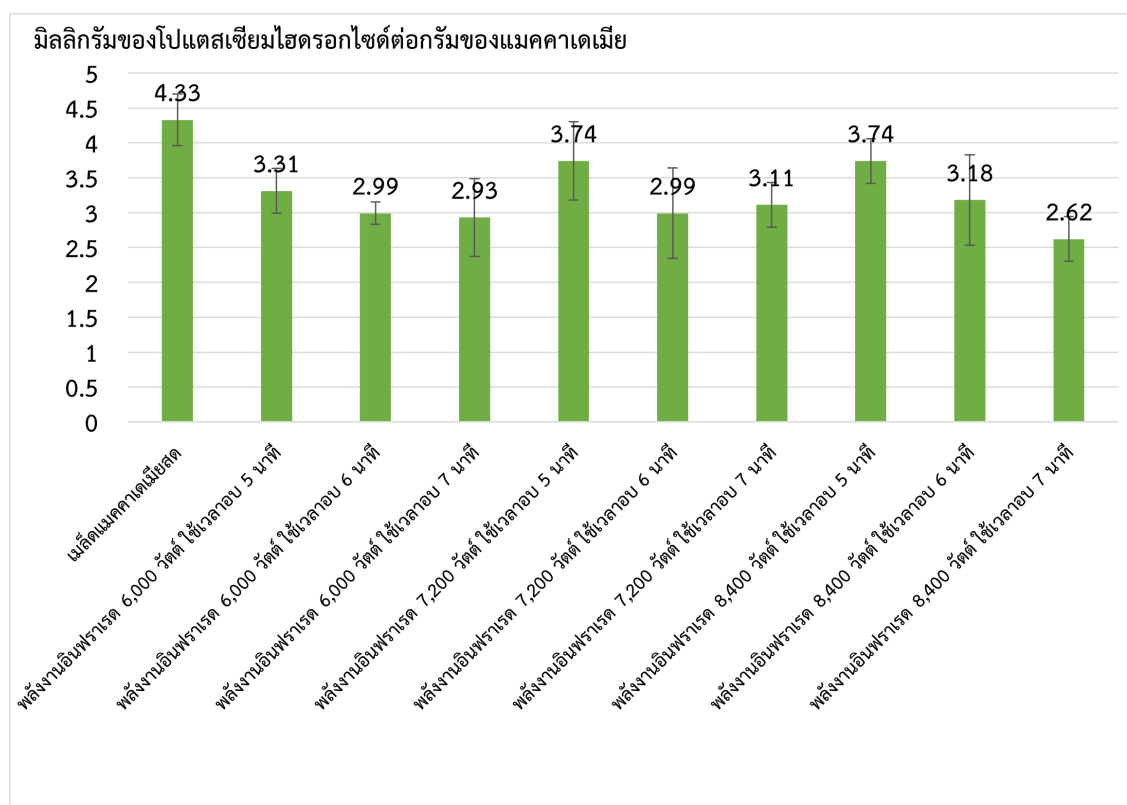


ภาพที่ 4: ค่าสีของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับ เมล็ดแมคคาเดเมียสด

ทำให้เกิดปฏิกิริยาน้ำตาลในระหว่างการทำแห้งและระหว่างคั่วอย่างใดก็ตามการทำแห้งแมคคาเดเมียจะเป็นปฏิกิริยาน้ำตาลที่เป็นกระบวนการไฮโดรไลซิสที่จะทำให้ลดปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสและจะทำให้มีน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นดังนั้นสีของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียภายในเมล็ดแห้งจึงเข้มกว่าเมล็ดสดเล็กน้อย โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Wu et al. (2014)[14] ที่ได้ทำการศึกษารอบแห้งแครอทด้วยรังสีอินฟราเรดซึ่งพบว่าการเปลี่ยนสีแครอทอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ คือ ความร้อนและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งจะไปทำลายแคโรทีนอยด์ทำให้สีเปลี่ยนไปเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยไม่อาศัยเอนไซม์หรือการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในชั้นแครอทซึ่งเกิดจากความร้อนและในชั้นแครอทมีความชื้นลดลงและสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Zhu & Pan (2009)[15] ที่ได้ทำการศึกษารอบแห้งแอปเปิ้ลแผ่น ซึ่งพบว่า การเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิ้ลแผ่นอาจเป็นเหตุผลที่สำคัญสำหรับการเปลี่ยนแปลงสี โดยในช่วงระยะเวลาการอบที่เพิ่มขึ้น จะมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ของค่า L^* และเมื่อความเข้มของรังสีอินฟราเรดสูงขึ้นจะทำให้แอปเปิ้ลแผ่นมีค่า L^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อทำการคำนวณค่าสีรวมที่เปลี่ยนแปลงไปจากแมคคาเดเมียสดดังภาพที่ 4 พบว่าที่การอบที่พลังงานอินฟราเรด 6000 วัตต์จะมีค่าสีรวมที่เปลี่ยนแปลงไปต่ำกว่าที่พลังงานอินฟราเรด 7200 และ 8,400 วัตต์ และเมื่อเพิ่มเวลาในการอบให้มากขึ้นค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงรวมนี้จะบ่งบอกถึงสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบเปลี่ยนแปลงไปจากแมคคาเดเมียสดเท่านั้น ไม่สามารถระบุได้ถึงถึงการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* แต่สามารถระบุได้ว่าการอบตัวอย่างแมคคาเดเมียในสภาวะที่มีพลังงานสูงจะทำให้สีของแมคคาเดเมียเปลี่ยนไปจากแมคคาเดเมียสดมากขึ้น และจากผลการวิจัยที่ใช้เครื่องอินฟราเรดแบบสายพานอบมีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียลดลงเมื่อใช้พลังงานของอินฟราเรดเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าพลังงานของอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียลดลงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์ขึ้นเนื่องจากมีความร้อนจากอินฟราเรด และในชั้นเมล็ดแมคคาเดเมียมีความชื้นลดลงประกอบกับการให้พลังงานอินฟราเรดดังกล่าวไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดสซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาในผลิตภัณฑ์ที่มีสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลคือ น้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนในเมล็ดแมคคาเดเมียได้อย่างสมบูรณ์จึงอาจจะเอนไซม์ PPO เหลืออยู่จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลได้เพิ่มเติมจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ซึ่งสอดคล้องและใช้เหตุผลเดียวกับการศึกษาของ Zhu & Pan (2009) [15] ได้

3) ค่าเปอร์ออกไซด์และค่าความเป็นกรด

ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value : PV) เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง ได้โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของอาหาร และจะทำให้มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียลดลง โดยในการวิจัยนี้ตรวจไม่พบค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานซึ่งปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชันดังกล่าวโดยปกติจะเกิดขึ้นเมื่อลิพิดในผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในระหว่างการรักษาผลิตภัณฑ์ ส่วนค่าความเป็นกรด (Acid Value : AV) นั้นเป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมันในแมคคาเดเมียโดยเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบหลักในไขมันและน้ำมันถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีเอนไซม์ที่ชื่อว่าไลเปส และความร้อนของเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้ผลิตผลคือกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid :



ภาพที่ 5: ค่าความเป็นกรดของตัวอย่างแมคคาเดเมียที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานเมื่อเทียบกับเมล็ดแมคคาเดเมียสด

FFA) ซึ่งเป็นกรดไขมันทำให้ผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 5

จากกราฟในภาพที่ 5 พบว่าเมล็ดแมคคาเดเมียสดจะมีค่าความเป็นกรดสูงสุด ส่วนผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานจะมีค่าลดลง โดยเมื่อเทียบระหว่างการอบที่พลังงานอินฟราเรด พบว่าแนวโน้มเมื่อใช้พลังงานอินฟราเรดเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนดังนั้นเมื่อเมล็ดแมคคาเดเมียได้รับพลังงานมากขึ้นทำให้ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นดังกล่าว ส่วนเมื่อระยะเวลาในการอบมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระดับพลังงานอินฟราเรดเท่ากันจะมีค่าความเป็นกรดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเวลาที่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจนเพียงพอที่จะทำให้ลายเอนไซม์ไลเปสได้ ดังนั้นเอนไซม์ไลเปสจะถูกทำลายทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีเอนไซม์ที่ชื่อว่าไลเปสได้ค่าความเป็นกรดจึงลดลง อย่างไรก็ตามอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบควรมีค่าความเป็นกรดไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมีย 1 กรัม ตามมาตรฐาน Codex Standards for Fats and Oils from Vegetable Sources (CODEX) [16] สอดคล้องกับรายงานของ Ding et al. (2015)[17] ที่รายงานว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบอินฟราเรดของข้าวหยาบและข้าวกล้องที่ 60 องศาเซลเซียส ตามด้วยการทำให้เย็นลงตามธรรมชาติเป็นเวลา 4 ชั่วโมงส่งผลให้เอนไซม์ไลเปสหยุดทำงานอย่างมีประสิทธิภาพตลอด 12 เดือนของการเก็บรักษา และจากรายงานของ Yilmaz (2016) ที่รายงานการให้ความร้อนรำข้าวด้วยกระบวนการอินฟราเรด ที่ 700 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที พบว่า กรดไขมันอิสระ (ที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดค่าความเป็นกรด) เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากเก็บรักษา 60 วัน ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระของตัวอย่างควบคุมหรือรำข้าวสด (รำข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน) ปริมาณกรดไขมันอิสระจะ

สูงกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระตัวอย่างรำข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนโดยอินฟราเรด จากการรายงานของ Irakli et al. (2018) : Kathiravan et al. (2007) : Yilmaz (2016) [3][4][7] ที่การให้ความร้อนด้วยอินฟราเรดสามารถยับยั้งการทำงานของไลเปสและไลพอกซีจีเนสได้อย่างมีประสิทธิภาพและชะลอการเกิดกลิ่นหืนจากไฮโดรไลติกส่งผลให้ค่ากรดไขมันอิสระหรือค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้เครื่องอบแบบอินฟราเรดที่ใช้ในการทำวิจัยที่พลังงานอินฟราเรดตั้งแต่ 6,000 ถึง 8,400 วัตต์ จะมีผลลัพธ์แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของวิธีการให้ความร้อนโดยการใช้เครื่องอินฟราเรดในการควบคุมการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดโดยเครื่องอินฟราเรดจะไปทำลายเอนไซม์ไลเปสที่สามารถย่อยกรดไขมันเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการให้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพด้วยพลังงานของเครื่องอบอินฟราเรด สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในการทำให้อาหารไขมันในแมคคาเดเมียกลายเป็นกรดไขมันอิสระที่ทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียได้ [18] [19] และเนื่องจากตรวจไม่พบค่าเพอร์ออกไซด์ในแมคคาเดเมียสดและผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานจึงไม่ได้แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ในผลการวิจัย โดยสาเหตุที่ไม่สามารถตรวจพบค่าเพอร์ออกไซด์ได้เนื่องจากแมคคาเดเมียสดและผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบนี้ยังสดและวิเคราะห์หลังจากอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานทันทีทำให้ผลิตภัณฑ์ยังไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้เกิดความหืนได้ นอกจากนี้การให้ความร้อนอาจไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องส่งผลให้ระดับเพอร์ออกไซด์แมคคาเดเมียลดลงจนไม่สามารถตรวจพบได้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ตัวอย่างแมคคาเดเมียที่อบด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานด้านกายภาพ และเคมี พบว่า การอบแมคคาเดเมียที่ใช้พลังงานอินฟราเรดสูง คือ 8,400 วัตต์ และใช้เวลานาน (7 นาที) จะทำให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียที่พึงประสงค์กล่าวคือมีค่าความสว่าง ตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีจากตัวอย่างแมคคาเดเมียสดมากนัก มีค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ในตัวอย่างต่ำ มีอัตราการเสื่อมเสียต่ำ ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างไว้ได้นาน และเชื้อจุลินทรีย์เจริญได้ต่ำ ซึ่งจากการวิจัยพบว่า การอบแมคคาเดเมียที่พลังงาน 8,400 วัตต์ โดยใช้เวลาในการอบ 7 นาที จะได้ตัวอย่างที่ดีที่สุดสำหรับการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้คุณภาพและทางเคมี แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างดังกล่าวอาจจะไม่ดีที่สุดในแง่ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภครวม ทั้งนี้จะต้องนำตัวอย่างที่ได้จากการวิจัยที่ดีที่สุดและรองลงมาจำนวน 4 ลำดับ ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อเป็นการเปรียบเทียบความชอบด้านต่างๆ และทำการสรุปสภาวะที่ดีที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ต่อไป

จากการใช้เกณฑ์ทางกายภาพ คือ ค่าสี ทางเคมี คือ ความชื้น a_w และค่าความเป็นกรด ที่เหมาะสมเลือกแมคคาเดเมียจำนวน 4 สูตร พร้อมทั้งใช้ตัวอย่างควบคุม คือ แมคคาเดเมียอบที่มีขายในร้านอะเมซอนมาเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน โดยให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ประเมินผลตามความชอบโดยใช้ 9-points Hedonic scale กำหนดให้ตัวเลข 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด โดยมีการทดลองที่เลือกมาทดสอบทางประสาทสัมผัส 4 ตัวอย่าง คือ

- 1) พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ เวลา 6 นาที
- 2) พลังงานอินฟราเรด 8,400 เวลา 5 นาที
- 3) พลังงานอินฟราเรด 8,400 เวลา 6 นาที
- 4) พลังงานอินฟราเรด 8,400 เวลา 7 นาที

ตารางที่ 4: การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของแมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพาน

การทดลอง	พลังงานและเวลาในการอบอบด้วยเครื่องอินฟราเรด	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบรวม
1	ตัวอย่างควบคุม	$7.15^b \pm 1.04$	$7.05^c \pm 1.05$	$6.90^b \pm 1.07$	$6.70^b \pm 1.38$	$7.10^b \pm 1.15$
2	7,200 วัตต์ เวลา 6 นาที	$7.75^a \pm 0.97$	$7.60^{ab} \pm 0.68$	$7.75^a \pm 0.72$	$8.20^a \pm 0.89$	$8.10^a \pm 0.79$
3	8,400 วัตต์ เวลา 5 นาที	$7.80^a \pm 0.62$	$7.85^a \pm 0.81$	$7.80^a \pm 0.69$	$7.95^a \pm 0.88$	$7.85^a \pm 0.93$
4	8,400 วัตต์ เวลา 6 นาที	$7.50^{ab} \pm 0.95$	$7.85^a \pm 0.83$	$7.80^a \pm 0.83$	$7.60^a \pm 1.23$	$7.80^a \pm 1.01$
5	8,400 วัตต์ เวลา 7 นาที	$7.55^{ab} \pm 0.83$	$7.25^{bc} \pm 0.91$	$7.20^b \pm 0.76$	$7.70^a \pm 0.97$	$7.25^b \pm 0.85$

หมายเหตุ:

- ทำการทดสอบโดยผู้ทดสอบชิม 30 คน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งของแต่ละสภาวะของการทดลอง อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ตัวอย่างควบคุม คือ แมคคาเดเมียอบที่มีขายในร้านอะเมซอน

จากตาราง 4 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนน ด้านลักษณะปรากฏ ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนแมคคาเดเมียอบที่ 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 7,200 (วัตต์) เวลา 6 นาที ด้านสี ทดสอบชิมให้คะแนน แมคคาเดเมียอบที่ 8,400 (วัตต์) เวลา 6 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที ด้านกลิ่น ทดสอบชิมให้คะแนน แมคคาเดเมียอบที่ 8,400 (วัตต์) เวลา 6 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที ด้านรสชาติ ทดสอบชิมให้คะแนนแมคคาเดเมียอบที่ 7,200 (วัตต์) เวลา 6 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที ด้านความชอบรวม ทดสอบชิมให้คะแนนแมคคาเดเมียอบที่ 7,200 (วัตต์) เวลา 6 นาที มากที่สุด รองลงมาเป็น 8,400 (วัตต์) เวลา 5 นาที

ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดในการอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพาน คือ การอบที่พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที โดยได้รับคะแนนความชอบลักษณะปรากฏ กลิ่นรสชาติ และความชอบรวมสูงสุด

4) การวิเคราะห์ค่าพลังงานในการใช้เครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบสายพาน

การหาอัตราการผลิต และค่าไฟฟ้าของเครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยตู้อบอินฟราเรดแบบสายพานอัตโนมัติ ได้ดังนี้

- แมคคาเดเมียที่ทดสอบมี 0.3 กิโลกรัม วางบนสายพานได้ระยะ 30 เซนติเมตร ใช้เวลา 1 รอบในการอบ 6.00 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์แมคคาเดเมียอบที่ถูกต้องตามคุณสมบัติที่กำหนด

- ระยะห้องอบ 1 ช่วง ยาว 400 เซนติเมตร

ดังนั้น 30 เซนติเมตร สามารถอบแก้วได้ 0.3 กิโลกรัม

สายพานของเครื่องยาว 150 เซนติเมตร

สามารถอบแก้วได้ = $0.3 \times 400 / 30$ กิโลกรัม

ดังนั้นจะใช้เวลา 6.00 นาที จะได้แก้วทั้งหมด 4.0 กิโลกรัม

- ถ้าทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง (480 นาที)

ถ้าใช้เวลา 6.00 นาที จะได้แก้วทั้งหมด 4.0 กิโลกรัม

ถ้าใช้เวลา 480 นาที จะได้แก้วทั้งหมด = $4.0 \text{ กิโลกรัม} \times 480 \text{ นาที} / 6.0 \text{ นาที}$

ดังนั้น จะสามารถอบแมคคาเดเมียได้ = $320 \text{ กิโลกรัม} / 8 \text{ ชั่วโมง (Man-day)}$

- การคำนวณค่าไฟฟ้า 8 ชั่วโมง (เมื่อคิดเวลาในการทำงานของเครื่อง 6 ชั่วโมงเนื่องจากต้องใช้เวลาในระหว่าง
การบรรจุตัวอย่าง และพักเครื่อง ประมาณ 2 ชั่วโมง)

ถ้า 6 นาที ใช้กำลังไฟฟ้า จำนวน 7200 วัตต์

ถ้าใช้ 60×8 นาที ใช้กำลังไฟฟ้า จำนวน $7200 \times (60 \times 8)$ วัตต์/6

= $576.0 \text{ ยูนิท} / 8 \text{ ชั่วโมง (การใช้ไฟฟ้า 72 ยูนิท จะคิดยูนิทละ 3.2405 บาท)}$

= $233.3 \text{ บาท} / 8 \text{ ชั่วโมง (Man-day)}$

ดังนั้นเครื่องอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานอัตโนมัติจำนวน 274 กิโลกรัม จะใช้ค่า
ไฟฟ้า 233.3 บาท ต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน (Man-day) หรือการอบแมคคาเดเมียจะมีต้นทุนจากค่าไฟฟ้า 0.85 บาทต่อ
กิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน

สรุปผลการวิจัย

พลังงานอินฟราเรด และเวลาที่ใช้ในการอบแมคคาเดเมีย มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยคุณภาพของ
แมคคาเดเมียจะมี ค่าสีแดง (a^*) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) ลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มพลังงานและเวลา
ในการอบซึ่งต่างจากค่าความสว่าง (L^*) ที่มีค่าลดลง ตามพลังงานอินฟราเรด และเวลาในการอบที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้
นี้พลังงานอินฟราเรดและเวลาในการอบที่เพิ่มขึ้น ยังมีผลทำให้ปริมาณความชื้น, ค่า a_w และค่าความเป็นกรดในแมค
คาเดเมียลดลง โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแมคคาเดเมียอบด้วยเครื่องอินฟราเรดแบบสายพานขนาด $30 \times$
 400 เซนติเมตร นี้ คือ พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ ใช้เวลาในการอบ 6 นาที เพราะสามารถลดปริมาณกรดทั้งหมด
ร้อยละ 2.99 และเมื่อเทียบกับแมคคาเดเมียสด (แมคคาเดเมียสดมีค่าความเป็นกรด เท่ากับ 4.33 มิลลิกรัมโปแตสเซียม
ไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมีย 1 กรัม และแมคคาเดเมียอบที่พลังงานอินฟราเรด 7,200 วัตต์ ใช้เวลา
ในการอบ 6 นาที มีค่าความเป็นกรด เท่ากับ 2.99 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่างเมล็ดแมคคาเดเมีย 1
กรัม) โดยที่สภาวะนี้มีความชื้นร้อยละ 1.78 ค่า a_w 0.35 มีค่าความสว่าง (L^*) 77.00 ค่าสีแดง 1.46 ค่าสีเหลือง 21.40
และมีค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากแมคคาเดเมียสด 3.35 และได้รับคะแนนจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 30
คน สูงที่สุด และการอบแมคคาเดเมียด้วยเครื่องอบอินฟราเรดแบบสายพานอัตโนมัติมีต้นทุนจากค่าไฟฟ้า 0.85 บาท
ต่อกิโลกรัมต่อ 8 ชั่วโมงทำงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช)

เอกสารอ้างอิง

- [1] กุลชา สิวสงวน. (2558). การประยุกต์ใช้เครื่องจุ่มกึ่งอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์กลิ่นหืนของแมคคาเดเมียอบแห้ง. ปริญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] Buthelezi, N.M.D., Tesfay, S.Z. & Magwaza, L.S.(2021). Influence of roasting on antioxidants, fatty acids, sensory properties and oxidative stability of macadamia nuts. *Scientia Horticulturae*, 278, 109850.
- [3] Irakli, M., Kleisaris, F., Mygdalia, A. & Katsantonis, D. (2018). Stabilization of rice bran and its effect on bioactive compounds content, antioxidant activity, and storage stability during infrared radiation heating. *Journal of Cereal Science* 80, 135-142.
- [4] Kathiravan, K., Kaur, K.H., Jun, S., Joseph, I. & Ali, D. (2007). Infrared heating in food process: an overview. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety* 7, 2-13.
- [5] Sakai, N., & Mao, W. (2006). Infrared Heating. In Da-Wen and Sun (Eds.), *Thermal food processing*. USA: Taylor and Francis Group.
- [6] Yan, W., Liu, Q., Wang, Y., Tao, T., Liu, B., Liu, J., & Ding, C. (2020). Inhibition of Lipid and Aroma Deterioration in Rice Bran by Infrared Heating. *Food and Bioprocess Technology*, 13, 1677–1687.. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02503-2>.
- [7] Yilmaz, N. (2016). Middle infrared stabilization of individual rice bran milling fractions. *Food Chemistry* 190, 179–185.
- [8] AOAC (2012). Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis* (19th ed.) Washington DC, USA.
- [9] AOAC. (1999). Association of Official Analytical Chemists. *Official method of analysis* (16th ed.). Washington, DC, USA.
- [10] AOCS (2004). American Oil Chemists' Society. *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society* Champaign, USA.

- [11] ข้อมูลและข้อกำหนดของหน่วยงานราชการ. (2559 มิถุนายน 29). การคำนวณค่าไฟฟ้า. สืบค้น 3 กรกฎาคม 2565. จาก <https://www.solarhub.co.th/solar-information/solar-provision/354-electrical-estimate>
- [12] Pankaew, P., Janjai, S., Nilnont, W., Phusapao, C. & Bala, B.K. (2016). Moisture desorption isotherm, diffusivity and finite element simulation of drying of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*). *Food and Bioproducts Processing*, 100, 16–24.
- [13] Wall, M.M. & Gentry, T.S. (2007). Carbohydrate composition and color development during drying and roasting of macadamia nuts (*Macadamia integrifolia*). *LWT*, 40, 587–593.
- [14] Wu, B., Pan, Z., Qu, W., Wang, J. and Ma, H. (2014). Effect of simultaneous infrared dry-blanching and dehydration on quality characteristics of carrot slices. *Food Science and Technology*, 57, 90–98.
- [15] Zhu, Y. and Pan, Z. (2009). Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. *Journal of Food Engineering*, 90, 441–452.
- [16] Codex Alimentarius. (2001). CODEX STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS CX-STAN 210 – 1999. Volume 8.
- [17] Ding, C., Khir, R., Pan, Z., & Zhao, L. (2015). Improvement in Shelf Life of Rough and Brown Rice Using Infrared Radiation Heating. *Food and Bioprocess Technology* 8:1149-1159.
- [18] Shaker, M.A., Amany, M.B., Mahmoud, A.M.A. (2013). Production of low acidity rice bran oil by heating process. *Journal of Food Science and Technology*, 1, 13–18.
- [19] Dhingra, D. and Chopra, S. (2014). Ohmic heating system for stabilization of rice bran. *Agricultural Engineering Today*, 38, 1–6.

ผลของการให้ความร้อนที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำกระเจี๊ยบ

ผสมพุทราจีนพร้อมดื่ม

Effects of Heating Methods on the Quality of Ready-to-drink
Roselle Juice Mixed with Chinese Jujubes

บุญยกฤต รัตนพันธุ์*, วชิระ สิงห์คง, เอนก हालิ, ศิริลักษณ์ ดวงใจ

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Boonyakrit Rattanapun*, Wachira Singkong, Anek Halee, Siriluk Duangjai

Food Science and Technology Program,

Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่ม โดยศึกษาวิธีการให้ความร้อน 4 วิธี คือวิธีที่ 1 การให้ความร้อนโดยตรงที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที วิธีที่ 2 การให้ความร้อนโดยการตุ๋นที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที วิธีที่ 3 การให้ความร้อนโดยการใช้ไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 1 นาที และวิธีที่ 4 การให้ความร้อนโดยการใช้ไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 2 นาที ผลการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนทั้ง 4 วิธี มีผลทำให้น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มมีค่า L^* และ b^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 2.82 ถึง 3.03 ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ แอนโทไซยานิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีที่ 3 การให้ความร้อนด้วยการใช้ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 1 นาที มีผลทำให้น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่ม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (0.43 mg of gallic acid/100 g) กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (85.53 μ M T.E/100 g) และปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด (177.50 mg/L of Delphinidin-3-glucoside) และวิธีนี้ให้ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการให้ความร้อนด้วยวิธีการอื่นๆ และน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทรา

* Corresponding author : boonyakrit.kpru@gmail.com

Received : 10/03/2022

Revised : 08/07/2022

Accepted : 06/08/2022

จิ้นพร้อมดื่มที่ผ่านวิธีการให้ความร้อนทั้ง 4 วิธี ตรวจไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา

คำสำคัญ : น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจิ้นพร้อมดื่ม, ไมโครเวฟ, กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชัน, แอนโทไซยานิน

Abstract

This research aims to study the result of heating's effects on ready-to-drink roselle juice mixed with Chinese jujubes qualities by studying 4 heating methods: Method 1, direct heating at 72 degrees Celsius for 15 seconds; Method 2, heating by steaming at 72 degrees Celsius for 15 seconds; Method 3, heating by using an 800 watts microwave for 1 minute; and Method 4, heating by using an 800 watts microwave for 2 minutes. The research found the 4 heating methods caused ready-to-drink to have color values of L^* , a^* , and b^* differed in a statistically significant way. The pH values were between 2.82 to 3.03 which were not different. Conversely, phenolic compounds, antioxidant activities by DPPH method, and anthocyanins differed in a statistically significant way. Method 3 heating by using 800 watts for 1 minute caused ready-to-drink roselle juice mixed with Chinese jujubes to have the most quantities of phenolic compounds (0.43 mg of gallic acid/100 g), antioxidant activities (85.53 μ M T.E/100 g), and anthocyanins (177.50 mg/L of Delphinidin-3-glucoside). In addition, this method had the highest satisfaction scores in the sensory test which consisted of appearance; color; taste; and overall satisfaction when compared to other heating methods. The total viable count, total yeasts and molds count were undetectable in ready-to-drink roselle juice mixed with Chinese jujubes that went through the 4 heating methods.

Keywords : ready-to-drink roselle juice mixed with chinese jujubes, microwaves, antioxidant activities, anthocyanins

ที่มาและความสำคัญ

จากกระแสความตระหนักถึงการมีสุขภาพดี ทำให้ผู้บริโภคจำนวนมากเริ่มมองหาผลิตภัณฑ์อาหารที่ดีต่อสุขภาพ ซึ่งรวมถึงเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเช่นกัน ประกอบกับมาตรการทางอ้อมของภาครัฐในการส่งเสริมการมีสุขภาพดี เช่น มาตรการจัดเก็บภาษีความหวานทำให้ผู้บริโภคได้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการดื่ม หันมาเลือกเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมากขึ้น[1] น้ำสมุนไพรพร้อมดื่มเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่ผู้บริโภคสนใจ ทั้งนี้ น้ำสมุนไพรมีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันโรคภัยต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น น้ำกระเจี๊ยบ มีสรรพคุณในการช่วยลดไขมันในเส้นเลือด ลดความดันโลหิต ช่วยย่อยอาหาร เป็นยาระบาย ละลายเสมหะ และแก้กระหายน้ำ ซึ่งในน้ำกระเจี๊ยบมีสารกลุ่มสำคัญคือ แอนโทไซยานิน (anthocyanins) และสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เช่น protocatechuic acid และ quercetin ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี [2] ส่วนพุทราจีนอุดมด้วยวิตามิน เอ วิตามิน ซี ฟอสฟอรัส แคลเซียม [3] และสารอื่นๆ เช่น แอนโทไซยานิน ไลโคปีน และฟลาโวนอยด์ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ[4] ซึ่งจะช่วยบำรุงเลือด ช่วย

บำรุงสายตา และบำรุงผิวให้สุขภาพดีไม่เป็นโรคเกี่ยวกับผิวพรรณและสายตา ตาไม่ฟาง ไม่บอดกลางคืน ช่วยบำรุงเลือด กระเพาะอาหารและม้าม ตามสูตรคนจีนการทำน้ำกระเจี๊ยบต้องใส่พุทราจีนแห้งลงไปต้มด้วย เพื่อป้องกันฤทธิ์ของกระเจี๊ยบไปทำลายไตและปอด[5] ดังนั้นน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนจึงมีคุณสมบัติในการช่วยขับปัสสาวะ ลดความดันโลหิต เป็นยาระบายอ่อนๆ ช่วยอาการกระหายน้ำ และที่สำคัญช่วยล้างไขมันในเลือดที่มีมากเกินไป เมื่อไขมันถูกล้างออกมาเรื่อยๆ โดยการต้มน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีน ผนังหลอดเลือดก็จะยืดหยุ่นบีบตัวและขยายตัว เพื่อให้การไหลเวียนของเลือดสะดวกขึ้น บีบตัวและขยายตัวตามจังหวะการเต้นของหัวใจให้สูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยไม่มีไขมันมาขัดขวางพวกเส้นเลือดอุดตันบรรเทา แล้วยังช่วยให้เส้นเลือดแข็งแรง ไม่เปราะ แต่ในการผลิตน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนนั้นได้มีการใช้ความร้อนในการผลิตส่วนใหญ่จะความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์โดยการต้มกับไฟโดยตรง จึงทำให้คุณค่าทางโภชนาการ สารอาหารต่างๆ สารต้านอนุมูลอิสระถูกทำลายด้วยความร้อนและมีผลต่อคุณภาพของน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนในด้านต่างๆ เช่น สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เป็นต้น และการพาสเจอร์ไรส์โดยการต้มมีความยุ่งยากในการผลิต[6] การใช้ไมโครเวฟในการให้ความร้อนกับอาหารเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ทำให้ความสะดวก รวดเร็ว เป็นเครื่องมือที่หาได้ง่ายที่มีใช้กันในครัวเรือน โดยไมโครเวฟมีหลักการทำงาน คือการสั่นสะเทือนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้โมเลกุลของน้ำในเซลล์สั่นสะเทือนและเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพด้านต่างๆ เช่น กลิ่นรส สี และเนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม[7] แต่การใช้ไมโครเวฟต้องคำนึงถึงระดับพลังงาน(กำลังไฟ) และระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนด้วยวิธีการต่างๆ ที่มีต่อคุณภาพของน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่ม เพื่อให้ได้วิธีการให้ความร้อนที่ทำให้กระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มมีคุณภาพดีและปลอดภัยกับผู้บริโภค

วิธีการดำเนินการวิจัย

เตรียมกระเจี๊ยบแห้ง 5 กรัม และพุทราจีน 5 กรัม ล้างน้ำให้สะอาด บีบน้ำพุทราจีนให้แตก ใส่รวมกันลงภาชนะเติมน้ำเปล่า 1 ลิตร ต้มน้ำให้เดือด(ประมาณ 95-98 องศาเซลเซียส) นาน 15 นาที เพื่อสกัดสารสำคัญออกมา จากนั้นกรองเอากากออกให้เหลือแต่น้ำ นำน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนที่เตรียมได้มาบรรจุใส่ขวดขนาด 250 มิลลิลิตร มาศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนที่มีต่อคุณภาพน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่ม โดยศึกษาวิธีการให้ความร้อนแก่น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่ม 4 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ให้ความร้อนโดยตรง 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที วิธีที่ 2 ให้ความร้อนโดยการตุ๋น 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที วิธีที่ 3 ให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 1 นาที และวิธีที่ 4 ให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 2 นาที แล้วทำให้เย็นโดยทันที จากนั้นนำน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1. ค่าสี L^* a^* และ b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น color flex, U.S.A.
2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น S47 SevenMulti, U.S.A.
3. ปริมาณแอนโทไซยานิน ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo รุ่น Genesys 10 series, U.S.A. [8]
4. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo รุ่น Genesys 10 series, U.S.A. [9]

5. กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยวิธี DPPH ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo รุ่น Genesys 10 series, , U.S.A. [10]
 6. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar โดยวิธี Pour plate technique [8]
 7. ปริมาณยีสต์และรา ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Rose Bengal Chloramphenicol Agar โดยวิธี Spread plate technique [11]
 8. ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบ 20 คน ให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale
- ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Random Design ; CRD) ส่วนทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomize Completely Block Design ; RCBD) จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อให้ได้วิธีการให้ความร้อนที่ทำให้ น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มมีคุณภาพดีที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มทั้ง 4 วิธี ได้ผลการทดลองดังนี้

จากตารางที่ 1 พบว่าน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ใช้วิธีการให้ความร้อน 4 วิธี มีค่า L^* , a^* และ b^* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย L^* เป็นค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 38.46 ถึง 53.59 ค่า a^* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดง มีค่าอยู่ในช่วง 27.81 ถึง 46.43 และค่า b^* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและ สีนํ้าเงิน มีค่าอยู่ในช่วง 21.26 ถึง 29.81 ทั้งนี้เพราะในแต่ละวิธีการให้ความร้อนมีระดับของความร้อนและระยะเวลาที่แตกต่างกันทำให้มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ และพบว่าวิธีการให้ความร้อนวิธีที่ 3 การให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 1 นาที ได้ผลิตภัณฑ์สีแดงเข้มที่สุด โดยมีค่า L^* ต่ำที่สุด และค่า a^* และ b^* มีค่ามากที่สุด เนื่องจากไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และใช้เวลานาน เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินน้อยกว่าวิธีการอื่น เมื่อพิจารณาถึง pH ของน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่ม พบว่า pH ไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 2.82 ถึง 3.03

จากตารางที่ 2 พบว่าการพาสเจอร์ไรส์น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มโดยวิธีการให้ความร้อนทั้ง 4 วิธี มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชัน และปริมาณแอนโทไซยานิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 0.26 ± 0.00 0.28 ± 0.05 0.43 ± 0.21 และ 0.35 ± 0.12 mg ของ gallic acid / ตัวอย่าง 100 g ตามลำดับ กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชันมีค่า 54.82 ± 0.86 56.91 ± 1.04 85.53 ± 2.85 และ 67.98 ± 0.66 $\mu\text{M T.E./ตัวอย่าง 100 g}$ ตามลำดับ และปริมาณแอนโทไซยานิน มีค่า 36.73 ± 0.96 43.45 ± 2.19 177.50 ± 2.01 และ 134.65 ± 4.09 mg/L of Delphinidin-3-glucoside ตามลำดับ ซึ่งวิธีที่ 3 คือการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 1 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชัน และปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด ซึ่งคล้ายกับการทดลองของ รุ่ง

ตารางที่ 1: ค่าสี และ pH ของน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ใช้วิธีการให้ความร้อนแตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	ค่าสี			pH (ns)
	L^*	a^*	b^*	
โดยตรง 72 °C นาน 15 วินาที	47.94±6.13 ^b	28.26±2.04 ^c	18.18±4.00 ^c	2.82±0.34
โดยการตุ๋น 72 °C นาน 15 วินาที	53.59±2.12 ^a	27.81±4.75 ^c	21.26±2.96 ^{b,c}	3.03±0.19
ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 1 นาที	38.46±2.72 ^d	46.43±1.70 ^a	29.81±3.83 ^a	2.99±0.08
ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 2 นาที	42.74±1.65 ^c	42.13±0.43 ^b	22.45±1.49 ^b	3.03±0.08

หมายเหตุ: a , b , และ c เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแนวดิ่ง

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

L^* เป็นค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว

a^* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดง ค่าเป็นบวกแสดงความเป็นสีแดง ค่าเป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว

b^* เป็นค่าบ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ค่าเป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง ค่าเป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ตารางที่ 2: ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชัน และปริมาณแอนโทไซยานินของน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ใช้วิธีการให้ความร้อนแตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก	กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชัน	แอนโทไซยานิน
	(mg ของ gallic acid / ตัวอย่าง 100 g)	(μ M T.E /ตัวอย่าง 100 g)	(mg/L of Delphinidin-3-glucoside)
โดยตรง 72 °C นาน 15 วินาที	0.26±0.00 ^c	54.82±0.86 ^c	36.73±0.96 ^d
โดยการตุ๋น 72 °C นาน 15 วินาที	0.28±0.05 ^c	56.91±1.04 ^c	43.45±2.19 ^c
ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 1 นาที	0.43±0.21 ^a	85.53±2.85 ^a	177.50±2.01 ^a
ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 2 นาที	0.35±0.12 ^b	67.98±0.66 ^b	134.65±4.09 ^b

หมายเหตุ: a , b , c และ d เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแนวดิ่ง

μ M T.E= micro mol per liter of Trolox equivalents

ทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์ และคณะ [12] ที่ได้ศึกษาความคงตัวของสารแอนโทไซยานินในการผลิตภัณฑเครื่องดื่มบางชนิด พบว่าการให้ความร้อนแก่น้ำลูกหนามแดงที่อุณหภูมิสูง และใช้เวลาน้อย จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินหลงเหลืออยู่มากกว่าน้ำลูกหนามแดงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ เวลานาน เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้ไมโครเวฟเมื่อระยะเวลา นานขึ้นปริมาณแอนโทไซยานินลดลง รวมไปถึงวิธีการให้ความร้อนวิธีที่ 1 ให้ความร้อนโดยตรง 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที และวิธีที่ 2 ให้ความร้อนโดยการตุ๋น 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ที่ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากไมโครเวฟเป็นสาเหตุให้เกิดการเร่งการเคลื่อนที่ของไอออน ทำให้เกิดการชนกับโมเลกุลอื่นๆ หรือเกิดจากสารประกอบที่มีซัลฟิไดต์ เกิดการหมุนตัวอย่างรวดเร็วตามการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าสลับเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับทุติยภูมิและตติยภูมิของโปรตีนที่อยู่ภายในน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีน จึงทำให้ไมโครเวฟเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพด้านต่างๆ และคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าการให้ความร้อนด้วยการต้มโดยตรงและการตุ๋น [7] และเมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่าวิธีการให้ความร้อนวิธีที่ 1 ให้ความร้อนโดยตรง 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที และวิธีที่ 2 ให้ความร้อนโดยการตุ๋น 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณต่ำกว่าวิธีที่ 3 คือการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 1 นาที และวิธีที่ 4 คือการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 2 นาที โดยวิธีที่ 3 จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนโดยตรงจะส่งผลกระทบต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเสื่อมสลายและออกซิเดชันได้ง่ายด้วยความร้อน [13, 14]

จากตารางที่ 3 พบว่าน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ผ่านวิธีการให้ความร้อนทั้ง 4 วิธี ไม่พบปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา เนื่องจากความร้อนในการพาสเจอร์ไรส์น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มทั้ง 4 วิธี มีความร้อนเพียงพอที่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานชุมชน เรื่อง น้ำกระเจี๊ยบ ซึ่งกำหนดไว้ว่า จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร และปริมาณยีสต์และราต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร [15] ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Juan *et al.* [16] ที่ศึกษาการพาสเจอร์ไรส์น้ำแอปเปิ้ลด้วยไมโครเวฟ พบว่า ระดับพลังงานที่มีผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ คือ ระดับพลังงานที่ 720 วัตต์ เวลานาน 60 วินาที จะให้ผลดีที่สุด คือ ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และถ้าใช้ระดับพลังงานและระยะเวลามากที่มากกว่านี้จะให้ผลต่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน แต่ถ้าใช้ระดับพลังงานต่ำกว่านี้จะไม่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากความร้อนจากไมโครเวฟไม่เพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhi *et al.* [17] ที่พบว่าการใช้ไมโครเวฟที่ระดับ 915 เมกะเฮิรตซ์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในถั่วเขียวทำให้เก็บรักษาถั่วเขียวได้นาน 100 วัน ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส และ Gabriella *et al.* [18] ได้ทดลองพาสเจอร์ไรส์น้ำแอปเปิ้ลสดด้วยไมโครเวฟในการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* O157:H7 และ *Salmonella typhimurium* ที่อุณหภูมิ 80–90 องศาเซลเซียส นาน 25 วินาที สามารถลดเชื้อดังกล่าวได้ถึง 7 log ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ขององค์การอาหารและยาสำหรับการแปรรูปน้ำผลไม้

จากตารางที่ 4 พบว่าผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ผ่านวิธีการให้ความร้อนทั้ง 4 วิธี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏมีค่า 6.10 ± 0.33 5.85 ± 0.96 6.75 ± 1.30 และ

ตารางที่ 3: ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดปริมาณยีสต์และราในน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ใช้วิธีการให้ความร้อนแตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/ml)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/ml)
โดยตรง 72 °C นาน 15 วินาที	ไม่พบ	ไม่พบ
โดยการตุ๋น 72 °C นาน 15 วินาที	ไม่พบ	ไม่พบ
ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 1 นาที	ไม่พบ	ไม่พบ
ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 2 นาที	ไม่พบ	ไม่พบ

ตารางที่ 4: คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ใช้วิธีการให้ความร้อนแตกต่างกัน

วิธีการให้ความร้อน	คุณลักษณะทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น (ns)	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
โดยตรง 72 °C นาน 15 วินาที	6.10±0.33 ^b	5.95±1.19 ^c	6.10±1.21	5.30±1.75 ^c	5.65±1.42 ^b
โดยการตุ๋น 72 °C นาน 15 วินาที	5.85±0.96 ^b	5.25±1.25 ^d	5.85±1.39	5.45± 1.47 ^b	5.65±1.04 ^b
ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 1 นาที	6.75±1.30 ^a	7.65±0.88 ^a	5.75± 1.62	6.40±1.54 ^a	6.80±1.15 ^a
ไมโครเวฟ 800 วัตต์ นาน 2 นาที	6.75±0.11 ^a	7.10±0.91 ^b	6.15±1.04	6.00± 1.17 ^{a,b}	6.55±1.15 ^a

หมายเหตุ: a, b, c และ d เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในแนวนอน

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

6.75±0.11 ตามลำดับ ด้านสีมีคะแนนคือ 5.59±1.19 5.25±1.47 7.65±0.88 และ 7.10±0.91 ตามลำดับ ด้านรสชาติมีคะแนน คือ 5.30±1.75 5.45±1.47 6.40±1.54 และ 6.00±1.17 ตามลำดับ และด้านความชอบโดยรวมมีคะแนนคือ 5.65±1.42 5.65±1.04 6.80±1.15 และ 6.55±1.15 ตามลำดับ ส่วนด้านกลิ่นมีคะแนนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อพิจารณาคะแนนทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 20 คน พบว่าน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ใช้วิธีการให้ความร้อน โดยการใชไมโครเวฟ ระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 1 นาที ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวมมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพด้านต่างๆ น้อยกว่าการให้ความร้อนโดยวิธีการอื่นๆ

สรุปผลการวิจัย

1. วิธีการให้ความร้อนและระยะเวลามีผลต่อคุณภาพในน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มทำให้ค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ปริมาณแอนโทไซยานิน และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่า pH ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)
2. น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มที่ผ่านวิธีการให้ความร้อนทั้ง 4 วิธี ไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา
3. วิธีการให้ความร้อนน้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีนพร้อมดื่มโดยใช้ไมโครเวฟระดับพลังงาน 800 วัตต์ นาน 1 นาที เหมาะสมที่สุด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 0.43 mg of gallic acid/100 g กิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชันเท่ากับ 85.53 $\mu\text{M T.E./100 g}$ และปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดคือ 177.50 mg/L of Delphinidin-3-glucoside และผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความชอบโดยรวมสูงที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีสำหรับการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันอาหาร. (2562 ธันวาคม). ส่วนแบ่งตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากธรรมชาติ ปี 2561. ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. <http://fic.nfi.or.th/FoodMarketShareInThailandDetail.php?id=295>.
- [2] ณัฐยา เหล่าฤทธิ และมยุรี กัลยาวัฒนกุล. (2555). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง ฤทธิ์ทางชีวภาพและความคงตัวของสีจากเศษเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำกระเจี๊ยบ. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- [3] ศุภาพิชญ์ ชัดทา. (2551). การพัฒนาชาชงผสมลำไย พุทราจีนและใบหม่อน. การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] ทีมแพทย์แผนไทยประยุกต์ HD. (2563). พุทราจีน (Jujube) : ประโยชน์และสรรพคุณทางยาของพุทราจีน. <https://hd.co.th/jujube>.
- [5] แพรภัทร ยอดแก้ว. (ม.ป.ป.). น้ำกระเจี๊ยบผสมพุทราจีน. Gotoknow. <http://www.gotoknow.org/posts/371535>.
- [6] ณัฏฐาณิลล ศรีษฐปรามิทธิ์, ชนิชา จินาการ และสุกัญญา วงวาท. (2556). ผลของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพน้ำผักข้าวผสมน้ำเสาวรส. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, 274-279.

- [7] บทที่ 8 การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร. (ม.ป.ป.) http://conf.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/204_file.pdf.
- [8] Finocchiaro, F., Ferrari, B. and Gianinetti, A. (2010). A study of biodiversity of flavonoid content in the rice caryopsis evidencing simultaneous accumulation of anthocyanins and proanthocyanidins in a black-grained genotype. *Journal of Cereal Science*, 51, 28-34.
- [9] Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152-178.
- [10] Dasgupta, N. and Bratati, De. (2004). Antioxidant activity of Piper betle L. leaf extract in vitro. *Food Chemistry*, 88 (2), 219-224.
- [11] บุษกร อุตริชาติ. (2552). จุลชีววิทยาทางอาหาร. (พิมพ์ครั้งที่ 4). สงขลา: ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยทักษิณ. รุ่งทิพา วงศ์ไพศาลฤทธิ์, ดวงฤทัย ชำรงโชติ และวิภาวัน จุลยา. (2551). ความคงตัวของแอนโทไซยานินใน ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มบางชนิด. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- [12] พชร สิริตระกูลศักดิ์ และสกุลกานต์ สิมลา. (2558). ผลของกรรมวิธีการประกอบอาหารต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในดอกขมจันทร์. *แก่นเกษตร*, 43 (ฉบับพิเศษ 1), 875-880.
- [13] วชิระ จิระรัตนรังษี และปิยะพร บุตรพรหม. (2560). ผลของกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกันต่อปริมาณ สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานิน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการยอมรับจาก ผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ชาใบชาวก้าว. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 9 (17), 91-103.
- [14] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.535/2554. (2554). น้ำกระเจี๊ยบ. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [15] Juan A. C., José, E.C., Johannes de B. and Leslie, V.V. (2002). Pasteurisation of apple juice by using microwaves. *LWT-Food Science and Technology*. 35 (5), 389-392.
- [16] Zhi Q., Zhongwei T., Fang L., Shyam S. S., Carolyn F. R., Sindhuja S. and Juming T. (2021). Quality of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) influenced by microwave and hot water pasteurization. *Food Control*. 124, 1-9.
- [17] Gabriella M-O, Amanda J. D, M. Fernanda S M-G, Osvaldo H. C. (2020). Microwave pasteurization of apple juice: modeling the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* at 80–90 °C. *Food Microbiology*. 87, 1-12.

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเมื่อมีข้อมูลสูญหาย ที่เกิดจากการไม่ ตอบเฉพาะบางคำถาม

The Estimation of Coefficient of Variation in the Presence of Item Nonresponse

ชูเกียรติ โพนแก้ว*

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการข้อมูล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000

Chugiat Ponkaew*

Mathematics and Data Science Program, Faculty of Science and Technology,

Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ นำเสนอตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน กรณีที่มีข้อมูล สูญหาย ที่เกิดจากการไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม ภายใต้การสุ่มแบบกำหนดความน่าจะเป็นให้เป็นสัดส่วนกับขนาดและใส่คืน รวมถึงสัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก จากนั้นเปรียบเทียบตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่นำเสนอ กับตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ปรับด้วยวิธีตัดข้อมูล ด้วยค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ และ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยสัมพัทธ์

กำหนดความน่าจะเป็นที่จะตอบสนอง เท่ากับ 0.7 และ 0.85 กำหนดขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15, 20, 25, 50, 120 และ 200 การวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล และกำหนดการทำซ้ำทั้งหมด 50,000 ครั้ง ในแต่ละระดับของความน่าจะเป็นที่จะตอบสนอง กรณีที่สัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่นำเสนอ มีค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ และ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยสัมพัทธ์ ต่ำกว่า ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ปรับด้วยวิธีตัดข้อมูล

คำสำคัญ : ข้อมูลสูญหาย, ความน่าจะเป็นที่ตอบสนอง, การจำลองแบบมอนติคาร์โล

* Corresponding author : chugiat.pon@pcru.ac.th

Received : 14/03/2022

Revised : 16/06/2022

Accepted : 07/09/2022

Abstract

The aim of this research is to proposed the estimator of coefficient of variation in the presence of item nonresponse and to compare the propose estimator with the adjusted coefficient of variation estimator by listwise deletion which was considered by the relative bias (RB) and relative root mean square error (RRMSE). Which were define the probability of response equal to 0.70 and 0.85 and set samples size were 15, 20, 25, 50, 120 and 200. And used the Mote Carlo simulation method with 50,000 times repeat per samples size.

The results of this research indicated that all probability of response and sampling fraction is negligible the and of the proposed estimator are lower than other estimator.

Keywords : Missing data, probability of response, Monte Carlo simulation

ที่มาและความสำคัญ

ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation) เป็นหนึ่งในการวัดการกระจายสัมพัทธ์ ที่ใช้เปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป เช่นใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของปริมาณข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในเขตอำเภอหล่มเก่า และอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นต้น ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยประชากร ซึ่งโดยปกติจะไม่ทราบค่า เนื่องจากสูตรการคำนวณอยู่ในรูปฟังก์ชันของข้อมูลของประชากร (Population) ทำให้ต้องประมาณค่าจากตัวสถิติ (Statistic) ที่เป็นฟังก์ชันของข้อมูลของตัวอย่าง อย่างไรก็ตามกรณีที่มีข้อมูลสูญหาย (Missing data) ตัวสถิติดังกล่าวจะไม่สามารถใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันได้เนื่องจากบางหน่วยของตัวอย่างไม่สามารถสังเกตค่าได้ ทำให้ผู้ศึกษาสนใจที่จะพัฒนา ตัวประมาณค่าของค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ในกรณีที่มีข้อมูลสูญหาย ที่เกิดจากการไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม (Item nonresponse)

กำหนดให้ y แทนตัวแปรที่สนใจศึกษา (Study variable) และ $U = \{1, 2, \dots, N\}$ แทนเซตของประชากรขนาด N กำหนดให้ k แทนตัวแปรช่วย (Auxiliary variable) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่สนใจศึกษา [1] ได้กำหนดสัญลักษณ์แทนค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ θ_y และมีค่าตาม que แสดงในสมการ (1)

$$\theta_y = \sigma_y \bar{Y}^{-1} \quad (1)$$

เมื่อ $\sigma_y^2 = N^{-1} \sum_{i \in U} (y_i - \bar{Y})^2 = N^{-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{Y})^2$ แทนค่าความแปรปรวน และ $\bar{Y} = N^{-1} \sum_{i \in U} y_i = N^{-1} \sum_{i=1}^N y_i$ แทนค่าเฉลี่ยประชากร โดยปกติจะไม่สามารถคำนวณค่า κ เนื่องจากสูตรการคำนวณอ้างอิงถึงข้อมูลระดับประชากร ดังนั้นจำเป็นต้องประมาณค่า κ จากข้อมูลของตัวอย่าง สมมติว่าตัวอย่าง $s = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ ขนาด

n เมื่อ $j_i \in U$ ถูกสุ่มตามข้อตกลงของแผนการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายและใส่คืน (Simple random sampling with replacement: SRSWR) ตัวประมาณค่าของ θ_y เขียนแทนด้วย $\hat{\theta}_y$ มีค่าตามที่แสดงในสมการที่ (2)

$$\hat{\theta}_y = \hat{\sigma}_y \hat{Y}^{-1} \quad (2)$$

$$\text{เมื่อ } \hat{\sigma}_y = \sqrt{(n-1)^{-1} \sum_{i \in s} (y_i - \hat{Y})^2} = \sqrt{(n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{Y})^2} \text{ และ } \hat{Y} = n^{-1} \sum_{i \in s} y_i = \sum_{i=1}^n y_i$$

นอกจากนี้ [2-4] ได้นำเสนอตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เมื่อทราบข้อมูลของตัวแปรช่วยที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่สนใจศึกษา และ [5] ได้นำเสนอตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันกรณีที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันในรูปอัตราส่วน

การสุ่มแบบ SRSWR จะพิจารณาแต่ละหน่วยของประชากรให้มีขนาดเท่ากัน ทำให้โอกาสที่แต่ละหน่วยของประชากร ถูกสุ่มมาเป็นตัวอย่างด้วยความน่าจะเป็นเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติขนาดของแต่ละหน่วยของประชากรจะมีขนาดไม่เท่ากัน เช่นตัวแปรที่สนใจศึกษาได้แก่ปริมาณของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรในอำเภอหล่มสักจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยปกติปริมาณข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรแต่ละคนจะมีค่าขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูก ดังนั้นการกำหนดให้เกษตรกรแต่ละคนมีโอกาสที่จะถูกสุ่มด้วยความน่าจะเป็นเท่ากัน อาจทำให้การประมาณค่า σ_y และ $\bar{Y}$ เกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการประมาณค่า θ_y กรณีที่ทราบข้อมูลของตัวแปรช่วย k ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่สนใจศึกษา เช่นทราบพื้นที่ที่เกษตรกรใช้เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การประมาณค่า σ_y และ $\bar{Y}$ นิยมศึกษาภายใต้การสุ่มแบบกำหนดความน่าจะเป็นให้เป็นสัดส่วนกับขนาด และใส่คืน (Probability Proportional to Size and with Replacement: PPSWR) ซึ่งภายใต้การสุ่มดังกล่าวค่าความน่าจะเป็นที่หน่วยตัวอย่างที่ i เมื่อ $i \in U$ จะถูกสุ่มมาเป็นตัวอย่างมีค่าขึ้นอยู่กับค่า k_i กล่าวคือถ้า k_i มีค่ามาก โอกาสที่หน่วยตัวอย่างที่ i จะถูกสุ่มมาเป็นตัวอย่างก็จะมีค่ามาก แต่ถ้าค่า k_i มีค่าน้อย โอกาสที่หน่วยตัวอย่างที่ i จะถูกสุ่มมาเป็นตัวอย่างก็จะมีค่าน้อย ภายใต้การสุ่มแบบ PPSWR [6] นำเสนอตัวประมาณค่าเฉลี่ยประชากร ตามที่แสดงในสมการที่ (3)

$$\hat{Y}_{HH} = N^{-1} \hat{Y}_{HH} = (nN)^{-1} \sum_{i \in s} y_i P_i^{-1} = (nN)^{-1} \sum_{i=1}^n y_i P_i^{-1} \quad (3)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{HH} = n^{-1} \sum_{i \in s} y_i P_i^{-1} = n^{-1} \sum_{i=1}^n y_i P_i^{-1}$ และ $P_i = k_i K^{-1}$ แทนความน่าจะเป็นที่หน่วยตัวอย่างที่ i จะถูกสุ่มมาเป็นตัวอย่าง โดยที่ $K = \sum_{i \in U} k_i$ สำหรับค่าความแปรปรวนของ $\hat{Y}_{HH}$ เขียนแทนด้วย $V(\hat{Y}_{HH})$ และมีค่าตามที่แสดงในสมการที่ (4)

$$V(\hat{Y}_{HH}) = N^{-2} V(\hat{Y}_{HH}) = (N^2 n)^{-1} \sum_{i \in U} P_i (y_i P_i^{-1} - Y)^2 \quad (4)$$

$$\text{เมื่อ } V(\hat{Y}_{HH}) = n^{-1} \sum_{i \in U} P_i (y_i P_i^{-1} - Y)^2 = n^{-1} \sum_{i=1}^N P_i (y_i P_i^{-1} - Y)^2 \text{ และ } Y = \sum_{i \in U} y_i = \sum_{i=1}^N y_i$$

นอกจากนี้ตัวประมาณค่าของ $V(\hat{Y}_{HH})$ เขียนแทนด้วย $\hat{V}(\hat{Y}_{HH})$ และมีค่าตามที่แสดงในสมการที่ (5)

$$\hat{V}(\hat{Y}_{HH}) = (N^{-2}n(n-1))^{-1} \sum_{i \in s} (y_i P_i^{-1} - \hat{Y}_{HH})^2 = (N^{-2}n(n-1))^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i P_i^{-1} - \hat{Y}_{HH})^2 \quad (5)$$

ต่อมากรณีที่ไม่มีข้อมูลสูญหาย [7] ได้นำเสนอตัวประมาณค่าของ κ ภายใต้การสุ่มตัวอย่างแบบ PPSWR เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\hat{\kappa}_{HH}$ และมีค่าตามที่แสดงในสมการที่ (6)

$$\hat{\kappa}_{HH} = \hat{\sigma}_{yHH} \hat{Y}_{HH}^{-1} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \hat{\sigma}_{yHH} &= \left[(Nn)^{-1} \sum_{i \in s} y_i^2 P_i^{-1} - \hat{Y}_{HH}^2 + \hat{V}(\hat{Y}_{HH}) \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[(Nn)^{-1} \sum_{i=1}^n y_i^2 P_i^{-1} - \hat{Y}_{HH}^2 + \hat{V}(\hat{Y}_{HH}) \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตามกรณีที่ตัวแปรที่สนใจศึกษามีข้อมูลสูญหาย (Nonresponse) ที่เกิดจากการไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม ตัวประมาณค่าที่ [7] นำเสนอไม่สามารถใช้ประมาณค่า κ ได้เนื่องจากบางหน่วยตัวอย่างในตัวอย่าง s ขนาด n ไม่สามารถสังเกตค่าได้ ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจแก้ปัญหาได้โดยใช้วิธีการตัดข้อมูล (ตัดหน่วยตัวอย่างที่ไม่สามารถสังเกตค่าได้) และคำนวณค่าเฉพาะเซตตัวอย่างที่สามารถสังเกตค่าได้ แต่วิธีการดังกล่าวอาจทำให้ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าลดลงเมื่อข้อมูลสูญหายมีขนาดใหญ่กรณีที่ไม่มีข้อมูลสูญหาย ต่อมา [8] นำเสนอตัวประมาณค่าเฉลี่ยประชากร ภายใต้การสุ่มเดียวกับ [7] แต่พิจารณากรณีที่ไม่มีข้อมูลสูญหายที่เกิดจากการไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม และมีค่าตามที่แสดงในสมการที่ (7)

$$\hat{Y}_{IPPS} = \left(\sum_{i \in s} \frac{1}{\pi_i} \sum_{i \in s} \frac{r_i y_i}{\pi_i} \right) \left(N \sum_{i \in s} \frac{r_i}{\pi_i} \right)^{-1} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\pi_i} \sum_{i=1}^n \frac{r_i y_i}{\pi_i} \right) \left(N \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{\pi_i} \right)^{-1} \quad (7)$$

เมื่อ $\pi_i = p(i \in s) = nP_i$ ค่า $r_i = 1$ เมื่อหน่วยตัวอย่างที่ i สามารถสังเกตค่าได้ และ $r_i = 0$ เมื่อหน่วยตัวอย่างที่ i สูญหาย นอกจากนี้ภายใต้เฟรมเวิร์คแบบย้อนกลับ (Reverse framework) และสัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก [8] ได้นำเสนอ ตัวประมาณค่าความแปรปรวนของตัวประมาณค่าเฉลี่ยประชากร ตามที่แสดงในสมการที่ (8)

$$\begin{aligned} \hat{V}(\hat{Y}_{IPPS}) &= \left(N \sum_{i \in s} \frac{1}{\pi_i^{-1}} \right)^{-2} n(n-1)^{-1} \left[\sum_{i \in s} \hat{z}_i^2 - n^{-1} \left(\sum_{i \in s} \hat{z}_i \right)^2 \right] \\ &= \left(N \sum_{i=1}^n \frac{1}{\pi_i^{-1}} \right)^{-2} n(n-1)^{-1} \left[\sum_{i=1}^n \hat{z}_i^2 - n^{-1} \left(\sum_{i=1}^n \hat{z}_i \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned}\text{เมื่อ } \hat{z}_i &= \sum_{i \in s} r_i y_i \pi_i^{-1} + \left(N \sum_{i \in s} \pi_i^{-1} \right) r_i \left[y_i - \sum_{i \in s} r_i y_i \pi_i^{-1} \left(\sum_{i \in s} r_i \pi_i^{-1} \right)^{-1} \right] \\ &= \sum_{i=1}^n r_i y_i \pi_i^{-1} + \left(N \sum_{i=1}^n \pi_i^{-1} \right) r_i \left[y_i - \sum_{i=1}^n r_i y_i \pi_i^{-1} \left(\sum_{i=1}^n r_i \pi_i^{-1} \right)^{-1} \right]\end{aligned}$$

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) นำเสนอตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เมื่อมีข้อมูลสูญหาย โดยใช้ตัวประมาณค่าของ [8] ปรับตัวประมาณค่าของ [7] และ (2) เปรียบเทียบตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่นำเสนอ กับตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ปรับด้วยวิธีตัดข้อมูล ด้วยค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ และ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยสัมพัทธ์ ทั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดข้อตกลงเบื้องต้นที่ใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ดังนี้ (A_1) การสูญหายของข้อมูลเกิดขึ้นเฉพาะตัวแปรที่สนใจศึกษา และเป็นแบบไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม และ (A_2) สัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. แผนการสุ่มตัวอย่าง

การวิจัยในครั้งนี้ศึกษาเกี่ยวกับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันภายใต้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบ กำหนดความน่าจะเป็นให้เป็นสัดส่วนกับขนาด และใส่คืน หรือแบบ PPSWR ซึ่งแผนการสุ่มตัวอย่างดังกล่าวจะกำหนดความน่าจะเป็นที่แต่ละหน่วยตัวอย่างของประชากรจะถูกสุ่มมาเป็นตัวอย่าง ตามขนาดของตัวแปรช่วยที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่สนใจศึกษา [9] ได้อธิบายวิธีการสุ่มตัวอย่างของแผนการสุ่มแบบ PPSWR ดังนี้

กำหนดให้ $B_0 = \max\{k_1, k_2, \dots, k_N\}$ และ $B \geq B_0$

ขั้นที่ 1 สุ่มจำนวนเต็ม i เมื่อ $1 \leq i \leq N$

ขั้นที่ 2 สุ่มจำนวนเต็ม R เมื่อ $1 \leq R \leq B$

ขั้นที่ 3 ถ้า $R \leq k_i$ แล้ว หน่วยตัวอย่างที่ i ถูกเลือกเป็นสมาชิกของตัวอย่าง s

ขั้นที่ 4 ทำซ้ำขั้นที่ 1 -3 จนกระทั่งได้ตัวอย่าง s ขนาด n

2. นำเสนอตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน กรณีที่มีข้อมูลสูญหายที่เกิดจากการไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม ขั้นแรกผู้วิจัยจะได้กำหนดนิยามศัพท์เพื่อใช้ในการอ้างอิงตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันดังนี้

ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันแบบตัดข้อมูล หมายถึง ตัวประมาณค่าที่ได้จากการปรับตัวประมาณค่าของ [7] ด้วยวิธีตัดข้อมูล

ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่นำเสนอ หมายถึง ตัวประมาณค่าที่ได้จากการปรับตัวประมาณค่าของ [7] ด้วยตัวประมาณค่าของ [8]

ต่อไปผู้วิจัยจะได้กล่าวถึงขั้นตอนของการนำเสนอตัวประมาณค่าดังนี้

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ภายใต้การสุ่มแบบ PPSWR และไม่มี การสูญหายของข้อมูล [7] นำเสนอตัวสถิติที่อยู่ในรูปฟังก์ชันของ y_i และ k_i เมื่อ $i \in s$ เพื่อใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน และมีค่าตามที่แสดงในสมการที่ (6) กรณีที่มีการสูญหายของข้อมูล ตัวอย่าง s ขนาด n ถูกแบ่งออกเป็นเซตที่สามารถสังเกตค่า y_i ได้ เขียนแทนด้วยเซต s_r และเซต s_m ซึ่งไม่สามารถสังเกตค่า y_i ได้ โดยที่ $s_r \cup s_m = s$ และ $s_r \cap s_m = \emptyset$ นอกจากนี้ เซต s_r และเซต s_m มีขนาดเท่ากับ n_r และ n_m ตามลำดับ ดังนั้นกรณีที่เกิดการสูญหายของข้อมูล ตัวประมาณค่าของ [7] ไม่สามารถใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันได้เนื่องจากค่า y_i เมื่อ $i \in s_m$ ไม่สามารถสังเกตค่าได้ วิธีการแก้ปัญหาเมื่อเกิดการสูญหายของข้อมูล นิยมใช้วิธีตัดข้อมูลแบบ Listwise วิธีการดังกล่าวจะตัดค่า y_i ที่ไม่สังเกตค่าได้ออกจากตัวอย่าง s ขนาด n กล่าวคือใช้เฉพาะค่า y_i เมื่อ $i \in s_r$ ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษา โดยอาศัยแนวคิดดังกล่าว การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน กรณีที่มีการสูญหายของข้อมูล ด้วยตัวประมาณค่าของ [7] มีค่าตามที่แสดงในสมการที่ (9)

$$\hat{k}_{HHsr} = \hat{\sigma}_{yHHsr} \hat{Y}_{yHHsr}^{-1} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad \hat{\sigma}_{yHHsr} &= \left[(Nn)^{-1} \sum_{i \in s_r} y_i^2 P_i^{-1} - \hat{Y}_{yHHsr}^2 + \hat{V}(\hat{Y}_{yHHsr}) \right]^{-\frac{1}{2}} \\ &= \left[(Nn)^{-1} \sum_{i=1}^{n_r} y_i^2 P_i^{-1} - \hat{Y}_{yHHsr}^2 + \hat{V}(\hat{Y}_{yHHsr}) \right]^{-\frac{1}{2}} \\ \text{ค่า} \quad \hat{Y}_{yHHsr} &= (n_r N)^{-1} \sum_{i=1}^{n_r} y_i P_i^{-1} \\ \text{และ} \quad \hat{V}(\hat{Y}_{yHHsr}) &= (N^{-2} n_r (n_r - 1))^{-1} \sum_{i \in s_r} (y_i P_i^{-1} - \hat{Y}_{HHsr})^2 \\ &= (N^{-2} n_r (n_r - 1))^{-1} \sum_{i=1}^{n_r} (y_i P_i^{-1} - \hat{Y}_{HHsr})^2 \end{aligned}$$

การประมาณค่าโดยใช้วิธีตัดข้อมูลแบบ Listwise เป็นวิธีที่สะดวก แต่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าในกรณีที่ข้อมูลสูญหายมีขนาดใหญ่ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการพัฒนาตัวประมาณค่าของ [7] โดยใช้ตัวประมาณค่าของ [8] ปรับตัวประมาณค่าดังกล่าว และเขียนแทนตัวประมาณค่าที่นำเสนอด้วยสัญลักษณ์ $\hat{k}_{CP}$

3. แสดงตัวอย่างเชิงตัวเลข

3.1 สร้างข้อมูลของประชากรขนาด $N = 500$ โดยใช้ตัวแบบตามที่แสดงในสมการที่ (10)

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 k_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

เมื่อ $(\beta_0, \beta_1) = (9100, 250)$, $k_i \sim N(80, 25)$ และ $\varepsilon_i \sim N(0, 5)$

3.2 กำหนดการสูญหายของข้อมูลหรือกำหนดค่า r_i เมื่อ $i \in U$

(i) กำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะตอบสนองทั้งหมด 2 ระดับ ประกอบด้วย $p = 0.7$ และ $p = 0.85$

(ii) แต่ระดับของค่า p เปรียบเทียบค่า p กับค่า A_i เมื่อ $A_i \sim U(0, 1)$ ถ้าค่า $A_i \leq p$ แล้วค่า $r_i = 1$ กรณีอื่น ๆ ค่า $r_i = 0$

3.3 แต่ละระดับของค่า p สุ่มตัวอย่าง s ขนาด n ทั้งหมด 6 ระดับ ประกอบด้วย $n = 15, 20, 25, 50, 120$ และ 200 โดยใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบ PPSWR และทำซ้ำทั้งหมด 50,000 รอบ ($M = 50,000$)

(i) ที่ $p = 0.7$ และ $n = 15$ กำหนด $m = 1$ แล้วคำนวณค่า $\hat{\kappa}_{HHsr[m]}$ และ $\hat{\kappa}_{CP[m]}$

(ii) กำหนดให้ $m = m + 1$ แล้วทำซ้ำขั้นที่ (i) และ (ii) จนกระทั่ง $m = 50,000$

(iii) คำนวณค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ (Relative bias) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยสัมพัทธ์ (Relative root mean square error) ของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ตามที่แสดงในสมการที่ (11) และสมการที่ (12) ดังนี้

$$PB(\hat{\kappa}_{(i)}) = \frac{|E(\hat{\kappa}_{(i)}) - \kappa|}{\kappa} \quad ; i = 1, 2 \quad (11)$$

$$PRMSE(\hat{\kappa}_{(i)}) = \frac{\sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^M (\hat{\kappa}_{(i[m])} - \kappa)^2}}{\kappa} \quad ; i = 1, 2 \quad (12)$$

เมื่อ $\hat{\kappa}_{(i[m])} = \hat{\kappa}_{(1)}$ หรือ $\hat{\kappa}_{(2)}$ ค่า $\hat{\kappa}_{(1)} = \hat{\kappa}_{HHsr}$ ค่า $\hat{\kappa}_{(2)} = \hat{\kappa}_{CP}$ นอกจากนี้ค่า $\hat{\kappa}_{(i[m])}$ หมายถึงค่าของ $\hat{\kappa}_{(i)}$ ในรอบที่ m

(iv) ทำซ้ำขั้นตอนที่ (i)-(iii) แต่เปลี่ยนค่า n จาก 15 เป็น 20, 25, 50, 120 และ 200

(v) ทำซ้ำขั้นตอนที่ (i)-(v) แต่เปลี่ยนค่า p จาก 0.70 เป็น 0.85

3.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน

บทนิยาม 1 กำหนดให้ $\hat{\kappa}_A$ และ $\hat{\kappa}_B$ แทนตัวประมาณค่าของสัมประสิทธิ์การแปรผัน ค่า $RRMSE(\hat{\kappa}_A)$ และ $RRMSE(\hat{\kappa}_B)$ แทนค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยสัมพัทธ์ ของ $\hat{\kappa}_A$ และ $\hat{\kappa}_B$ ค่า $RB(\hat{\kappa}_A)$ และ $RB(\hat{\kappa}_B)$ แทนค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ ของ $\hat{\kappa}_A$ และ $\hat{\kappa}_B$ ตามลำดับ ถ้า $RRMSE(\hat{\kappa}_A) < RRMSE(\hat{\kappa}_B)$ และ $RB(\hat{\kappa}_A) < RB(\hat{\kappa}_B)$ แล้ว $\hat{\kappa}_A$ มีประสิทธิภาพดีกว่า $\hat{\kappa}_B$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ภายใต้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบ PPSWR และตัวแปรที่สนใจศึกษาเกิดการสูญหายของข้อมูลแบบไม่ตอบเฉพาะบางคำถามรวมถึงสัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน เป็นหนึ่งในการวัดการกระจายสัมพัทธ์และใช้เปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ยเลขคณิต การเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลที่เป็นประชากร สูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน จะเขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันค่าสังเกตของตัวแปรที่สนใจศึกษาทุกค่าที่เป็นหน่วยตัวอย่างของประชากร กล่าวคือจะใช้ค่า y_i ทุกค่า $i \in U$ กรณีที่ไม่สามารถสังเกตค่า y_i ได้ทุกค่า $i \in U$ จำเป็นต้องสุ่มตัวอย่างและใช้ตัวสถิติที่คำนวณได้จากตัวอย่าง s ขนาด n ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ภายใต้การสุ่มแบบ PPSWR และทราบข้อมูลของตัวแปรช่วยที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่สนใจศึกษา รวมถึงไม่มีการสูญหายของข้อมูล [6] ได้นำเสนอตัวประมาณค่าเฉลี่ยประชากร และตัวประมาณค่าความแปรปรวนของตัวประมาณค่าดังกล่าว ต่อมา [7] ได้ปรับตัวประมาณค่าของ [6] เพื่อใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน ตามที่แสดงในสมการที่ (6) ซึ่งเขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวสถิติ 3 ค่า ประกอบด้วย ค่า $\hat{Y}_{HH}$ ค่า $\hat{V}(\hat{Y}_{HH})$ และค่า $\hat{T} = (Nn)^{-1} \sum_{i \in s} y_i^2 P_i^{-1} = (Nn)^{-1} \sum_{i=1}^{n_r} y_i^2 P_i^{-1}$ เนื่องจากค่าสถิติทั้ง 3 ค่าจำเป็นต้องใช้ค่าสังเกตของตัวแปรที่สนใจศึกษา หรือ y_i ทุกค่า $i \in s$ ส่งผลให้กรณีที่บางหน่วยตัวอย่างที่เป็นสมาชิกของตัวอย่าง s ขนาด n ไม่สามารถสังเกตค่า y_i ได้ ตัวประมาณค่าที่ [7] นำเสนอจึงไม่สามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันได้

กรณีที่ข้อมูลสูญหายที่เกิดจากการไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม [8] ได้นำเสนอตัวประมาณค่าเฉลี่ยประชากร และตัวประมาณค่าความแปรปรวนของตัวประมาณค่าดังกล่าว เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\hat{Y}_{IPPS}$ และ $\hat{V}(\hat{Y}_{IPPS})$ ตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาตัวประมาณค่าของ [1] โดยการแทนค่า ตัวสถิติ $\hat{Y}_{HH}$ ด้วย $\hat{Y}_{IPPS}$ และแทนค่าตัวสถิติ $\hat{V}(\hat{Y}_{HH})$ ด้วย $\hat{V}(\hat{Y}_{IPPS})$ สำหรับค่า $\hat{T}$ ผู้วิจัยดำเนินการปรับค่าดังนี้ กำหนดค่า $y_s = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ แทนเซตของค่าสังเกตของตัวอย่าง s ขนาด n เซต s_r แทนเซตของตัวอย่างที่สามารถสังเกตค่า y_i และ s_m แทนเซตที่ไม่สามารถสังเกตค่า y_i ได้ เมื่อ $s_r = \{y_1, y_2, \dots, y_{n_r}\}$ และ $s_m = \{y_{n_r+1}, y_{n_r+2}, \dots, y_n\}$ โดยที่ $s_r \cup s_m = s$ และ $s_r \cap s_m = \emptyset$ ภายใต้ข้อตกลง (A_1) และ (A_2) [8] ใช้วิธีแทนค่าข้อมูลสูญหายด้วยค่าเฉลี่ย $y^* = \sum_{i \in s} d_i r_i y_i / \sum_{i \in s} d_i r_i = \sum_{i=1}^n d_i r_i y_i / \sum_{i=1}^n d_i r_i$ เมื่อ $d_i = \pi_i^{-1}$ กล่าวคือแทนค่า y_i เมื่อ $i \in s_m$ ด้วยค่า y^* หลังจากแทนค่าข้อมูลสูญหายด้วยค่าเฉลี่ย สามารถปรับเซตของ y_s เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ y_s^* และมีค่าตามที่แสดงในสมการที่ (13)

$$y_s^* = \{y_i^* \mid y_i^* = y_i \text{ เมื่อ } r_i = 1 \text{ หรือ } y_i^* = y^* \text{ เมื่อ } r_i = 0\} \quad (13)$$

ต่อไปใช้เซตของค่า y_s^* ตามที่แสดงในสมการ (13) ปรับค่า $\hat{T}$ เขียนแทนด้วย $\hat{T}_{CP}^*$ และมีค่าตามที่แสดงในสมการ (14)

$$\hat{T}_{CP}^* = (Nn)^{-1} \sum_{i \in s} \frac{1}{P_i} [r_i y_i^2 + (1 - r_i)(y_i^*)^2] = (Nn)^{-1} \sum_{i \in s} \frac{1}{P_i} (y_i^*)^2 = (Nn)^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{1}{P_i} (y_i^*)^2 \quad (14)$$

ผู้วิจัยทำการปรับค่า $\hat{\sigma}_{yHHsr}$ เขียนแทนด้วย $\hat{\sigma}_{CP}$ และกำหนดค่าตามที่แสดงในสมการที่ (15)

$$\hat{\sigma}_{CP} = \left[\hat{T}_{CP}^* (Nn)^{-1} - \hat{Y}_{IPPS}^2 + \hat{V}(\hat{Y}_{IPPS}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

สมการที่ (14) และ (15) ผู้วิจัยได้นำเสนอค่า $\hat{T}_{CP}^*$ และค่า $\hat{\sigma}_{CP}$ สำหรับตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ผู้วิจัยนำเสนอแสดงดังบทตั้งที่ 2

บทตั้ง 2 กำหนดให้ข้อตกลง (A_1) และ (A_2) เป็นจริง ภายใต้การสุ่มแบบ PPSWR ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ผู้วิจัยนำเสนอ กำหนดค่าดังนี้ $\hat{k}_{CP} = \hat{\sigma}_{CP} \hat{Y}_{CP}^{-1}$ เมื่อค่า $\hat{\sigma}_{CP}$ กำหนดตามสมการ (15) และค่า $\hat{Y}_{CP} = \hat{Y}_{IPPS}$

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน กรณีที่มีข้อมูลสูญหายที่เกิดจากการไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม และ สัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก ภายใต้การสุ่มแบบ PPSWR ผู้วิจัยได้นำเสนอตัวประมาณค่าตามที่แสดงในบทตั้งที่ 2 ขึ้นต่อไปผู้วิจัยจะได้นำเสนอค่าที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่นำเสนอ กับตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันแบบตัดข้อมูล ประกอบด้วย ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองสัมพัทธ์ ตามที่แสดงในตารางที่ 1 ผลที่ได้จากตารางพบว่า ในแต่ละระดับของค่าความน่าจะเป็นที่จะตอบสนอง และสัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก ($n \leq 50$) ค่าที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าที่นำเสนอมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันแบบตัดข้อมูล โดยอาศัยบทนิยามที่ 1 ได้ว่าตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันแบบตัดข้อมูล กรณีที่ขนาดตัวอย่างไม่มีขนาดเล็ก ($n = 120$ และ $n = 200$) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ไม่สามารถสรุปได้แน่นอน เนื่องจากค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองสัมพัทธ์ ไม่สอดคล้องกับบทนิยามที่ 1

2. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในตารางที่ 1 พบว่า กรณีที่ขนาดตัวอย่างเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น กล่าวคือ สัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก ($n \leq 50$) ตัวประมาณค่าที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวประมาณค่าแบบตัดข้อมูลสาเหตุเนื่องจากตัวประมาณค่าตัวประสิทธิ์การแปรผันที่คำนวณตามสูตรของ [7] ใช้วิธีการตัดข้อมูลแบบ Listwise

ตารางที่ 1: ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองสัมพัทธ์ และค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ ของ $\hat{\kappa}_{HHsr}$ และ $\hat{\kappa}_{CP}$

p	n	$RB(\hat{\kappa}_{HHsr})$	$RB(\hat{\kappa}_{CP})$	$RRMSE(\hat{\kappa}_{HHsr})$	$RRMSE(\hat{\kappa}_{CP})$
0.70	15	0.3186	0.2030	0.6428	0.5467
	20	0.2431	0.1284	0.5767	0.4903
	25	0.1940	0.0785	0.5347	0.4588
	50	0.0728	0.0453	0.4420	0.3935
	120	0.0363	0.0373	0.3624	0.3629
	200	0.0350	0.0348	0.3451	0.3163
0.85	15	0.2636	0.2109	0.5929	0.5496
	20	0.2038	0.1475	0.5413	0.5034
	25	0.1535	0.1007	0.5040	0.4681
	50	0.0473	0.0123	0.4191	0.3970
	120	0.0156	0.0116	0.3422	0.3448
	200	0.0148	0.0010	0.2994	0.3099

กล่าวคือตัดหน่วยตัวอย่างที่ไม่สามารถสังเกตค่าได้ออกไปจากตัวอย่าง s ขนาด n และใช้เฉพาะหน่วยตัวอย่างที่สามารถสังเกตค่าได้ในเซต s_i ขนาด n_i ในการคำนวณตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน อย่างไรก็ตามกรณีที่มีข้อมูลสูญหายมีขนาดใหญ่ วิธีการดังกล่าวอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า รวมถึงอำนาจการทดสอบเชิงสถิติลดลง นอกจากนี้ [10] กล่าวว่า การประมาณค่าในกรณีที่มีข้อมูลสูญหาย บางครั้งไม่สามารถใช้วิธีตัดข้อมูลแบบ Listwise เนื่องจากข้อมูลที่สนใจศึกษามีจำนวนไม่มาก ทำให้ต้องมีการประมาณค่าข้อมูลสูญหาย ต่อไปพิจารณากรณีที่ขนาดตัวอย่างไม่สอดคล้องกับข้อตกลงเบื้องต้น ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ไม่สามารถสรุปได้แน่นอน เนื่องจากค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองสัมพัทธ์ ไม่สอดคล้องกับบทนิยามที่ 1 สาเหตุอาจเป็นผลมาจากตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ผู้วิจัยนำเสนอ ใช้ตัวประมาณค่าของ [8] ปรับตัวประมาณค่าของ [7] แทนวิธีตัดข้อมูลแบบ Listwise ทั้งสองท่านได้นำเสนอตัวประมาณค่าเฉลี่ยประชากร และตัวประมาณค่าความแปรปรวน โดยใช้วิธีแทนที่ข้อมูลสูญหายด้วยค่าเฉลี่ย ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพพบว่า ตัวประมาณค่าที่ได้จากการแทนที่ข้อมูลสูญหายด้วยค่าเฉลี่ยมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวประมาณค่าที่ได้จากการใช้วิธีตัดข้อมูลแบบ Listwise เฉพาะกรณีที่สัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก ($n \leq 50$)

สรุปผลการวิจัย

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน กรณีที่ตัวแปรที่สนใจศึกษาเกิดการสูญหายของข้อมูลแบบไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม ภายใต้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบ PPSWR และพิจารณาเฉพาะกรณีที่สัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ผู้วิจัยนำเสนอคือ

$$\hat{k}_{CP} = \hat{\sigma}_{CP} \hat{Y}_{CP}^{-1} \quad (16)$$

$$\text{เมื่อ } \hat{\sigma}_{CP} = \left[(Nn)^{-1} \hat{T}_{CP}^* - \hat{Y}_{IPPS}^2 + \hat{V}(\hat{Y}_{IPPS}) \right]^{\frac{1}{2}}$$

ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้คือตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน กรณีที่มีข้อมูลสูญหายที่เกิดจากการไม่ตอบเฉพาะบางคำถาม ผู้สนใจสามารถนำตัวประมาณค่าที่ผู้วิจัยได้นำเสนอไปใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูล ที่มีประชากรตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดยใช้ได้กับงานวิจัยที่มีการเก็บข้อมูลและมีข้อมูลบางส่วนที่ไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือใช้ได้กับงานวิจัยหรือการศึกษาที่ต้องการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูล แต่มีข้อมูลบางส่วนสูญหาย นอกจากนี้ตัวประมาณค่าที่ผู้วิจัยนำเสนอเหมาะสมสำหรับกรณีที่ประชากรมีขนาดใหญ่ และตัวอย่างที่ถูกสุ่มมามีขนาดเล็ก (สัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก) ทั้งนี้ตัวประมาณค่าที่ผู้วิจัยนำเสนอมีข้อจำกัดคือ ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ผู้วิจัยนำเสนอสามารถใช้เปรียบเทียบการกระจายเฉพาะข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง แต่ไม่สามารถใช้อ้างอิงถึงการกระจายของประชากรได้ เนื่องจากสูตรการคำนวณใช้เฉพาะข้อมูลตัวอย่างที่สุ่ม ดังนั้นผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการวิจัยคือผู้ที่สนใจศึกษาสามารถขยายขอบเขตการวิจัยเพื่อหาตัวประมาณค่าความแปรปรวนของตัวประมาณค่าที่ผู้วิจัยนำเสนอ จากนั้นนำไปสร้างสถิติทดสอบสมมติฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลระดับประชากรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้ถูกล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุน เป็นอย่างยิ่งจากคณาจารย์ หลักสูตรสาขาวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการข้อมูล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Archana, V. & Aruna Rao, K. (2011). Improved Estimators of Coefficient of Variation in a Finite Population. *Statistics in Transition new series*, 12(2), 357-380.
- [2] Singh, R. & Mishra, M. (2019). Estimating Population Coefficient of Variation using a Single Auxiliary Variable in Simple Random Sampling. *Statistics in Transition new series*, 20(4), 89-111.
- [3] Das, A. K., & Tripathi, T. P. (1981). A class of estimators for co-efficient of variation using knowledge on coefficient of variation of an auxiliary character. In annual conference of Ind. Soc. Agricultural Statistics. Held at New Delhi, India.

- [4] Singh, H. P. & Solanki, R. S. (2012). An efficient class of estimators for the population mean using auxiliary information in systematic sampling, *Journal of Statistical Theory and Practice* 6(2), 274–285.
- [5] จินดา สวัสดิ์ทวี และสุชาดา กรเพชรปาณี. (2012). การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันแบบใหม่ของข้อมูลที่อยู่ในรูปอัตราส่วนที่สัมพันธ์กัน. *วารสารวิจัย มข.* 17 (2). 287-292.
- [6] Hansen, M.H. & Hurwitz, W.N. (1960). The problem of non-response in sample surveys. *Journal of the American Statistical Association*, 41(236), 517–529.
- [7] Archana, V. & Aruna Rao, K. (2011). Estimation of Co-efficient of Variation in PPS sampling , 58th Proceedings of the 2011 World Statistics Congress. 4019-4025.
- [8] ชูเกียรติ โพนแก้ว และหยาดพิรุณ ศุภรากรสกุล. (2559). การประมาณค่าความแปรปรวนของตัวประมาณค่าเฉลี่ยประชากรในกรณีที่มีข้อมูลไม่ตอบสนอง เมื่อสัดส่วนตัวอย่างมีขนาดเล็ก. การประชุมสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 16 และการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 3 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 573-584.
- [9] Sampath, S. (2001). *Sampling theory and methods*. Norosa publishing, India.
- [10] วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล. (2552). การจำลองแบบมอนติคาร์โลสำหรับประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของการแจกแจงอินเวอร์สเกาส์เซียนเมื่อมีข้อมูลสูญหาย. *วารสาร มทร.อีสาน*, 2(2), 44-51.

ความชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะอ้วนลงพุงของประชาชนในตำบล

พรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร

Prevalence and Factors Concerned with an Abdominal Obesity
Among People in Pran-Kratai Sub-district, Pran-kratai District,
Kamphaeng Phet Province

จุฑาทิพย์ ลมุล, วณิชชา คันธสร*

โปรแกรมวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

Jutatip Lamoon, Wanitcha Kanthasorn*

Public Health Program, Faculty of Science and Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

บทคัดย่อ

ภาวะอ้วนเป็นภัยเงียบที่มีสาเหตุปัญหาจากการมีไขมันสะสมในช่องท้องหรืออวัยวะในช่องท้องมากเกินไป ส่งผลทำให้เสี่ยงอันตรายต่อการเจ็บป่วยหลายโรคตามมา การวิจัยเชิงสำรวจครั้งนี้ (Observational Descriptive Study) มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความชุกและปัจจัยของภาวะอ้วนลงพุงของประชาชนในตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร ศึกษาในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 218 คน สุ่มเลือกตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน หรือ Multi-stage sampling จากประชากร 13 หมู่บ้านจำนวน 9,005 คน และเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจผ่านแบบสอบถาม (Questionnaire) วิเคราะห์ข้อมูลและรายงานผลด้วยสถิติพรรณนา

ผลวิจัยพบความชุกของผู้ที่มีภาวะอ้วน ร้อยละ 84.40 (BMI:25.00kg/m² ขึ้นไป) มีเส้นรอบเอวอยู่ในภาวะอ้วนลงพุง ร้อยละ 80.28 (ชาย>90.00cm, หญิง>80.00cm) ส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 69.72 ระยะเวลาที่พักอาศัยในพื้นที่อยู่ในช่วงเวลา 26 - 30 ปี ร้อยละ 27.52 มีการรับรู้ความสามารถตนเองเกี่ยวกับภาวะอ้วนอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.58 , S.D.=0.58) มีความรู้เกี่ยวกับภาวะอ้วนลงพุงอยู่ในระดับดี ($\bar{x}$ = 0.80, S.D.=0.38) ส่วนใหญ่ไม่

* Corresponding author : wanitcha_k@kpru.ac.th

Received : 14/03/2022

Revised : 04/07/2022

Accepted : 05/09/2022

สูบบุหรี่ ร้อยละ 66.51 ไม่ดื่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 61.93 มีพฤติกรรมไม่ออกกำลังกายในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา ร้อยละ 55.50 การนอนหลับ 5-7 ชั่วโมงต่อวัน ร้อยละ 43.12 มีพฤติกรรมการรับประทานอาหารข้าวขาว ร้อยละ 74.31 และ ทานข้าว 5-7 ทัพพีต่อวัน ร้อยละ 62.84

สรุปและอภิปรายได้ว่าประชาชนวัยทำงานที่พักอาศัยในตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร พบปัญหาภาวะอ้วนและภาวะอ้วนลงพุงแม้มีการรับรู้ความสามารถตนเองเกี่ยวกับภาวะอ้วนอยู่ในระดับมาก มีความรู้เกี่ยวกับภาวะอ้วนลงพุงในระดับดี แต่ยังพบปัจจัยเสี่ยงด้านพฤติกรรมสุขภาพส่วนบุคคลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องที่อาจทำให้เกิดภาวะอ้วนและอ้วนลงพุงได้ เช่น การมีพฤติกรรมไม่ออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องและการมีพฤติกรรมการรับประทานอาหาร ซึ่งมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าการรับประทานอาหารข้าวกล้องหรือข้าวซ้อมมือ ซึ่งให้ปริมาณเส้นใยของธัญชาติสูงกว่า มีข้อเสนอแนะให้มีการจัดกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพให้ความรู้แก่ประชาชนในเรื่องการออกกำลังกายร่วมกับการเลือกรับประทานอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายที่แท้จริง เพื่อปรับพฤติกรรมด้านสุขภาพส่วนบุคคลให้เหมาะสมและเพิ่มพูนความรู้เกี่ยวกับการป้องกันภาวะอ้วนลงพุงต่อไป

คำสำคัญ : ความชุก, การรับรู้ความสามารถของตนเอง, ภาวะอ้วนลงพุง

Abstract

Obesity and abdominal obesity present a silent threat disease that was caused by an excessive accumulation of fat in the abdomen or abdominal organs which cause a risk of danger for occurring a variety of illnesses after then. This Observational Descriptive research observed the prevalence and Factors concerned with an abdominal obesity among people in Phran-Kratai sub-district, Phran-Kratai district, Kamphaeng Phet Province. The sample groups were the people who live in Phran-Kratai sub-district, Phran-Kratai district, Kamphaeng Phet Province. 218 samples were obtained by multi-stage sampling. The research instrument was a questionnaire. All of data were analyzed and reported by descriptive statistics.

The results revealed that 218 samples had the prevalence of obesity had 84.40% (BMI: 25.00kg/m² or more), 80.28% of waist circumference were abdominal obesity (criteria: male>90.00 cm, female> 80.00cm). 69.72% do not have underlying disease, 27.52% of all had lived in the area between 26 - 30 years. They had a high level of self-efficacy perception ($\bar{x}$ =3.58, SD=0.58), and had good knowledge about abdominal obesity ($\bar{x}$ =0.80, SD=0.38). 66.51% were non-smoking, 61.93% were non-alcoholics, 55.50% had non-exercise behaviors during the past 3 months. 43.12% slept 5-7 hours per day, also 74.31% had white rice eating behavior, and 62.84% had 5-7 ladle meals per day.

To summarize and explain that working people residing in Phran-Kratai, sub-district Phran-Kratai District, Kamphaeng Phet Province had the prevalence of obesity and abdominal obesity. Although, most people were a high level of self-efficacy and had a knowledge of abdominal obesity

at a good level. But there were other risk factors concerned with obesity and abdominal obesity, such as continued physical inactivity and white rice eating habits which has a higher amount of carbohydrates than eating brown rice or semi-milled rice which gives a natural fiber in higher. In suggestion should organize health promotion activities to educate people about more exercising and choosing foods were beneficial to adjust personal health behaviors appropriately and to increase knowledge of preventing an abdominal obesity in further.

Keywords : Prevalence, self-efficacy perception, abdominal obesity

ที่มาและความสำคัญ

ภาวะอ้วนลงพุง (Abdominal obesity หรือ Metabolic syndrome) เป็นกลุ่มอาการที่เกิดจากความผิดปกติของกระบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกาย ส่งผลให้มีไขมันสะสมที่หน้าท้องและมีรอบเอวหรือที่เราเรียกว่าภาวะอ้วนลงพุง (Central obesity) องค์การอนามัยโลกสำรวจพบว่า ในปีค.ศ. 2016 ประชากรวัยกลางคนมากกว่า 1.9 พันล้านคนทั่วโลกที่มีอายุมากกว่า 18 ปีขึ้นไปมีภาวะน้ำหนักเกินและจำนวนมากกว่า 650 ล้านคนที่เป็นโรคอ้วน [1] รายงานของสำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ในปี พ.ศ. 2560-2564 พบความชุกของภาวะอ้วนในระดับต้นๆ ข้อมูลรายงานในปี พ.ศ. 2558 พบจำนวน 22,502 คน มีภาวะอ้วนร้อยละ 7.50 [3] อีกทั้งพบว่าระหว่าง ปี พ.ศ. 2556 ถึง 2560 คนไทยมีการบริโภคไขมันเฉลี่ย 45.60 กรัม/คน/วัน และในปีพ.ศ. 2560-2562 มีการบริโภคน้ำตาลทรายเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.5-2.6 ล้านตันต่อปีและปัจจุบันนิยมดื่มน้ำหวานมากขึ้นโดยเฉพาะชาไข่มุก[2] ปัญหาสุขภาพในวัยกลางคนส่วนใหญ่เป็นโรคเรื้อรังต่างๆ ได้แก่ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง และโรคเมตาบอลิกเกิดจากโรคอ้วน โรคอ้วนมีสาเหตุมาจากพฤติกรรมสุขภาพและพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่เปลี่ยนไปตามวิถีชีวิต วัฒนธรรมการบริโภค และภาวะความเร่งรีบ พบว่ามีการบริโภคอาหารสำเร็จรูป อาหารกลุ่มที่มีไขมันสูง อาหารประเภทจานด่วน อาหารแปรรูปต่างๆ รวมทั้งเครื่องดื่มน้ำตาลและเครื่องดื่มที่มีรสหวานมากขึ้น [3]

ประเทศไทยพบความชุกของภาวะอ้วนและอ้วนลงพุงสูงเป็นอันดับ 2 จาก 10 ประเทศในภูมิภาคอาเซียน รองจากประเทศมาเลเซีย โดยคิดเป็นร้อยละ 8.50 จากรายงานของ Asia Roundtable on Food Innovation for Improved Nutrition มีรายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกายเกี่ยวกับเรื่องภาวะอ้วนลงพุงครั้งที่ 5 พบว่าคนไทยสัดส่วน 3 ใน 10 ของเพศชายและ 4 ใน 10 ของเพศหญิงประสบกับปัญหาภาวะอ้วนลงพุงเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน โดยระดับภูมิภาคจังหวัดกรุงเทพมหานครพบความชุกของภาวะอ้วนลงพุงมากที่สุด ร้อยละ 46.00 รองลงมาเป็นภาคกลาง ร้อยละ 41.70 และภาคเหนือ ร้อยละ 38.80 ตามลำดับ [4]

ภาวะอ้วนและอ้วนลงพุงทำให้เกิดผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากรัฐบาลต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายเพื่อรักษาพยาบาลให้กับประชาชนในสังคมที่เจ็บป่วยด้วยโรคที่เกิดจากภาวะอ้วนเป็นเหตุ เพราะจะทำให้ประชาชนมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง ทำให้เกิดทุพพลภาพและเสียชีวิตก่อนวัยอันควรได้ ผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากภาวะอ้วนและอ้วนลงพุงเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคเรื้อรังต่างๆ ได้แก่ โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจหลอดเลือด ซึ่งเป็นโรคที่เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตลำดับต้นๆของประชาชนคนไทย [5] การป้องกันภาวะอ้วนลงพุงสามารถ

ทำให้การปรับเปลี่ยนวิถีการดำเนินชีวิต การปรับพฤติกรรมการบริโภคอาหารและเพิ่มการออกกำลังกาย ควรเน้นรับประทานอาหารที่มีไขมันต่ำร่วมกับการเพิ่มการบริโภคผักและผลไม้ รูปแบบการรับประทานอาหารที่ได้ผลดีกับผู้ป่วยภาวะอ้วนลงพุงและเป็นที่ยอมรับมากคือการใช้สูตรเมดิเตอร์เรเนียน ไตเอ็ท (Mediterranean diet) ซึ่งเป็นการทานอาหารที่ได้รับอิทธิพลมาจากชาวต่างชาติที่อาศัยอยู่แถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนโดยมีหลักการลดการบริโภคเนื้อสัตว์เพิ่มการบริโภคผักและผลไม้ รวมทั้งธัญพืชไม่ขัดสี พืชตระกูลถั่วและกระทำให้ไปพร้อมกับการออกกำลังกายที่เหมาะสมอย่างสม่ำเสมอ เช่น การเดิน การวิ่ง การเต้นแอโรบิค เป็นต้น [6]

พฤติกรรมสุขภาพจากการดำรงชีวิต โดยเฉพาะพฤติกรรมการบริโภคอาหารและการออกกำลังกายได้รับอิทธิพลจากความเชื่อในตัวบุคคล สภาพแวดล้อมและสภาพสังคมที่พัวพันอาศัยอยู่ การรับรู้จากความสามารถแห่งตนในการปฏิบัติพฤติกรรมสุขภาพ การแสดงออกทางพฤติกรรมสุขภาพของบุคคลมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายด้าน รวมถึงแรงสนับสนุนทางสังคม เมื่อบุคคลรับรู้เกี่ยวกับภาวะเสี่ยงอันตราย ภาวะแทรกซ้อน และประโยชน์ของกระทำการป้องกันโรคและส่งเสริมสุขภาพไม่ให้เกิดป่วยเนื่องจากโรคอ้วนหรือจากภาวะอ้วนลงพุง บุคคลนั้นจะมีแนวโน้มปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพตนเองให้ดีขึ้น [7] การได้แรงสนับสนุนทางสังคมทั้งจากเพื่อน ครอบครัว คนรัก โดยสนับสนุนในด้านอารมณ์ (Emotional support) ด้านการประเมิน (Appraisal support) ด้านข้อมูล (Information support) และด้านเครื่องมือ (Instrumental support) จะสนับสนุนให้บุคคลสามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพได้ [8]

ประเทศไทยมีวัยทำงานช่วงอายุ 15-59 ปี ที่มีสัดส่วนจำนวนที่สูงกว่าวัยอื่นๆ และเป็นวัยที่สร้างสรรค์ผลผลิตทางด้านเศรษฐกิจ เป็นกำลังสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ และอีกไม่เกิน 10 ปีข้างหน้าคนวัยทำงานนี้จะค่อยๆ ลดจำนวนลงเนื่องจากจากอัตราการเกิดที่ลดลงเรื่อย ๆ และและวัยนี้จะก้าวเข้าสู่สังคมสูงอายุอย่างเต็มตัว ดังนั้น เพื่อเตรียมพร้อมสู่การเป็นผู้สูงวัยที่มีคุณภาพชีวิตที่ดี สามารถพึ่งพาตัวเองได้ เป็นภาระต่อสังคมให้น้อยที่สุดจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต้องให้ตระหนักอย่างมากกับการมีสุขภาพที่ดี จากการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพอนามัยของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่าพฤติกรรมการดูแลสุขภาพของคนวัยทำงาน ในเรื่องการบริโภคอาหารถูกละเลยโดยขาดความตระหนักและการให้ความสำคัญกับอาหารมื้อแรกและการบริโภคอาหารในแต่ละวันตนได้รับสารอาหารครบ 5 หมู่ หรือครบจำนวน 3 มื้อหลักหรือไม่ และพบว่าคนวัยทำงานจะมีการบริโภคอาหารหลักครบจำนวน 3 มื้อนั้น น้อยกว่าวัยอื่นๆ ขาดการออกกำลังกายน้อยกว่ากลุ่มอื่น ๆ พบว่าคนวัยทำงานเพียง 1 ใน 5 เท่านั้นที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งวัยนี้ยังมีพฤติกรรมเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยการดื่มแอลกอฮอล์และสูบบุหรี่มากกว่าวัยอื่น ๆ [9]

ประชาชนวัยทำงานที่ทำงานในตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชรมักมีวิถีชีวิตที่เร่งรีบจากการที่ต้องไปทำงานในสถานที่ต่างๆ ซึ่งต้องใช้เวลาในการเดินทาง โดยส่วนมากรูปแบบและลักษณะของสถานที่ทำงานเป็นการทำงานในท้องไร่ท้องนา หรือตามตลาดที่ต้องประกอบอาชีพค้าขาย ซึ่งบางครั้งอาจไม่มีเวลาและบริบทสถานที่แวดล้อมอาจไม่เหมาะที่จะออกกำลังกาย ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาวิจัยเรื่องความชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะอ้วนลงพุงของประชาชนที่อาศัยในตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร และเพื่อไปใช้ในการเฝ้าระวังภาวะอ้วนลงพุง ส่งเสริม และสนับสนุนให้เกิดการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ และเป็นแนวทางในการป้องกันภาวะอ้วนลงพุงให้ประชาชนในพื้นที่ศึกษาต่อไป

ตารางที่ 1: ตารางแสดงกลุ่มตัวอย่างประชากรตำบลพรานกระต่าย

หมู่ที่	ประชากรอายุ 15-59 ปี (คน)	สัดส่วนตัวอย่าง (คน)
หมู่ 2 บ้านพรานกระต่าย	452	50
หมู่ 6 บ้านหนองน้ำใส	400	45
หมู่ 10 บ้านเหนือ	1,100	123
รวม	1,952	218

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเชิงสำรวจครั้งนี้ (Observational Descriptive study) มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจหาความชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะอ้วนลงพุงของประชาชนในตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร โดยทำการสำรวจข้อมูลในประชาชนวัยทำงานที่อาศัยในตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร ที่มีอายุในช่วง 15-59 ปี ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 218 คน จากประชากรทั้งหมด 13 หมู่บ้าน รวมทั้งสิ้น 9,005 คน ใช้สูตรคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size Determination) การประมาณค่าสัดส่วนที่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน $n = (NZ_{\alpha/2}^2 p(1-p))/d^2(N-1) + Z_{\alpha/2}^2 p(1-p)$ โดย n คือขนาดของกลุ่มตัวอย่าง, N คือขนาดของประชากรที่ทราบแน่ชัด 1,952 คน, $Z_{\alpha/2}$ คือค่าคะแนนมาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$ เท่ากับ 1.96, p คือค่าสัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร (กำหนด p เท่ากับ 0.20) และ d คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในครั้งนี้ใช้ 5% เท่ากับ 0.05 ผู้วิจัยทำการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage sampling) ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ผู้วิจัยทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) โดยใช้ วิธีการสุ่มเป็นสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน Probability Proportion to size (PPS) ได้สัดส่วนกลุ่มตัวอย่างเพื่อ เป็นตัวแทนที่ดีของแต่ละหมู่บ้านทั้งหมดในตำบลพรานกระต่าย 3 หมู่บ้านในจำนวนทั้งหมด 13 หมู่บ้าน โดยสรุปได้ดังตารางที่ 1

ขั้นที่ 2 ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างที่มีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยการสุ่มเลือกประชาชนวัยทำงานทั้งเพศชาย และเพศหญิงที่มีอายุตั้งแต่ 15-59 ปีที่พักอาศัยในตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร ในหมู่ที่ 2 ให้ได้จำนวน 50 คน หมู่ที่ 6 ให้ได้จำนวน 45 คน และหมู่ที่ 10 ให้ได้จำนวน 123 คน จนครบจำนวน 218 คน ตามขนาดกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 1 ปี เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้ คือแบบสอบถาม (Questionnaire) ทั้งหมด 5 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป เป็นแบบสอบถามชนิดเลือกตอบ (Check list) จำนวน 7 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ สถานภาพ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน และระยะเวลาอาศัยในพื้นที่ ตอนที่ 2 ข้อมูลด้านสุขภาพ เป็นแบบสอบถามชนิดเลือกตอบ (Check list) จำนวน 3 ข้อ ได้แก่ โรคประจำตัว ดัชนีมวลกาย และความยาวเส้นรอบเอว ตอนที่ 3 ข้อมูลการรับรู้ความสามารถของตนเอง เป็นแบบสอบถามเลือกตอบแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating scale) มีทั้งข้อคำถามเชิงบวก (Positive) และข้อคำถามเชิงลบ (Negative) จำนวน 20 ข้อ ดังนี้ จริงที่สุด (5 คะแนน) จริง (4 คะแนน) ไม่แน่ใจ (3 คะแนน) ยากจะจริง (2 คะแนน) ไม่จริง (1 คะแนน)

การแปลผลกำหนดช่วงคะแนนเฉลี่ย 3 ระดับโดยนำคะแนนสูงสุดลบคะแนนต่ำสุดแล้วหารด้วยจำนวนระดับขั้นที่แบ่ง ดังนี้ (5-1)/3 ช่วงขั้นแต่ละระดับเท่ากับ 1.33 ตอนที่ 4 ข้อมูลด้านความรู้เกี่ยวกับภาวะอ้วน ลงพุงเป็นแบบสอบถาม ชนิดเลือกตอบ (Check list) มีทั้งข้อคำถามเชิงบวก (Positive) และข้อคำถามเชิงลบ (Negative) จำนวน 15 ข้อ ดังนี้ ไข่ (1 คะแนน) ไม่ไข่ (0 คะแนน) การแปลผลกำหนดช่วงคะแนนเฉลี่ย 3 ระดับโดยนำคะแนนสูงสุดลบคะแนนต่ำสุดแล้ว หารด้วยจำนวนระดับขั้นที่แบ่ง ดังนี้ (1-0)/3 ช่วงขั้นแต่ละระดับเท่ากับ 0.33 และ ตอนที่ 5 ข้อมูลด้านพฤติกรรมส่วนบุคคลเป็นแบบสอบถามชนิดเลือกตอบ (Check list) จำนวน 6 ข้อ ได้แก่ข้อมูลเกี่ยวกับการสูบบุหรี่ การดื่มแอลกอฮอล์ การออกกำลังกาย การนอนหลับ การทานข้าวขาว และจำนวนทัพพีข้าวที่ทานต่อวัน หลังจากนั้นผู้วิจัยนำแบบสอบถาม ที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองใช้ (Try-out) กับกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณลักษณะใกล้เคียง 30 คนวิเคราะห์ความ เชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability) ได้ค่า Cronbach's Alpha Coefficient เท่ากับ 0.73 และวิเคราะห์หาค่าดัชนีความ สอดคล้องผ่านผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน (Index of Item – objectives Concordance : IOC) เท่ากับ 0.51 พิจารณาสีทธิ กลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยได้ชี้แจงวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย อธิบายการพิทักษ์สิทธิ กระบวนการรวบรวมข้อมูล และขอ อนุญาตกลุ่มตัวอย่างก่อนดำเนินการรวบรวม แจ้งเรื่องการรักษาความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูล โดย ไม่ระบุชื่อและที่อยู่ในแบบสอบถาม และนำผลของข้อมูลไปใช้ในทางวิชาการเท่านั้น โดยข้อมูลจะถูกทำลายภายใน 1 ปี ภายหลังจากที่ข้อมูลมีการเผยแพร่ ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยแจกแบบสอบถามตามหมู่บ้านทั้งหมด 3 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่ 2 บ้านพรานกระต่าย , หมู่ 6 บ้านหนองน้ำใส และ หมู่ 10 บ้านเหนือ ตามจำนวนขนาดตัวอย่าง ที่คำนวณไว้และรอเก็บกลับมาพร้อมกับครั้งที่แจก นำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง 218 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 59.63 มีอายุในช่วง 30-39 ปี อายุเฉลี่ย 35.62 ปี มี สถานภาพสมรส ร้อยละ 62.84 ศึกษาระดับประถมศึกษา ร้อยละ 47.25 ประกอบอาชีพเกษตรกร ร้อยละ 52.75 มีราย ได้เฉลี่ยต่อเดือนในช่วง 5,000 – 10,000 บาท เฉลี่ยเท่ากับ 9,165.60 บาท (SD=3,435.71) มีความชุกของภาวะอ้วน (BMI: 25.00kg/m² ขึ้นไป) ร้อยละ 84.40 เส้นรอบเอวอยู่ในระดับอ้วนลงพุง ร้อยละ 80.28 ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 69.72 ระยะเวลาพักอาศัยในพื้นที่ 26-30 ปี ร้อยละ 27.52 แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2 - 4

ตารางที่ 2: ตารางแสดงจำนวนและร้อยละของข้อมูลทั่วไปและข้อมูลด้านสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง		จำนวน	(ร้อยละ)
เพศ			
	ชาย	88	40.37
	หญิง	130	59.63

ตารางที่ 3: ตารางแสดงจำนวนและร้อยละของข้อมูลทั่วไปและข้อมูลด้านสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน	(ร้อยละ)
สถานภาพ		
โสด	44	20.20
สมรส/มีคู่ครอง	137	62.84
หม้าย/หย่า/แยกกันอยู่	37	16.97
อายุ		
15-19 ปี	28	12.84
20-29 ปี	40	18.35
30-39 ปี	58	26.61
40-49 ปี	71	32.57
50-59 ปี	21	9.63
$\bar{x} = 35.62$, $SD = 11.35$, $Min. = 16$, $Max. = 59$		
ระดับการศึกษา		
ไม่ได้ศึกษา	14	6.42
ประถมศึกษา	103	47.25
มัธยมศึกษา	23	26.61
ปริญญาตรีและสูงกว่า	28	32.57
อาชีพ		
รับจ้างทั่วไป	60	27.52
เกษตรกร	115	52.75
แม่บ้าน	7	3.21
ค้าขาย	36	16.51
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาท)		
ต่ำกว่า 5,000	14	6.42
5,000-10,000 ปี	130	59.63
10,000 ขึ้นไป ปี	74	33.94
$\bar{x} = 9,165.60$, $SD=3,435.71$, $Min. = 3,000$, $Max. = 18,000$		

ตารางที่ 4: ตารางแสดงจำนวนและร้อยละของข้อมูลทั่วไปและข้อมูลด้านสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน	(ร้อยละ)
ระยะเวลาพักอาศัยในพื้นที่		
น้อยกว่า 15 ปี	44	20.18
15-20 ปี	15	6.88
21-25 ปี	57	26.15
26-30 ปี	60	27.52
มากกว่า 30 ปีขึ้นไป	42	19.27
$\bar{x} = 24.18$, $SD = 9.29$, $Min. = 4$, $Max. = 45$		
โรคประจำตัว		
มีโรคประจำตัว	66	30.28
ไม่มีโรคประจำตัว	152	69.72
ค่าดัชนีมวลกาย (BMI)		
ผอม (น้อยกว่า 18.5 kg/m^2)	8	3.67
ปกติ ($18.5 - 22.9 \text{ kg/m}^2$)	16	7.34
ท้วม ($23.0 - 24.9 \text{ kg/m}^2$)	10	4.59
อ้วน (25.0 kg/m^2 ขึ้นไป)	184	84.40
$\bar{x} = 35.00$, $SD = 8.94$, $Min. = 12.27$, $Max. = 56.76$		
ความยาวเส้นรอบเอว		
ปกติ (ชาย $<90.00 \text{ cm}$, หญิง $<80.00 \text{ cm}$)	43	19.72
อ้วนลงพุง (ชาย $>90.00 \text{ cm}$, หญิง $>80.00 \text{ cm}$)	175	80.28
$\bar{x} = 90.33 \text{ cm}$, หญิง $\bar{x} = 84.09 \text{ cm}$		

ตารางที่ 5: ตารางแสดงภาพรวมระดับการรับรู้ความสามารถของตนเองของกลุ่มตัวอย่าง (n=218)

ข้อความ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระดับการรับรู้มากที่สุด (คะแนนเฉลี่ย 4.21-5.00)	42	19.27
ระดับการรับรู้มาก (คะแนนเฉลี่ย 3.41-4.20)	127	58.26
ระดับการรับรู้ปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย 2.61-3.40)	20	9.17
ระดับการรับรู้น้อย (คะแนนเฉลี่ย 1.81-2.60)	24	11.00
ระดับการรับรู้ที่น้อยที่สุด (คะแนนเฉลี่ย 1.00-1.80)	5	2.30
$\bar{x} = 3.58$, S.D.= 0.58, Min= 1.00 คะแนน, Max= 5.00		

ตารางที่ 6: ตารางภาพรวมระดับความรู้เกี่ยวกับภาวะอ้วนลงพุงของกลุ่มตัวอย่าง (n=218)

ข้อความ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระดับความรู้ดี (คะแนนเฉลี่ย 0.68-1.00)	137	62.84
ระดับความรู้ปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย 0.34-0.67)	38	17.43
ระดับความรู้ควรปรับปรุง (คะแนนเฉลี่ย 0.00-0.33)	43	19.72
Min= 0.00 คะแนน, Max= 1.00 คะแนน, $\bar{x} = 0.80$, S.D.= 0.38		

สรุปภาพรวมการรับรู้ความสามารถของตนเองของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 3.58$, S.D. =0.58) แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5

ข้อมูลด้านความรู้เกี่ยวกับภาวะอ้วนลงพุงของกลุ่มตัวอย่างภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{x} = 0.80$, S.D.= 0.38) แสดงข้อมูลดังตารางที่ 6

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษามีพฤติกรรมสุขภาพส่วนบุคคล ดังนี้คือ ไม่สูบบุหรี่ ร้อยละ 66.51 ไม่ดื่มแอลกอฮอล์ ทุกชนิด ร้อยละ 61.93 ไม่ออกกำลังกายในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา ร้อยละ 55.50 นอนหลับวันละ 5 - 7 ชั่วโมงต่อวัน ร้อยละ 43.12 ส่วนใหญ่บริโภคข้าวขาวเป็นหลัก ร้อยละ 74.31 และรับประทานข้าววันละ 6 - 7 ทัพพีต่อวัน ร้อยละ 62.84 แสดงข้อมูลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7: ตารางแสดงข้อมูลพฤติกรรมสุขภาพส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง (n=218)

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน	(ร้อยละ)
การสูบบุหรี่		
ไม่สูบบุหรี่	145	66.51
เคยสูบแต่ปัจจุบันไม่สูบ	37	16.97
ปัจจุบันสูบบุหรี่อยู่	36	16.52
การดื่มแอลกอฮอล์		
ไม่ดื่มแอลกอฮอล์ทุกชนิด	135	61.93
เคยดื่มแต่ปัจจุบันไม่ดื่ม	29	13.30
ปัจจุบันดื่มอยู่	54	24.77
การออกกำลังกายในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา		
ไม่ออกกำลังกาย	121	55.50
ออกกำลังกายสม่ำเสมอ	97	44.50
การนอนหลับ		
น้อยกว่า 5 ชั่วโมงต่อวัน	145	66.51
5-7 ชั่วโมงต่อวัน	37	16.97
8 ชั่วโมงขึ้นไปต่อวัน	36	16.52
$\bar{x} = 6.68$, $SD = 1.92$, $Min. = 3$, $Max. = 10$		
การบริโภคข้าวขาว		
ข้าวขาว	162	74.31
ข้าวกล้อง	51	23.39
ข้าวอื่น ๆ	5	2.30
จำนวนทัพพีของข้าวที่ทานต่อวัน		
ต่ำกว่า 5 ทัพพีต่อวัน	36	16.61
5-7 ทัพพีต่อวัน	137	62.84
8 ทัพพีขึ้นไป	45	20.64
$\bar{x} = 6.33$, $SD = 1.51$, $Min. = 4$, $Max. = 9$		

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาความชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะอ้วนของประชาชนในตำบลพวานกระต่าย อำเภอพวน-กระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร พบว่า ประชาชนที่มีอายุระหว่าง 15-59 ปีซึ่งอยู่ในวัยทำงานและพักอาศัยในพื้นที่ในช่วงเวลา 26-30 ปีพบความชุกของภาวะอ้วนของกลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 84.40 (BMI:25.00kg/m² ขึ้นไป) และมี เส้นรอบเอว

อยู่ในระดับอ้วนลงพุง ร้อยละ 80.28 (ชาย>90.00cm, หญิง>80.00cm) [14] ซึ่งตรงกับงานวิจัยของหลายท่านที่ทำการศึกษาวิจัยกับคนวัยทำงานพบว่าวัยทำงานส่วนใหญ่มักพบปัญหาภาวะอ้วนลงพุงด้วยหลายสาเหตุปัจจัย ได้แก่ เพศชาย มีโอกาสอ้วนลงพุงมากกว่าเพศหญิง สำหรับการศึกษาของสิทธิกร ลินลาวรรณ [10] และกนกนันท์ สมนึกและคณะ [4] แตกต่างจากการศึกษาของการศึกษาของพลอยณณารินทร์ ราวีนิจ [11] ปุณณพัฒน์ ไชยเมล์ และ สมเกียรติยศ วรเดช [12] และ ชญานิศ เมฆอากาศ และคณะ [13] ที่พบว่าเพศหญิงเสี่ยงต่อการเกิดภาวะอ้วนลงพุงสูงกว่าเพศชาย อาจเป็นไปได้ว่าเพศชายไม่สนใจหุ่นและรูปร่างของตนเองเท่ากับเพศหญิง อายุที่มากขึ้นมีโอกาสมีภาวะอ้วนลงพุงได้ พบว่า ผู้ที่มีอายุมากกว่าและเท่ากับ 45 ปีขึ้นไปมีโอกาสเกิดภาวะอ้วนลงพุงในงานวิจัยของกนกนันท์ สมนึก และคณะ [4] ที่อ้างอิงงานวิจัยของ Kuk, Ardern, Church, Sharma, Padwal, Sui และคณะ ในปี ค.ศ. 2011 ที่อธิบายไว้ว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้นทุก 1 ปีบุคคลจะมีโอกาสเกิดภาวะอ้วนลงพุงเพิ่มขึ้นเป็น 1.10 เท่า ดังนั้นเมื่ออายุมากขึ้นจะพบความชุกของภาวะอ้วนลงพุงมากขึ้นด้วยนั่นเอง อีกทั้งการมีพฤติกรรมด้านสุขภาพส่วนบุคคลที่ไม่เหมาะสมเพิ่มโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดภาวะอ้วนลงพุงได้ เช่น การสูบบุหรี่และดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การพักผ่อนนอนหลับน้อย พฤติกรรม การเลือกบริโภคอาหารโดยเฉพาะข้าวขาวเป็นอาหารมื้อหลัก รวมถึงการไม่ออกกำลังกาย หรือออกกำลังกายน้อยกว่า 3 วันต่อสัปดาห์ พบว่างานวิจัยของหลายท่านสนับสนุนว่าการไม่ออกกำลังกายที่สม่ำเสมอจะส่งผลให้เกิดโรคอ้วนลงพุงได้มากที่สุด ได้แก่ งานวิจัยของทัศนพร สุตเสนหา [15] ระบุว่า การออกกำลังกายหรือปฏิบัติงานที่มีการเคลื่อนไหวร่างกายน้อยจะมีผลต่อพฤติกรรมการบริโภคอาหาร งานวิจัยของพลอยณณารินทร์ ราวีนิจ [11] พบว่าผู้ที่ออกกำลังกายน้อยกว่า 20 นาที มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดภาวะอ้วนลงพุง 4.35 เท่าของผู้ที่ออกกำลังกายมากกว่า 20 นาที และงานวิจัยของสิทธิกร ลินลาวรรณ [10] สรุปว่าในกลุ่มผู้ที่มีภาวะอ้วนลงพุงจะมีการออกกำลังกายน้อยกว่าผู้มีรูปร่างสมส่วน

ข้อเสนอแนะจากการศึกษา

เพื่อเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนใน ตำบลพรานกระต่าย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร มีความรู้ความสามารถแห่งตนในการจัดการไม่ให้เกิดปัญหาภาวะอ้วนลงพุงได้อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยขอเสนอแนะว่าควรมีการส่งเสริมสุขภาพและสร้างความตระหนักรู้ถึงความสำคัญของการเลือกบริโภคอาหาร การออกกำลังกาย และการใส่ใจดูแลรูปร่างและสุขภาพของตนเอง ส่งเสริมให้ความรู้เพื่อลดภาวะอ้วนลงพุงที่ถูกหลักถูกวิธีเพื่อปรับค่าดัชนีมวลกาย และลดความยาวรอบเอวให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่งเสริมให้ประชาชนวัยทำงานหมั่นตรวจสุขภาพประจำปีเพื่อทราบสถานะสุขภาพส่วนบุคคลสม่ำเสมอ ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งถัดไปควรมีการศึกษารายละเอียดเรื่องปัจจัยด้านความเครียดและปัจจัยด้านเวลาซึ่งอาจส่งผลต่อภาวะอ้วนลงพุงในกลุ่มประชาชนที่ศึกษาได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] World Health Organization. (2016). Key facts in situation of Obesity and overweight. [ออนไลน์]. เข้าถึง <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- [2] กองโรคไม่ติดต่อกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (2563). รายงานสถานการณ์โรค NCDs เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง พ.ศ. 2562. พิมพ์ครั้งที่ 1 (พฤษภาคม 2563). สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิค แอนด์ดีไซน์.

- [3] ปวีณา ประเสริฐจิตรและคณะ. (2563). วิธีชีวิตคนเมืองวัยทำงานที่มีผลต่อภาวะอ้วนลงพุง: กรณีศึกษาบุคลากรคณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล. วชิรเวชสารและวารสารเวชศาสตร์เขตเมือง, 64(1), (ม.ค.- ก.พ.), 71-84.
- [4] กนกนันท์ สม นึกและคณะ. (2563). ความชุกและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อภาวะอ้วนลงพุงในบุคลากรโรงพยาบาลสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราช. วชิรเวชสารและวารสารเวชศาสตร์เขตเมือง, 65(1), (ม.ค.- ก.พ.), 27-36.
- [5] วรณิ นิธิยานันท์. (2554). อ้วนและอ้วนลงพุง. เครือข่ายคนไทยไร้พุง ราชวิทยาลัยอายุรแพทย์แห่งประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัทสุขุมวิทมีเดีย มาร์เก็ตติ้งจำกัด.
- [6] Aizawa, K., et al. (2009). Metabolic syndrome, endothelial function, and lifestyle modification. Diabetes and Vascular Disease Research, 6(3), 181-189.
- [7] พัสตราภรณ์ แยมเม่นและรุจิรา ดวงสงค์. (2555). ผลของโปรแกรมการส่งเสริมสุขภาพโดยประยุกต์ใช้แบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ ร่วมกับแรงสนับสนุนทางสังคม ในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อควบคุมน้ำหนักของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่มีน้ำหนักเกินเกณฑ์อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. วารสารวิจัย มช. (บศ.), 12(1), (ม.ค. - มิ.ย.), 57-67.
- [8] เสาวนีย์ วรรณอและคณะ. (2555). แรงสนับสนุนจากครอบครัวตามการรับรู้ของผู้สูงอายุที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ที่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้. ราชวิทยาลัยอายุรแพทย์, 18(3) (ก.ย.-ธ.ค.), 372-388.
- [9] สำนักสถิติแห่งชาติ. (2557). ทำงานกับการดูแลสุขภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึง <http://www.nso.go.th/sites/2014>.
- [10] สิทธิกร ลินลาธรรม. (2554). อุบัติการณ์และปัจจัยเสี่ยงของภาวะอ้วนลงพุงในบุคลากรโรงพยาบาลพระจอมเกล้า จังหวัดเพชรบุรี. วารสารแพทย์ เขต 4-5. 30(2) (ก.ค.-ก.ย), 249-259.
- [11] พลอยณณารินทร์ ราวินิจ. (2559). ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะอ้วนลงพุงในประชากรตำบลชะแมบ อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [12] ปุณณพัฒน์ ไชยเมล์และสม เกียรติยศ วรเดช. (2558). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อภาวะอ้วนลงพุงใน นิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง. วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา. 10(2) (ก.ค.-ธ.ค), 55-65.
- [13] ชญานิศ เมฆอากาศและคณะ. (2561). ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะอ้วนลงพุงของอาสาสมัครประจำหมู่บ้านในจังหวัดสุโขทัย. วารสารการพยาบาลและสุขภาพ. 12(ฉบับพิเศษ) (ม.ค.-มี.ค), 47-57.
- [14] กลุ่มพัฒนานโยบายสาธารณะและสื่อสารความเสี่ยง กองโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2564). รู้ตัวเลข รู้ความเสี่ยงสุขภาพ (Know Your Numbers & Know Your Risks). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรกราฟิกแอนด์ดีไซน์.
- [15] ทศพร สดเสนาหา. (2556). ตัวแปรที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการบริโภคอาหารของกลุ่มเสี่ยงโรคอ้วน ลงพุงกรณีศึกษา: โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลไผ่งาม อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว. วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ.

ปัญหาและการแก้ไขการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Problem and Solving of Activity Participation of Students of Faculty of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University

สุนิต สร้อยทอง, อิศระ ตั้งสุวรรณ, นฤมล จันทร์มา, กาญจน์ คุ่มทรัพย์*

โปรแกรมวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000

Sunit Soyotong, Itsara Tangsuwan, Narumon Janma, Kan Khoomsab*

Science Education Program, Faculty of Science and Technology,

Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun, 67000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาการไม่เข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาและหาแนวทางในการแก้ปัญหาการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ชั้นปีที่ 1-4 ปีการศึกษา 2560 ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง จำนวน 237 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบประเมินปัญหาและการแก้ไขการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ค่าสถิติ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาและการแก้ไขการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีใน 6 ด้าน ได้แก่ 1.ด้านลักษณะของการจัดกิจกรรม 2.ด้านการดำเนินกิจกรรม 3.ด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับนักศึกษา 4.ด้านวิชาการที่มีผลต่อการเข้าร่วมกิจกรรม 5.ด้านทัศนคติต่อการเข้าร่วมกิจกรรม และ 6.ด้านแนวทางการแก้ไขการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษา มีความคิดเห็นโดยรวมอยู่ในระดับมาก และแนวทางการแก้ไขการเข้าร่วมกิจกรรมที่นักศึกษาเห็นด้วยมากที่สุด ได้แก่ การให้มีการกำกับ ควบคุม ติดตามการเข้าร่วมกิจกรรมอย่างชัดเจน

คำสำคัญ : การมีส่วนร่วม, กิจกรรมนักศึกษา, ความคิดเห็น

* Corresponding author : topkan13@hotmail.com

Received : 29/03/2022

Revised : 16/06/2022

Accepted : 09/09/2022

Abstract

The aims of this research is to study problems of students who did not participate in student activities and to find problem solutions. The sample group used in this research was 237 undergraduate students who studied in the academic year 2017, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University. Problem-solving questionnaires were used as the research tools. Statics for data analysis were mean and standard deviation. Problem-solving affecting students' participation in activities were: 1) activity nature 2) activity format 3) student factor 4) academic aspect 5) student attitude and 6) solving guidelines. The students' opinions on all factors were at a high level. The guidelines for solving activity participation that students agree with the most was clearly directing, controlling and monitoring their participation.

Keywords : Participation, Student Affairs, Opinion

ที่มาและความสำคัญ

กิจกรรมนักศึกษา (Student Activities) เป็นส่วนหนึ่งของงานกิจการนักศึกษามีความสำคัญต่อการพัฒนาและเสริมสร้างบุคลิกภาพของนักศึกษาให้มีความสมบูรณ์ทั้งทางด้านร่างกาย อารมณ์ สังคม และสติปัญญา เพื่อนำไปสู่การประกอบอาชีพและการเป็นสมาชิกที่ดีของสถาบันการศึกษา ดังนั้นจึงจัดให้มีงานกิจกรรมนักศึกษาขึ้นเพื่อสนับสนุนวัตถุประสงค์ขั้นพื้นฐานของสถาบันในการผลิตบัณฑิตแต่ละคนให้เป็นคนที่มีสมบูรณ์ กิจกรรมนักศึกษาจึงเป็นสิ่งสำคัญควบคู่ไปกับการเรียนการสอนที่มีอยู่ในหลักสูตรและจากปรัชญาการศึกษา [1] [2] ตามแนวคิดของจอห์น ดิวอี้ (John Dewey) ที่ว่า การศึกษาคือ การรวบรวมประสบการณ์อันเป็นผลพวงมาจากการที่นักศึกษามีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมภายในสถาบันการศึกษา ดังนั้น กิจกรรมนักศึกษาทุกกิจกรรมไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมในหลักสูตร (Class Activities) กิจกรรมเสริมหลักสูตร (Extra-Curriculum Activities) หรือกิจกรรมนอกหลักสูตร (Extra-Class Activities) จึงถือเป็นการให้การศึกษาแก่นักศึกษา และช่วยให้นักศึกษาได้รับความรู้ ประสบการณ์ ทักษะในการทำงาน และการดำรงชีวิตร่วมกับผู้อื่นได้เป็นอย่างดีและมีความสุข [3] [4] [5] การที่จะพัฒนานักศึกษาให้เกิดศักยภาพในทุกด้านนั้น จำเป็นจะต้องใช้กิจกรรมนักศึกษามาเป็นส่วนหนึ่งในการส่งเสริมและพัฒนา เพื่อให้นักศึกษาได้รับประสบการณ์ตรงจากกิจกรรมและนำไปปฏิบัติในชีวิตจริงได้ กิจกรรมดังกล่าว ได้แก่ กิจกรรมวิชาการ กิจกรรมกีฬา กิจกรรมพัฒนาสังคมและบำเพ็ญประโยชน์ กิจกรรมศิลปวัฒนธรรม และกิจกรรมนักศึกษาสัมพันธ์ [6] [7] [8]

จากการทำงานด้านกิจการนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ พบว่าการที่จะพัฒนาศักยภาพในด้านกิจกรรมของนักศึกษาได้อย่างเต็มที่นั้น ต้องเริ่มจากการความสนใจ หรือความกระตือรือร้นในการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาเป็นอันดับแรก ซึ่งจากการสังเกตในการดำเนินงานที่ผ่านมา นักศึกษาให้ความร่วมมือ ขาดความสนใจในการทำกิจกรรมหรือเข้าร่วมกิจกรรมค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยในฐานะบุคลากรของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รับผิดชอบในด้านงานกิจกรรมนักศึกษา จึงมีความสนใจที่จะทำการ

ศึกษาปัญหาการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหา ดังกล่าวได้ต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2. สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเครื่องมือตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) สร้างข้อคำถามโดยใช้หลัก - วิธีการสร้างแบบสอบถาม โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจจาก google form สำหรับการกรอกข้อมูล

2) นำร่างแบบสอบถามที่สร้างขึ้น เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจน์ คุ่มทรัพย์ อาจารย์อาทิตย์ หุ่นเต็ม และอาจารย์เจษฎาพร ปาคำวัง เพื่อหาความเที่ยงตรงตามเนื้อหา นำข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงแก้ไข

3) ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามตามที่ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำ แล้วนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

การเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนและรายละเอียดในการดำเนินการ ดังนี้

1) แจกแบบสอบถามให้กับนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2) เก็บรวบรวมแบบสอบถามที่กรอกเรียบร้อยแล้ว ตรวจสอบแล้วพบว่าข้อมูลมีความสมบูรณ์ครบถ้วนทุกชุด และเก็บแบบสอบถามได้ครบทุกชุด

3) นำแบบสอบถามไปวิเคราะห์ข้อมูล

4. ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

นำแบบสอบถามที่สมบูรณ์จำนวน 237 ฉบับ มาจำแนกตามกลุ่มตัวอย่าง คือ เพศ ชั้นปี และสาขาวิชา แล้วนำมาตรวจให้คะแนนเป็นรายข้อตามเกณฑ์น้ำหนักคะแนนในแต่ละข้อ

5. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

ผู้วิจัยนำแบบสอบถามมาตรวจและทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1) ข้อมูลจากแบบสอบถามตอนที่ 1 สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถามมีลักษณะเป็นแบบสำรวจรายการ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการแจกแจงความถี่เพื่อหาค่าร้อยละ

2) ข้อมูลจากแบบสอบถามตอนที่ 2 ระดับความคิดเห็นข้อมูลด้านปัญหาและการแก้ไขการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า วิเคราะห์ข้อมูล โดยการหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 1: จำนวนและร้อยละปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ชาย	64	27.00
หญิง	173	73.00
รวม	237	100.00

ตารางที่ 2: จำนวนและร้อยละปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามชั้นปี

ชั้นปีที่	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1	94	39.7
2	87	36.7
3	36	15.2
4	20	8.4
รวม	237	100.00

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากตาราง 1 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 173 คน คิดเป็นร้อยละ 73.00 และเป็นเพศชาย จำนวน 64 คน คิดเป็นร้อยละ 27.00

จากตาราง 2 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ชั้นปีที่ 1 จำนวน 94 คน คิดเป็นร้อยละ 39.4 ลำดับรองลงมา ได้แก่ นักศึกษาชั้นปีที่ 2 จำนวน 87 คน คิดเป็นร้อยละ 36 นักศึกษาชั้นปีที่ 3 มีจำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 15.2 และ นักศึกษาชั้นปีที่ 4 จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 8.4

จากตาราง 3 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในสาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 23.6 รองลงมาสาขาวิชาชีพวิทย์ จำนวน 45 คน คิดเป็นร้อยละ 19.0 สาขาวิชาคณิตศาสตร์ จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 13.5 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 11.8 สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 8.4 สาขาวิชาฟิสิกส์และสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มีจำนวนเท่ากัน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 6.8 เท่ากัน สาขาวิชาเคมี จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 5.5 และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 4.6

จากตาราง 4 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นด้านลักษณะของการจัดกิจกรรมในภาพรวม อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.44) เมื่อพิจารณา เป็นรายด้านพบว่าทุกรายข้อมีระดับความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก ได้แก่ กิจกรรมขาดแรงดึงดูด หรือขาดความน่าสนใจ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.64) การจัดตั้งชมรม หรือการจัดกิจกรรม ขาดความน่าสนใจ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.53) กิจกรรมส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมเดิม ๆ ไม่มีความหลากหลาย (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.48) ด้าน

ตารางที่ 3: จำนวนและร้อยละปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามสาขาวิชา

สาขาที่ศึกษา	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ชีววิทยา	45	19.0
ฟิสิกส์	16	6.8
เคมี	13	5.5
คณิตศาสตร์	32	13.5
สาธารณสุขศาสตร์	56	23.6
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	28	11.8
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	11	4.6
เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร	16	6.8
วิทยาการคอมพิวเตอร์	20	8.4
รวม	237	100.00

ตารางที่ 4: ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นด้านลักษณะของการจัดกิจกรรม

ลักษณะของการจัดกิจกรรม	$\bar{X}$	SD	ระดับความคิดเห็น
1. การจัดตั้งชมรม หรือการจัดกิจกรรม ขาดความน่าสนใจ	3.53	0.94	มาก
2. ลักษณะการจัดกิจกรรมเป็นการบังคับ	3.46	0.97	มาก
3. กิจกรรมส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมเดิม ๆ ไม่มีความหลากหลาย	3.48	0.92	มาก
4. กิจกรรมขาดแรงดึงดูด หรือขาดความน่าสนใจ	3.64	0.92	มาก
5. ลักษณะกิจกรรมมีผลกระทบต่อการจัดการเรียนการสอน	3.10	1.17	มาก
รวม	3.44	0.98	มาก

ลักษณะการจัดกิจกรรมเป็นการบังคับ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.46) และลักษณะกิจกรรมมีผลกระทบต่อการจัดการเรียนการสอน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.10) ตามลำดับ

จากตาราง 5 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นด้านการดำเนินกิจกรรม โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.23) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่าทุกข้อมีความคิดเห็นในระดับมาก ได้แก่ การประชาสัมพันธ์ในการเข้าร่วมกิจกรรมแต่ละครั้งไม่ทั่วถึง (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.61) การดำเนินกิจกรรมขาดการกำกับ ควบคุมในการเข้าร่วมกิจกรรม บังคับ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.20) ขาดการประชาสัมพันธ์ให้นักศึกษาทราบถึงประโยชน์จากการเข้าร่วมกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.19) และระยะเวลาการดำเนินกิจกรรมไม่เหมาะสม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.05)

จากตาราง 6 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับนักศึกษาโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.07) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่ามีความพึงพอใจในระดับมาก ได้แก่ นักศึกษาขาดแรงจูงใจ

ตารางที่ 5: ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นด้านการดำเนินกิจกรรม

การดำเนินกิจกรรม	$\bar{X}$	SD	ระดับความคิดเห็น
1. การประชาสัมพันธ์ในการเข้าร่วมกิจกรรมแต่ละครั้งไม่ทั่วถึง	3.61	0.96	มาก
2. บางกิจกรรมมีค่าใช้จ่ายในการเข้าร่วม	3.12	1.11	มาก
3. การดำเนินกิจกรรมขาดการกำกับ ควบคุมในการเข้าร่วมกิจกรรมบังคับ	3.20	0.98	มาก
4. ระยะเวลาการดำเนินกิจกรรมไม่เหมาะสม	3.05	0.99	มาก
5. ขาดการประชาสัมพันธ์ให้นักศึกษาทราบถึงประโยชน์จากการเข้าร่วมกิจกรรม	3.19	1.03	มาก
รวม	3.23	1.01	มาก

ตารางที่ 6: ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับนักศึกษา

ด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับนักศึกษา	$\bar{X}$	SD	ระดับความคิดเห็น
1. นักศึกษาต้องทำงานพาร์ทไทม์อาชีพเสริม หรือช่วยผู้ปกครองทำงาน จึงไม่มีเวลาในการเข้าร่วมกิจกรรม	3.42	1.11	มาก
2. นักศึกษามีเพื่อนอยู่ต่างคณะ หรือสถาบัน	2.64	1.09	ปานกลาง
3. ปัญหาด้านสุขภาพ	2.93	1.07	ปานกลาง
4. นักศึกษามีปัญหาด้านการอยู่ร่วมกับผู้อื่น	2.73	1.13	ปานกลาง
5. นักศึกษาขาดแรงจูงใจในการเข้าร่วมกิจกรรม	3.62	0.99	มาก
รวม	3.07	1.08	มาก

ในการเข้าร่วมกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.62) มีนักศึกษาต้องทำงานพาร์ทไทม์อาชีพเสริม หรือช่วยผู้ปกครองทำงาน จึงไม่มีเวลาในการเข้าร่วมกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.42) และรายชื่ออื่นๆ ด้านปัญหาด้านสุขภาพ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.93) ด้านนักศึกษามีปัญหาด้านการอยู่ร่วมกับผู้อื่น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.73) และด้านนักศึกษามีเพื่อนอยู่ต่างคณะ หรือสถาบัน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.64) มีระดับความเห็นอยู่ในระดับปานกลาง

จากตาราง 7 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความคิดเห็นด้านวิชาการที่มีผลต่อการเข้าร่วมกิจกรรม โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.85) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่ามีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดตามลำดับ ได้แก่ อาจารย์นัดสอนนอกตารางเรียนทำให้นักศึกษาไม่สามารถเข้าร่วมกิจกรรมได้ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.27) อาจารย์ที่ปรึกษากิจกรรมส่วนใหญ่มีภาระงานสอนและงานอื่นๆ จึงไม่สามารถให้คำแนะนำ หรือกำกับการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาได้ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.27) การจัดกิจกรรมมีผลกระทบต่อการจัดการเรียนการสอน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.17) และความคิดเห็นระดับปานกลางได้แก่ อาจารย์ฝ่ายวิชาการไม่เห็นความสำคัญของการทำกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.97)

ตารางที่ 7: ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นด้านวิชาการที่มีผลต่อการเข้าร่วมกิจกรรม

ด้านวิชาการที่มีผลต่อการเข้าร่วมกิจกรรม	$\bar{X}$	SD	ระดับความคิดเห็น
1. การจัดกิจกรรมมีผลกระทบต่อการจัดการเรียนการสอน	3.17	0.99	มาก
2. อาจารย์นัดสอนนอกตารางเรียนทำให้นักศึกษาไม่สามารถเข้าร่วมกิจกรรมได้	3.27	1.02	มาก
3. อาจารย์ฝ่ายวิชาการไม่เห็นความสำคัญของการทำกิจกรรม	2.97	0.91	ปานกลาง
4. อาจารย์ที่ปรึกษากิจกรรมส่วนใหญ่มีภาระงานสอนและงานอื่นๆ จึงไม่สามารถให้คำแนะนำ หรือกำกับการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาได้	3.27	0.80	มาก
รวม	3.17	0.59	มาก

ตารางที่ 8: ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นด้านทัศนคติต่อการเข้าร่วมกิจกรรม

ด้านทัศนคติต่อการเข้าร่วมกิจกรรม	$\bar{X}$	SD	ระดับความคิดเห็น
1. นักศึกษาไม่เห็นความสำคัญของการเข้าร่วมกิจกรรม	3.07	0.96	มาก
2. มีความเหลื่อมล้ำในการเข้าร่วมกิจกรรม เช่น ให้เข้าร่วมกิจกรรมเฉพาะบางกลุ่มหรือไม่มีบทลงโทษ ดำเนินการสำหรับนักศึกษาที่ไม่เข้าร่วมกิจกรรม	3.26	0.97	มาก
3. นักศึกษาไม่เห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการเข้าร่วมกิจกรรม	3.30	1.01	มาก
4. มีการแนะนำทัศนคติด้านลบต่อการเข้าร่วมกิจกรรมจากรุ่นพี่สู่รุ่นน้อง	3.15	1.20	มาก
รวม	3.20	1.04	มาก

จากตาราง 8 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นด้านทัศนคติต่อการเข้าร่วมกิจกรรมโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.20) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่ามีความคิดเห็นในระดับมากทุกข้อตามลำดับ ได้แก่ นักศึกษาไม่เห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการเข้าร่วมกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.30) มีความเหลื่อมล้ำในการเข้าร่วมกิจกรรม เช่น ให้เข้าร่วมกิจกรรมเฉพาะบางกลุ่มหรือไม่มีบทลงโทษดำเนินการสำหรับนักศึกษาที่ไม่เข้าร่วมกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.26) มีการแนะนำทัศนคติด้านลบต่อการเข้าร่วมกิจกรรมจากรุ่นพี่สู่รุ่นน้อง (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.15) และ นักศึกษาไม่เห็นความสำคัญของการเข้าร่วมกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.07) ตามลำดับ

จากตาราง 9 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางการแก้ไขการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาโดยรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.66) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่ามีความคิดเห็นในระดับมากทุกข้อตามลำดับ ได้แก่ มีการกำกับ ควบคุม ติดตาม การเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาอย่างชัดเจน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.91) จัดกิจกรรมที่มีความหลากหลาย และน่าสนใจให้นักศึกษา (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.64) สร้างแรงดึงดูดใจในการเข้าร่วมกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.62) ทำความเข้าใจกับอาจารย์ฝ่ายวิชาการในการแบ่งเวลาการเข้าร่วมกิจกรรมและการ

ตารางที่ 9: ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางการแก้ไขการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษา

ด้านแนวทางการแก้ไขการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษา	$\bar{X}$	SD	ระดับความคิดเห็น
1. ปลุกฝังทัศนคติที่ดีต่อการเข้าร่วมกิจกรรม	3.56	0.91	มาก
2. จัดกิจกรรมที่มีความหลากหลาย และน่าสนใจให้นักศึกษา	3.64	0.89	มาก
3. ทำความเข้าใจกับอาจารย์ฝ่ายวิชาการในการแบ่งเวลา การเข้าร่วมกิจกรรมและการจัดการเรียนการสอน	3.61	0.83	มาก
4. มีการกำกับ ควบคุม ติดตาม การเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาอย่างชัดเจน	3.91	0.73	มาก
5. สร้างแรงดึงดูดใจในการเข้าร่วมกิจกรรม	3.62	1.06	มาก
รวม	3.66	0.88	มาก

จัดการเรียนการสอน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.61) และ ปลุกฝังทัศนคติที่ดีต่อการเข้าร่วมกิจกรรม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.56)

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความคิดเห็นเรื่อง ปัญหาและการแก้ไขการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบประเมินต่อ ปัญหาและการแก้ไขการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.41) ประกอบด้วยความคิดเห็นในด้านลักษณะของการจัดกิจกรรม ด้านการดำเนินกิจกรรม ด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับนักศึกษา ด้านวิชาการที่มีผลต่อการเข้าร่วมกิจกรรม ด้านทัศนคติต่อการเข้าร่วมกิจกรรม และด้านแนวทางการแก้ไขการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษา ซึ่งเมื่อพิจารณาในรายละเอียดแล้วนั้นการแก้ไขการมีส่วนร่วมในกิจกรรมของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์สามารถแก้ไขในประเด็นของด้านวิชาการที่มีผลต่อการเข้าร่วมกิจกรรมโดยให้มีการจัดตารางการเรียนการสอนและตารางการจัดกิจกรรมให้เป็นไปอย่างชัดเจน พร้อมทั้งอาจารย์ควรให้ความสำคัญกับการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษา และด้านวิชาการอย่างเท่าเทียม เพื่อให้อาจารย์สามารถกำกับ ติดตามและให้คำแนะนำ ปรึกษากับการเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยสถาบัน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปี 2562

เอกสารอ้างอิง

- [1] กังสดาร แดงน้อย. (2555). ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. วารสารวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 4. หน้า 51-59.
- [2] จตุรวัฒน์ ฝืนรัมย์. (2557). การมีส่วนร่วมในกิจกรรมนักศึกษาของนักศึกษา ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2556. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [3] เปรมประชา ดรชัย. (2561). ตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาระดับ ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. วารสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 19 ฉบับที่ 1. 89 – 102.
- [4] พรพิมพ์ สารักษ์. (2556). ความคิดเห็นของนักศึกษาต่อการเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ปริญญานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [5] มัลลิกา วีระสัย และประดิษฐา นาครักษา. (2557). สภาพและปัญหาการจัดกิจกรรมของนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ. 83 หน้า.
- [6] วิโรฒ วิชัย ลุน สอน. (2555). ทศนคติ ของ นักศึกษา ที่มี ต่อ รูป แบบ การ จัด กิจกรรม ของ สโมสร นักศึกษา คณะ มนุษยศาสตร์และ สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. โครงการสนับสนุนการวิจัยจากคณะ มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ปีงบประมาณ 2555.
- [7] เสาวนีย์ วรรณ ประดิษฐ์. (2558). แนวโน้ม ใน การ ตัดสินใจ เข้า ร่วม ตาม ประเภท กิจกรรม ชมรม ของ นิสิต มหาวิทยาลัยบูรพา สาขาวิชาบริหารธุรกิจสำหรับผู้บริหาร วิทยาลัยพาณิชยศาสตร์ มหาวิทยาลัย บูรพา.
- [8] สุรัชย์ รุ่งเรืองกุลวนิช. (2563). การศึกษาความคาดหวังที่ได้รับและความสนใจในการเข้าร่วมกิจกรรมพัฒนา นักศึกษาใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2563. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 61 หน้า.

