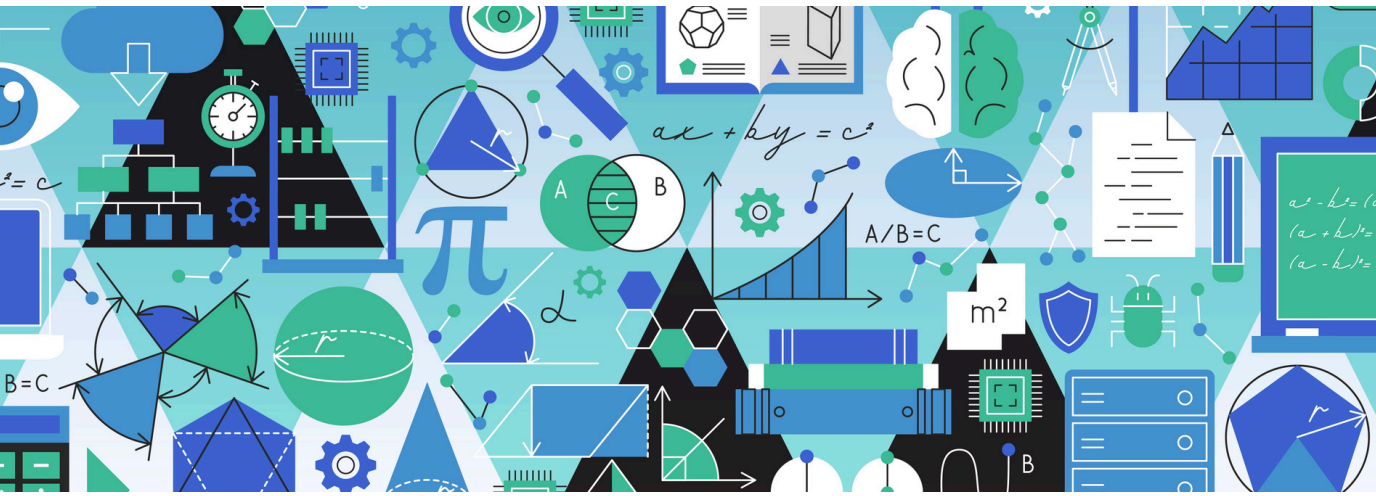
วารสารสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสุขภาพ

Journal of Multidisciplinary Science, Technology and Health

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม-ธันวาคม 2569



KRU

ISSN 3088-3792 (Online)

วารสารสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสุขภาพ
Journal of Multidisciplinary Science, Technology and Health

คณะผู้จัดทำวารสาร
ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พจนีย์ สุขชาวนา อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
บรรณาธิการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัมฤทธิ์ มากสง มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
กองบรรณาธิการ (ภายนอก)
รองศาสตราจารย์ แพทย์หญิง ธัญญลักษณ์ เธียรธัญญกิจ มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ กอบัวแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
รองศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ ไกรจักร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นำพล มหายศนันท์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาคภูมิ บวบทอง มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ดร. ศลิษา ชุ่มสันเทียะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
กองบรรณาธิการ (ภายใน)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีวรรณ แจ้งจิตร มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทัศน์ กำมณี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทวัน หัตถมาศ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กษิรา นิติธนนันต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ดร. การัณย์ พรหมเทพ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ฝ่ายจัดการวารสาร
อาจารย์วีระวัฒน์ อุดมทรัพย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
อาจารย์วีระ ยุคุณธร มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ดร. กรรณิการ์ พันทอง มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นางอัมพร ไชยศร มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นายเรวัตตะ กิจจานุลักษ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นางสาวอภิชญา กาญจนแพทย์นุกูล มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นางสาวณัฐพร แช่มช้อย มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นางสาวสำอางค์ ชูศรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นางวันวิสา ใบบัว มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นางปัทมา ชคัตตรัย มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
นางสาวปทิตตา บุญอินทร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี 70 หมู่ 4 ตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี รหัสไปรษณีย์ 71190

สารบัญ

หน้า

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากผงกะหล่ำปลี 1
จีระนันท์ วงศ์วทัญญู

ผลของโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำ และการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program) 13
มนัสพงษ์ มาลา

การศึกษาความเป็นกรดของน้ำย้อมจากดอกอัญชันและชนิดของสารช่วยติดสีเพื่อการย้อมสีเส้นกก 29
ลลิดา ฉายาวัฒน์ นันทวัน หัตถมาศ พันธ์ทิพย์ เลิศบุรุษ และ มนสินี ดาบเงิน

การพัฒนาสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์ 19-TBDPS-8, 17-Epoxy Andrographolide เพื่อการผลิตเชิงอุตสาหกรรม 43
จินต์จุฑา พะมะราภา สุนิษา สุวรรณเจริญ อาภาพร บุญมี และ ธีรพิชญ์ เกษมสุข

ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 สะสมต่อการคลอดก่อนกำหนดและทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยในจังหวัดกาญจนบุรี 59
ญาดา กล้าปราบโจร และ วัฒนา ชยธวัช

บทบรรณาธิการ

วารสารสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสุขภาพ ฉบับนี้เป็นวารสารปฐมฤกษ์ ประจำปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (พฤษภาคม - สิงหาคม 2569) จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการของอาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา และผู้สนใจจากทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย โดยมุ่งเน้นการบูรณาการระหว่างสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสุขภาพ ตลอดจนศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมการพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมที่ตอบโจทย์สังคมยุคใหม่ พร้อมทั้งสนับสนุนการยกระดับคุณภาพชีวิตและสุขภาวะที่ดีของประชาชนอย่างยั่งยืน

วารสารฉบับนี้ประกอบด้วยบทความจำนวนทั้งสิ้น 5 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมหลากหลายสาขาวิชาอันเป็นประโยชน์และสอดคล้องกับความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในปัจจุบัน อาทิ ด้านวิทยาศาสตร์เคมี วิทยาศาสตร์อาหารและโภชนาการ ด้านคหกรรมศาสตร์ ตลอดจนด้านการแพทย์ฉุกเฉินและการกู้ชีพ โดยทุกบทความผ่านกระบวนการคัดเลือกและกลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิเฉพาะทาง (Peer Reviewers) ที่มีความเชี่ยวชาญจากหลากหลายหน่วยงาน อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน เพื่อรับรองคุณภาพและความน่าเชื่อถือของเนื้อหาทางวิชาการ ดำเนินการประเมินแบบปกปิดสองทาง (Double-Blinded Peer Review) โดยผู้นิพนธ์และผู้ประเมินไม่ทราบตัวบุคคลของกันและกัน เพื่อให้กระบวนการประเมินเป็นไปด้วยความเที่ยงธรรม โปร่งใส ทั้งนี้ เนื้อหา ข้อมูล รูปภาพ และความคิดเห็นที่ปรากฏในบทความต่าง ๆ ถือเป็นความรับผิดชอบโดยตรงของผู้นิพนธ์โดยตรง มิใช่จุดยืนหรือข้อคิดเห็นของบรรณาธิการ กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์และไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยกับข้อคิดเห็นหรือข้อเท็จจริงดังกล่าว โดยมีบทบาทเป็นผู้จัดทำและเปิดพื้นที่สำหรับการแลกเปลี่ยนทางวิชาการเท่านั้น

กองบรรณาธิการวารสารสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสุขภาพ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับปฐมฤกษ์นี้ จะสร้างประโยชน์ให้แก่นักวิชาการ นักวิจัย และผู้สนใจทั่วไป รวมทั้งเป็นแรงบันดาลใจในการสร้างสรรค์ผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่มีคุณภาพต่อไป ขอขอบพระคุณผู้นิพนธ์และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจและสนับสนุนวารสารของเรา แล้วพบกันใหม่ในฉบับถัดไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัมฤทธิ์ มากสง

บรรณาธิการ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากผงกะหล่ำปลี

DEVELOPMENT OF PORK MEATBALLS SUPPLEMENT WITH DIETARY FIBER FROM CABBAGE POWDER

จีระนันท์ วงศ์วทัญญู*
คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
Jeeranan Wongwatanyoo*
Faculty of Arts and Sciences, Sisaket Rajabhat University
*Corresponding author e-mail: jeeranan.w@sskru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของใบนอกของกะหล่ำปลีสดและลวก และศึกษาปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีต่อลักษณะคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของลูกชิ้นหมู พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของผงใบนอกกะหล่ำปลีเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของใบนอกของกะหล่ำปลี โดยผงใบนอกกะหล่ำปลีมีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน และเส้นใยอาหารร้อยละ 92.52, 1.93, 0.61, 2.74 และ 2.20 ตามลำดับ จากนั้นนำผงใบนอกกะหล่ำปลีไปเติมในลูกชิ้นหมู ร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 0.75 และวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทดสอบด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้น พบว่า ลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.75 มีน้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้สุกสูงสุด ($p \leq 0.05$) ปริมาณเส้นใยอาหารและเถ้าของลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.75 สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.75 มีคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมน้อยกว่าสูตรควบคุม (ร้อยละ 0) ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติของลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.5 และ 0.75 ($p \geq 0.05$)

คำสำคัญ: ลูกชิ้นหมู กะหล่ำปลี เส้นใยอาหาร

ABSTRACT

This research aims to study the chemical composition of fresh and blanched cabbage outer leaves and to investigate the effect of cabbage outer leaf powder content on the chemical and physical quality characteristics of pork meatballs. It was found that the chemical composition of cabbage outer leaf powder was increased compared to the chemical composition of cabbage outer leaves. The cabbage outer leaf powder contained moisture, ash, fat, protein, and dietary fiber at percentages of 92.52%, 1.93%, 0.61%, 2.74%, and 2.20%, respectively. Cabbage leaf powder was then added to pork meatballs at percentages of 0, 0.25, 0.5, and 0.75, and their chemical, physical, and sensory quality were analyzed. It was found that pork meatballs with 0.75% cabbage leaf

powder added had the highest weight loss during cooking ($p \leq 0.05$), and the highest dietary fiber and ash content ($p \leq 0.05$). Sensory evaluation results showed that pork meatballs with 0.75% cabbage leaf powder added had lower preference scores for color, taste, texture, and overall preference compared to the control formula (0%) ($p \leq 0.05$). However, there was no statistically significant difference between pork meatballs with 0.5% and 0.75% cabbage leaf powder added ($p \geq 0.05$).

Keywords: Pork meatballs, cabbage, dietary fiber

บทนำ

การแปรรูปเนื้อสัตว์ เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในภาคอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ โดยมีการนำเทคโนโลยีด้านการแปรรูปอาหารต่าง ๆ ได้แก่ การเคียวร์ การหมัก การรมควัน การแช่เย็น การแช่แข็ง และวัตถุเจือปนอาหาร รวมทั้งการบรรจุและบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีที่กล่าวข้างต้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม โดยมุ่งเน้นให้เกิดผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีคุณภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคเนื้อสัตว์เป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันได้มีการนำเนื้อสัตว์มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ให้มีความหลายหลากมากขึ้น เพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคและสะดวกต่อการนำไปบริโภค นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มอายุการเก็บให้กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ การแปรรูปเนื้อสัตว์ นำเนื้อสัตว์มาผ่านกระบวนการหรือขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การบด การสับผสม การให้ความร้อน และการเติมเครื่องปรุงรสหรือเครื่องเทศต่าง ๆ เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อสัตว์ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานกันมากอย่างหนึ่งได้แก่ลูกชิ้น ซึ่งมีหลายรูปแบบ เช่น ลูกชิ้นหมู ลูกชิ้นเนื้อ ลูกชิ้นเอ็น เป็นต้น ลูกชิ้นหมู หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อหมูเครื่องเทศหรือสมุนไพร เช่น กระเทียม รากผักชีพริกไทยดำ วัตถุปรุงแต่งรสอาหาร และเครื่องปรุงรส เช่น เกลือ นำมาบดจนละเอียดผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันและนวดจนเหนียวที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช่น้ำแข็งหรือวิธีอื่นที่เหมาะสม อาจผสมส่วนประกอบอื่น เช่น สาหร่าย แครอท ต้นหอม คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วทำให้เป็นรูปทรงตามต้องการ ต้มจนสุก และวทำให้เย็น (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2555) ลูกชิ้นเป็นอาหารที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากสะดวกต่อการบริโภค หาซื้อง่าย มีรสชาติดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เหมาะที่จะใช้เป็นอาหารว่าง อย่างไรก็ตามการบริโภคลูกชิ้นซึ่งมีเนื้อสัตว์เป็นองค์ประกอบหลักอาจจะทำให้เกิดปัญหาภาวะโภชนาการที่ไม่สมดุล เนื่องจากลูกชิ้นที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปมีปริมาณเส้นใยต่ำหรือไม่มีเลย ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาสุขภาพและยังมีผลกระทบต่อระบบขับถ่ายทำให้ท้องผูกเรื้อรังจนเป็นสาเหตุให้เกิดริดสีดวงทวาร และทำให้เกิดการอุดตันของลำไส้ใหญ่ที่เป็นระบบอวัยวะที่สำคัญของร่างกายซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่

กะหล่ำปลี (Cabbage) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica oleracea L. var. capitata* มีถิ่นกำเนิดและเป็นพืชดั้งเดิมในยุโรปตอนใต้แถบประเทศเมดิเตอร์เรเนียนของทวีปยุโรป โดยชาวกรีกเป็นชนชาติแรกที่ริเริ่มการปลูกกะหล่ำปลีเมื่อ 600 ปีก่อน ในประเทศไทยมีการนำกะหล่ำปลีเข้ามาปลูกก่อนปี พ.ศ. 2470 โดยเริ่มแรกมีการปลูกในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคอีสาน และปลูกมากเฉพาะในฤดูหนาวและเริ่มปลูกมากขึ้นในปี พ.ศ. 2505 (เมฆ จันทร์ประยูร,

2541) กะหล่ำปลีเป็นพืชล้มลุกอายุมากกว่าหนึ่งปี ลำต้นมีลักษณะกลม สั้น สีขาว เป็นแก่นตรงกลางที่ถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นใบ ใบกะหล่ำปลีเป็นใบเดี่ยว เรียงเวียนสลับซ้อนกันแน่นรอบลำต้น เรียกว่า หัวกะหล่ำปลี ที่มีลักษณะกลม และแบนเล็กน้อย โดยใบจะห่อหุ้มซ้อนกันแน่นตั้งแต่ปลายยอดของลำต้น ส่วนใบที่ปลายยอดจะอยู่ตรงกลางด้านในสุดของหัวกะหล่ำ เป็นส่วนที่มีการแตกใบใหม่ห่อหุ้มซ้อนกันเรื่อยจนกลายเป็นหัวขนาดใหญ่ ใบกะหล่ำปลีส่วนด้านนอกจะมีสีเขียว และเป็นใบแก่ ส่วนใบด้านในเป็นใบสีอ่อนจนถึงยอดตรงกลาง ตัวใบแต่ละใบจะมีรูปรีอวบ ผิวใบเกลี้ยง มีลักษณะเป็นคลื่น โดยใบนอกสุดจะมีไขขี้ผึ้งปกคลุม (เมฆ จันทร์ประยูร, 2541) กะหล่ำปลีสามารถปลูกได้ในดินแทบทุกชนิด โดยเฉพาะดินที่มีลักษณะโปร่งและร่วนซุย มีความชื้นในดินและมีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 6 - 6.5 สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 15 - 20 องศาเซลเซียส กะหล่ำปลีเป็นผักกินใบชนิดห่อหัว หวาน กรอบ ใบมีสีเขียว มีเส้นใยอาหาร วิตามินซี วิตามินเค วิตามินอี และโพแทสเซียม นอกจากนั้นในกะหล่ำปลีจะมีสารซัลเฟอร์ (sulfur) ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของลำไส้ ช่วยในการขับถ่าย ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ช่วยระงับประสาท ช่วยให้ผ่อนคลาย และมีสารเอสเมธิลเมโธโอนิน ที่มีคุณสมบัติรักษาโรคในกระเพาะอาหารได้ เป็นสารต้านการอักเสบ และการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร ทำหน้าที่กระตุ้นกระเพาะอาหารและลำไส้สร้างน้ำคัดหลั่งสำหรับเคลือบกระเพาะอาหารและลำไส้ (ธนาวรรณ สุขเกษม, 2556, 262-268) กะหล่ำปลีนิยมนำประกอบอาหารในหลากหลายเมนูเนื่องจากใบหรือหัวกะหล่ำปลีมีรสหวาน กรอบ เช่น แกงจืดหรือต้มจืดกะหล่ำปลี ผัดกะหล่ำปลี รวมถึงนิยมใช้รับประทานสดหรือลวกคู่กับอาหารอย่างอื่น อาทิ น้ำพริก เมนูลาบ และไส้กรอก เป็นต้น

เส้นใยอาหาร (Dietary Fiber) หมายถึง ส่วนประกอบของพืช ผัก และผลไม้ที่พบในส่วนที่เป็นผนังเซลล์ เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วสามารถทนต่อการย่อยสลายของเอนไซม์ที่อยู่ในกระเพาะอาหารและในลำไส้เล็กของมนุษย์ (สวามินี นวลแขกูล, 2547) แต่เมื่อผ่านมาถึงส่วนของลำไส้ใหญ่บางส่วนของเส้นใยอาหารจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจน น้ำ และกรดไขมันสายสั้น ๆ ซึ่งจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย เส้นใยอาหาร (dietary fiber) เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) และมักพบในเซลล์พืช เช่น ผัก ผลไม้ และเมล็ดธัญพืช เป็นต้น โดยเส้นใยอาหารมีส่วนประกอบหลายชนิดรวมกัน เช่น เซลลูโลส (cellulose) เพ็กติน (pectin) อินูลิน (inulin) และยางไม้ (gum) เป็นต้น เส้นใยอาหารยังจัดเป็นสารอาหารกลุ่มที่ไม่ให้พลังงาน แต่มีบทบาทสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ให้มีประสิทธิภาพ (Liu, 2003, 517-520) เส้นใยอาหารสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังนี้ 1) เส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) คือ เส้นใยอาหารที่สามารถละลายได้ในน้ำ เกิดการสร้างเป็นเนื้อเจล สามารถเกิดกระบวนการย่อยจากเอนไซม์และฮอร์โมนได้ในลำไส้เล็ก และเกิดกระบวนการหมักของเส้นใยอาหารจากเชื้อไมโครฟลอรา (microflora) ในลำไส้ใหญ่ได้ง่าย ตัวอย่างเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ บีตากลูแคน (β-glucan) เพ็กติน (pectin) ยางไม้ (gum) และ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นต้น 2) เส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) คือ เส้นใยอาหารที่ไม่มีคุณสมบัติในการสร้างเนื้อเจล และไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กแต่เกิดกระบวนการหมักในลำไส้ใหญ่ได้บ้าง ตัวอย่างเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ลิกนิน (lignin) เซลลูโลส (cellulose) เป็นต้น (สุภารัตน์ จันทร์เหลือง และ ภูเบศร์ นิลาทะวงศ์, 2561)

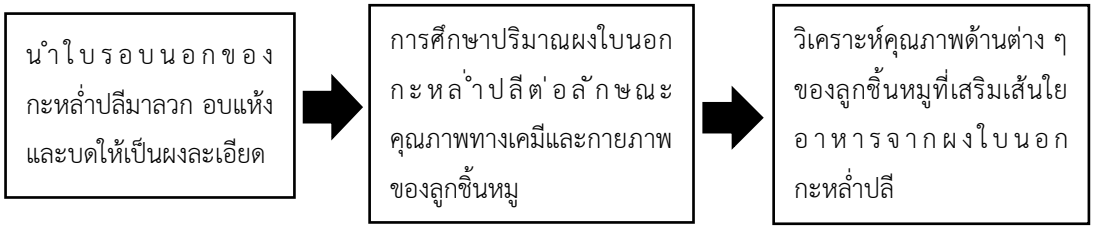
เส้นใยอาหารเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่ง ที่เริ่มเข้ามามีบทบาทในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากเส้นใยอาหารมีความสำคัญต่อสุขภาพ ในการป้องกันและบรรเทาอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหาร ควบคุมระดับ

น้ำตาลกลูโคสในเลือด และควบคุมระดับโคเลสเตอรอลในเลือด เป็นต้น จึงนำเส้นใยอาหารมาเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร ควรเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์และควรใช้ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้ ผลจากการเติมเส้นใยอาหารลงในผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นและพลังงานต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ปกติ แต่อาจมีผลกระทบทำให้คุณภาพทางประ สาทสัมผัสด้อยลง อาจมีการเปลี่ยนแปลงขนาด รูปร่าง สี กลิ่น รสชาติ หรือลักษณะเนื้อสัมผัสจนอาจทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง Nawirska-Olszanska and Kwasniewska (2005) กล่าวว่า เส้นใยอาหารรวมทั้งจำนวนองค์ประกอบแต่ละตัวที่อยู่ในเส้นใยอาหารจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว องค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคติน จึงได้ทำการศึกษา ส่วนประกอบที่มีในเส้นใยอาหารจากกากของแอปเปิล ลูกเกดดำ เชอกี่เบอร์รี่ แพร์ เชอรี่ และกากแครอท พบว่า ในกากของตัวอย่างมีจำนวนเพคตินน้อยมากและปริมาณของลิกนินสูงมาก (กากของลูกเกดดำและเชอรี่) หรือสูงเมื่อเทียบกับ กากของแพร์ เชอกี่เบอร์รี่ แอปเปิล และแครอท

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของใบนอกของกะหล่ำปลีลวก สด และอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีต่อลักษณะคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทดสอบด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู

ขอบเขตของการวิจัย



ภาพที่ 1 ขอบเขตของการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำกะหล่ำปลีสด โดยใช้ใบนอกของกะหล่ำปลีพันธุ์แพชชั่น อายุประมาณ 65 วัน ที่ได้มาจากตลาดสดในจังหวัดกาญจนบุรี มาล้างและหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดประมาณ 2 x 2 cm. จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2019) ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (Moisture Content)
2) ปริมาณเถ้า (Ash Content)
3) ปริมาณไขมัน (Fat Content)
4) ปริมาณโปรตีน (Protein Content)
5) ปริมาณเส้นใยอาหาร (Dietary Fiber)

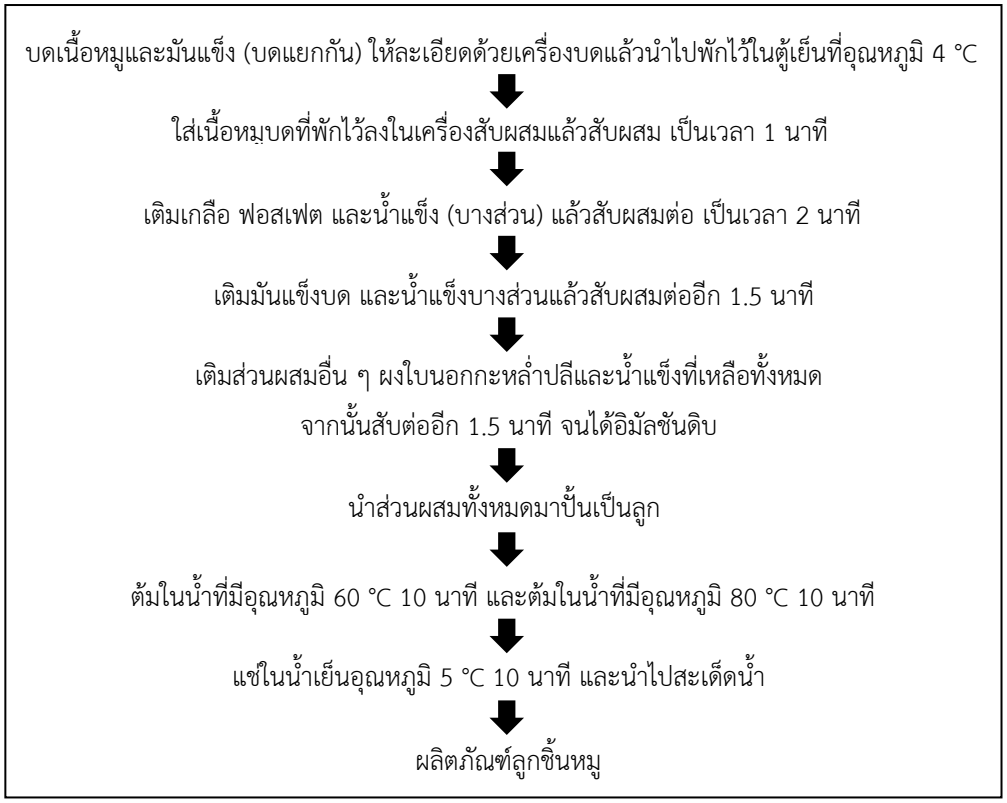
2. การทำกะหล่ำปลีลวก

2.1 นำใบรอบนอกของกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea L. var. capitata*) มาล้างและหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดประมาณ 2 x 2 cm. จากนั้นนำไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 93 ± 2 °C เป็นเวลา 2 นาที ในอัตราส่วนกะหล่ำปลีต่อน้ำที่ 1:7 และทำให้เย็นลงทันทีในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิโดยประมาณ 4 °C

2.2 นำกะหล่ำปลีจากข้อ 2.1 มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 80 °C ในระหว่างการอบแห้งสุ่มตัวอย่างกะหล่ำปลีทุก 1 ชั่วโมง ปริมาณ 3 - 5 กรัม ออกมาเพื่อวัดปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (2019) ทำการอบแห้งจนกระทั่งตัวอย่างมีปริมาณความชื้นถึงจุดสมดุล จากนั้นนำตัวอย่างไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร และนำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช จะได้ผงใบนอกกะหล่ำปลี

3. การศึกษาปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีต่อลักษณะคุณภาพทางเคมีและกายภาพของลูกชิ้นหมู

ศึกษาปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีในการผลิตลูกชิ้นหมู โดยที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) ร้อยละ 0.25 ร้อยละ 0.50 และ ร้อยละ 0.75 โดยในการทดลองขั้นนี้จะกำหนดให้ส่วนผสมอื่น ๆ ที่ใช้ในการผลิตลูกชิ้นหมูมีค่าคงที่ โดยแสดงดังตารางที่ 1 และรายละเอียดของขั้นตอนการผลิตลูกชิ้นหมู โดยแสดงดังภาพที่ 1 (เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, 2536) จากนั้นนำลูกชิ้นหมูทั้ง 4 สูตร ไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี และกายภาพตามมาตรฐาน AOAC (2019) ดังนี้ 1) ปริมาณความชื้น 2) ปริมาณเถ้า 3) ปริมาณไขมัน 4) ปริมาณโปรตีน 5) ปริมาณเส้นใยอาหาร และ 6) วิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้สุก (Cooking loss) (Andres et al., 2006, 311-319)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิตลูกชิ้นหมู

ตารางที่ 1 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตลูกชิ้นหมู

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)
เนื้อหมู	67
น้ำแข็ง	30
ไขมัน	3
แป้ง	4
โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	0.3
เกลือ (Nacl)	1.5
น้ำตาลทราย	0.2
โมโนโซเดียมกลูตาเมท	0.15
เครื่องเทศ	1

4. การศึกษาปริมาณกะหล่ำปลีผงต่อลักษณะคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู

นำลูกชิ้นหมูที่เสริมเส้นใยอาหารจากผงใบนอกกะหล่ำปลีทั้ง 4 สูตร มาวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อคุณลักษณะต่าง ๆ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมประเภทผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 20 คน โดยทดสอบความชอบทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ 9 Point Hedonic Scale ซึ่งมีระดับคะแนน 1 – 9 ดังนี้

1 คะแนน	หมายถึง	ไม่ชอบมากที่สุด
2 คะแนน	หมายถึง	ไม่ชอบมาก
3 คะแนน	หมายถึง	ไม่ชอบปานกลาง
4 คะแนน	หมายถึง	ไม่ชอบเล็กน้อย
5 คะแนน	หมายถึง	เฉย ๆ
6 คะแนน	หมายถึง	ชอบเล็กน้อย
7 คะแนน	หมายถึง	ชอบปานกลาง
8 คะแนน	หมายถึง	ชอบมาก
9 คะแนน	หมายถึง	ชอบมากที่สุด

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในงานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการตรวจสอบทางด้านกายภาพและเคมี และวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) สำหรับการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s Multiple Range Test

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของใบนอกของกะหล่ำปลีสด และใบนอกของกะหล่ำปีลวก

ผลการนำใบนอกของกะหล่ำปลีสด และใบนอกของกะหล่ำปลีที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 93 ± 2 ℃ ทำให้เย็นทันทีที่อุณหภูมิ 4 ℃ จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 80 ℃ เป็นเวลา 9 ชั่วโมง และนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด นำผงใบนอกของกะหล่ำปลีสด และผงใบนอกของกะหล่ำปลีลวกไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยแสดงผลดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของผงใบนอกของกะหล่ำปลีสด และผงใบนอกของกะหล่ำปีลวก

องค์ประกอบทางเคมี	ผงใบนอกของกะหล่ำปลีสด (ร้อยละ)	ผงใบนอกของกะหล่ำปลีลวก (ร้อยละ)
ความชื้น	91.18	98.85
เถ้า	12.27	9.14
ไขมัน	0.37	1.69
โปรตีน	1.81	3.74
เส้นใยอาหาร	31.37	65.09

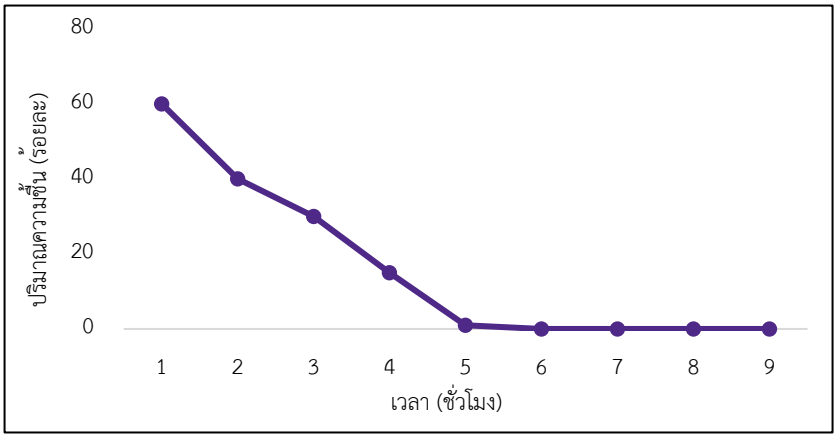
*หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 2 พบว่า องค์ประกอบทางด้านเคมีของผงใบนอกของกะหล่ำปีลวกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 ℃ มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และเส้นใยอาหาร ร้อยละ 98.85, 1.69, 3.74 และ 65.09 ตามลำดับ มีการลดลงของปริมาณเถ้าหลังการลวกร้อยละ 9.14 เนื่องจากหลังจากการลวกมีการสูญเสียของน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เกลือแร่ วิตามิน และน้ำตาลของเซลล์พืชในระหว่างการลวกในน้ำร้อนที่อาจเกิดในระหว่างการลวก ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nilnakara et al. (2009) พบว่า หลังจากการลวกมีการเพิ่มขึ้นของส้นใยอาหาร โปรตีน ไขมัน และพบว่า มีการลดลงของเถ้า และคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. ผลการศึกษาเวลาในการอบแห้งใบนอกกะหล่ำปลีลวก และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงใบนอกกะหล่ำปลี

2.1 ผลการศึกษาเวลาในการอบแห้ง และปริมาณความชื้นในใบนอกกะหล่ำปลีลวก

จากการนำใบนอกกะหล่ำปลีมาทำการลวกที่อุณหภูมิ 93 ± 2 ℃ เป็นเวลา 2 นาที จากการสุ่มตัวอย่างในระหว่างการอบมา 3 - 5 กรัม ออกมาวัดปริมาณความชื้นเพื่อหาสภาวะความชื้นสมดุล โดยแสดงผลดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปริมาณความชื้นถึงสภาวะความชื้นสมดุล

จากภาพที่ 3 พบว่า การอบแห้งของใบนอกกะหล่ำปลีลวก อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งสภาวะความชื้นสมดุล จะพบว่า ที่เวลา 7 ชั่งโมง กะหล่ำปลีผงเริ่มมีความชื้นคงที่แสดงให้เห็นว่าเริ่มเกิดสภาวะสมดุล จากนั้น ทำการอบไปจนถึงชั่งโมงที่ 9 ได้ความชื้นสุดท้ายของกะหล่ำปลีร้อยละ 0.14 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Larrauri (1999) ที่รายงานว่าคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ควรมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 และมีปริมาณไขมันต่ำให้พลังงานต่ำ (ต่ำกว่า 8.36 กิโลกรัมแคลอรีต่อกิโลกรัม)

2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงใบนอกกะหล่ำปลี

จากการทดลองนำกะหล่ำปลีที่ผ่านการลวกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลการทดลอง โดยแสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ผงใบนอกกะหล่ำปลีมีร้อยละขององค์ประกอบทางเคมี คือ ปริมาณความชื้นร้อยละ 92.52 (% wet basis) เถ้าร้อยละ 1.93 ไขมันร้อยละ 0.61 โปรตีนร้อยละ 2.74 และเส้นใยอาหารร้อยละ 2.20

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ของผงใบนอกกะหล่ำปลี

องค์ประกอบทางเคมี	ผงใบนอกกะหล่ำปลี (ร้อยละ)
ความชื้น	92.52
เถ้า	1.93
ไขมัน	0.61
โปรตีน	2.74
เส้นใยอาหาร	2.20

*หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

3. ผลการศึกษาลักษณะคุณภาพทางเคมีและกายภาพของปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีลูกชิ้นหมู

จากการทดลองผลิตลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากผงใบนอกกะหล่ำปลี ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) ร้อยละ 0.25 ร้อยละ 0.50 และ ร้อยละ 0.75 จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

3.1 ผลของปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีต่อน้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้สุกของลูกชิ้นหมู

ผลการศึกษาผงใบนอกกะหล่ำปลีต่อน้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้สุกของลูกชิ้นหมูทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 น้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้สุกของลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลี	ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียระหว่างการทำให้สุก (Cooking loss)
0 (สูตรควบคุม)	2.16 ± 0.05 [c]
0.25	2.28 ± 0.03 [c]
0.50	3.71 ± 0.11 [b]
0.75	4.29 ± 0.08 [a]

* ค่า a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการศึกษาผงใบนอกกะหล่ำปลีต่อน้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้สุก แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า การเติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.5 และร้อยละ 0.75 ทำให้น้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้สุกของลูกชิ้นหมูสูงกว่าลูกชิ้นหมูที่ไม่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลี (สูตรควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการเติมผงใบนอกกะหล่ำปลีที่ร้อยละ 0.25 น้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างการทำให้สุกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับสูตรควบคุม ($p > 0.05$) การที่น้ำหนักที่สูญเสียไประหว่างทำให้สุกเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมผงใบนอกกะหล่ำปลี เนื่องจากผงใบนอกกะหล่ำปลีมีความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารลดลงซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการลดขนาดของอนุภาคของเส้นใยอาหารผงนั้น เป็นการทำลายโครงสร้างตาข่ายที่เป็นรูพรุนซึ่งสามารถเก็บกักน้ำในโครงสร้างของเส้นใยอาหารได้ การที่อาหารผงทำให้เส้นใยอาหารผงดูดซับน้ำได้น้อยจึงส่งผลให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lario et al. (2004) รายงานว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงของเหลือจากการผลิตน้ำมะนาวจะมีค่าลดลง เมื่อขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผงลดลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangnark and Noomhorm (2003) รายงานว่าเมื่อขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผงจากชานอ้อยลดลง จะส่งผลให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง เนื่องจากเส้นใยอาหารมีความหนาแน่นเพิ่ม นอกจากนั้นยัง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Prakongpan et al. (2002) ที่พบว่า ทั้งเส้นใยอาหารผงและเซลลูโลสผงที่ผลิตจากแกนสับปะรดที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารผงและเซลลูโลสผงที่มีขนาดอนุภาคเล็ก

3.2 ผลของปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีต่อองค์ประกอบทางเคมีของลูกชิ้นหมู

จากการผลิตลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากผงใบนอกกะหล่ำปลีในปริมาณต่าง ๆ นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในด้านต่าง ๆ โดยการทดสอบความชื้น เถ้า ไขมัน และเส้นใยอาหาร แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลี	ความชื้น	เถ้า	ไขมัน	เส้นใยอาหาร
0 (สูตรควบคุม)	76.21 ± 0.30 [a]	0.55 ± 0.00 [d]	1.22 ± 0.96 [c]	0.13 ± 0.04 [c]

0.25	76.65 ± 0.35 [a]	1.13 ± 0.06 [c]	2.02 ± 0.14 [a]	0.23 ± 0.00 [b]
0.50	76.86 ± 0.00 [a]	1.38 ± 0.01 [b]	2.13 ± 0.65 [a]	0.45 ± 0.04 [a]
0.75	77.01 ± 0.85 [a]	1.54 ± 0.02 [a]	1.68 ± 0.83 [b]	0.53 ± 0.17 [a]

* ค่า a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 5 พบว่า ลูกชิ้นหมูที่เสริมผงใบนอกกะหล่ำปลีทั้ง 4 ระดับ (ร้อยละ 0, 0.25, 0.50 และ 0.75) ปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.75 จะมีปริมาณเถ้าสูงกว่าลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0, 0.25 และ 0.50 สำหรับปริมาณเส้นใยอาหารในลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.75 และร้อยละ 0.50 สูงกว่าที่เติมร้อยละ 0 และ 0.25 ($P \leq 0.05$) เนื่องจากในกะหล่ำปลีเป็นผักที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง ดังนั้น เมื่อเติมปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีปริมาณเส้นใยอาหารในลูกชิ้นหมูเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

3.3 ผลศึกษาปริมาณผงใบนอกกะหล่ำปลีต่อลักษณะคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู

จากการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากผงใบนอกกะหล่ำปลีในปริมาณต่าง ๆ โดยการทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แสดงดังตารางที่ 6 พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นของลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีทั้ง 4 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งคะแนนความชอบด้านกลิ่นอยู่ในช่วง 5.75 - 6.55 ส่วนคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.50 และ 0.75 มีคะแนนความชอบน้อยกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) สำหรับลูกชิ้นหมูที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.25 คะแนนความชอบด้านสี รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับสูตรควบคุม และสูตรที่เติมผงใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.50 และ 0.25 พบว่า การเติมกะหล่ำปลีผงร้อยละ 0.75 ได้รับคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม น้อยที่สุด ยกเว้นความชอบด้านกลิ่น

ตารางที่ 6 คะแนนความชอบที่มีผู้ทดสอบชิมด้านต่าง ๆ ของลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากกะหล่ำปลีผง

สูตร*	กลิ่น	สี	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	6.55 ± 1.66 [a]	6.80 ± 1.10 [a]	6.55 ± 1.53 [a]	6.20 ± 1.43 [a]	6.45 ± 1.39 [a]
2	6.25 ± 1.44 [a]	6.00 ± 1.62 [ab]	5.95 ± 1.82 [ab]	5.75 ± 1.68 [ab]	5.85 ± 1.84 [ab]
3	5.95 ± 1.50 [a]	5.75 ± 1.20 [b]	5.30 ± 1.78 [b]	5.25 ± 1.51 [ab]	5.35 ± 1.87 [b]
4	5.75 ± 1.88 [a]	5.10 ± 1.74 [b]	5.15 ± 1.72 [b]	4.85 ± 2.00 [b]	5.15 ± 1.75 [b]

* ค่า a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สูตร 1. กะหล่ำปลีผงร้อยละ 0 (สูตรควบคุม); 2. กะหล่ำปลีผงร้อยละ 0.25; 3. กะหล่ำปลีผงร้อยละ 0.5; 4. กะหล่ำปลีผงร้อยละ 0.75

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผงใบนอกกะหล่ำปลีมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในด้านต่าง ๆ โดยมีความชื้นร้อยละ 92.52 เถ้าร้อยละ 1.93 ไขมันร้อยละ 0.61 โปรตีนร้อยละ 2.74 และเส้นใยอาหารร้อยละ 2.20 เมื่อนำกะหล่ำปลีใบนอกไปลวกและ

อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของใบนอกกะหล่ำปลีเพิ่มขึ้น และในลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.75 มีร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียระหว่างการทำให้สุกสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ค่าปริมาณความชื้นของลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากใบนอกกะหล่ำปลีทั้ง 4 ระดับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และในลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.50 และ 0.75 มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากใบนอกกะหล่ำปลีร้อยละ 0.75 มีคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) ยกเว้นทางด้านกลิ่น ทั้งนี้ที่ร้อยละ 0.5 และ 0.75 ($p > 0.05$) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติของลูกชิ้นหมูเสริมเส้นใยอาหารจากกะหล่ำปลีผง

ข้อเสนอแนะ

ควรวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะปริมาณเส้นใยอาหาร พลังงาน ไขมัน และโซเดียม เพื่อใช้เป็นข้อมูลยืนยันคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ และเป็นแนวทางในการสื่อสารกับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ

เอกสารอ้างอิง

ธนาวรรณ สุขเกษม. (2556). การสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีภูทับเบิก. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 10 (2),** 262-268.

เมฆ จันทร์ประยูร. (2541). **ผักสวนครัว.** กรุงเทพฯ: ไทยทรรศ.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2555). **ลูกชิ้นหมู.** กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. (2536). **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ (พิมพ์ครั้งที่ 2).** กรุงเทพฯ: เค.ยู.บุ๊คเซ็นเตอร์.

สุภารัตน์ จันทร์เหลือง และ ภูเบศร์ นิลาทะวงศ์. (2561). **คุณประโยชน์ของส่วนประกอบในเส้นใยอาหาร.** อุบลราชธานี: หน่วยการศึกษาต่อเนื่อง คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สวามินี นวลแขกุล. (2547). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวโพดเสริมเส้นใยอาหารจากกากที่เหลือจากการผลิตน้ำนมข้าวโพด.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Andres, S. C., Garcia, M. E., Zaritzky, N. E., and Califano, A. (2006). Storage stability of low-fat chicken sausages. **Journal of Food Engineering, 72 (4),** 311-319.

Lario, Y., Sendra, E., Garcia-Ppwez, J., Fuentes, C., Sayas- Barbera, E., Fernandez-Lopez, J., and Pewez-Alvarez, J. A. (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. **Innovative Food Science and Emerging Technologies, 5 (1),** 113-117.

Larrauri, J. A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by-products. **Trends in Food Science and Technology, 10 (1),** 3-8.

Liu, R. H. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. **The American Journal of Clinical Nutrition, 78 (3),** 517-520.

Nawirska-Olszanska, A., and Kwasniewska, M. (2005). Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. **Food Chemistry, 91 (2),** 221-225.

Nilnakara, S., Chiewchan, N., and Devahastin, S. (2009). Production of antioxidant dietary fiber powder from cabbage outer leaves. **Food and Bioproducts Processing, 87 (4),** 301-307.

Prakongpan, T., Nitihamyong, A., and Luangpituksa, P. (2002). Extraction and application of dietary fiber and cellulose from pineapple cores. **Journal of Food Science, 67 (4),** 1308-1313.

Sangnark, A., and Noomhorm, A. (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from sugarcane bagasse. **Food Chemistry, 80 (2),** 221-229.

ผลของโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำ และการจัดการความเสี่ยง เพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program)

THE EFFECTS OF THE WATER SURVIVAL SKILLS AND RISK MANAGEMENT PROGRAM FOR THE PREVENTION OF DROWNING DEATHS (HERO PROGRAM)

มนัสพงษ์ มาลา*
สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข
Manatpong Mala*
Office of Disease Prevention and Control Region 9, Nakhon Ratchasima Province,
Department of Disease Control, Ministry of Public Health.
*Corresponding author e-mail: md.manatpong@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและศึกษาผลของการทดลองใช้โปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program) เป็นวิจัยเชิงกึ่งทดลองแบบกลุ่มเดียววัดก่อนและหลังการทดลอง กลุ่มตัวอย่าง คือ เจ้าหน้าที่สาธารณสุข ท้องถิ่น และอาสาสมัครเขตสุขภาพที่ 9 จำนวน 79 คน คัดเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ คือ Hero Program การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้แบบประเมินความรู้ ทักษะ และความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และ Paired t-test

ผลการวิจัย พบว่า Hero Program มีระยะเวลา 16 ชั่วโมง ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ คือ ความรู้ด้านการจมน้ำ การจัดการแหล่งน้ำเสี่ยง ทักษะการช่วยเหลือ และทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ โดยหลังเข้าร่วม Hero Program กลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามทุกด้านสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยทักษะการเอาตัวรอดในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากที่สุด ขนาดอิทธิพลสูงมาก (Cohen's d = 1.34) ซึ่งรองลงมาคือความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำที่สุด ขนาดอิทธิพลสูงมาก (Cohen's d = 1.28) ซึ่งระดับความพึงพอใจต่อโปรแกรมอยู่ในระดับมากที่สุดทุกด้าน โดยด้านกระบวนการเรียนรู้และการฝึกปฏิบัติมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูง ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า Hero Program มีประสิทธิผลสูงในการพัฒนาศักยภาพบุคลากรและภาคีเครือข่าย ข้อเสนอแนะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นมาตรการป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำในระดับพื้นที่ได้อย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: ทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำ การจัดการความเสี่ยง จมน้ำ โปรแกรมฮีโร่

ABSTRACT

This study aimed to develop and examine the effects of the Hero Program, a water survival skills and risk management program, on preventing drowning deaths. It was quasi-experimental research using a one-group pretest–posttest design. The participants included 79 public health officers, local officials, and volunteers from Health Region 9, who were purposively selected. The intervention tool was the Hero Program. Data were collected using assessments of knowledge, skills, and satisfaction, and were analyzed using descriptive statistics and Paired t-test.

The results showed that the Hero Program lasted 16 hours and consisted of four components: knowledge of drowning, risk management of hazardous water sources, rescue skills, and water survival skills. After participating in the Hero Program, the participants' mean scores on all outcome variables were significantly higher than those before the program at the .05 level. Water survival skills showed the greatest improvement (Cohen's d = 1.34), followed by knowledge of drowning and water safety (Cohen's d = 1.28). The overall satisfaction with the program was very high in all aspects, with the learning process and practice component receiving the highest mean satisfaction score (Mean = 4.71, S.D. = 0.38). Therefore, it was concluded that the Hero Program was highly effective in enhancing the capacity of personnel and network partners. The program could be applied as a practical measure to prevent drowning deaths at the community level.

Keywords: Water survival skills, Risk management, Drowning, Hero Program

บทนำ

การจมน้ำเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญในระดับโลก โดยองค์การอนามัยโลกระบุว่าในแต่ละปีมีผู้เสียชีวิตจากการจมน้ำประมาณ 236,000 คนทั่วโลก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในประเทศที่มีรายได้ต่ำและปานกลาง สะท้อนถึงความเหลื่อมล้ำด้านการเข้าถึงมาตรการป้องกัน ระบบเฝ้าระวัง และการช่วยเหลือในภาวะฉุกเฉิน (World Health Organization: WHO, 2023) การจมน้ำจึงมิได้เป็นเพียงอุบัติเหตุเฉพาะบุคคล หากแต่เป็นปัญหาเชิงโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับบริบททางสังคม เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และระบบบริการสุขภาพ ประเทศไทยยังคงเผชิญกับปัญหาการเสียชีวิตจากการจมน้ำในระดับที่สูงเกินกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแผนยุทธศาสตร์ชาติด้านสาธารณสุข 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580) ซึ่งตั้งเป้าหมายให้อัตราการเสียชีวิตจากการจมน้ำในเด็กอายุต่ำกว่า 15 ปี ลดลงเหลือไม่เกิน 3.5 ต่อประชากรแสนคนภายในปี 2570 และให้อัตราการเสียชีวิตจากการจมน้ำในประชากรทุกกลุ่มอายุ ลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับปี 2560 (สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ, 2561) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากใบมรณะของกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย แสดงให้เห็นว่าสถานการณ์ดังกล่าวยังไม่เป็นไปตามเป้าหมาย โดยเฉพาะในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 9 ซึ่งประกอบด้วยจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2563 – 2567) เขตสุขภาพที่ 9 มีอัตราการเสียชีวิตจากการจมน้ำในเด็กอายุต่ำกว่า 15 ปี เฉลี่ย 7.4 ต่อประชากรแสนคน ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศที่ 5.9 ต่อประชากรแสนคน ขณะที่อัตราการ

เสียชีวิตในประชากรทุกกลุ่มอายุอยู่ที่ 8.8 ต่อประชากรแสนคน สูงกว่าค่าเฉลี่ยระดับประเทศที่ 6.0 ต่อประชากรแสนคน โดยจังหวัดสุรินทร์มีอัตราการเสียชีวิตสูงที่สุดทั้งในเด็กและประชากรทุกกลุ่มอายุ (9.6 และ 10.6 ต่อประชากรแสนคน ตามลำดับ) ซึ่งสูงกว่าทั้งระดับเขตสุขภาพและระดับประเทศอย่างมีนัยสำคัญ (กรมการปกครอง, 2568) นอกจากนี้ ในช่วง 6 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2568 พบว่า อัตราการเสียชีวิตจากการจมน้ำของทั้งเด็กและประชากรทุกกลุ่มอายุในเขตสุขภาพที่ 9 เท่ากับ 3.5 ต่อประชากรแสนคน ซึ่งยังคงเกินเป้าหมายที่กำหนดไว้ สะท้อนถึงความรุนแรงและความต่อเนื่องของปัญหาในพื้นที่ (กองป้องกันการบาดเจ็บ, 2568)

ข้อมูลจากระบบสอบสวนการเสียชีวิตจากการจมน้ำของกรมควบคุมโรคชี้ให้เห็นว่า กลุ่มอายุที่มีสัดส่วนการเสียชีวิตสูงสุดในช่วงปี พ.ศ. 2567 – 2568 คือกลุ่มผู้สูงอายุอายุ 45 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 61.2 และ 64.8 ตามลำดับ ขณะที่เด็กอายุต่ำกว่า 15 ปี ซึ่งเป็นกลุ่มเปราะบาง ยังคงมีสัดส่วนการเสียชีวิตเฉลี่ยร้อยละ 15.4 ในช่วงปี พ.ศ. 2563 – 2567 ซึ่งสูงเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (กองป้องกันการบาดเจ็บ, 2568) การเสียชีวิตจากการจมน้ำส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในช่วงเวลาวิกฤติ หรือ Golden Period ประมาณ 4 นาทีแรกหลังจมน้ำ ซึ่งเป็นช่วงที่สมองเริ่มขาดออกซิเจน หากไม่ได้รับการช่วยเหลืออย่างทันท่วงทีจะนำไปสู่การเสียชีวิตหรือความพิการถาวรได้ แม้ว่าประเทศไทยจะมีการดำเนินมาตรการป้องกันการจมน้ำในหลายรูปแบบ เช่น โครงการเด็กไทยว่ายน้ำเป็น และโครงการทีมอาสาก่อการดี ป้องกันจมน้ำ แต่อัตราการเสียชีวิตยังคงอยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะในเขตสุขภาพที่ 9 ซึ่งมีอัตราตายจำเพาะต่อจำนวนผู้ป่วย (Case Fatality Rate: CFR) สูงถึงร้อยละ 46.0 – 72.7 ในช่วงปี พ.ศ. 2564 – 2568 สะท้อนถึงช่องว่างของระบบเฝ้าระวัง การแจ้งเตือน และการช่วยเหลือผู้ประสบเหตุในภาวะฉุกเฉิน (กองป้องกันการบาดเจ็บ, 2568) การวิเคราะห์เชิงลึกพบว่า สาเหตุหลักของการจมน้ำร้อยละ 72.3 เกิดจากการเล่นน้ำ โดยเฉพาะในเด็กที่เล่นน้ำโดยลำพัง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีอัตราการเสียชีวิตสูงที่สุด เหตุการณ์มักเกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม ซึ่งตรงกับฤดูร้อนและช่วงปิดภาคเรียน ขณะที่สถานที่เกิดเหตุส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น สระน้ำ บ่อน้ำ และฝาย (ร้อยละ 65.0) ซึ่งมักมีลักษณะภูมิประเทศเสี่ยงและอยู่ห่างไกลจากชุมชน ทำให้การเข้าถึงและการช่วยเหลือล่าช้า นอกจากนี้ ผู้เสียชีวิตส่วนใหญ่ขาดทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำ และขาดความรู้ด้านความปลอดภัยทางน้ำ รวมถึงการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน (CPR) ส่งผลให้โอกาสรอดชีวิตในช่วง Golden Period ลดลงอย่างมาก

จากสถานการณ์ดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าการแก้ไขปัญหาการเสียชีวิตจากการจมน้ำจำเป็นต้องมุ่งเน้นการพัฒนาทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำควบคู่กับการจัดการความเสี่ยงในระดับบุคคล ชุมชน และพื้นที่เสี่ยง รวมถึงการเสริมสร้างระบบเฝ้าระวังและการตอบสนองฉุกเฉินอย่างทันท่วงที งานวิจัยนี้จึงดำเนินการพัฒนาและศึกษาผลของโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program) โดยมุ่งหวังให้เกิดรูปแบบการป้องกันการจมน้ำที่มีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นนโยบายหรือแนวทางปฏิบัติในระดับพื้นที่และระดับประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program)

2. เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program)

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้กำหนดขอบเขตการวิจัย โดยอ้างอิงโครงสร้างกิจกรรมและกระบวนการฝึกอบรมตามโปรแกรม Hero Program อย่างเป็นระบบ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การพัฒนาและประเมินผลของโปรแกรม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขอบเขตด้านเนื้อหา (Content Scope) การวิจัยนี้ครอบคลุมการพัฒนาและประเมินผล Hero Program ซึ่งเป็นโปรแกรมฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการแบบบูรณาการที่มุ่งเสริมสร้างทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ ครอบคลุมสาระสำคัญ 4 มิติหลัก ดังนี้

1.1 ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการจมน้ำและการจัดการภาวะฉุกเฉิน ประกอบด้วย ความรุนแรงของปัญหาการจมน้ำในระดับประเทศและระดับพื้นที่ กลไกการเกิดการจมน้ำ ผลกระทบทางสรีรวิทยา และการจัดการทางคลินิก และแนวคิด Golden Period / Golden Hour ในการช่วยเหลือผู้ประสบเหตุจมน้ำ

1.2 การจัดการความเสี่ยงและกลไกการป้องกันการจมน้ำในระดับชุมชน ประกอบด้วย ความรู้ด้านความปลอดภัยทางน้ำและการจำแนกแหล่งน้ำเสี่ยง การเขียนแผนงาน/โครงการเพื่อขอรับการสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่น การสร้างและพัฒนาทีมผู้ก่อการดี ป้องกันการจมน้ำ (Merit Maker) และการประยุกต์ใช้นวัตกรรม Drown WATCH เพื่อการเฝ้าระวัง แจ้งเตือน และจัดการเหตุจมน้ำในช่วงเวลาวิกฤติ

1.3 ทักษะการช่วยเหลือและการกู้ชีพผู้ประสบเหตุทางน้ำ (Dry & Wet Rescue Skills) ประกอบด้วย ทักษะการช่วยเหลือผู้ประสบภัยทางน้ำโดยไม่ลงน้ำ (Non-contact rescue) (การช่วยเหลือด้วยไม้ยื่น การใช้เชือกเปล่าและเชือกแกลอน การใช้อุปกรณ์ชูชีพอย่างถูกต้อง) การปฐมพยาบาลเบื้องต้นและการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน (CPR) และการฝึกสถานการณ์จำลอง “ช่วยคนตกน้ำ” เพื่อเสริมสร้างการตัดสินใจและการทำงานเป็นทีม

1.4 ทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ (Water Survival Skills) ประกอบด้วย พื้นฐานการว่ายน้ำเพื่อเอาชีวิตรอด ทักษะการลอยตัว การควบคุมการหายใจ การเคลื่อนไหวในน้ำอย่างปลอดภัย และการลดความตื่นตระหนกและการเอาตัวรอดเมื่อพลัดตกน้ำการฝึกปฏิบัติจริงในสระว่ายน้ำ เพื่อประเมินความสามารถเชิงทักษะของผู้เข้าร่วม

2. ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง (Population and Sample Scope)

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ บุคลากรที่มีบทบาทในการป้องกันการจมน้ำในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 9 ซึ่งประกอบด้วยจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ จากทะเบียนรายชื่อดำเนินงานป้องกันการจมน้ำของสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข จำนวน 353 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เข้าร่วมการฝึกอบรมตาม Hero Program ภายใต้โครงการประชุมเชิงปฏิบัติการพัฒนากลไกการดำเนินงานป้องกันและแก้ไขปัญหาการบาดเจ็บจากการจมน้ำในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 9 ได้แก่ แกนนำชุมชนและอาสาสมัครด้านความปลอดภัยทางน้ำ ทีมผู้ก่อการดี ป้องกันการจมน้ำ (Merit Maker) และบุคลากรสาธารณสุขและภาคีเครือข่ายในระดับพื้นที่ จำนวน 79 คน โดยคำนวณตามหลัก Rule of Thumb ร่วมกับลักษณะการวิจัยแบบ Quasi-experimental: One-group pretest–posttest design ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 30 คน ซึ่งครั้งนี้ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 79 คน จึงมีความเหมาะสม เพียงพอ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยในการประเมินผลของ Hero Program โดยการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยพิจารณาจากคุณสมบัติและบทบาทในการดำเนินงานด้านการป้องกันการจมน้ำในพื้นที่ รวมถึงความสมัครใจและความพร้อมในการเข้าร่วมกิจกรรมฝึกอบรม และสามารถเข้าร่วมการเรียนรู้ได้ครบทุกฐานการฝึกตามที่

โปรแกรมกำหนด ทั้งนี้ เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างมีคุณลักษณะเหมาะสมต่อการประเมินผลลัพธ์ของโปรแกรม และสะท้อนผลการดำเนินงานในบริบทพื้นที่ได้อย่างแท้จริง

3. ขอบเขตด้านพื้นที่ (Area Scope) การวิจัยดำเนินการในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 9 ของประเทศไทย โดยกิจกรรมฝึกอบรมเชิงทฤษฎีจัดขึ้น ณ โรงแรมโคราชโฮเต็ล และโรงแรมเดลี่โฮเต็ล อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา และกิจกรรมฝึกปฏิบัติทักษะการเอาตัวรอดในน้ำดำเนินการในสระว่ายน้ำจริงที่ได้มาตรฐานและมีความปลอดภัย

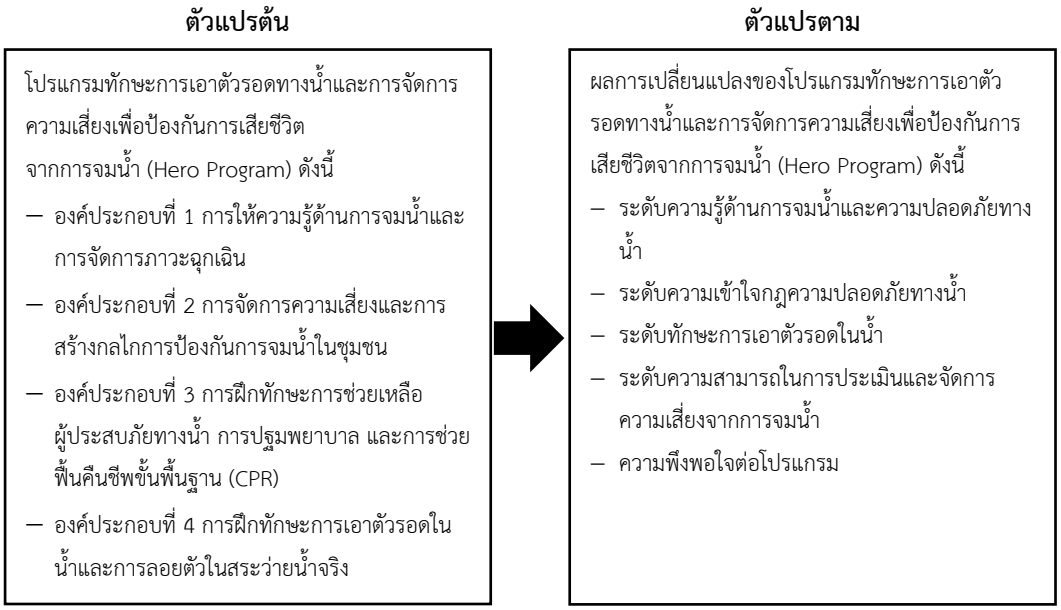
4. ขอบเขตด้านระยะเวลา (Time Scope) การวิจัยครอบคลุมระยะเวลาดำเนินการฝึกอบรมตาม Hero Program ระหว่างวันที่ 27 – 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2568 และการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินผลก่อนการฝึกอบรม (Pre-test) และหลังการฝึกอบรม (Post-test) ตามแผนการวิจัยที่กำหนด

5. ขอบเขตด้านตัวแปรการวิจัย (Variable Scope)

5.1 ตัวแปรต้น คือ โปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program)

5.2 ตัวแปรตาม คือ ระดับความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำ ระดับความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำ ระดับทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ ระดับความสามารถในการประเมินและจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ และความพึงพอใจต่อโปรแกรม

6. ขอบเขตด้านผลลัพธ์ของการวิจัย (Outcome Scope) การวิจัยนี้มุ่งประเมินผลลัพธ์ในระดับบุคคลและระดับกลไกชุมชนจากการเข้าร่วม Hero Program โดยไม่ครอบคลุมการวัดอัตราการเสียชีวิตจากการจมน้ำในระดับประชากรโดยตรง แต่ใช้ตัวชี้วัดด้านความรู้ ทักษะ พฤติกรรม และความพร้อมในการป้องกันและช่วยเหลือผู้ประสบเหตุเป็นตัวแทนของประสิทธิผลของโปรแกรม



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงกึ่งทดลอง (Quasi-experimental research) แบบกลุ่มเดียววัดก่อนและหลังการทดลอง (One-group pretest–posttest design) โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ ดังนี้

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงกึ่งทดลอง (Quasi-experimental research) แบบ One-group pretest–posttest design เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความรู้ ทักษะ และความสามารถในการจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำของกลุ่มตัวอย่างภายหลังการได้รับ Hero Program โดยเปรียบเทียบผลการวัดก่อนการทดลอง (Pretest) และหลังการทดลอง (Posttest) ภายในกลุ่มเดียวกัน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 2 ประเภท ได้แก่

2.1 เครื่องมือในการทดลอง คือ โปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program) ซึ่งเป็นโปรแกรมฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop-based training program) ที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของหลักวิชาการด้านการป้องกันการจมน้ำ ความปลอดภัยทางน้ำ การจัดการภาวะฉุกเฉิน และการจัดการความเสี่ยงในระดับชุมชน โดยออกแบบให้สอดคล้องกับบริบทพื้นที่เขตสุขภาพที่ 9 โปรแกรมมีระยะเวลาดำเนินการ 2 วัน รวม 16 ชั่วโมง ประกอบด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended learning) ได้แก่ การบรรยายเชิงวิชาการ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การฝึกปฏิบัติในฐานการเรียนรู้ และการฝึกทักษะในสระว่ายน้ำจริง รายละเอียดขององค์ประกอบและระยะเวลาของโปรแกรม มีดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 การให้ความรู้ด้านการจมน้ำและการจัดการภาวะฉุกเฉิน ระยะเวลา 3 ชั่วโมง กิจกรรมนี้มุ่งเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับสถานการณ์การจมน้ำ สาเหตุ ปัจจัยเสี่ยง และผลกระทบต่อสุขภาพ รวมถึงหลักการจัดการภาวะฉุกเฉินทางการแพทย์จากการจมน้ำ ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับพยาธิสรีรวิทยาของการจมน้ำ การดูแลรักษาผู้ประสบเหตุในระยะเฉียบพลัน การจัดการในช่วงเวลาวิกฤติ (Golden Period/Golden Hour) และระบบการส่งต่อผู้ป่วย ใช้วิธีการบรรยายร่วมกับการอภิปราย เพื่อให้ผู้เข้าร่วมสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้ทางคลินิกกับการปฏิบัติงานในพื้นที่จริงได้อย่างเหมาะสม

องค์ประกอบที่ 2 การจัดการความเสี่ยงและการสร้างกลไกการป้องกันการจมน้ำในชุมชน ระยะเวลา 4 ชั่วโมง กิจกรรมนี้มุ่งพัฒนาความสามารถในการประเมิน วิเคราะห์ และจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำในระดับชุมชน เนื้อหาครอบคลุมการระบุแหล่งน้ำเสี่ยง การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงเชิงพื้นที่ การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การกำหนดมาตรการป้องกัน การสร้างระบบเฝ้าระวังและการตอบสนองเมื่อเกิดเหตุ รวมถึงการพัฒนาเครือข่ายและทีมผู้ก่อการดีป้องกันการจมน้ำ (Merit Maker) โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม กรณีศึกษา และการวางแผนเชิงปฏิบัติการ เพื่อเสริมสร้างความพร้อมในการนำไปใช้จริงในพื้นที่

องค์ประกอบที่ 3 การฝึกทักษะการช่วยเหลือผู้ประสบภัยทางน้ำ การปฐมพยาบาล และการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน (CPR) ระยะเวลา 5 ชั่วโมง กิจกรรมในส่วนนี้เป็นการฝึกปฏิบัติในฐานการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาทักษะที่จำเป็นในการช่วยเหลือผู้ประสบภัยทางน้ำอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยการฝึกทักษะการช่วยเหลือชีวิตโดยไม่สัมผัสตัวผู้ประสบเหตุ เช่น การใช้ไม้ยื่น เชือก และอุปกรณ์ช่วยชีวิต การสวมใส่เสื้อชูชีพอย่างถูกต้อง การปฐมพยาบาลเบื้องต้น และการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน (CPR) รวมถึงการฝึกซ้อมในสถานการณ์จำลอง

“ช่วยคนตกน้ำ” เพื่อเสริมสร้างความมั่นใจและความพร้อมในการปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุจริง โดยมีวิทยากรผู้เชี่ยวชาญดูแลอย่างใกล้ชิด

องค์ประกอบที่ 4 การฝึกทักษะการเอาตัวรอดในน้ำและการลอยตัวในสระว่ายน้ำจริง ระยะเวลา 4 ชั่วโมง กิจกรรมนี้มุ่งพัฒนาทักษะการเอาตัวรอดในน้ำและการลอยตัวอย่างปลอดภัย ผ่านการฝึกในสระว่ายน้ำจริง ครอบคลุมพื้นฐานการว่ายน้ำเพื่อเอาชีวิตรอด เทคนิคการลอยตัวเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน การควบคุมการหายใจและการเคลื่อนที่ในน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ การเรียนรู้ดำเนินการในรูปแบบการฝึกปฏิบัติจริงภายใต้การกำกับดูแลของทีมวิทยากรเฉพาะกิจทางน้ำ เพื่อให้ผู้เข้าร่วมสามารถนำทักษะไปใช้ในการป้องกันการจมน้ำและการช่วยเหลือผู้อื่นได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

2.2 เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 7 ชุด โดยเครื่องมือทุกชุดได้รับการพัฒนาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย เนื้อหาของโปรแกรม และบริบทการดำเนินงานด้านการป้องกันการจมน้ำในระดับพื้นที่ ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานผ่านกระบวนการพัฒนาคุณภาพและเคยนำไปใช้งานแล้ว รายละเอียดของเครื่องมือ มีดังนี้

1) แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เพื่อใช้รวบรวมข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการวิจัย ลักษณะเป็นคำถามปลายปิด ประกอบด้วยข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบทบาทในการดำเนินงานป้องกันการจมน้ำ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ หน่วยงานหรือองค์กรที่สังกัด บทบาทในการดำเนินงานด้านความปลอดภัยทางน้ำ ประสบการณ์ในการทำงานด้านการป้องกันการจมน้ำ และประสบการณ์การเข้ารับการฝึกอบรมหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางน้ำ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างและประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา

2) แบบประเมินความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำ เป็นแบบประเมินที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนเอกสาร แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจมน้ำ การป้องกันการจมน้ำ และความปลอดภัยทางน้ำ รวมถึงสาระสำคัญตามเนื้อหาใน Hero Program ลักษณะข้อคำถามเป็นแบบเลือกตอบ (ปรนัย) มีคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับสาเหตุและปัจจัยเสี่ยงของการจมน้ำ หลักการป้องกันการจมน้ำ กฎความปลอดภัยทางน้ำ การช่วยเหลือผู้ประสบภัยทางน้ำเบื้องต้น และการจัดการภาวะฉุกเฉิน คะแนนรวมสะท้อนระดับความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำของผู้เข้าร่วมการวิจัย

3) แบบประเมินความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำ เป็นแบบประเมินที่ใช้วัดระดับความเข้าใจและการตีความกฎความปลอดภัยทางน้ำของกลุ่มตัวอย่าง พัฒนาขึ้นตามกรอบแนวคิดการเรียนรู้ด้านความปลอดภัยทางน้ำและเนื้อหาการฝึกอบรมใน Hero Program ลักษณะข้อคำถามเป็นแบบมาตรประมาณค่า (Likert scale) ครอบคลุมประเด็นเกี่ยวกับการปฏิบัติตนอย่างปลอดภัยขณะทำกิจกรรมทางน้ำ การหลีกเลี่ยงพฤติกรรมเสี่ยง และการตัดสินใจที่เหมาะสมในสถานการณ์ที่อาจนำไปสู่การจมน้ำ คะแนนที่ได้ใช้สะท้อนระดับความเข้าใจและการยอมรับกฎความปลอดภัยทางน้ำของผู้เข้าร่วมการวิจัย

4) แบบประเมินทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ เป็นแบบประเมินเชิงปฏิบัติที่ใช้วัดระดับทักษะการเอาตัวรอดในน้ำของผู้เข้าร่วมการวิจัย ภายหลังการเข้ารับการฝึกอบรมตาม Hero Program ครอบคลุมทักษะสำคัญ ได้แก่ การลอยตัวเพื่อเอาชีวิตรอด การเคลื่อนที่ในน้ำอย่างปลอดภัย การใช้และสวมใส่อุปกรณ์ช่วยชีวิต การช่วยเหลือ

ผู้ประสบภัยทางน้ำโดยไม่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับตนเอง และการปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินทางน้ำ การประเมินใช้รูปแบบรายการตรวจสอบ (Checklist) และมาตรประมาณค่า โดยวิทยากรหรือผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกอบรมทำหน้าที่ประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนด

5) แบบประเมินความสามารถในการประเมินและจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ เป็นแบบประเมินที่ใช้วัดความสามารถของผู้เข้าร่วมการวิจัยในการระบุ วิเคราะห์ และจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำในบริบทของพื้นที่จริง พัฒนาขึ้นจากแนวคิดการจัดการความเสี่ยงด้านอุบัติเหตุและการจมน้ำ เนื้อหาครอบคลุมการประเมินแหล่งน้ำเสี่ยง การวิเคราะห์สถานการณ์เสี่ยง การวางแผนป้องกัน การเลือกมาตรการควบคุมความเสี่ยง และการประสานงานกับภาคีเครือข่ายในพื้นที่ ลักษณะข้อคำถามเป็นแบบมาตรประมาณค่า คะแนนรวมสะท้อนระดับความสามารถในการจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำของกลุ่มตัวอย่าง

6) แบบประเมินความคิดเห็นและความพึงพอใจต่อโปรแกรม เป็นแบบประเมินความคิดเห็นและความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมการวิจัยต่อ Hero Program ในภาพรวมและรายด้าน ได้แก่ เนื้อหาและกิจกรรมการฝึกอบรม ความเหมาะสมของรูปแบบการเรียนรู้ คุณภาพของวิทยากร ความเป็นประโยชน์และการนำไปใช้จริง รวมถึงความเหมาะสมของระยะเวลาและสถานที่ฝึกอบรม ลักษณะข้อคำถามเป็นแบบมาตรประมาณค่า และมีคำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้เข้าร่วมเสนอแนะความคิดเห็นเพิ่มเติม

7) การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ เครื่องมือวิจัยทุกชุดผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยและเนื้อหาในโปรแกรม จากนั้นนำเครื่องมือไปปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ และทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ตามหลักการทางสถิติ เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือมีความเหมาะสม น่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัยได้อย่างมีคุณภาพ ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานผ่านกระบวนการพัฒนาคุณภาพและเคยนำไปใช้งานแล้ว

3. การดำเนินการวิจัย

ระยะที่ 1 การเตรียมการวิจัย (Research Preparation Phase) ในระยะนี้ ผู้วิจัยดำเนินการเตรียมความพร้อมทั้งด้านวิชาการ เครื่องมือ และจริยธรรมการวิจัย เพื่อให้การดำเนินการวิจัยเป็นไปอย่างเป็นระบบและถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1) การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยศึกษาทบทวนเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจมน้ำ ความปลอดภัยทางน้ำ ทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำ การจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ และการวิจัยเชิงทดลองและกึ่งทดลอง เพื่อใช้เป็นกรอบแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรม เครื่องมือวิจัย และแนวทางการประเมินผล

2) การพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมการทดลอง (Hero Program) ผู้วิจัยพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program) ให้เหมาะสมกับบริบทพื้นที่เขตสุขภาพที่ 9 โดยคำนึงถึงลักษณะพื้นที่เสี่ยง แหล่งน้ำ กลุ่มเป้าหมาย และกลไกชุมชน ผ่านกระบวนการปรับเนื้อหา กิจกรรม และฐานการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย

3) การพัฒนาเครื่องมือวิจัยและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ผู้วิจัยพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป แบบประเมินความรู้ ความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำ ทักษะการ

เอาตัวรอดในน้ำ ความสามารถในการประเมินและจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ และความพึงพอใจต่อโปรแกรม โดยนำเครื่องมือทั้งหมดเสนอให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านสาธารณสุข ความปลอดภัยทางน้ำ และการวิจัย ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) และนำไปปรับปรุงก่อนทดสอบความเชื่อมั่นตามหลักการทางสถิติ

ระยะที่ 2 การดำเนินการทดลอง (Intervention Implementation Phase) ในระยะนี้ เป็นการดำเนินการทดลองตามรูปแบบการวิจัยกึ่งทดลอง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (Pretest) ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลตัวแปรตามก่อนการทดลองจากกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้แบบสอบถามและแบบประเมินชุดเดียวกันกับการวัดหลังการทดลอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลง

2) การดำเนินการแทรกแซงตาม Hero Program ผู้วิจัยดำเนินการฝึกอบรมตามโปรแกรม Hero Program ซึ่งเป็นการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ระยะเวลา 2 วัน รวม 16 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 27 – 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2568 ประกอบด้วยกิจกรรมให้ความรู้ การฝึกทักษะ และการเรียนรู้เชิงปฏิบัติในฐานต่าง ๆ ตามโครงสร้างโปรแกรมที่กำหนดไว้

3) การควบคุมกระบวนการทดลอง ผู้วิจัยควบคุมกระบวนการฝึกอบรมให้เป็นไปตามกำหนดการ เนื้อหา วิธีการ และมาตรฐานเดียวกันตลอดการดำเนินการ โดยใช้วิทยากรและทีมฝึกอบรมชุดเดียวกัน ใช้สถานที่และอุปกรณ์ตามมาตรฐานความปลอดภัย และติดตามการเข้าร่วมกิจกรรมของกลุ่มตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง เพื่อควบคุมความแปรปรวนที่อาจส่งผลต่อผลการวิจัย

ระยะที่ 3 การประเมินผล (Evaluation Phase) ภายหลังเสร็จสิ้นการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยดำเนินการประเมินผลของโปรแกรม ดังนี้

1) การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (Posttest) ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลองทันที โดยใช้แบบสอบถามและแบบประเมินชุดเดียวกันกับการวัดก่อนการทดลอง เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามภายหลังได้รับโปรแกรม

2) การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล ผู้วิจัยตรวจสอบความครบถ้วน ความถูกต้อง และความสมบูรณ์ของข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์ เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลมีคุณภาพและเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ

3) การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง ในการวิจัยครั้งนี้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ดังนี้

(3.1) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา ใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง และระดับของตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อแสดงภาพรวมของข้อมูลและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการทดลอง

(3.2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมาน ใช้สถิติเชิงอนุมานเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามก่อนและหลังการทดลองภายในกลุ่มเดียวกัน โดยพิจารณาเลือกใช้สถิติ Paired t-test ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ทั้งนี้เพื่อให้การวิเคราะห์มีความเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลและรูปแบบวิจัย

4. การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่างและจริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการโดยคำนึงถึงหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์อย่างเคร่งครัด ผู้วิจัยให้ความสำคัญต่อการคุ้มครองสิทธิ ศักดิ์ศรี ความปลอดภัย และสวัสดิภาพของผู้เข้าร่วมการวิจัยในทุกขั้นตอน โดยมีแนวปฏิบัติดังนี้

1) การให้ข้อมูลและการขอความยินยอมอย่างสมัครใจ ผู้วิจัยได้ชี้แจงวัตถุประสงค์ ความสำคัญ ขั้นตอนการวิจัย ระยะเวลา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ รวมถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการวิจัยให้แก่ผู้เข้าร่วมทุกคนอย่างชัดเจน เข้าใจง่าย และครบถ้วน ก่อนการเข้าร่วมการวิจัย ทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้แสดงความยินยอมโดยสมัครใจผ่านการลงนามในแบบแสดงความยินยอม (Informed Consent) โดยปราศจากการบังคับหรือการชักจูงที่ไม่เหมาะสม

2) การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลและการรักษาความลับ ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยทั้งหมดจะถูกเก็บรักษาเป็นความลับ ใช้รหัสแทนชื่อและข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมการวิจัย และนำเสนอผลการวิจัยในภาพรวมเท่านั้น โดยไม่มีการเปิดเผยข้อมูลที่สามารถระบุตัวตนของผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ ทั้งนี้ การจัดเก็บและการใช้ข้อมูลเป็นไปตามหลักการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลและวัตถุประสงค์ของการวิจัยเท่านั้น

3) สิทธิในการถอนตัวจากการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสิทธิถอนตัวออกจากการวิจัยได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล และไม่ส่งผลกระทบต่อสิทธิ ประโยชน์ หรือการเข้าถึงบริการใด ๆ ที่พึงได้รับจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4) การลดความเสี่ยงและการดูแลความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย การดำเนินกิจกรรมตามโปรแกรมฝึกอบรมเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย มีการดูแลและควบคุมโดยวิทยากรและผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ พร้อมทั้งมีการเตรียมความพร้อมด้านอุปกรณ์และการปฐมพยาบาลเบื้องต้น เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับผู้เข้าร่วมการวิจัยให้อยู่ในระดับต่ำที่สุด

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ผลของโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program)

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามก่อนและหลังการเข้าร่วม Hero Program (n = 79)

ตัวแปรตาม	ก่อนการทดลอง (Pretest) Mean ± S.D.	หลังการทดลอง (Posttest) Mean ± S.D.	p-value	Effect size (Cohen's d)	ขนาดอิทธิพล
1. ความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำ	12.48 ± 2.31	17.96 ± 1.84	< .001	1.28	สูงมาก
2. ความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำ	10.22 ± 1.95	14.87 ± 1.52	< .001	1.15	สูงมาก
3. ทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ	8.63 ± 2.14	14.05 ± 1.76	< .001	1.34	สูงมาก
4. ความสามารถในการประเมินและจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ	11.74 ± 2.08	16.42 ± 1.69	< .001	1.12	สูงมาก

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามก่อนและหลังการเข้าร่วมโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program) ของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 79 คน

โดยใช้สถิติ Paired t-test เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยภายในกลุ่มเดียวกันก่อนและหลังการทดลอง พร้อมรายงานค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) และขนาดอิทธิพล (Effect size: Cohen's d) เพื่อสะท้อนทั้งนัยสำคัญทางสถิติและความสำคัญเชิงปฏิบัติของผลลัพธ์ โดยผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรตามทุกด้านมีค่าเฉลี่ยหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีค่า p-value น้อยกว่า .001 ทุกตัวแปร แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม Hero Program ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกต่อความรู้ ความเข้าใจ และทักษะที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการจมน้ำของกลุ่มตัวอย่างอย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาเป็นรายตัวแปร พบว่า **ความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำ** มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 12.48 ± 2.31 คะแนน ก่อนการทดลอง เป็น 17.96 ± 1.84 คะแนน หลังการทดลอง โดยมีขนาดอิทธิพลเท่ากับ 1.28 ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูงมาก สะท้อนให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถเสริมสร้างความรู้เชิงทฤษฎีและความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับสถานการณ์การจมน้ำ สาเหตุ และแนวทางการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิผล

สำหรับ **ความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำ** ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 10.22 ± 1.95 คะแนน เป็น 14.87 ± 1.52 คะแนน หลังการทดลอง โดยมีขนาดอิทธิพลเท่ากับ 1.15 ซึ่งอยู่ในระดับสูงมาก แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้และการฝึกอบรมช่วยให้กลุ่มตัวอย่างมีความเข้าใจในหลักการ กฎ และข้อปฏิบัติด้านความปลอดภัยทางน้ำได้อย่างถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้น

ในด้าน **ทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ** พบว่า ค่าเฉลี่ยหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างชัดเจน จาก 8.63 ± 2.14 คะแนน เป็น 14.05 ± 1.76 คะแนน และมีขนาดอิทธิพลสูงมาก (Cohen's d = 1.34) ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดในบรรดาตัวแปรทั้งหมด สะท้อนถึงผลลัพธ์เชิงประจักษ์ของการฝึกทักษะเชิงปฏิบัติในสระว่ายน้ำจริง ที่ช่วยพัฒนาความสามารถในการลอยตัว การเอาชีวิตรอด และการตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉินทางน้ำได้อย่างเป็นรูปธรรม

ขณะเดียวกัน **ความสามารถในการประเมินและจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ** มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 11.74 ± 2.08 คะแนน เป็น 16.42 ± 1.69 คะแนน หลังการทดลอง โดยมีขนาดอิทธิพลเท่ากับ 1.12 ซึ่งอยู่ในระดับสูงมาก แสดงให้เห็นว่า Hero Program มีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างสมรรถนะด้านการวิเคราะห์สถานการณ์ การระบุแหล่งน้ำเสี่ยง และการวางแผนจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำในระดับบุคคลและระดับชุมชน

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 1 ชี้ให้เห็นว่า **Hero Program มีประสิทธิผลสูงทั้งในเชิงนัยสำคัญทางสถิติและความสำคัญเชิงปฏิบัติ** ในการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ ทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ และความสามารถในการจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งสนับสนุนศักยภาพของโปรแกรมในการนำไปประยุกต์ใช้และขยายผลในบริบทของการป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำในระดับชุมชนและระดับระบบสุขภาพต่อไป รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจต่อโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program)

ผลการศึกษาความพึงพอใจต่อโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program) พบว่า ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero

Program) โดยรายงานค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของแต่ละรายการประเมิน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจต่อโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program)

รายการประเมิน	Mean ± S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. เนื้อหาและความเหมาะสมของโปรแกรม	4.62 ± 0.41	มากที่สุด
2. กระบวนการเรียนรู้และการฝึกปฏิบัติ	4.71 ± 0.38	มากที่สุด
3. ความสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริง	4.68 ± 0.40	มากที่สุด
4. ภาพรวมความพึงพอใจต่อโปรแกรม	4.67 ± 0.39	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อโปรแกรมในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ทุกด้าน สะท้อนถึงความเหมาะสมและการยอมรับของโปรแกรมในมุมมองของผู้เข้าร่วมการฝึกอบรม เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า กระบวนการเรียนรู้และการฝึกปฏิบัติ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงที่สุด (Mean = 4.71, S.D. = 0.38) อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญและพึงพอใจต่อรูปแบบการจัดกิจกรรมเชิงปฏิบัติการ การเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง และการฝึกทักษะในสถานการณ์จำลองและสระว่ายน้ำจริง ซึ่งเอื้อต่อการพัฒนาทักษะและความมั่นใจในการปฏิบัติงานด้านความปลอดภัยทางน้ำ รองลงมา คือ ความสามารถในการนำโปรแกรมไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.68 (S.D. = 0.40) อยู่ในระดับมากที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าเนื้อหาและกิจกรรมของ Hero Program มีความสอดคล้องกับบริบทการทำงานของกลุ่มตัวอย่างในระดับพื้นที่ และสามารถนำไปใช้ในการวางแผน ดำเนินงาน และขับเคลื่อนกิจกรรมป้องกันการจมน้ำในชุมชนได้อย่างเป็นรูปธรรม

สำหรับด้านภาพรวมความพึงพอใจต่อโปรแกรม พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (S.D. = 0.39) อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงถึงการยอมรับของกลุ่มตัวอย่างต่อโปรแกรมในภาพรวม ทั้งในด้านโครงสร้าง เนื้อหา วิธีการดำเนินกิจกรรม และประโยชน์ที่ได้รับจากการเข้าร่วมการฝึกอบรม ขณะเดียวกัน เนื้อหาและความเหมาะสมของโปรแกรมมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.62 (S.D. = 0.41) อยู่ในระดับมากที่สุดเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าเนื้อหาของ Hero Program มีความครอบคลุม ถูกต้องตามหลักวิชาการ และเหมาะสมกับระดับความรู้และบทบาทหน้าที่ของผู้เข้าร่วมการฝึกอบรม

โดยผลการประเมินความพึงพอใจจากตารางที่ 2 ชี้ให้เห็นว่า Hero Program ได้รับการยอมรับในระดับสูงมากจากกลุ่มตัวอย่าง ทั้งในด้านเนื้อหา กระบวนการเรียนรู้ และศักยภาพในการนำไปใช้จริงในพื้นที่ ซึ่งสะท้อนถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการนำโปรแกรมไปขยายผลหรือบูรณาการเป็นกลไกสำคัญในการป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำในระดับชุมชนและระดับเขตสุขภาพต่อไป

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของโปรแกรมทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ (Hero Program) โดยมีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 79 คน ซึ่งเป็นบุคลากรและภาคีเครือข่ายที่มีบทบาทด้านการป้องกันการจมน้ำในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 9 ซึ่งผลของโปรแกรม Hero Program ต่อความรู้ ทักษะ และความสามารถในการจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมานโดยใช้สถิติ Paired t-test พบว่า หลังการเข้าร่วมโปรแกรม Hero Program กลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามทุกด้านสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีค่า p-value น้อยกว่า .001 ทุกตัวแปร แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมมีประสิทธิผลในการพัฒนาศักยภาพของผู้เข้าร่วมอย่างชัดเจน ทั้งในเชิงนัยสำคัญทางสถิติและความสำคัญเชิงปฏิบัติ

เมื่อพิจารณาเป็นรายตัวแปร พบว่า

1) ความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำ มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากระดับก่อนการทดลองอย่างเด่นชัด และมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับสูงมาก สะท้อนว่าโปรแกรมสามารถเสริมสร้างความรู้พื้นฐานและความเข้าใจเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับสถานการณ์การจมน้ำ สาเหตุ ปัจจัยเสี่ยง และแนวทางการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีขนาดอิทธิพลในระดับสูงมาก แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้และการฝึกอบรมช่วยให้กลุ่มตัวอย่างมีความเข้าใจและการยอมรับกฎความปลอดภัยทางน้ำมากขึ้น ซึ่งเอื้อต่อการตัดสินใจและการปฏิบัติตนอย่างปลอดภัยในสถานการณ์จริง

3) ทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ เป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดยมีขนาดอิทธิพลสูงมากที่สุดในบรรดาตัวแปรทั้งหมด สะท้อนถึงผลลัพธ์เชิงประจักษ์ของการฝึกปฏิบัติจริงในสระว่ายน้ำ ที่ช่วยพัฒนาความสามารถในการลอยตัว การเอาชีวิตรอด และการช่วยเหลือผู้ประสบภัยทางน้ำได้อย่างเป็นรูปธรรม

4) ความสามารถในการประเมินและจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีขนาดอิทธิพลในระดับสูงมาก แสดงให้เห็นว่า Hero Program ช่วยเสริมสร้างสมรรถนะด้านการวิเคราะห์สถานการณ์ การระบุแหล่งน้ำเสี่ยง และการวางแผนจัดการความเสี่ยงในระดับบุคคลและระดับชุมชนได้อย่างมีประสิทธิผล

โดยสรุปผลการวิจัยส่วนที่ 1 ชี้ให้เห็นว่า Hero Program เป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิผลสูงในการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ ทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ และความสามารถในการจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำของกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และสะท้อนศักยภาพของโปรแกรมในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำในระดับพื้นที่และระดับระบบสุขภาพ

ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างต่อ Hero Program พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อโปรแกรมในภาพรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด ทุกด้าน สะท้อนถึงการยอมรับและความเหมาะสมของโปรแกรมในมุมมองของผู้เข้าร่วมการฝึกอบรม

เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า

1) กระบวนการเรียนรู้และการฝึกปฏิบัติ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงที่สุด อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญและพึงพอใจกับการจัดกิจกรรมเชิงปฏิบัติ การเรียนรู้ผ่านการลงมือทำจริง และการฝึกในสถานการณ์จำลองและสระว่ายน้ำจริง ซึ่งช่วยเสริมสร้างความมั่นใจและความพร้อมในการปฏิบัติงานด้านความปลอดภัยทางน้ำ

2) ความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริง อยู่ในระดับมากที่สุด สะท้อนว่าเนื้อหาและกิจกรรมของโปรแกรมมีความสอดคล้องกับบริบทการทำงานของกลุ่มตัวอย่าง และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนและขับเคลื่อนงานป้องกันการจมน้ำในชุมชนได้อย่างเป็นรูปธรรม

3) ภาพรวมความพึงพอใจต่อโปรแกรม อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงถึงการยอมรับในโครงสร้าง เนื้อหา วิธีการดำเนินกิจกรรม และประโยชน์ที่ได้รับจากการเข้าร่วมโปรแกรม

4) เนื้อหาและความเหมาะสมของโปรแกรม อยู่ในระดับมากที่สุดเช่นกัน สะท้อนว่าเนื้อหามีความถูกต้องตามหลักวิชาการ ครอบคลุม และเหมาะสมกับระดับความรู้และบทบาทหน้าที่ของผู้เข้าร่วม

โดยสรุป ผลการวิจัยส่วนที่ 2 ชี้ให้เห็นว่า Hero Program ได้รับการยอมรับและมีความพึงพอใจในระดับสูงมากจากกลุ่มตัวอย่าง ทั้งในด้านเนื้อหา กระบวนการเรียนรู้ และศักยภาพในการนำไปใช้จริง ซึ่งสนับสนุนความเป็นไปได้ในการขยายผลหรือบูรณาการโปรแกรมนี้เป็นกลไกสำคัญในการป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำในระดับชุมชน เขตสุขภาพ และระดับประเทศต่อไปอย่างยั่งยืน

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีประเด็นค้นพบสำคัญที่สามารถอภิปรายผลเชิงวิชาการได้ 4 ประเด็นหลัก ดังนี้

1. ประสิทธิผลของ Hero Program ต่อการพัฒนาความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำ ผลการศึกษาพบว่า หลังการเข้าร่วม Hero Program กลุ่มตัวอย่างมีความรู้ด้านการจมน้ำและความปลอดภัยทางน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับสูงมาก แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถเสริมสร้างความรู้เชิงทฤษฎีและความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับสาเหตุ ปัจจัยเสี่ยง และแนวทางการป้องกันการจมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดของ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization) ที่ระบุว่า การให้ความรู้ด้านการจมน้ำอย่างเป็นระบบเป็นหนึ่งในมาตรการสำคัญที่ช่วยลดความเสี่ยงและอัตราการเสียชีวิตจากการจมน้ำ โดยเฉพาะในกลุ่มบุคลากรและผู้มีบทบาทในการป้องกันระดับชุมชน (World Health Organization, 2017) นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Peden et al. (2008) ซึ่งพบว่า โปรแกรมฝึกอบรมด้านความปลอดภัยทางน้ำที่มีเนื้อหาครอบคลุมทั้งทฤษฎีและบริบทพื้นที่ สามารถเพิ่มระดับความรู้และความตระหนักรู้เกี่ยวกับการป้องกันการจมน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ

2. การเสริมสร้างความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำและการตัดสินใจอย่างปลอดภัย ผลการวิจัยพบว่าความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำของกลุ่มตัวอย่างหลังการเข้าร่วมโปรแกรมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับสูงมาก สะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการเรียนรู้ของ Hero Program สามารถช่วยให้ผู้เข้าร่วมเข้าใจหลักการ กฎ และข้อปฏิบัติด้านความปลอดภัยทางน้ำได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ผลการค้นพบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moran (2018) ที่ระบุว่า การเรียนรู้กฎความปลอดภัยทางน้ำผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมและการอภิปรายสถานการณ์เสี่ยง ช่วยพัฒนาความสามารถในการตัดสินใจอย่างปลอดภัย และลดพฤติกรรมเสี่ยงที่นำไปสู่การจมน้ำ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quan et al. (2015) ที่เสนอว่า ความเข้าใจกฎความปลอดภัยทางน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญของ “Water Safety Literacy” ซึ่งเป็นพื้นฐานของการป้องกันการจมน้ำอย่างยั่งยืน

3. การพัฒนาทักษะการเอาตัวรอดในน้ำผ่านการฝึกปฏิบัติจริง ผลการศึกษาพบว่า ทักษะการเอาตัวรอดในน้ำเป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด และมีขนาดอิทธิพลสูงมากที่สุดในบรรดาตัวแปรทั้งหมด สะท้อนให้เห็นถึง

ประสิทธิผลของการฝึกปฏิบัติจริงในสระว่ายน้ำและสถานการณ์จำลอง ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของ Hero Program ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Langendorfer and Bruya (1995) ที่ชี้ว่า การฝึกทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ เช่น การลอยตัว การควบคุมการหายใจ และการเคลื่อนที่ในน้ำ เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการจมน้ำได้อย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quan et al. (2015) ซึ่งพบว่า การฝึกทักษะเชิงปฏิบัติในน้ำจริงมีผลต่อความมั่นใจและความสามารถในการเอาตัวรอดมากกว่าการเรียนรู้เชิงทฤษฎีเพียงอย่างเดียว

4. การเสริมสร้างความสามารถในการประเมินและจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำในระดับชุมชน ผลการวิจัยพบว่า ความสามารถในการประเมินและจัดการความเสี่ยงจากการจมน้ำของกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับสูงมาก แสดงให้เห็นว่า Hero Program ไม่เพียงพัฒนาทักษะรายบุคคล แต่ยังเสริมสร้างสมรรถนะเชิงระบบในการวิเคราะห์และจัดการความเสี่ยงในระดับพื้นที่ ผลการค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิดการจัดการความเสี่ยงด้านอุบัติเหตุและการจมน้ำของ World Health Organization (2017) ที่เน้นการประเมินแหล่งน้ำเสี่ยง การสร้างระบบเฝ้าระวัง และการมีส่วนร่วมของชุมชน นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Peden et al. (2008) ซึ่งพบว่า โปรแกรมที่บูรณาการการจัดการความเสี่ยงเชิงพื้นที่และการมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่าย สามารถเพิ่มศักยภาพของชุมชนในการป้องกันการจมน้ำได้อย่างยั่งยืน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลการวิจัยสะท้อนว่า Hero Program เป็นโปรแกรมที่มีความครอบคลุมทั้งมิติความรู้ความเข้าใจ ทักษะ และการจัดการความเสี่ยงในระดับชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดสากลด้านการป้องกันการจมน้ำ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ ผลการศึกษานี้จึงสนับสนุนความเหมาะสมของ Hero Program ในการนำไปใช้เป็นกลไกสำคัญในการป้องกันการเสียชีวิตจากการจมน้ำ และสามารถต่อยอดสู่การขยายผลในระดับพื้นที่ เขตสุขภาพ และระดับประเทศได้ในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสนับสนุนให้ Hero Program ถูกนำไปใช้เป็นหลักสูตรฝึกอบรมมาตรฐาน (Standardized Training Program) สำหรับแกนนำชุมชน อาสาสมัครด้านความปลอดภัยทางน้ำ และบุคลากรสาธารณสุข เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องและความยั่งยืนของการดำเนินงานป้องกันการจมน้ำ

2. ควรจัดให้มีการฝึกทบทวนทักษะ (Refresher training) อย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะทักษะการเอาตัวรอดในน้ำ การช่วยเหลือผู้ประสบภัย และช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน (CPR) เพื่อคงไว้ซึ่งสมรรถนะและความมั่นใจของผู้ปฏิบัติงาน

3. ควรพัฒนาระบบติดตามและประเมินผลการนำโปรแกรมไปใช้จริงในพื้นที่ (Follow-up evaluation) เพื่อประเมินผลลัพธ์ระยะยาว ทั้งในด้านการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ความพร้อมของชุมชน และการลดอุบัติการณ์การจมน้ำ

4. ข้อเสนอแนะวิชาการ ควรมีการศึกษาต่อยอดประสิทธิผลของ Hero Program ในรูปแบบการวิจัยเชิงทดลองที่มีกลุ่มควบคุมและการติดตามผลระยะยาว เพื่อประเมินความคงอยู่ของความรู้ ทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำ และพฤติกรรมการจัดการความเสี่ยง รวมถึงผลต่อการลดอัตราการเสียชีวิตจากการจมน้ำในระดับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งจะช่วยยืนยันประสิทธิผลของโปรแกรมและสนับสนุนการพัฒนาเป็นต้นแบบเชิงนโยบายด้านการป้องกันการจมน้ำของประเทศ

5. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย หน่วยงานด้านสาธารณสุขและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ควรผลักดันให้ Hero Program เป็นหลักสูตรมาตรฐานด้านการป้องกันการจมน้ำในระดับพื้นที่ โดยบูรณาการร่วมกับสถานศึกษา ชุมชน และภาคีเครือข่าย พร้อมสนับสนุนงบประมาณ บุคลากร และระบบติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่อง เพื่อเสริมสร้างทักษะการเอาตัวรอดทางน้ำและลดอัตราการเสียชีวิตจากการจมน้ำ

6. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อต่อยอด Hero Program ในกลุ่มเด็กและเยาวชน รวมทั้งเปรียบเทียบผลการดำเนินงานระหว่างพื้นที่เมืองและชนบท เพื่อประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการเรียนรู้ ปัจจัยด้านบริบทพื้นที่ และประสิทธิผลของโปรแกรมต่อการลดพฤติกรรมเสี่ยงและการเสียชีวิตจากการจมน้ำในแต่ละพื้นที่อย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

กรมการปกครอง. (2568). **ข้อมูลการเสียชีวิตจากการจมน้ำจากระบบทะเบียนราษฎร.** กรุงเทพฯ: กระทรวงมหาดไทย.

กองป้องกันการบาดเจ็บ. (2568). **รายงานสถานการณ์การบาดเจ็บและเสียชีวิตจากการจมน้ำของประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ. (2561). **แผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ด้านสาธารณสุข (พ.ศ. 2561–2580).** กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.

Langendorfer, S. J., and Bruya, L. D. (1995). **Aquatic readiness: Developing water competence in young children.** Illinois: Human Kinetics.

Moran, K. (2009). **Re-thinking drowning risk: The role of water safety knowledge, attitudes and behaviours in the aquatic recreation of New Zealand youth.** Saarbrücken: VDM Verlag.

Peden, M., Oyegbite, K., Ozanne-Smith, J., Hyder, A. A., Branche, C., Rahman, A., Rivara, F., and Bartolomeos, K. (2008). **World report on child injury prevention.** Geneva: World Health Organization.

Quan, L., Ramos, W., Harvey, C., Kublick, L., Langendorfer, S. J., Lees, T. A., Fielding, R. R., Dalke, S., Barry, C., Shook, S., and Wernicki, P. (2015). Toward defining water competency: An American Red Cross definition. **International Journal of Aquatic Research and Education, 9 (1),** 12-23.

World Health Organization. (2017). **Preventing drowning: An implementation guide.** Retrieved from December 17, 2025, https://www.who.int/publications/i/item/preventing-drowning-an-implementation-guide.

World Health Organization. (2023). **Drowning.** Retrieved December 17, 2025, from https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drowning.

การศึกษาความเป็นกรดของน้ำย้อมจากดอกอัญชันและชนิดของสารช่วยติดสีเพื่อการย้อมสีเส้นกก

A STUDY ON THE ACIDITY OF BUTTERFLY PEA FLOWER DYE AND TYPES OF MORDANTS FOR DYEING REED THREADS

ลลิดา ฉายาวัฒน์[1)], นันทวัน หัตถมาศ[2)*], พันธ์ทิพย์ เลิศบุรุษ[3)] และ มนสินี ดาบเงิน[4)]

[1)-4)] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Lalida Chayawat[1)], Nanthawan Hadthamard[2)*], Pantip Lerdbuross[3)], Manasinee Dapngoen[4)]

[1)-4)] Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

*Corresponding author e-mail: nanthawan.aor04@kru.ac.th

บทคัดย่อ

การย้อมสีเส้นกก (*Cyperus involucratus*) มักเลือกใช้สารสีสังเคราะห์เพื่อสร้างสีสันที่สวยงามและคงทนให้ผลิตภัณฑ์ แต่สีย้อมสังเคราะห์อันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาสีน้ำย้อมจากดอกอัญชัน (*Clitoria* ternatea L.) ที่มีค่าความเป็นกรดด่างแตกต่างกัน ร่วมกับการศึกษาคุณภาพสีเส้นกกเมื่อใช้สารละลายสารส้มและสารละลายแทนนินเป็นสารช่วยติดสี สำหรับการย้อมสีเส้นกกด้วยการจุ่มลงในน้ำย้อม ผลการวิจัยพบว่า น้ำย้อมจากดอกอัญชันที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด ปรับด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และปรับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีสีน้ำเงิน สีม่วง และสีเขียวแกมน้ำเงิน ด้วยค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.50, 2.44 และ 7.62 ตามลำดับ เมื่อนำมาย้อมสีในสภาวะที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ ได้แก่ ไม่เติมสารช่วยติดสี การใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี และการใช้สารส้มร่วมกับแทนนินเป็นสารช่วยติดสี พบว่า การใช้สารส้มร่วมกับแทนนินเป็นสารช่วยติดสี เป็นสภาวะการย้อมที่ติดสีสม่ำเสมอและให้เฉดสีเข้มที่สุด หากใช้ร่วมกับน้ำย้อมที่ปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จะได้เส้นกกที่มีสีแดงอมน้ำตาล หากใช้ร่วมกับน้ำย้อมที่ปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้เส้นกกสีเขียวอ่อน การใช้สารละลายสารส้มเป็นสารช่วยติดสีเพียงอย่างเดียว จะติดสีสม่ำเสมอเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับน้ำย้อมที่ปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะได้เส้นกกสีน้ำตาลแดง อย่างไรก็ตาม ค่าความสว่าง (L*) ของสีเส้นกกเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส แสดงถึงการซีดจางของสีเส้นกก โดยเฉพาะเส้นกกรหัส A-b-nT มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 29.87 เป็น 34.90 และเส้นกกรหัส A-b มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 30.33 เป็น 33.47 ได้รับความพึงพอใจต่อความชัดเจนของสีอยู่ในระดับน้อย ด้วยคะแนน 2.29 คะแนน แสดงให้เห็นว่า การย้อมสีเส้นกกด้วยน้ำย้อมที่ปรับค่าด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้เส้นกก 2 เฉดสี คือ สีแดงอมน้ำตาลหรือสีเขียวอ่อน และควรใช้สารช่วยติดสีร่วมกันทั้งสารส้มและแทนนิน เพื่อความสม่ำเสมอของสี ทั้งนี้ควรหาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพสีให้สามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เส้นกก ดอกอัญชัน การย้อม ความเป็นกรด สารช่วยติดสี

ABSTRACT

Synthetic dyes are often used to color sedge (*Cyperus involucratus*) to create attractive and durable products. However, synthetic dyes could be harmful to health and the environment. This research aimed to study 1) dye solutions extracted from butterfly pea flowers (*Clitoria ternatea* L.) at different pH levels and 2) color quality of reed threads using alum and tannin solution as mordants. The dyeing of reed threads was carried out by immersion in the dye solutions. The results showed that butterfly pea dye solutions without pH adjustment, adjusted with hydrochloric acid solution, and adjusted with sodium hydroxide solution produced blue, purple, and bluish-green colors, with pH values of 4.50, 2.44, and 7.62, respectively. When applied under 3 different dyeing conditions; without mordant, alum as a mordant, and alum combined with tannin as mordants, it was found that the combined use of alum and tannin provided the most uniform dyeing and the darkest shades. Dye solutions were adjusted with hydrochloric acid, the reed threads exhibited a reddish-brown color, whereas the dye solutions were adjusted with sodium hydroxide produced light green sedge strands. The use of alum solution alone as a mordant resulted in uniform coloration only when combined with dye solutions were adjusted with hydrochloric acid, yielding reddish-brown sedge strands. However, the lightness value (L*) of the dyed sedge strands increased throughout a storage period of 2 months at 28 ± 2^{o}C, indicating color fading over time. Specifically, the lightness value of the A-b-nT increased from 29.87 to 34.90, and the lightness value of the A-b increased from 30.33 to 33.47, which satisfaction with color clarity was low, with a score of 2.29. The study showed that dyeing reed fibers with a dye adjusted using hydrochloric acid or sodium hydroxide solution yielded 2 shades of color: reddish-brown or light green. It was recommended to use alum combined with tannin as mordants for color consistency. Further research is needed to improve the color quality and extend its shelf life.

Keywords: Reed thread, Butterfly pea, Dyeing, Acidity, Mordant

บทนำ

กก (*Cyperus involucratus*) เป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่นิยมนำลำต้นมาทำเป็นเส้นเพื่อทำผลิตภัณฑ์จักสาน สีธรรมชาติของเส้นกกที่ถูกผึ่งแห้งแล้วจะมีสีน้ำตาลอ่อน ดังนั้นเพื่อเพิ่มสีสันให้ผลิตภัณฑ์สวยงามยิ่งขึ้น จึงนิยมนำเส้นกกไปย้อมสีก่อนนำมาจักสาน ซึ่งการย้อมสีเส้นกกมักเลือกย้อมด้วยสีสังเคราะห์ เนื่องจากย้อมง่าย สีติดทนทาน มีสีหลากหลายเฉด และมีราคาถูก แต่สีสังเคราะห์มักพบการปนเปื้อนของโลหะหนักในปริมาณสูง เช่น ตะกั่ว ปรอท สารหนู สังกะสี และโครเมียม โดยเฉพาะสารกลุ่มอะโรมาติกเอมีน (Aromatic Amines; PAAs) ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และพบมากในอุตสาหกรรมการผลิตสีย้อม ผู้ใช้งานมีโอกาสได้รับสาร PAAs จากการสัมผัส ด้วยเหตุนี้กระทรวงสาธารณสุขจึงประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 435 พ.ศ. 2565 กำหนดค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of

Detector; LOD) ของสาร PAAs ในภาชนะบรรจุที่มีการใช้สีว่า ต้องมีสาร PAAs ไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นิรมล จิตต์สมหมาย และ จิตนภา วรนิติกุล, 2565) ความเสี่ยงที่ร่างกายจะได้รับโลหะหนักเริ่มขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมสีย้อมและขณะย้อมสี ซึ่งผู้ย้อมต้องสัมผัสกับน้ำย้อมโดยตรง หากใช้งานเสร็จแล้วและปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง จะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ (Ardila-Leal et al., 2021) การเลือกใช้สีย้อมจากธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะสร้างความปลอดภัยต่อผู้ย้อมและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสีย้อมจากธรรมชาติเป็นสารทางชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

การย้อมสีเส้นกกเพื่อจักสานเป็นผลิตภัณฑ์ต้องใช้วัตถุดิบสำคัญ 2 ชนิด คือ สีย้อม และสารช่วยติดสี การใช้สีย้อมจากธรรมชาติเป็นผลจากการแสดงสีของรงควัตถุธรรมชาติ (Biological pigment) แต่ละชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ให้สีเขียว แคโรทีนอยด์ให้เหลือง-ส้ม และแอนโทไซยานินให้สีน้ำเงิน สีม่วง หรือสีแดง ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่าง รงควัตถุเหล่านี้พบได้ในพืชและสัตว์ด้วยชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อนำไปใช้ร่วมกับสารช่วยติดสีบางชนิดจะสร้างเฉดสีใหม่ได้ เช่น การใช้สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็ก ทำให้สีน้ำย้อมใบยางพาราเข้มขึ้น (ปรีชา มูลสิน และคณะ, 2564, 35-40) หากพิจารณาลักษณะพิเศษของการเปลี่ยนสีได้ตามค่าความเป็นกรดด่างของแอนโทไซยานินอาจเป็นโอกาสอันดีที่จะนำมาพัฒนาน้ำย้อมสี ซึ่งแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ดี เปลี่ยนสีได้ตั้งแต่สีแดง สีม่วง จนถึงสีน้ำเงิน ตามโครงสร้างโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลาย จากงานวิจัยของ ลลิดา ฉายาวัฒน์ และคณะ (2568) รายงานว่าผลสดของมะม่วงหาวมะนาวโห่สุกที่มีแอนโทไซยานินสูง เมื่อนำมาทำน้ำย้อม จะได้น้ำย้อมสีแดงส้มที่มีค่าความเป็นกรดประมาณ 3.39 สำหรับดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea*) เป็นพืชไม้เลื้อยที่พบเห็นทั่วไป มีสารเทอร์นาติน (Ternatin) ซึ่งเป็นสารชนิดพิเศษในกลุ่มแอนโทไซยานิน ให้สีน้ำเงินสดและมีความคงตัวสูง (Gamage et al., 2021) หากพัฒนาเป็นน้ำย้อมสีเส้นกกที่มีค่าความเป็นกรดด่างที่หลากหลาย อาจเกิดเฉดสีใหม่ได้อีก

เส้นกกมีผิวขรุขระ ในกระบวนการย้อมสีจึงต้องคัดเลือกสารช่วยติดสี (Mordant) ที่ช่วยให้สีของน้ำย้อมยึดเกาะกับวัสดุที่ต้องการย้อมได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งอาจใช้ก่อนหรือหลังย้อมก็ได้ ทั้งนี้สารส้ม (Alum) และแทนนิน (Tannin) เป็นสารช่วยติดสีที่หาซื้อง่ายและราคาถูก จากการศึกษาวิธีการย้อมกกของ Sangkhaha et al. (2024) พบว่า ต้นกกที่ย้อมด้วยน้ำย้อมจากขมิ้น เปลือกสะเดา และใบสะเดา โดยใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี จะได้ต้นกกที่มีสีเหลือง สีแดง และสีน้ำตาล ตามสีของน้ำย้อม แต่สีจะเข้มขึ้นกว่าการไม่ใช้สารช่วยติดสี เนื่องจากเกลืออะลูมิเนียมในโมเลกุลของสารส้มจะแตกตัวและไปจับกับโมเลกุลของสีน้ำย้อม ทำให้โมเลกุลเม็ดสีใหญ่ขึ้นและยึดติดกับต้นกกได้ดี สำหรับแทนนินหรือสารฝาด พบทั่วไปในส่วนของพืชที่มีรสขมและฝาด เช่น ลูกหมาก เปลือกประดู่ และเปลือกมังคุด เป็นต้น หน้าที่ของแทนนินเป็นได้ทั้งสารช่วยติดสีและน้ำย้อม การทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสีของแทนนิน จะเริ่มต้นจากแทนนินเข้าจับกับเส้นใยเซลลูโลสของวัสดุที่ต้องการย้อมก่อนเพื่อปรับสภาพพื้นผิว จากนั้นจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นหลังจากเติมสารช่วยติดสี ทำให้น้ำย้อมเกาะติดแน่น มีผลโดยตรงต่อความคงทนของการติดสี (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ม.ป.ป.) จากงานวิจัยของ วิชชุดา ยิ่งนคร และคณะ (2565, 209-228) รายงานว่าการใช้สารช่วยติดสีหลังการย้อมสีเส้นไหม ทำให้เส้นไหมทนต่อการซักล้างได้ดีขึ้น ทั้งนี้ระดับความคงทนของสีขึ้นอยู่กับปริมาณของแทนนินในใบฝรั่ง ใบมันสำปะหลัง และใบยาสูบ ที่ทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสี โดยการทำปฏิกิริยากันระหว่างแทนนินกับน้ำย้อม และในหลายครั้งอาจทำให้เกิดเฉดสีใหม่หรือทำให้สีเข้มขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับน้ำย้อม และสารช่วยติดสี

คณะผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าการศึกษาสภาวะการย้อมสีเส้นกก ด้วยการเลือกใช้วัตถุดิบในการย้อมที่คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ย้อมและความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ควบคู่กับการสร้างความหลากหลายของเฉดสีย้อม จะช่วยสร้างความเป็นเอกลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ ผลักดันให้ผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดกลุ่มผลิตภัณฑ์รักษ์โลกได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสีของน้ำย้อมจากดอกอัญชันและผลของการย้อมสีเส้นกกเมื่อใช้น้ำย้อมที่มีค่าความเป็นกรดด่างแตกต่างกัน

2. เพื่อศึกษาคุณภาพสีและความคงทนของสีเส้นกกเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน

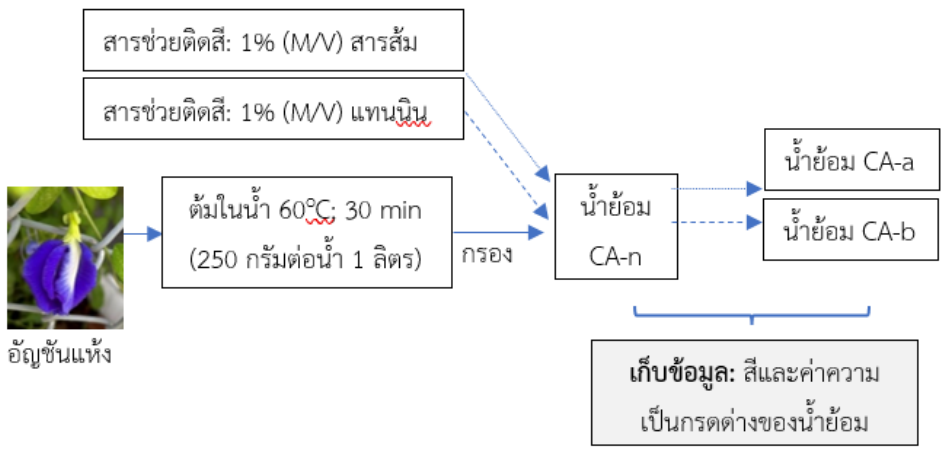
ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการศึกษาสภาวะการย้อมสีแบบจุ่มในน้ำย้อมสำหรับเส้นกกที่มีขนาด (ความหนา x ความกว้าง x ความยาว) ประมาณ 0.2 x 0.5 x 5 เซนติเมตร เมื่อน้ำย้อมจากดอกอัญชันมีค่าความเป็นกรดด่างแตกต่างกัน ด้วยการเลือกใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายที่ใช้ในการปรับค่าความเป็นกรดด่าง ร่วมกับการศึกษาผลของการใช้สารละลายแทนนินเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสารละลายสารส้มเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยติดสี โดยการศึกษาคุณภาพการย้อมสีและความคงทนของสีที่ติดบนเส้นกกเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มีรายละเอียดในการดำเนินงานดังนี้

1. การศึกษาสีของน้ำย้อมจากดอกอัญชันที่มีค่าความเป็นกรดด่างแตกต่างกัน



ภาพที่ 1 การเตรียมน้ำย้อม CA-n, CA-a และ CA-b จากดอกอัญชันแห้ง

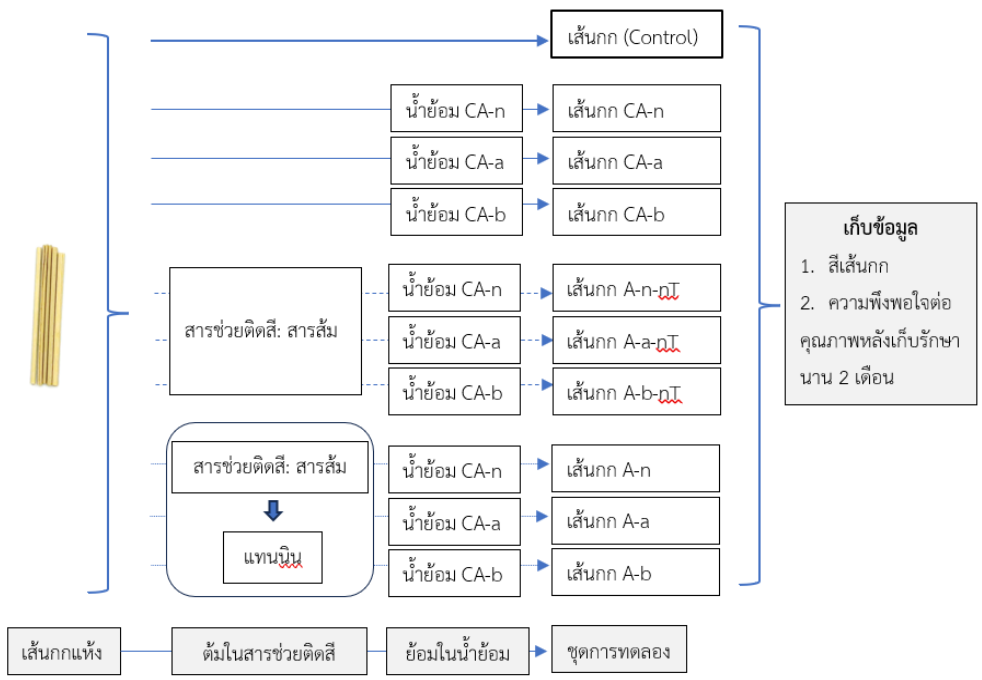
จากภาพที่ 1 การเตรียมสารช่วยติดสี ทั้งสารละลายสารส้ม ($KAl(SO_4)_2$) (CAS No. 10043-67-1; บริษัทเคมีภัณฑ์) และสารละลายแทนนิน (CAS 1401-55-4; LD Carlson company) ใช้วิธีการเตรียมแบบเดียวกันและด้วยความเข้มข้นเท่ากันคือ ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร เริ่มต้นจากการชั่งน้ำหนักสารส้มหรือแทนนิน 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ทั้งนี้การให้ความร้อนอุณหภูมิ 70 - 80 องศาเซลเซียส จะช่วยให้การละลายดีขึ้น

การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับเป็นสารละลายที่เติมลงในน้ำย้อมจากดอกอัญชันจะใช้ความเข้มข้นที่เท่ากัน โดยแต่ละชนิดจะใช้ความเข้มข้นเท่ากัน คือ ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร

การเตรียมน้ำย้อมจากดอกอัญชัน เริ่มต้นจากคัดเลือกดอกอัญชันที่บานเต็มที่ สีม่วงเข้ม และไม่มีร่องรอยของโรคและแมลง นำมาผึ่งในที่ร่มจนแห้ง จากนั้นชั่งน้ำหนัก 250 กรัม และนำไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 1 ลิตร นาน 30 นาที ใช้ผ้าขาวบางกรองเอากากทิ้ง เก็บไว้เฉพาะสีน้ำคั้นดอกอัญชัน และเติมโซเดียมคลอไรด์ 2 กรัม ลงในน้ำคั้น คนให้ละลายเข้ากัน จะได้น้ำย้อมสีจากดอกอัญชันสำหรับใช้ในชุดการทดลอง CA-n หากเพิ่มเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในน้ำย้อม CA-n ปริมาตร 300 มิลลิลิตร จะใช้ในการย้อมสีเส้นกกชุดการทดลอง CA-a แต่หากเพิ่มเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ละลายในน้ำย้อม CA-n ปริมาตร 300 มิลลิลิตร จะใช้ในการย้อมสีเส้นกกชุดการทดลอง CA-b

2. กระบวนการย้อมสี

การศึกษาสภาวะการย้อมสีเส้นกก แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ อธิบายตามปัจจัยที่ต้องการศึกษา ดังนี้



ภาพที่ 2 กระบวนการย้อมสีด้วยสภาวะการย้อมที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 สภาวะ ดังนี้

1) เส้นกกที่ไม่ผ่านกระบวนการย้อมสี (Control) เริ่มต้นด้วยการนำเส้นกกแห้งมาต้มในน้ำอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผึ่งในที่ร่มจนแห้ง และตัดเป็นเส้นขนาด (กว้าง x ยาว) 0.5 x 5 เซนติเมตร สำหรับจัดเป็นชุดควบคุม (Control) และนำไปย้อมสีตามรายละเอียดในแต่ละชุดการทดลอง

2) การย้อมสีในน้ำย้อมที่ศึกษาสภาวะการปรับค่าความเป็นกรดด่าง: ต้มเส้นกกน้ำหนัก 3 กรัมต่อซ้ำ ในน้ำย้อม ทั้งแบบที่ไม่มีการเติมสารละลายใด ๆ (CA-n) น้ำย้อมที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (CA-a) หรือน้ำย้อมที่เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (CA-b) ควบคุมอุณหภูมิน้ำย้อมให้ได้ประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส ต้มนาน 1 ชั่วโมง แล้วนำมาผึ่งในที่ร่มจนแห้งสนิท

3) การย้อมสีในน้ำย้อมที่ศึกษาสภาวะการใช้สารช่วยติดสี ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อม: ในกระบวนการย้อมสีเส้นกกที่มีการใช้สารช่วยติดสี จะนำเส้นกกไปต้มในสารละลายช่วยติดสีนาน 1 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิขณะต้มให้ได้ประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเส้นกกขึ้นมาผึ่งให้สะเด็ดน้ำนาน 15 นาที แล้วนำเข้าสู่กระบวนการต้มในน้ำย้อมอุณหภูมิประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผึ่งในที่ร่มจนแห้งสนิท

(3.1) กรณีใช้สารละลายสารส้มเป็นสารช่วยติดสี จะใช้ในชุดการทดลอง A-n-nT (ไม่ปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อม) ชุดการทดลอง A-a-nT (ปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อมด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก) และชุดการทดลอง A-b-nT (ปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์)

(3.2) กรณีใช้สารละลายสารส้มร่วมกับสารละลายแทนนินเป็นสารช่วยติดสี จะเพิ่มขั้นตอนการใช้สารละลายแทนนิน โดยนำเส้นกกที่ผ่านการต้มในสารละลายสารส้มแล้ว 1 ชั่วโมง เมื่อนำมาผึ่งให้สะเด็ดน้ำแล้วจะนำมาต้มในสารละลายแทนนินอีก 1 ชั่วโมง ผึ่งให้สะเด็ดน้ำอีกครั้ง ก่อนนำไปย้อมในน้ำย้อมสี ซึ่งกระบวนการต้มแต่ละขั้นตอน จะควบคุมอุณหภูมิขณะต้มให้ได้ประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส ใช้ในชุดการทดลอง A-n (ไม่ปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อม) ชุดการทดลอง A-a (ปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อมด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก) และชุดการทดลอง A-b (ปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์)

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

แต่ละชุดการทดลอง จะเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ซ้ำ รายละเอียดดังนี้

1) สีของดอกอัญชัน โดยใช้เครื่องวัดสี (CR10, Konica Minolta) วัดสีบริเวณที่มีสีม่วงเข้ม และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ด้วยค่า L*, a* และค่า b*

2) สีของน้ำย้อมด้วยการสังเกต

3) ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อมจากดอกอัญชัน ที่ผ่านการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เครื่องวัดค่ากรดด่าง (F20 FiveEasy^{TM}, Mettler Toledo)

4) คุณภาพของการย้อมสีเส้นกก โดยใช้วิธีการสังเกตสี ความสม่ำเสมอของสีระหว่างการเก็บรักษาเพื่อคัดเลือกสภาวะการย้อมสีที่ดีที่สุดสำหรับเป็นตัวแทนประเมินคุณภาพสีโดยอาสาสมัคร หลังจำลองการเก็บรักษาในขั้นตอนถัดไป

นำเส้นกกที่ย้อมสีแล้วทุกชุดการทดลองไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 65 - 68 เป็นเวลา 2 เดือน แล้วนำมาเก็บข้อมูลตามรายละเอียดดังนี้

1) สีของเส้นกก โดยใช้เครื่องวัดสี (CR10, Konica Minolta) วัดสีของเส้นกกบริเวณส่วนกลาง และรายงานผลด้วยค่า L*, a* และค่า b* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน (60 วัน) ด้วยการสุ่มตรวจสีบนเส้นกกทุก ๆ 15 วัน

2) ความพึงพอใจต่อคุณภาพการย้อมสีหลังการเก็บรักษานาน 2 เดือน ด้วยการออกแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อสีเส้นกกหลังการย้อม แบบ 5 ระดับคะแนน (Likert's scale) ซึ่งได้รับค่าดัชนีความสอดคล้องของคำถามกับวัตถุประสงค์งานวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งทอ เคมี และหัตถกรรม จำนวน 3 ท่าน ด้วยคะแนน 0.83 คะแนน ก่อนนำไปใช้เก็บข้อมูลจากอาสาสมัครจำนวน 40 คน ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้จะนำไปแปลเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ดังนี้

1.00 - 1.81	หมายถึง	น้อยที่สุด
1.81 - 2.60	หมายถึง	น้อย
2.61 - 3.40	หมายถึง	ปานกลาง
3.41 - 4.20	หมายถึง	มาก
4.21 - 5.00	หมายถึง	มากที่สุด

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะใช้ Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. การศึกษาสีน้ำย้อมจากดอกอัญชัน

เมื่อวัดค่าสีดอกอัญชัน และรายงานตามระบบมาตรฐานสากล (CIE Lab) พบว่า ดอกอัญชันมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 27.37 ส่วนค่า a* ที่แสดงให้เห็นถึงการอยู่ในแกนสีเขียว (-) ถึงสีแดง (+) และค่า b* แสดงให้เห็นถึงการอยู่ในแกนสีน้ำเงิน (-) ถึงสีเหลือง (+) เมื่อวัดค่าสีแล้วพบว่า ดอกอัญชันมีค่า a* และ b* เท่ากับ 14.47 และ 5.57 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดอกอัญชันมีสีน้ำเงินเข้ม (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับภาพที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสีของดอกอัญชัน

วัตถุดิบ	ค่าเฉลี่ยของสี		
	L*	a*	b*
ดอกอัญชันสด	27.37 ± 4.82	14.47 ± 7.68	5.57 ± 1.31

เมื่อนำดอกอัญชันสดมาคั้นเป็นน้ำย้อม แล้วสังเกตสีและวัดค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อม (ตารางที่ 2) พบว่าน้ำย้อมจากสีของดอกอัญชันมีสีน้ำเงิน มีค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นเท่ากับ 4.50 เมื่อปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จะได้น้ำย้อมสีม่วงที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 2.44 หากปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยปริมาณที่เท่ากัน จะได้น้ำย้อมสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.62

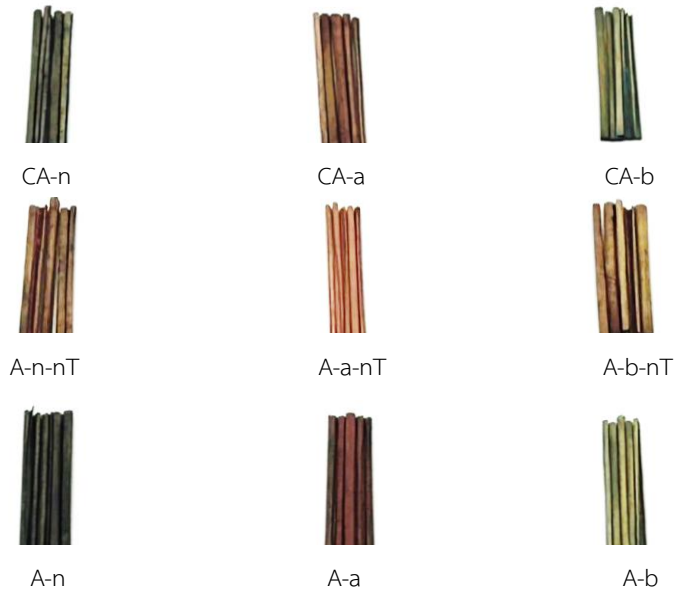
ตารางที่ 2 สีและค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อมจากดอกอัญชัน

ชนิดของสารละลายปรับความเป็นกรดด่าง	สีของน้ำย้อม	ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อม
-	สีน้ำเงิน	4.50 ± 0.09
1% HCl	สีม่วง	2.44 ± 0.07
1% NaOH	สีเขียวแกมน้ำเงิน	7.62 ± 0.04

2. ผลการศึกษาสภาวะการย้อมสีเส้นกกด้วยน้ำย้อมจากดอกอัญชัน

จากภาพที่ 3 แสดงลักษณะปรากฏของเส้นกกหลังจากย้อมสี พบว่า เส้นกกที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าความเป็นกรดสูงที่สุดคือ 2.44 มีเฉดสีน้ำตาลถึงสีแดงอมน้ำตาล (รหัส CA-a, A-a-nT และ A-a) เส้นกกที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมในชุดควบคุมที่มีค่าความเป็นกรดค่อนข้างเป็นกลางคือ 7.62 มีเฉดสีเขียว (รหัส CA-n และรหัส A-n) ยกเว้นชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมสารละลายแทนนิน (รหัส A-n-nT) ที่มีสีน้ำตาลอมเขียว และสุดท้ายคือ เส้นกกที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมที่เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีค่าความเป็นกรดน้อยที่สุดคือ 7.62 เส้นกกมีเฉดสีเขียวด้วยความเข้มที่แตกต่างกัน (รหัส CA-b และรหัส A-b) ยกเว้นเส้นกกที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมที่ไม่มีสารละลายแทนนิน (รหัส A-b-nT) จะได้เส้นกกที่มีสีน้ำตาลปนเขียวคล้ายกับรหัส A-n-nT แต่สีอ่อนกว่า

เมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของการติดสีพบว่า การย้อมสีเส้นกกที่เติมสารช่วยติดสี ช่วยให้สีเส้นกกมีความสม่ำเสมอมากกว่าเส้นกกที่ไม่ใช้สารช่วยติดสี หากเรียงลำดับการติดสีที่สม่ำเสมอแล้วพบว่า เส้นกกที่ใช้สารละลายสารส้มร่วมกับสารละลายแทนนินในการย้อมเป็นสภาวะที่ทำให้สีติดได้ดีที่สุด โดยเฉพาะสภาวะที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกลงในน้ำย้อม (A-a) รองลงมาคือ เส้นกกทีเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกลงในน้ำย้อมและใช้สารละลายสารส้มเป็นสารช่วยติดสีเพียงชนิดเดียว (A-a-nT) (ภาพที่ 3) หากเรียงลำดับแล้วพบว่า รหัส A-b ติดสีดีที่สุด รองลงมาคือรหัส A-a, A-n, A-n-nT, A--nT, A-b-nT, CA-b, CA-n และ CA-a ตามลำดับ



ภาพที่ 3 สีของเส้นกกที่ผ่านการย้อมสีด้วยน้ำย้อมดอกอัญชัน

3. ผลการศึกษาคุณภาพการติดสีเมื่อเก็บรักษานาน 2 เดือน

3.1 การเปลี่ยนแปลงสีของเส้นกก

เมื่อเก็บรักษาเส้นกกทุกชุดการทดลองไว้ที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส ครบ 2 เดือน พบว่า ทุกชุดการทดลอง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า L^* เพิ่มขึ้น แสดงถึงการซีดของสีเส้นกก

การเปลี่ยนแปลงของค่าสีเส้นกก ตั้งแต่หลังย้อมสีและต่อเนื่องจนถึง 60 วัน ซึ่งเส้นกกก่อนย้อมสีมีค่า L^*, a^* และ b^* เท่ากับ 57.47, 8.40 และ 29.17 ตามลำดับ เมื่อย้อมสีแล้ว เส้นกกทั้ง 9 ชุดการทดลอง มีค่า L^* เริ่มต้นตั้งแต่ 22.30 - 34.45 ค่า a^* ตั้งแต่ 2.70 - 26.87 และค่า b^* ตั้งแต่ 5.25 - 14.90 ซึ่งจะเห็นได้จากค่า a^* ว่า เส้นกกที่ย้อมสีแล้วมีเฉดสีเขียว - แดง หลากหลายเฉด สำหรับรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสีของแต่ละชุดการทดลอง แสดงไว้ในจากตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสีของเส้นกกที่ถูกย้อมด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน และเก็บรักษาที่ 28 - 30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน

ตัวอย่าง	วันเริ่มต้น	15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน
ค่า L^*					
Control	57.47 ± 2.25				
CA-n	25.10^{a} ± 1.56	27.40^{b} ± 2.25	27.30^{b} ± 1.56	28.75^{b} ± 2.33	27.65^{b} ± 0.78
CA-a	29.75^{a} ± 0.07	28.25^{a} ± 1.06	31.85^{ab} ± 2.62	32.50^{b} ± 0.71	30.20^{a} ± 1.27
CA-b	34.45^{b} ± 2.05	31.75^{a} ± 0.92	33.75^{b} ± 1.77	36.50^{c} ± 0.99	33.30^{b} ± 1.13
A-n-nT	28.40 ± 3.10	27.53 ± 1.95	26.00 ± 3.57	27.63 ± 2.52	25.07 ± 2.35
A-a-nT	30.57^{a} ± 1.00	31.33^{a} ± 0.49	32.97^{a} ± 2.16	34.17^{b} ± 1.25	31.53^{a} ± 2.78
A-b-nT	29.87^{a} ± 0.76	32.40^{b} ± 1.82	34.43^{c} ± 1.21	34.87^{c} ± 2.10	34.90^{c} ± 3.41
A-n	22.30^{a} ± 2.00	23.93^{a} ± 2.65	25.33^{b} ± 0.64	22.93^{a} ± 3.27	25.83^{b} ± 2.34
A-a	27.00^{a} ± 3.82	26.43^{a} ± 1.96	30.07^{b} ± 2.72	27.57^{a} ± 1.79	28.47^{ab} ± 1.90
A-b	30.33^{a} ± 0.90	29.47^{a} ± 1.17	30.33^{a} ± 1.59	30.87^{a} ± 1.93	33.47^{ab} ± 2.07
ค่า a^*					
Control	8.40 ± 1.87				
CA-n	6.35^{a} ± 0.21	8.05^{b} ± 0.21	9.05^{bc} ± 2.76	7.45^{b} ± 0.78	5.95^{a} ± 0.35
CA-a	18.55^{b} ± 0.49	20.25^{c} ± 0.07	18.90^{b} ± 0.71	16.05^{a} ± 1.77	17.75^{b} ± 0.35
CA-b	2.70^{a} ± 0.28	3.05^{b} ± 0.07	2.90^{b} ± 0.14	3.40^{b} ± 0.42	3.95^{b} ± 1.20
A-n-nT	21.07^{bc} ± 3.46	21.27^{c} ± 2.25	15.73^{a} ± 1.64	19.90^{b} ± 2.61	17.50^{ab} ± 3.70
A-a-nT	26.87^{b} ± 1.67	26.00^{a} ± 1.15	26.77^{ab} ± 0.59	25.03^{a} ± 1.86	24.37^{a} ± 0.31
A-b-nT	17.50^{a} ± 2.98	19.83^{b} ± 2.30	14.80^{a} ± 3.32	17.90^{a} ± 0.75	16.83^{a} ± 3.50
A-n	7.10^{a} ± 1.67	9.17^{b} ± 1.63	9.13^{b} ± 1.27	8.37^{a} ± 1.48	9.33^{b} ± 0.85
A-a	22.87^{c} ± 1.24	22.40^{c} ± 0.10	17.57^{a} ± 2.78	20.97^{b} ± 3.27	20.10^{b} ± 1.18
A-b	4.00^{a} ± 0.53	3.97^{a} ± 1.17	3.87^{a} ± 0.38	4.00^{a} ± 0.30	5.13^{b} ± 1.05

ตารางที่ 3 ค่าสีของเส้นกกที่ถูกย้อมด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน และเก็บรักษาที่ 28 - 30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน (ต่อ)

ตัวอย่าง	วันเริ่มต้น	15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน
			ค่า b^*		
Control	29.17 ± 1.27				
CA-n	5.25^{a} ± 1.48	6.10^{a} ± 0.57	6.70^{a} ± 2.26	7.65^{b} ± 0.49	6.80^{a} ± 1.56
CA-a	11.10 ± 2.40	9.65 ± 1.49	11.25 ± 1.20	10.80 ± 1.57	10.95 ± 0.92
CA-b	10.30^{a} ± 1.70	10.35^{a} ± 1.77	11.40^{a} ± 3.24	12.70^{b} ± 0.28	11.75^{a} ± 0.35
A-n-nT	12.73 ± 3.06	11.40 ± 2.17	10.33 ± 2.50	12.80 ± 3.14	11.47 ± 3.47
A-a-nT	14.90 ± 0.95	14.83 ± 0.46	15.87 ± 1.37	15.20 ± 2.04	15.67 ± 2.42
A-b-nT	14.60^{a} ± 3.05	16.73^{ab} ± 2.15	14.53^{a} ± 2.96	19.47^{c} ± 2.02	20.10^{c} ± 3.30
A-n	6.33^{a} ± 1.37	7.13^{a} ± 2.56	6.37^{a} ± 1.97	6.53^{a} ± 1.80	9.43^{b} ± 2.72
A-a	10.83^{b} ± 2.22	9.83^{a} ± 1.33	10.33^{b} ± 2.87	10.43^{b} ± 0.81	12.27^{bc} ± 1.36
A-b	14.23^{bc} ± 0.70	12.80^{b} ± 1.23	10.67^{a} ± 1.53	13.30^{b} ± 2.33	16.17^{d} ± 1.72

หมายเหตุ ตัวอักษรแนวนอนในชุดการทดลองเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

รหัส A-b-nT (ปรับค่าด้วยสารละลายด่าง ใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี) มีการเปลี่ยนแปลงเร็วที่สุด จากวันแรกเส้นกกมีค่า L^* เท่ากับ 29.87 และในวันสุดท้ายมีค่า L^* เท่ากับ 34.90 เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 16.84 รองลงมาคือ รหัส A-n (ไม่ปรับความเป็นกรดด่าง ใช้สารส้มและแทนนินเป็นสารช่วยติดสี) รหัส A-b (ปรับค่าด้วยสารละลายด่าง ใช้สารส้มและแทนนินเป็นสารช่วยติดสี) รหัส CA-n (ไม่ปรับความเป็นกรดด่าง ไม่ใช้สารช่วยติดสี) รหัส A-a (ปรับค่าด้วยสารละลายกรด ใช้สารส้มและแทนนินเป็นสารช่วยติดสี) รหัส A-a-nT (ปรับค่าด้วยสารละลายกรด ใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดสี) และรหัส CA-a (ปรับค่าด้วยสารละลายกรด ไม่ใช้สารช่วยติดสี) มีการเพิ่มขึ้นของค่า L^* นับจากวันแรกของการเก็บรักษา คิดเป็นร้อยละ 15.83, 10.35, 10.16, 5.44, 3.14 และ 1.51 ตามลำดับ

จากการตรวจสอบค่าสีด้วยค่า a^* จากค่าลบ ($-a^*$) ไปค่าบวก ($+a^*$) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีแดงตามองศาสีในระบบ CIE lab พบว่า เส้นกกที่ถูกย้อมสีด้วยน้ำย้อมจากดอกอัญชันมีค่า a^* แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกอยู่ในเฉดสีเขียว มีค่า a^* เท่ากับ 2.70 - 7.10 ได้แก่ รหัส CA-b, A-b, CA-n และ A-n ตามลำดับ และอีกกลุ่มอยู่ในเฉดสีน้ำตาลถึงสีแดงอมเขียว มีค่า a^* เท่ากับ 17.50 - 26.87 ได้แก่ รหัส A-b-nT, CA-a, A-n-nT, A-a และ A-a-nT ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาครบ 2 เดือน พบว่า ค่า a^* ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในเฉดสีเขียว และเฉดสีน้ำตาลถึงสีแดงอมเขียวเช่นเดิม คือ กลุ่มแรกที่อยู่ในเฉดสีเขียว รหัส CA-b, A-b, CA-n และ A-n มีค่า a^* เท่ากับ 3.95, 5.13, 5.95 และ 9.33 ตามลำดับ และกลุ่มที่ 2 รหัส A-b-nT, CA-a, A-n-nT, A-a และ A-a-nT มีค่า a^* เท่ากับ 16.83, 17.75, 17.50, 20.10 และ 24.37 ตามลำดับ

ค่า b^* แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสีจากเฉดสีน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเฉดสีเหลือง ($+b^*$) ในวันแรกของการย้อมสี เส้นกกมีสีอยู่ในเฉดสีน้ำเงิน ด้วยค่า b^* ตั้งแต่ 5.25 - 14.90 เมื่อเก็บรักษานาน 2 เดือน เส้นกกส่วนใหญ่มีค่า b^* เพิ่มขึ้น มีค่า b^* ตั้งแต่ 6.80 - 20.10 ทั้งนี้ เส้นกกรหัส CA-a, A-n-nT และ A-a-nT มีค่า b^* คงที่ในทางสถิติ ส่วนเส้นกกรหัส A-n, A-b-nT, CA-n, CA-b, A-b และ A-a มีค่า b^* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยจากเดิมมีค่า 6.33, 14.60, 5.25, 10.30,

14.23 และ 10.83 ตามลำดับ เพิ่มขึ้นเป็น 9.43, 20.10, 6.80, 11.75, 16.17 และ 12.27 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประกอบกับค่า L^* แสดงถึงสีเส้นกกมีความเข้มของสีน้ำเงินลดลง

3.2 ความพึงพอใจของอาสาสมัครที่มีต่อคุณภาพสีของเส้นกก

เมื่อนำเส้นกกรหัส A-a ตัวแทนรหัสในเฉดสีแดงอมน้ำตาล และ A-b ตัวแทนรหัสในเฉดสีเขียว ที่ผ่านการคัดเลือกจากการติดสีสม่ำเสมอที่สุด (ภาพที่ 3) เพื่อนำมาทดสอบความพึงพอใจของอาสาสมัคร ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจของอาสาสมัครที่มีต่อเส้นกกที่ผ่านการคัดเลือก

ประเด็น	ความพึงพอใจ			
	A-a		A-b	
	คะแนน	**ความหมาย**	**คะแนน**	**ความหมาย**
รูปทรงปกติ	4.82 ± 0.27	มากที่สุด	4.75 ± 0.32	มากที่สุด
ความสวยงามของสี	4.18 ± 0.33	มาก	3.09 ± 0.42	ปานกลาง
ความชัดเจนของสี	4.60 ± 0.39	มากที่สุด	2.29 ± 0.15	น้อย
ความสม่ำเสมอของสี	3.27 ± 0.20	ปานกลาง	2.64 ± 0.42	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	**3.22 ± 0.30**	**ปานกลาง**	**3.19 ± 0.33**	**ปานกลาง**

จากตารางที่ 4 เส้นกกในชุดการทดลอง A-a ได้รับคะแนนเฉลี่ย 3.22 คะแนน ได้รับความพึงพอใจระดับปานกลาง มากกว่าเส้นกกในชุดการทดลอง A-b ที่ได้รับคะแนนเฉลี่ย 3.19 คะแนน ซึ่งได้รับความพึงพอใจระดับปานกลางเช่นกัน เมื่อพิจารณารายประเด็นพบว่า เส้นกกในชุดการทดลอง A-a ได้คะแนนความพึงพอใจ 2 ประเด็นอยู่ในระดับมากที่สุด คือ การมีรูปทรงเส้นกกปกติ และความชัดเจนของสี ด้วยคะแนนเท่ากับ 4.82 และ 4.60 คะแนน ตามลำดับ รองลงมาคือประเด็นความสวยงามของสี ได้รับความพึงพอใจในระดับมาก ด้วยคะแนน 4.18 คะแนน ส่วนประเด็นความสม่ำเสมอของสีได้รับความพึงพอใจระดับปานกลาง ด้วยคะแนน 3.27 คะแนน สำหรับเส้นกกรหัส A-b ได้รับความพึงพอใจจากอาสาสมัครในระดับมากที่สุดเพียงประเด็นเดียวคือ รูปทรงปกติ ด้วยคะแนน 4.75 คะแนน รองลงมาได้รับความพึงพอใจระดับปานกลางในประเด็นความสวยงามและความสม่ำเสมอของสี ด้วยคะแนน 3.09 และ 2.64 คะแนน และสุดท้ายคือประเด็นความชัดเจนของสี ที่ได้รับความพึงพอใจน้อย ด้วยคะแนน 2.29 คะแนน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

น้ำย้อมสีธรรมชาติจากดอกอัญชันมีสีน้ำเงินเข้ม เป็นกรดอ่อนที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.50 เมื่อปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วนระหว่างสารละลายกรดหรือด่างต่อน้ำย้อม เท่ากับ 1:60 ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างและสีน้ำย้อมเปลี่ยนแปลงจากเดิม จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำย้อมเพิ่มขึ้นจาก 4.50 เป็น 2.44 สีน้ำย้อมจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง หากเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ค่าความเป็นกรดลดลง มีค่าเท่ากับ 7.62 และได้น้ำย้อมเฉดสีใหม่คือ สีเขียวแกมน้ำเงิน

ก่อนการย้อมสีเส้นกกต้องเตรียมพื้นผิววัสดุด้วยการนำเส้นกกมาต้มเพื่อกำจัดคิวทินออก จะช่วยให้การติดสีสม่ำเสมอและชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อศึกษาร่วมกับการใช้สารช่วยติดสีและความเป็นกรดด่างของน้ำย้อม จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเส้นกกที่ต้มในสารช่วยติดสีก่อนการย้อม สีจะติดดีกว่าการย้อมที่ไม่ใช้สารช่วยติดสี โดยเฉพาะการใช้สารละลายสารส้มร่วมกับสารละลายแทนนินจะติดสีสม่ำเสมอที่สุด (รหัส A-n, A-a และ A-b) รองลงมาคือการใช้สารละลายสารส้มชนิดเดียว (รหัส A-n-nT, A-a-nT และ A-b-nT) และการไม่ใช้สารช่วยติดสีในการย้อม (รหัส CA-n, CA-a และ CA-b) เป็นสภาวะที่การติดสีสม่ำเสมอน้อยที่สุด โดยเฉพาะเมื่อน้ำย้อมถูกเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรืออยู่ในสภาวะที่ความเป็นกรดสูง เฉดสีจะยิ่งเข้มขึ้นและสม่ำเสมอมากกว่า ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากไอออนอะลูมิเนียมของสารละลายสารส้มแตกตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ด้วยเหตุนี้เส้นกกรหัส CA-a, A-a-nT และ A-a ที่ถูกย้อมด้วยน้ำย้อมที่มีความเป็นกรดสูง สีของเส้นกกจะเข้มกว่าการย้อมสีในสภาวะเดียวกัน แต่น้ำย้อมมีความเป็นกรดอ่อนกว่า (ภาพที่ 3) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการใช้สารละลายสารส้มร่วมกับสารละลายแทนนินในการช่วยติดสี เพียงแต่หลักการช่วยติดสีของทั้ง 2 วิธีนี้แตกต่างกัน การช่วยติดสีของสารละลายสารส้มเกิดจากไอออนของอะลูมิเนียมที่แตกตัวออกมา เข้าไปสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์กับโมเลกุลของน้ำย้อม เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นและไม่ละลายน้ำ จึงเกาะติดกับพื้นผิวของเส้นกกได้ดียิ่งขึ้น (ปรีชา มูลสิน และคณะ, 2564, 35-40) ในขณะที่การเพิ่มขั้นตอนการนำเส้นกกไปต้มในสารละลายแทนนินหลังจากต้มในสารละลายสารส้ม ไอออนของอะลูมิเนียมของสารส้มจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายแทนนินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำงานร่วมกัน โดยโมเลกุลด้านหนึ่งของแทนนินจะเข้าจับกับเซลลูโลสของเส้นกก และอีกด้านหนึ่งที่มีธาตุอะลูมิเนียมจะเข้าไปสร้างพันธะกับโมเลกุลของน้ำย้อม การติดสีจึงดีกว่าการใช้สารละลายสารส้มเพียงชนิดเดียว (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ม.ป.ป.)

สำหรับการเกิดเฉดสีของเส้นกก เกิดจาก 2 ปัจจัยคือ ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อม และสารช่วยติดสี จากตารางที่ 2 ในสภาวะที่น้ำย้อมจากดอกอัญชันมีความเป็นกรดสูง (pH = 2.44) น้ำย้อมจะมีสีม่วง เมื่อย้อมสีจะได้เส้นกกสีน้ำตาลแดง (รหัส CA-a) เมื่อน้ำย้อมมีค่าความเป็นกรดลดลง (pH = 4.50 - 7.62) เส้นกกที่ถูกย้อมจะแสดงเฉดสีเขียว (รหัส CA-n และ CA-b) แตกต่างจากการย้อมสีที่มีการใช้สารช่วยติดสี ซึ่งการใช้สารละลายสารส้มเป็นสารช่วยติดสีชนิดเดียว จะได้เส้นกกเฉดสีน้ำตาลแดงที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน เป็นผลมาจากสารละลายสารส้มเป็นสารที่ไม่มีสี จึงไม่รบกวนสีของน้ำย้อม แต่จะทำให้สีสว่างขึ้น ด้วยเหตุนี้เส้นกกรหัส A-n-nT, A-a-nT และ A-b-nT จึงมีค่า L^* เท่ากับ 28.40 - 30.57 มากกว่าเส้นกกที่ย้อมด้วยน้ำย้อมสภาวะเดียวกัน ในทางกลับกัน เมื่อนำสารละลายแทนนินมาเป็นสารช่วยติดสีร่วมกับสารละลายสารส้ม จะเกิดเฉดสีใหม่ 2 เฉดสี ตามค่าความเป็นกรดด่างของน้ำย้อม คือเมื่อน้ำย้อมมีความเป็นกรดแก่ (pH = 2.44) เส้นกกรหัส A-a มีสีแดงอมน้ำตาล เป็นสภาวะที่มีสารสีแดงของ flavylium cation ปริมาณมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ ลลิดา ฉายาวัฒน์ และคณะ (2568) ที่เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยปริมาณที่เท่ากับงานวิจัยนี้ลงในน้ำย้อมของผลสุกมะม่วงหาวมะนาวโห่ จะได้น้ำย้อมที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 2.61 - 4.10 ซึ่งเป็นกรดแก่และเสถียร โครงสร้างโมเลกุลของแอนโธไซยานินจึงอยู่ในรูปของ flavylium cation ที่ให้สีแดงและมีความเสถียรสูง (รัตนา ม่วงรัตน์ และคณะ, 2557, 368-380) เมื่อย้อมสีเส้นกกด้วยผลสุกมะม่วงหาวมะนาวโห่ในสภาวะเดียวกัน จึงได้เฉดสีแดงเพียงเฉดเดียว อย่างไรก็ตาม จากภาพที่ 3 พบว่า เส้นกกรหัส A-n ที่ใช้น้ำย้อมจากดอกอัญชันที่มีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 4.50 จะได้เส้นกกโทนสีเขียวอมแดง แสดงให้เห็นว่า flavylium cation ในน้ำย้อมของดอกอัญชันมีความเสถียรน้อยกว่าน้ำย้อมของ

ผลสุกมะม่วงหาวมะนาวโห่ ด้วยสภาวะดังกล่าว โมเลกุลของ flavylium cation จะถูกไฮเดรชั่นไปเป็น cabinal base ที่ไม่มีสี สารเทอร์นาตินในกลีบดอกอัญชันที่ให้สีน้ำเงินจึงแสดงลักษณะสีออกมา ทำให้เส้นกกเกิดเฉดสีผสมระหว่างสีน้ำเงินของสารเทอร์นาตินและสารสีแดงของ flavylium cation (สินีนาฏ ภูมีศรี และ ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย, 2558, 41-51; Gamage et al., 2021) เมื่อน้ำย้อมมีค่าความเป็นกรดลดลง ปริมาณ cabinal base จะยิ่งเพิ่มขึ้น จึงเห็นได้ว่าเส้นกกรหัส A-b มีค่าความสว่าง (L^*) มากถึง 30.33

จากการจำลองสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน พบว่า การย้อมสีในสภาวะที่น้ำย้อมมีความเป็นกรดจะให้สีที่คงทนมากกว่าการย้อมสีในสภาวะที่น้ำย้อมมีความเป็นด่าง อย่างไรก็ตาม แอนโธไซยานินสามารถสลายตัวได้ ซึ่งโครงสร้างของ flavylium จะเปลี่ยนเป็น chalcone ที่ไม่มีสี และจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหากค่าความเป็นกรดลดลงหรือได้รับอุณหภูมิสูง (Enaru et al., 2021) ด้วยเหตุนี้เมื่อเก็บรักษาเส้นกกเป็นเวลานาน สีของเส้นกกจึงซีดและมีค่า L^* เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับผลการประเมินความพึงพอใจในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เส้นกกรหัส A-b ได้รับความพึงพอใจต่อความชัดเจนของสีอยู่ในระดับน้อย ด้วยคะแนนเพียง 2.29 คะแนน และความพึงพอใจต่อความสม่ำเสมอของสีอยู่ในระดับปานกลาง ด้วยคะแนน 2.64 คะแนน ในขณะที่เส้นกกรหัส A-a ที่ย้อมด้วยน้ำย้อมที่มีค่าความเป็นกรดมากกว่ารหัส A-b ได้รับความพึงพอใจต่อความชัดเจนของสีอยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยคะแนน 4.60 คะแนน แม้จะได้รับคะแนนความพึงพอใจต่อความสม่ำเสมอของสีอยู่ในระดับปานกลางก็ตาม

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาคุณภาพการย้อมสีเส้นกกจากดอกแห้งของดอกอัญชันเพื่อสนับสนุนการสำรองวัตถุดิบให้มีใช้ตลอดปี และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเส้นกกเมื่อถูกเก็บในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (ม.ป.ป.). **การย้อมสีเส้นกกด้วยสีธรรมชาติ.** ค้นเมื่อ ธันวาคม 5, 2568 จาก http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2562_ 68_209_P21-23.pdf.

นิรมล จิตต์สมหมาย และ จิตนภา วรนิติกุล. (2565). **การตรวจวิเคราะห์อะโรมาติกเอมีนปฐมภูมิ (Primary Aromatic Amines, PAAs) ที่ปนเปื้อนจากวัสดุสัมผัสอาหาร (Food Contact Material).** ค้นเมื่อ ธันวาคม 5, 2568 จาก https://www.scispec.co.th/app/2024TH/AN24_PAAs_LCMSMS.pdf.

ปรีชา มูลสิน ทันทิรา พันชารี และ กนกกรณ์ ศิริทิพย์. (2564). การศึกษาการย้อมสีธรรมชาติจากใบยางพารา โดยใช้สารส้ม จุนสี และสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี. **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2 (1),** 35-40.

รัตนา ม่วงรัตน์ กรวิกา สกุลไกรพีระ ธัญญารัตน์ บุระคำ และ ลีลาวดี ชมนาน. (2557). ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวโพดสีม่วง. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 22 (3),** 368-380.

ลลิดา ฉายาวัฒน์ นันทวัน หัตถมาศ พันธ์ทิพย์ เลิศบุรุษ และ มนสินี ดาบเงิน. (2568). การพัฒนาวิธีการย้อมสีเส้นกกด้วยน้ำย้อมจากผลมะม่วงหาวมะนาวโห่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 27 (1),** 69-79.

วิชชุดา ยิ่งนคร พรทิพย์ ธูปถมพงศ์ บุษรา จงรวยทรัพย์ ชุติพร ณ ลำปาง และ กฤตไชย พลินทรนันท์. (2565). **ผลของสารช่วยติดสีธรรมชาติต่อเฉดสีและความคงทนของสีของเส้นไหมที่ย้อมสีจากฝาง [รายงานผลการวิจัยหม่อนไหม ประจำปี 2565].** ค้นเมื่อ ธันวาคม 5, 2568 จาก https://qsds.go.th/newosrd/wpcontent/uploads/sites/115/2024/05/R12.pdf.

สินีนาฏ ภูมีศรี และ ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. (2558). การหาปริมาณแอนโทไซยานินและผลของไอออนอะลูมิเนียมต่อเสถียรภาพของน้ำเม่า. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 15 (1),** 41-51.

Ardila-Leal, L. D., Poutou-Piñales, R. A., Pedroza-Rodriguez, A. M., and Quevedo-Hidalgo, B. E. (2021). A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. **Molecules, 26 (13),** 3813.

Enaru, B., Dretcanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A., and Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. **Antioxidants, 10 (12),** 1967.

Gamage, G. C. V., Lim, Y. Y., and Choo, W. S. (2021). Anthocyanins from *Clitoria* ternatea flower: Biosynthesis, extraction, stability, antioxidant activity, and applications. **Frontiers in Plant Science, 12.**

Sangkhaha, C., kruamek, S., Supawan, P., Wattanathum, C., and Sawasdee, A. (2024). Reed Dyeing from Color Plants in Khao Phluang Forest and Neighborhood of Chai Badan Phiphat College, Chai Badan District, Lopburi Province. **Asia Social Issues, 17 (6),** 1-10.

การพัฒนาสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์ 19-TBDPS-8,17-Epoxy Andrographolide เพื่อการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

DEVELOPMENT OF AN OPTIMIZED SYNTHETIC PROCESS FOR 19-TBDPS-8,17-EPOXY ANDROGRAPHOLIDE TOWARD INDUSTRIAL APPLICATION

จินต์จุฑา พะมะราภา[1)], สุนิษา สุวรรณเจริญ[2),3)], อาภาพร บุญมี[2),3)] และ ธีรพิชญ์ เกษมสุข[2),3)*]

[1)] นักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

[2)] สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

[3)] หน่วยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรเพื่อสุขภาพและความงาม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Jinjutha Pamarapa[1)], Sunisa Suwancharoen[2),3)], Apaporn Boonmee[2),3)], Teerapich Kasemsuk[2),3)*]

[1)] Undergraduate Student Science in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University.

[2)] Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University.

[3)] Herbal Product for Health and Beauty Research and Development Center, Rambhai Barni Rajabhat University.

*Corresponding author e-mail: teerapich.k@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide เป็นสารตั้งต้นที่มีศักยภาพสูงสำหรับการพัฒนาเป็นยาต้านมะเร็งชนิดใหม่ อย่างไรก็ตามวิธีการสังเคราะห์ที่มีรายงานก่อนหน้านี้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสาร andrographolide ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ การใช้รีเอเจนต์ในปริมาณมาก และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่ยาวนาน ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมต่อการขยายขนาดการผลิต โดยแยกสาร andrographolide บริสุทธิ์จากต้นฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees) ด้วยวิธีการสกัดอย่างง่ายผ่านเทคนิคการหมักแช่ในเอทิลอะซิเตท (ethyl acetate) และตกผลึกด้วยเมทานอล (methanol) จากนั้นสังเคราะห์อนุพันธ์เป้าหมายผ่านปฏิกิริยาสองขั้นตอน ได้แก่ ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation) และปฏิกิริยาไซลิลเลชัน (silylation) ตามลำดับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน คือ ใช้ปริมาณ *m*-CPBA 1.5 eq. ในระบบตัวทำละลายผสม $CHCl_3/H_2O$ อัตราส่วน 5:1 ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง สำหรับปฏิกิริยาไซลิลเลชัน ใช้ปริมาณ TBDPSCl 3.0 eq. ใน pyridine เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์ที่สามารถลดการใช้รีเอเจนต์ และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ช่วยลดต้นทุนการผลิต และมีการใช้ตัวทำละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการดังกล่าวมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบของกระบวนการสังเคราะห์สารตั้งต้นสำหรับยาต้านมะเร็งในระดับที่สูงขึ้น

คำสำคัญ: 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide กระบวนการสังเคราะห์ ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ปฏิกิริยาไซลิลเลชัน

ABSTRACT

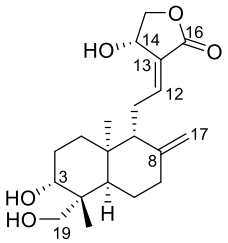
19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide is considered a promising precursor for the development of novel anticancer agents. However, previously reported synthetic approaches based on structural modification of andrographolide remain limited by excessive reagent consumption and prolonged reaction times, thereby restricting their industrial applicability. In this study, an efficient and scalable synthetic methodology was developed. Pure andrographolide was isolated from *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees via a simple maceration extraction with ethyl acetate, followed by crystallization with methanol. The target derivative was synthesized through a two-step sequence comprising epoxidation and silylation reactions. Optimal epoxidation was achieved using *m*-CPBA (1.5 eq.) in a $CHCl_3/H_2O$ (5:1) solvent system at 50 °C for 5 h, while silylation was efficiently performed with TBDPSCl (3.0 eq.) in pyridine for 1 h. This optimized method significantly reduces the amount of reagents and reaction time, lowers production costs, and incorporates water as part of the solvent system, thereby enhancing environmental compatibility. Overall, the developed process shows strong potential as a prototype synthetic platform for the large-scale preparation of anticancer drug precursors.

Keywords: 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide, synthetic methodology, epoxidation, silylation

บทนำ

โรคมะเร็งเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก แม้ว่าความก้าวหน้าทางการแพทย์จะช่วยพัฒนาวิธีการรักษาอย่างต่อเนื่อง แต่การค้นคว้าและพัฒนายาต้านมะเร็งชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และสามารถผลิตได้ในเชิงพาณิชย์ ยังคงเป็นประเด็นสำคัญ โดยเฉพาะการใช้ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติจากสมุนไพรเป็นแหล่งสารตั้งต้นในการพัฒนายา (Izzo and Stefanska, 2025, 2069-2074; Mali, 2023; Naeem et al., 2022; Negi and Jain, 2022, 367-447; Setiawati et al., 2022, 729-289) ฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata* (Burm. F.) Nees) เป็นสมุนไพรไทยที่ได้รับการบรรจุอยู่ในบัญชียาหลักแห่งชาติ และมีการใช้ในทางการแพทย์แผนไทยและแผนปัจจุบันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีสารสำคัญหลัก คือ andrographolide (ภาพที่ 1) เป็นสารกลุ่ม diterpenoid lactone ที่แสดงฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลาย อาทิ ต้านการอักเสบ ต้านเชื้อแบคทีเรียและไวรัสกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งหลายชนิด (Chao and Lin, 2010, 17; Islam et al., 2018, 129-145; Yerragunta et al., 2021, 1-9; Zeng et al., 2022, 336-364) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของ andrographolide สามารถช่วยเพิ่มฤทธิ์ทางชีวภาพได้หลากหลาย (Kumar et al., 2020, 103511; Latif and Wang, 2020, 760-769; Zhang et al., 2021, 113710) โดยเฉพาะ

อย่างยิ่งฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งเม็ดเลือดขาว มะเร็งเต้านม มะเร็งตับ มะเร็งปอด มะเร็งลำไส้ และมะเร็งระบบประสาท ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Hu et al., 2024, 117438; Kasemsuk et al., 2013, 1454-1464; Messire et al., 2024, 2884; Sirion et al., 2012, 49-52; Sirion et al., 2017, 1653-1663) และหนึ่งในอนุพันธ์สังเคราะห์ที่มีศักยภาพสูงที่มีฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งได้ดีกว่ายาต้านมะเร็งบางชนิด คืออนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ topoisomerase IIα ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการจำลองตัวของเซลล์มะเร็ง อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีการสังเคราะห์อนุพันธ์ดังกล่าวยังมีข้อจำกัดด้านการใช้รีเอเจนต์ในปริมาณสูง ความเป็นพิษของสารเคมี และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่ยาวนาน จึงไม่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม (Nateewattana et al., 2013, 320-332) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide ที่มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นเพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยาต้านมะเร็ง



Andrographolide **1**

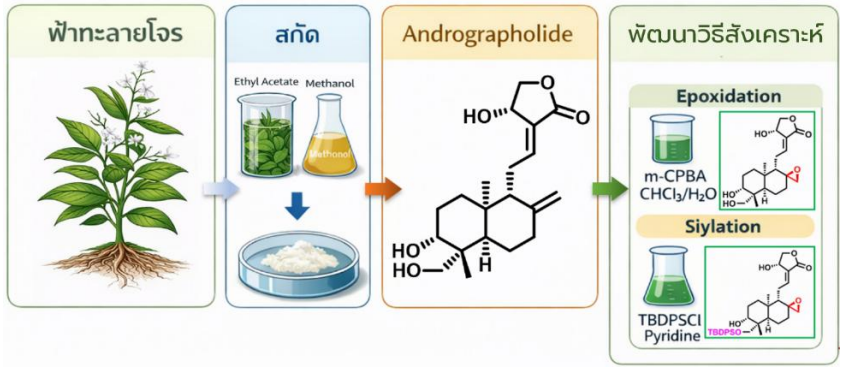
ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสาร andrographolide

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนากรรมวิธีการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide จาก andrographolide บริสุทธิ์ที่สกัดได้จากต้นฟ้าทะลายโจร โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์ที่ลดการใช้รีเอเจนต์ และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา ลดต้นทุนการผลิต และมีการใช้ตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ขอบเขตของการวิจัย

สังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide จาก andrographolide บริสุทธิ์ที่สกัดได้จากสมุนไพรฟ้าทะลายโจรผ่านปฏิกิริยาทางเคมี 2 ขั้นตอน ได้แก่ ปฏิกิริยา epoxidation ของ andrographolide กับ *m*-CPBA และตัวทำละลายผสม $CHCl_3/H_2O$ และปฏิกิริยา silylation ของ 8,17-epoxy andrographolide กับ TBDPSCl ใน pyridine ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide จาก andrographolide

วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์และสารเคมี

การยืนยันโครงสร้างของสารโดยเทคนิค ^{1}H-NMR spectroscopy ที่ความถี่ 400 MHz และ ^{13}C-NMR spectroscopy ที่ความถี่ 100 MHz ของบริษัท Bruker Avance III HD 400 MHz โดยใช้ตัวทำละลาย $CDCl_3$ และ CD_3OD ในการวัด และรายงานค่า chemical shift เป็นค่า δ หน่วย ppm เทียบกับ tetramethylsilane (δ = 0.00) หรือ $CDCl_3$ (δ = 7.26; สำหรับ ^{1}H-NMR และ δ = 77.0; สำหรับ ^{13}C-NMR) หรือ CD_3OD (δ = 3.31; สำหรับ ^{1}H-NMR และ δ = 49.0; สำหรับ ^{13}C-NMR) ซึ่งใช้เป็นสารอ้างอิง การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (TLC) ดำเนินการบนแผ่น TLC เคลือบซิลิกาเจลสำเร็จรูป silica gel 60F-254 (E. Merck, Darmstadt, Germany) ส่วนการแยกสารด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟีใช้ซิลิกาเจล silica gel 60 PF254 (E. Merck, Darmstadt, Germany) สารเคมีและรีเอเจนต์ (reagents) ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยเลือกของบริษัท Merck, Sigma-Aldrich, TCI และ Fluka)

การสกัด Andrographolide 1 จากต้นฟ้าทะลายโจร

นำทุกส่วนเหนือดิน (ใบ ลำต้น กิ่ง และดอก) ของต้นฟ้าทะลายโจรที่เก็บในช่วงออกดอก ซึ่งผ่านการตากและอบแห้งชั่งน้ำหนัก 1.00 kg มาสกัดด้วยเทคนิคการหมักแช่ใน ethyl acetate (EtOAc) และทำบริสุทธิ์ด้วยเทคนิคการตกผลึกโดยใช้ methanol โดยวิธีการตามอนุสิทธิบัตรเลขที่ 23291 (รุ่งนภา แซ่เอ็ง และคณะ, 2567) พบว่าได้ andrographolide **1** ลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลอ่อน หนัก 30.21 กรัม คิดเป็นร้อยละ 3 สารบริสุทธิ์ที่แยกได้ยืนยันเอกลักษณ์โดยเทคนิค NMR-spectroscopy

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุพันธ์ 8,17-epoxy andrographolide

นำ andrographolide **1** (50 mg, 0.143 mmol) ใส่ในหลอดทำปฏิกิริยาเติมตัวทำละลายคนด้วย magnetic stirrer และเติม 3-chloroperbenzoic acid (*m*-CPBA) ดังตารางที่ 1 คนต่อจนเกิดปฏิกิริยาหมด (ทำการตรวจสอบปฏิกิริยาด้วยเทคนิค Thin-Layer Chromatography (TLC) โดยใช้ระบบตัวทำละลาย 100% EtOAc)) หยุดปฏิกิริยาโดยเติมสารละลายอิ่มตัว $NaHCO_3$ 10 ml สกัดด้วย EtOAc 10 ml จำนวน 3 ครั้ง ล้างด้วยน้ำ 10 ml จำนวน 1 ครั้ง และสารละลายอิ่มตัว NaCl จำนวน 1 ครั้ง ดูดความชื้นด้วย Na_2SO_4 anh. กรองและระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค column chromatography (CC)

โดยใช้ระบบตัวทำละลาย 100% EtOAc และทำให้แห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ **2** ลักษณะเป็นของแข็งสีขาว สารบริสุทธิ์ที่ได้ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาร้อยละผลผลิต จากนั้นพิสูจน์เอกลักษณ์โดยเทคนิค NMR-spectroscopy

ตารางที่ 1 สภาวะการสังเคราะห์อนุพันธ์ 8,17-epoxy andrographolide **2**

ตัวทำละลาย (อัตราส่วน)	ปริมาณ *m*-CPBA		อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (h)
	mg	eq.		
CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	40	2.0	อุณหภูมิห้อง	15
CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	37	1.5	อุณหภูมิห้อง	10
CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	32	1.3	อุณหภูมิห้อง	19
CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	27	1.1	อุณหภูมิห้อง	19
CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	37	1.5	50	5
CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	37	1.5	60	4
CH_2Cl_2/MeOH (1:1)	37	1.5	50	7
CH_2Cl_2/EtOH (5:1)	37	1.5	50	19
CH_2Cl_2/H_2O (5:1)	37	1.5	50	19
$CHCl_3$/MeOH (5:1)	37	1.5	50	5
$CHCl_3$/H_2O (5:1)	37	1.5	50	5
$CHCl_3$/H_2O (1:1)	37	1.5	50	6
$CHCl_3$/H_2O (1:5)	37	1.5	50	6
$CHCl_3$/H_2O (20:1)	37	1.5	50	5
CH_2Cl_2	37	1.5	50	7
$CHCl_3$	37	1.5	50	5
MeOH	37	1.5	50	19
EtOH	37	1.5	50	19

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrograolide 3

ชั่ง 8,17-epoxy andrographolide **2** (50 mg, 0.6820 mmol) ใส่ในหลอดทำปฏิกิริยา จากนั้นละลายด้วยตัวทำละลาย คนด้วย magnetic stirrer เติม *tert*-butyldiphenylchlorosilane (TBDPSCl) ที่อุณหภูมิห้อง ดังตารางที่ 2 คนต่อจนกระทั่งสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาจนหมด (ทำการตรวจสอบปฏิกิริยาด้วยเทคนิค TLC โดยใช้ระบบตัวทำละลาย 60% EtOAc/Hexane) หยุดปฏิกิริยาสารละลายอิ่มตัว NH_4Cl 10 ml สกัดต่อด้วย EtOAc 10 ml จำนวน 3 ครั้ง ล้างด้วยน้ำ 10 ml จำนวน 1 ครั้ง และสารละลายอิ่มตัว NaCl 10 ml จำนวน 1 ครั้ง ดูดความชื้นด้วย Na_2SO_4 anh. กรองและระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค CC โดยใช้ระบบตัวทำละลาย 60% EtOAc/Hexane และทำให้แห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ **3**

ลักษณะเป็นของแข็งสีขาว สารบริสุทธิ์ที่ได้ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาร้อยละผลผลิต จากนั้นพิสูจน์เอกลักษณ์โดยเทคนิค NMR-spectroscopy

ตารางที่ 2 สภาวะการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3**

การทดลองที่	ปริมาณ TBDPSCl (eq.)	ตัวทำละลาย (1 ml)	เบส	เวลา (h)
1	5.0	Pyridine		1.0
2	3.0	Pyridine		1.0
3	2.0	Pyridine		2.0
4	1.1	Pyridine		3.0
5	3.0	DMF	Imidazole (3.0 eq.)	24.0

การประยุกต์สภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide

ขั้นที่ 1 นำ andrographolide **1** (5.0 g, 14.3 mmol) ใส่ในขวดก้นกลม เติมตัวทำละลาย CH_3Cl/H_2O อัตราส่วน 5:1 ปริมาตร 50 ml คนด้วย magnetic stirrer เติม m-CPBA (3.70 g, 21.4 mmol) คนต่อที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยด้วยสารละลายอิ่มตัว $NaHCO_3$ ที่เย็น 100 ml สกัดด้วย EtOAc 100 ml จำนวน 3 ครั้ง ล้างด้วยน้ำ 100 ml จำนวน 1 ครั้ง และสารละลายอิ่มตัว NaCl จำนวน 1 ครั้ง ดูดความชื้นด้วย Na_2SO_4 anh. กรองและระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค CC โดยใช้ระบบตัวทำละลาย 100% EtOAc จะได้ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์ **2** ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาร้อยละผลผลิต จากนั้นสังเคราะห์ซ้ำอีก 2 ครั้ง

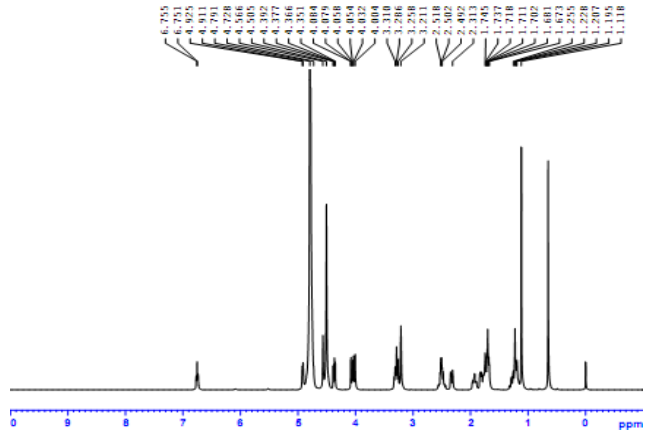
ขั้นที่ 2 นำผลิตภัณฑ์ **2** ที่ได้มาสังเคราะห์ต่อโดยชั่งน้ำหนัก 1.0 g (2.73 mmol) ใส่ในขวดก้นกลม ละลายด้วย pyridine คนด้วย magnetic stirrer เติม TBDPSCl (2.13 ml, 8.19 mmol) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาสารละลายอิ่มตัว NH_4Cl 100 ml สกัดด้วย EtOAc 100 ml จำนวน 3 ครั้ง ล้างด้วยน้ำ 100 ml จำนวน 1 ครั้ง และสารละลายอิ่มตัว NaCl 100 ml จำนวน 1 ครั้ง ดูดความชื้นด้วย Na_2SO_4 anh. กรองและระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค CC โดยใช้ระบบตัวทำละลาย 60% EtOAc/Hexane จะได้ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์ **3** ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาร้อยละผลผลิต จากนั้นสังเคราะห์ซ้ำอีก 2 ครั้ง

ผลการวิจัย

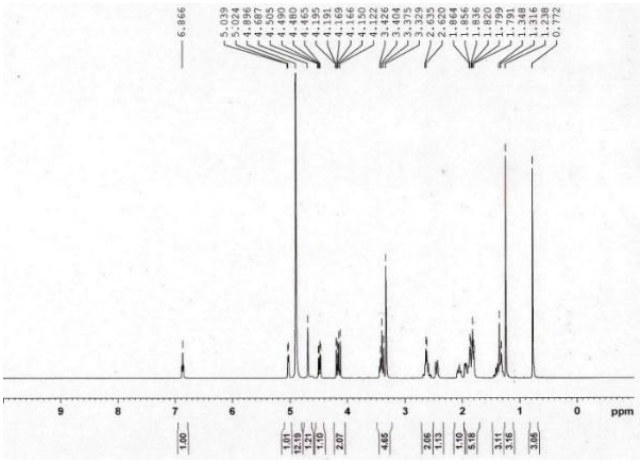
การสกัดสาร Andrographolide จากต้นฟ้าทะลายโจร

การสกัดแยกสาร andrographolide **1** จากทุกส่วนเหนือดินของต้นฟ้าทะลายโจรแห้งหนัก 1.00 kg โดยเทคนิคการหมักแช่ด้วยตัวทำละลาย EtOAc และทำบริสุทธิ์โดยเทคนิคการตกผลึกด้วย methanol ตามวิธีการในอนุสิทธิบัตรเลขที่ 23291 (รุ่งนภา แซ่เอ็ง และคณะ, 2567) พบว่า ได้ andrographolide **1** ลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลอ่อน หนัก 30.21 g คิดเป็นร้อยละ 3 เมื่อยืนยันโครงสร้างด้วยเทคนิค ^{1}H-NMR เทียบกับสารมาตรฐาน

andrographolide จากบริษัท Sigma-Aldrich โดยใช้ตัวทำละลาย CD_3OD พบว่า มีลักษณะสเปกตรัมใกล้เคียงกันมากดังภาพที่ 3 และ 4

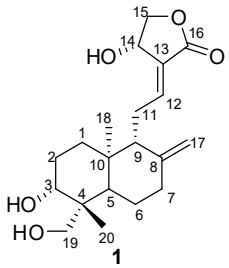


ภาพที่ 3 ^{1}H-NMR ของสาร andrographolide **1** จากบริษัท Aldrich



ภาพที่ 4 ^{1}H-NMR ของสาร andrographolide **1** จากการสกัดแยกต้นฟ้าทะลายโจร

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร andrographolide **1** ที่สกัดได้โดยเทคนิค ^{1}H-NMR และ ^{13}C-NMR แสดงดังนี้



1

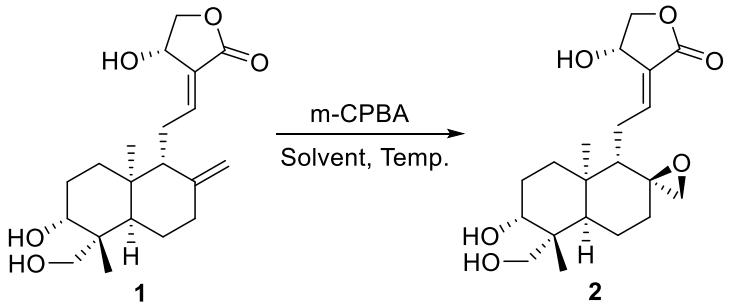
ภาพที่ 5 การวิเคราะห์โครงสร้างสาร andrographolide **1**

สาร **1** : ^{1}H-NMR (400 MHz, MeOD) : δ 0.65 (3H, s, H-20), 1.11 (3H, s, H-18), 1.15-1.35 (4H, m, H-1, H-6), 1.64-1.98 (5H, m, H-2, H-5, H-7), 2.33 (1H, dt, *J* = 7.0, 2.0 Hz, H-9), 2.43-2.58 (2H, m, H-11), 3.17-3.23 (1H, m, H-3), 3.27 (1H, d, *J* = 11.0 Hz, H-19a), 4.02 (1H, d, *J* = 11.0 Hz, H-19b), 4.07 (1H, dd, *J* = 10.0, 2.0 Hz, H-15a), 4.37 (1H, dd, *J* = 10.0, 6.0 Hz, H-15b), 4.57 (1H, brs, H-17a), 4.79 (1H, brs, H-17b), 4.92 (1H, d, *J* = 6.0 Hz, H-14), 6.76 (1H, td, *J* = 6.0, 1.0 Hz, H-12)

^{13}C-NMR (100 MHz, MeOD) : δ 15.54 (C-20), 23.37 (C-18), 25.20 (C-11), 25.73 (C-6), 29.00 (C-2), 38.13 (C-1), 38.96 (C-7), 39.96 (C-10), 43.68 (C-4), 56.32 (C-5), 57.38 (C-9), 64.96 (C-19), 66.64 (C-14), 76.17 (C-15), 80.92 (C-3), 109.24 (C-17), 129.74 (C-13), 148.76 (C-8), 149.48 (C-12), 172.72 (C-16)

การศึกษาวิธีการสังเคราะห์ 8,17-epoxy andrographolide 2

การสังเคราะห์สาร 8,17-epoxy andrographolide **2** โดยทำปฏิกิริยา epoxidation ของ andrographolide **1** ดังภาพที่ 6 ได้ศึกษาปริมาณ *m*-CPBA ผลของอุณหภูมิ และชนิดของตัวทำละลาย แสดงผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 6 การสังเคราะห์อนุพันธ์ 8,17-epoxy andrographolide **2**

ตารางที่ 3 แสดงผลของสภาวะการสังเคราะห์อนุพันธ์ 8,17-epoxy andrographolide **2**

การทดลองที่	**ตัวทำละลาย (อัตราส่วน)**	**ปริมาณ *m*-CPBA (eq.)**	**อุณหภูมิ (°C)**	**ระยะเวลา (h)**	**ร้อยละผลิตภัณฑ์**
1	CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	2.0	อุณหภูมิห้อง	15	27
2	CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	1.5	อุณหภูมิห้อง	10	60
3	CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	1.3	อุณหภูมิห้อง	19	57
4	CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	1.1	อุณหภูมิห้อง	19	43
5	CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	1.5	50	5	37
6	CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	1.5	60	4	38
7	CH_2Cl_2/MeOH (1:1)	1.5	50	7	45
8	CH_2Cl_2/EtOH (5:1)	1.5	50	19	26
9	CH_2Cl_2/H_2O (5:1)	1.5	50	19	50
10	$CHCl_3$/MeOH (5:1)	1.5	50	5	50

ตารางที่ 3 แสดงผลของสภาวะการสังเคราะห์อนุพันธ์ 8,17-epoxy andrographolide **2** (ต่อ)

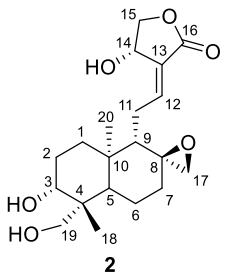
การทดลองที่	ตัวทำละลาย (อัตราส่วน)	ปริมาณ *m*-CPBA (eq.)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (h)	ร้อยละผลิตภัณฑ์
11	$CHCl_3/H_2O$ (5:1)	1.5	50	5	52
12	$CHCl_3/H_2O$ (1:1)	1.5	50	6	44
13	$CHCl_3/H_2O$ (1:5)	1.5	50	6	28
14	$CHCl_3/H_2O$ (20:1)	1.5	50	5	32
15	CH_2Cl_2	1.5	50	7	50
16	$CHCl_3$	1.5	50	5	54
17	MeOH	1.5	50	19	45
18	EtOH	1.5	50	19	25

จากผลการทดลองดังตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของ *m*-CPBA (การทดลองที่ 1 - 4) เป็นตัวออกซิไดซ์ในปฏิกิริยา epoxidation ในตัวทำละลาย CH_2Cl_2/MeOH (5:1) ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณ *m*-CPBA ที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยานี้ คือ 1.5 เท่าของสารตั้งต้น andrographolide เนื่องจากใช้เวลาในการสังเคราะห์ 10 ชั่วโมง สามารถให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงถึงร้อยละ 60 เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุพันธ์ **2** พบว่า การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องจะให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงถึง 60% ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 10 ชั่วโมง (การทดลองที่ 2) หากทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 °C (การทดลองที่ 5) ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 5 ชั่วโมง สามารถให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ 37% และเมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้ระยะเวลาเพียง 4 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ 38% (การทดลองที่ 6) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ลดลง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องจะให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงที่สุด แต่จะต้องใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์นานกว่าการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 50 °C ถึงสองเท่า และการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C จะให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงกว่าที่อุณหภูมิ 50 °C แต่ก็ไม่มีความแตกต่างของร้อยละผลิตภัณฑ์ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยานี้ คือ 50 °C เพราะสามารถลดระยะเวลาการสังเคราะห์ลงได้ถึงสองเท่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง และใช้อุณหภูมิไม่สูงจนเกินไป การเปรียบเทียบชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมดังการทดลองที่ 5 และ 7 - 18 เมื่อใช้ตัวทำละลายผสมระหว่าง CH_2Cl_2/MeOH อัตราส่วน 5:1 และ 1:1 ดังการทดลองที่ 5 และ 7 ตามลำดับ ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ 37 และ 45 ตามลำดับ หากเปลี่ยนตัวทำละลายเป็น CH_2Cl_2/EtOH (5:1) ส่งผลให้ร้อยละผลิตภัณฑ์เหลือ 26 (การทดลองที่ 8) ขณะที่ตัวทำละลาย CH_2Cl_2/H_2O (5:1) ดังการทดลองที่ 9 ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงถึง 50 ในเวลา 19 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 11 โดยเปลี่ยนตัวทำละลายเป็น $CHCl_3/H_2O$ (5:1) พบว่า ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ 52 และใช้เวลาเพียง 5 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายผสมที่เป็น $CHCl_3$ สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า CH_2Cl_2 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 15 และ 16 นอกจากนี้การใช้ตัวทำละลายผสม $CHCl_3/H_2O$ (5:1) สามารถลดเวลาในการเกิดปฏิกิริยาลงถึง 3.8 เท่าเทียบกับ CH_2Cl_2/H_2O (5:1) เมื่อเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของตัวทำละลายผสมระหว่าง $CHCl_3/H_2O$ ดังการทดลองที่ 11 - 14 พบว่า อัตราส่วนของตัวทำละลายที่เหมาะสมคือ $CHCl_3/H_2O$ (5:1) เนื่องจากให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงสุดและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อยที่สุด สำหรับตัวทำละลายเดี่ยวดังการทดลอง

ที่ 15 - 19 พบว่า ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยายาวนานกว่าตัวทำละลายผสมระหว่าง $CHCl_3/H_2O$ ยกเว้นการทดลองที่ 16 ที่เป็นตัวทำละลาย $CHCl_3$ แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ในกลุ่ม protic solvent ที่เป็น halogenated solvent สามารถให้ผลิตภัณฑ์สูงกว่าตัวทำละลายที่เป็น alcohol และเมื่อใช้ตัวทำละลายผสม พบว่า ตัวทำละลายผสมในอัตราส่วน 5:1 ที่มีส่วนผสมของ CH_2Cl_2 จะใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ที่นานและให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่าตัวทำละลายที่มีส่วนผสมเป็น $CHCl_3$ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวทำละลายผสมของ $CHCl_3$ กับตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ พบว่า ตัวทำละลายผสมระหว่าง $CHCl_3$ และ H_2O ในอัตราส่วน 5:1 ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงที่สุด (52%) และใช้เวลาในการสังเคราะห์ 5 ชั่วโมง ซึ่งตัวทำละลาย $CHCl_3/H_2O$ (5:1) นี้มีความเป็นพิษที่น้อยกว่าการใช้ $CHCl_3$ บริสุทธิ์ ดังนั้นชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์สาร **2** คือ $CHCl_3/H_2O$ อัตราส่วน 5:1

ดังนั้นการศึกษาการสังเคราะห์สาร 8,17-epoxy andrographolide **2** โดยปฏิกิริยา epoxidation ของ andrographolide **1** ได้สภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณ *m*-CPBA ที่ 1.5 eq. ใน $CHCl_3/H_2O$ (5:1) ที่อุณหภูมิ 50 °C ซึ่งใช้เวลาในการสังเคราะห์ 5 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 52%

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร 8,17-epoxy andrographolide **2** โดยเทคนิค NMR-spectroscopy



2

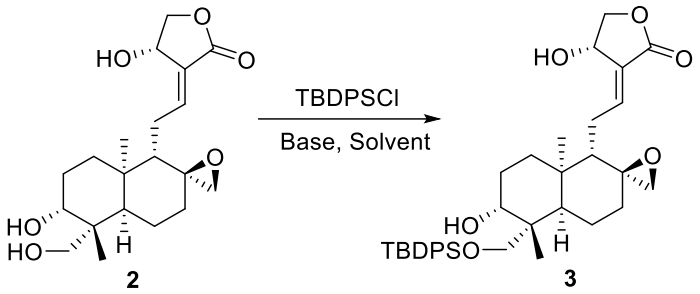
ภาพที่ 7 การวิเคราะห์โครงสร้างสาร 8,17-epoxy andrographolide **2**

สาร **2** : ^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$) : δ 6.79 (1H, ddd, *J* = 11.0, 5.5, 1.5 Hz, H-12), 5.01-4.96 (1H, m, H-14), 4.36 (1H, dd, *J* = 9.5, 6.0 Hz, H-15b), 4.26 (1H, dd, *J* = 9.5, 1.5 Hz, H-15a), 4.17 (1H, d, *J* = 11.0 Hz, H-19b), 3.52 (1H, dd, *J* = 11.0, 4.0 Hz, H-19a), 3.35 (1H, t, *J* = 9.0 Hz, H-3), 2.88 (1H, dd, *J* = 3.5, 1.5 Hz, H-17b), 2.80 (1H, brd, *J* = 8.5 Hz, OH), 2.68 (1H, d, *J* = 3.5 Hz, H-17a), 2.42 (1H, brs, OH), 2.06-1.72 (6H, m), 1.50-1.41 (2H, m), 1.35-1.15 (2H, m), 1.27 (3H, s, H-18), 1.26-1.16 (2H, m), 0.82 (3H, s, H-20)

^{13}C-NMR (100 MHz, $CDCl_3$) : δ 15.10 (C-20), 21.26 (C-18), 22.70 (C-6), 22.78 (C-11), 27.09 (C-2), 35.85 (C-1), 36.78 (C-7), 39.73 (C-10), 42.67 (C-4), 50.94 (C-5), 53.36 (C-17), 54.54 (C-9), 60.24 (C-8), 63.83 (C-14), 65.12 (C-19), 73.67 (C-15), 80.13 (C-3), 129.20 (C-13), 145.87 (C-12), 170.20 (C-16)

การศึกษาวิธีการสังเคราะห์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide 3

การสังเคราะห์สาร 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3** โดยทำปฏิกิริยา silylation ของ 8,17-epoxy andrographolide **2** กับ TBDPSCl ดังภาพที่ 8 ได้ศึกษาปริมาณ TBDPSCl ชนิดของเบส และชนิดของตัวทำละลาย แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4



ภาพที่ 8 การสังเคราะห์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3**

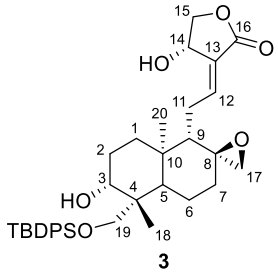
ตารางที่ 4 การหาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3**

การทดลองที่	**ปริมาณ TBDPSCl (eq.)**	**ตัวทำละลาย (1 ml)**	**เบส**	**เวลา (h)**	**ร้อยละผลิตภัณฑ์**
1	5.0	Pyridine		1.0	66
2	3.0	Pyridine		1.0	82
3	2.0	Pyridine		2.0	70
4	1.1	Pyridine		3.0	57
5	3.0	DMF	Imidazole	24	12

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4 ผลของสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **2** พบว่า ปริมาณ TBDPSCl ที่เหมาะสมในปฏิกิริยาไซลิลเลชันของ 8,17-epoxy andrographolide **2** คือ 3 eq. เนื่องจากสามารถให้ผลิตภัณฑ์สูงถึง 82% และใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง (การทดลองที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบชนิดของเบส (การทดลองที่ 2 และ 5) พบว่า การใช้ pyridine สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่า imidazole

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3** คือ ปริมาณ TBDPSCl ที่ 3.0 eq. ใน pyridine และใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 82

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3** โดยเทคนิค NMR-spectroscopy



3

ภาพที่ 9 การวิเคราะห์โครงสร้างสาร 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3**

สาร **3** : ^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$) : δ 7.70-7.63 (4H, m, PhH), 7.49-7.38 (6H, m, PhH), 6.76 (1H, ddd, *J* = 10.5, 5.5, 1.5 Hz, H-12), 4.94 (1H, brd, *J* = 5.5 Hz, H-14), 4.34 (1H, dd, *J* = 10.0, 5.5 Hz, H-15b), 4.23 (1H, dd, *J* = 10.0, 1.5 Hz, H-15a), 4.15 (1H, d, *J* = 10.0 Hz, H-19b), 3.40 (1H, d, *J* = 10.0 Hz, H-19a), 3.40-3.34 (1H, m, H-3), 2.76 (1H, dd, *J* = 3.5, 1.5 Hz, H-17b), 2.53 (1H, d, *J* = 3.5 Hz, H-17a), 2.02-1.87 (2H, m), 1.82-1.60 (6H, m), 1.34 (3H, s, H-18), 1.31-1.12 (4H, m), 1.06 (9H, s, $SiC(CH_3)_3$), 0.56 (3H, s, H-20)

^{13}C-NMR (100 MHz, $CDCl_3$) : δ 15.23 (C-20), 19.05 ($SiC(CH_3)_3$), 21.22 (C-18), 22.69 (C-11), 23.08 (C-6), 26.77 ($SiC(CH_3)_3$), 27.70 (C-2), 35.86 (C-1), 36.69 (C-7), 39.77 (C-10), 42.66 (C-4), 50.74 (C-5), 53.39 (C-17), 54.65 (C-9), 60.20 (C-8), 65.14 (C-14), 65.57 (C-19), 73.59 (C-15), 79.93 (C-3), 127.90 (C-13), 129.11 (Ph), 130.03 (Ph), 131.95 (Ph), 132.35 (Ph), 135.56 (Ph), 135.69 (Ph), 145.78 (C-12), 170.01 (C-16)

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Nateewattana et al. (2013) ที่รายงานสภาวะการทดลองที่ใช้ คือ ขั้นปฏิกิริยา epoxidation คือ ใช้ปริมาณ *m*-CPBA 2.0 eq. ในตัวทำละลายผสม CH_2Cl_2/methanol อัตราส่วน 5:1 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 19 ชั่วโมง และขั้นปฏิกิริยา silylation ใช้ปริมาณ TBDPSCl 25 eq. ใน pyridine เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Nateewattana et al., 2013, 320-332) ดังตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า สภาวะที่ได้จากการทดลองของงานวิจัยนี้สามารถลดปริมาณการใช้รีเอเจนต์ ลดความเป็นพิษให้ต่ำลงด้วยการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายผสม และลดระยะเวลาในการสังเคราะห์เร็วขึ้นเกือบ 4 เท่า

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสภาวะการสังเคราะห์สาร 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3**

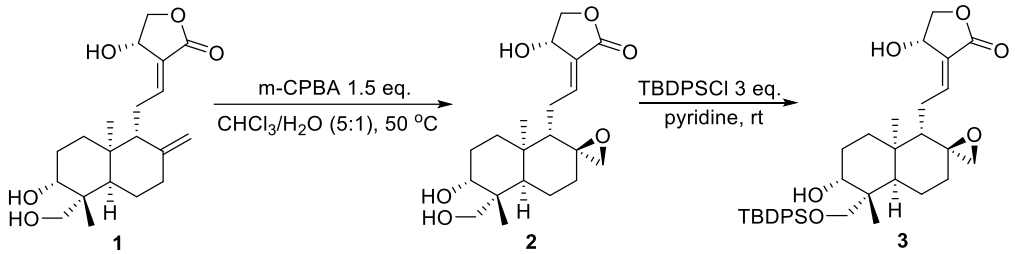
ปฏิกิริยา	สภาวะ	Nateewattana et al. (2013)	งานวิจัยนี้
epoxidation	*m*-CPBA (eq.)	2.0	1.5
	ตัวทำละลาย	CH_2Cl_2/MeOH (5:1)	$CHCl_3$/H_2O (5:1)
	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิห้อง	50
	เวลา (h)	19	5
	ร้อยละผลิตภัณฑ์	72	52

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสภาวะการสังเคราะห์สาร 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3** (ต่อ)

ปฏิกิริยา	สภาวะ	Nateewattana et al. (2013)	งานวิจัยนี้
silylation	TBDPSCl (eq.)	25.3	3
	ตัวทำละลาย	pyridine	pyridine
	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง
	เวลา (h)	1	1
	ร้อยละผลิตภัณฑ์	81	82

การประยุกต์สภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide 8

การประยุกต์การสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3** (ภาพที่ 10) โดยนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้มาสังเคราะห์ในระดับกรัม คือ เพิ่มปริมาณจากระดับทดลองเป็น 100 เท่า (ใช้สารตั้งต้น **1** ปริมาณ 5.0 g) ในขั้นตอนที่ 1 (ปฏิกิริยา epoxidation) และขั้นตอนที่ 2 (ปฏิกิริยา silylation) เพิ่มปริมาณเป็น 20 เท่าจากระดับทดลอง (ใช้สารตั้งต้น **2** ปริมาณ 1.0 g)



ภาพที่ 10 การประยุกต์การสังเคราะห์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3**

ขั้นตอนที่ 1 ปฏิกิริยา epoxidation สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์สาร **2** คือ ปริมาณ *m*-CPBA ที่ 1.5 eq. ใน $CHCl_3/H_2O$ (5:1) ที่อุณหภูมิ 50 °C และเวลาในการสังเคราะห์ 5 ชั่วโมง โดยสังเคราะห์ซ้ำจำนวน 3 รอบ แสดงผลดังตารางที่ 6 พบว่า การสังเคราะห์สาร **2** โดยใช้สภาวะการทดลองดังกล่าวในปริมาณระดับกรัมให้ร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 57 - 68 ซึ่งสูงกว่าในระดับทดลองขนาดเล็ก

ตารางที่ 6 ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ 8,17-epoxy andrographolide **2**

ครั้งที่	ร้อยละผลิตภัณฑ์
1	68
2	57
3	63

ขั้นตอนที่ 2 ปฏิกิริยา silylation สำหรับการสังเคราะห์สาร **3** คือ ปริมาณ TBDPSCl ที่ 3.0 eq. ใน pyridine 5 ml และเวลาในการสังเคราะห์ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยสังเคราะห์ซ้ำจำนวน 3 รอบ แสดงผลดังตารางที่ 7 พบว่า การสังเคราะห์สาร **3** โดยใช้สภาวะการทดลองดังกล่าวในปริมาณระดับกรัมให้ร้อยละผลผลิตที่สูงมากถึง 94 - 96%

ตารางที่ 7 ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3**

ครั้งที่	ร้อยละผลิตภัณฑ์
1	94
2	96
3	95

จากตารางที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นให้มากขึ้นสามารถให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงกว่าการทำในระดับทดลอง ซึ่งสภาวะในการสังเคราะห์นี้สามารถใช้ในการเตรียมอนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3** ในระดับกรัมได้ดังนั้นงานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จในการใช้เป็นต้นแบบสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้สังเคราะห์สารในระดับอุตสาหกรรมได้

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการสังเคราะห์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide เพื่อการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม พบว่า การสกัดแยกสาร andrographolide จากต้นฟ้าทะลายโจรด้วยวิธีอย่างง่ายคือ นำมาสกัดด้วยตัวทำละลาย EtOAc และทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคการตกผลึกได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งสีน้ำตาลอ่อน มีร้อยละผลิตภัณฑ์เท่ากับ 3 ซึ่งถูกยืนยันโครงสร้างด้วยเทคนิค NMR เทียบกับสาร andrographolide มาตรฐานแล้วได้ผลใกล้เคียงกันมาก สารบริสุทธิ์ที่แยกได้นำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับพัฒนาวิธีการสังเคราะห์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3** พบว่า ได้สภาวะการสังเคราะห์ที่เหมาะสม คือ ขั้นการสังเคราะห์สาร **2** (ปฏิกิริยา epoxidation) ใช้ปริมาณ *m*-CPBA 1.5 eq. ใน $CHCl_3/H_2O$ (5:1) ที่อุณหภูมิ 50 °C และเวลา 5 ชั่วโมง ส่วนขั้นการสังเคราะห์สาร **3** (ปฏิกิริยา silylation) ใช้ปริมาณ TBDPSCl 3.0 eq. ใน pyridine และเวลา 1 ชั่วโมง หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Nateewattana et al. (2013) แสดงในเห็นว่างานวิจัยนี้สามารถลดการใช้สารตั้งต้นที่มีราคาแพง เช่น *m*-CPBA, TBDPSCl ลงจากเดิมหลายเท่า มีการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายผสมซึ่งช่วยลดความเป็นพิษ ใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ขั้นที่ 1 ลดลง 3.8 เท่า เป็นเหตุผลสนับสนุนให้งานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีที่รายงานก่อนหน้านี้ เมื่อนำสภาวะที่ได้ไปเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เป็นระดับกรัมพบว่า สามารถใช้สังเคราะห์สารที่ต้องการซึ่งให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของสาร **2** อยู่ระหว่าง 57 - 68% และสาร **3** อยู่ระหว่าง 94 - 96% ซึ่งสูงกว่าที่ได้ในระดับทดลองขนาดเล็ก

ดังนั้นงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุพันธ์ 19-TBDPS-8,17-epoxy andrographolide **3** ที่สามารถลดต้นทุนการผลิต ลดเวลาในการสังเคราะห์ ลดความเป็นพิษและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้กับการสังเคราะห์ในระดับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นเพียงต้นแบบการผลิตเพื่อพัฒนาไปสู่ในระดับอุตสาหกรรมจึงควรทดลองสังเคราะห์ในระดับ (Scale) ที่ใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาสภาวะการสังเคราะห์เพิ่มเติม รวมไปถึงการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการออกแบบและช่วยในการสังเคราะห์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ตามรหัสโครงการเลขที่ 2141/2558 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีในการทำวิจัย ศาสตราจารย์ ดร. รุงนภา แซ่เอ็ง ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ปรึกษาโครงการ และนักศึกษากลุ่มวิจัย TK Lab; นายสุชิน เขียวมรกต นางสาวกรรณิการ์ ทิพบุญ และนางสาวปรางค์วลัย เปรมวินัย

เอกสารอ้างอิง

รุ่งนภา แซ่เอ็ง พัชรี อาษาขันธ์ และ ธีรพิชญ์ เกษมสุข. (2567). **กรรมวิธีการสกัดแอนโดรกราโฟไลด์ (Andrographolide) จากสมุนไพรฟ้าทะลายโจร (อนุสิทธิบัตรเลขที่ 23291).** กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา.

กองผลิตภัณฑ์สมุนไพร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2566). **บัญชียาหลักแห่งชาติด้านสมุนไพร พ.ศ. 2566 (พิมพ์ครั้งที่ 1).** ปทุมธานี: บริษัท มินนี่ กรุ๊ป จำกัด.

Chao, W. W. and Lin, B. F. (2010). Isolation and identification of bioactive compounds in *Andrographis paniculata* (Chuanxinlian). **Chinese Medical Journal, 5,** 17.

Hu, J., Li, Y., Xie, X., Song, Y., Yan, W., Luo, Y., and Jiang, Y. (2024). The therapeutic potential of andrographolide in cancer treatment. **Biomedicine & Pharmacotherapy, 180,** 117438.

Islam, M. T., Ali, E. S., Uddin, S. J., Islam, M. A., Shaw, S., Khan, I. N., Saravi, S. S. S., Ahmad, S., Rehman, S., Gupta, V. K., Gaman, M. A., Gaman, A. M., Yele, S., Das, A. K., Sousa, J. M. C. E., Dantas, S. M. M. M., Rolim, H. M. L., Melo-Cavalcante, A. A. C., Mubarak, M. S., Yarla, N. S., Shilpi, J. A., Mishra, S. K., Atanasov, A. G., and Kamal, M. A. (2018). Andrographolide, a diterpene lactone from *Andrographis paniculata* and its therapeutic promises in cancer. **Cancer Letters, 420,** 129-145.

Izzo, A. A., and Stefanska, B. (2025). Natural products and cancer: From drug discovery to prevention and therapy. **British Journal of Pharmacology, 182 (10),** 2069-2074.

Kasemsuk, S., Sirion, U., Suksen, K., Piyachaturawat, P., Suksamrarn, A., and Saeeng, R. (2013). 12-Amino-andrographolide analogues: synthesis and cytotoxic activity. **Archives of Pharmacal Research, 36 (12),** 1454-1464.

Kumar, G., Singh, D., Tali, J. A., Dheer, D., and Shankar, R. (2020). Andrographolide: Chemical modification and its effect on biological activities. **Bioorganic Chemistry, 95,** 103511.

Latif, R., and Wang, C. Y. (2020). Andrographolide as a potent and promising antiviral agent. **Chinese Journal of Natural Medicines, 18 (10),** 760-769.

Mali, S. B. (2023). Cancer treatment: Role of natural products. Time to have a serious rethink. **Oral Oncology Reports, 6,** 100040.

Messire, G., Rollin, P., Gillaizeau, I., and Berteina-Raboin, S. (2024). Synthetic modifications of andrographolide targeting new potential anticancer drug candidates: A comprehensive overview. **Molecules, 29 (12),** 2884.

Naeem, A., Hu, P., Yang, M., Zhang, J., Liu, Y., Zhu, W., and Zheng, Q. (2022). Natural products as anticancer agents: Current status and future perspectives. **Molecules, 27 (23),** 8367.

Nateewattana, J., Saeeng, R., Kasemsook, S., Suksen, K., Dutta, S., Jariyawat, S., Chairoungdua, A., Suksamrarn, A., and Piyachaturawat, P. (2013). Inhibition of topoisomerase IIα activity and induction of apoptosis in mammalian cells by semi-synthetic andrographolide analogues. **Investigational New Drugs, 31 (2),** 320-332.

Negi, A. S., and Jain, S. (2022). Chapter 10 - Recent advances in natural product-based anticancer agents. **Studies in Natural Products Chemistry, 75,** 367-447. Retrieved January 25, 2026, from https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91250-1.00010-0.

Setiawati, A., Candrasari, D. S., Setyajati, F. D. E., Prasetyo, V. K., Setyaningsih, D., and Hartini, Y. S. (2022). Anticancer drug screening of natural products: In vitro: cytotoxicity assays, techniques, and challenges. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 12 (7),** 279-289.

Sirion, U., Kasemsook, S., Suksen, K., Piyachaturawat, P., Suksamrarn, A., and Saeeng, R. (2012). New substituted C-19-andrographolide analogues with potent cytotoxic activities. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 22 (1),** 49-52.

Sirion, U., Kasemsuk, T., Piyachaturawat, P., Suksen, K., Suksamrarn, A., and Saeeng, R. (2017). Synthesis and cytotoxic activity of 14-deoxy-12-hydroxyandrographolide analogs. **Medicinal Chemistry Research, 26 (8),** 1653-1663.

Yerragunta, V., Waghray, K., Shivraj and Subhashini, N. J. P. (2021). Anti-cancer activity of andrographolide: A review. **Journal of Pharmaceutical Research International, 33 (43B),** 1-9.

Zeng, B., Wei, A., Zhou, Q., Yuan, M., Lei, K., Liu, Y., Song, J., Guo, L., and Ye, Q. (2022). Andrographolide: A review of its pharmacology, pharmacokinetics, toxicity and clinical trials and pharmaceutical researches. **Phytotherapy Research, 36 (1),** 336-364.

Zhang, H., Li, S., Si, Y., and Xu, H. (2021). Andrographolide and its derivatives: Current achievements and future perspectives. **European Journal of Medicinal Chemistry, 224,** 113710.

ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 สะสมต่อการคลอดก่อนกำหนดและทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยในจังหวัดกาญจนบุรี

RELATIONSHIP BETWEEN CUMULATIVE PM2.5 EXPOSURE AND PRETERM BIRTH AND LOW BIRTH WEIGHT IN KANCHANABURI PROVINCE

ญาดา กล้าปราบโจร[1)] และ วัฒนา ชยธวัช[2)*]

[1)] โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองบัว กองสาธารณสุข องค์การบริหารส่วนจังหวัดกาญจนบุรี

[2)] คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี

Yada Klaprabchone[1)] and Vadhana Jayathavaj[2)*]

[1)] Ban Nong Bua Health Promoting Hospital, Division of Public Health, Kanchanaburi Provincial Administrative Organization, Kanchanaburi Province,

[2)] Faculty of Allied Health Sciences. Pathumthani University,

*Corresponding author e-mail: vadhana.j@ptu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM2.5 สะสมรายเดือนกับจำนวนการคลอดก่อนกำหนดรายเดือนและจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยรายเดือนในจังหวัดกาญจนบุรี โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลารายเดือน 48 เดือน

วิธีการวิจัย: การวิจัยเชิงสังเกตแบบวิเคราะห์อนุกรมเวลา ใช้ข้อมูลทุติยภูมิรายเดือนของระดับ PM2.5 และข้อมูลจำนวนการคลอดก่อนกำหนดและทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย ระหว่างเดือนตุลาคม 2564 ถึงกันยายน 2568 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา สหสัมพันธ์เพียร์สัน และแบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไปจำนวนที่มีข้อมูล PM2.5 รายเดือนเป็นตัวแปรต้น และจำนวนการคลอดก่อนกำหนดกับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยของอำเภอเมืองและจังหวัดกาญจนบุรีเป็นตัวแปรตาม รวม 4 ตัวแบบ เพื่อประเมินผลของ PM2.5 และ PM2.5 สะสมต่อผลลัพธ์การคลอด

ผลการวิจัย: ระดับ PM2.5 รายเดือนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยในอำเภอเมืองกาญจนบุรีอย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.335$, $p = 0.020$) แบบจำลองทวินามลบ พบว่า PM2.5 รายเดือนเพิ่มความเสี่ยงการเกิดทารกน้ำหนักน้อย (IRR = 1.020, $p = 0.014$) โดยเมื่อ PM2.5 รายเดือนเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ($\mu g/m^3$) ความเสี่ยงในการเกิดทารกน้ำหนักน้อยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.0 ขณะที่ PM2.5 สะสม 3 เดือน มีความสัมพันธ์กับจำนวนการคลอดก่อนกำหนดในระดับจังหวัดอย่างมีนัยสำคัญ (IRR = 0.998, $p = 0.046$) เมื่อ PM2.5 สะสมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย อัตราการคลอดก่อนกำหนดจะลดลง 0.2%

สรุปผล: ระดับ PM2.5 และค่าฝุ่นสะสมมีผลต่อผลลัพธ์การคลอดที่ไม่พึงประสงค์มีความเชื่อมโยงกับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยและการคลอดก่อนกำหนดในจังหวัดกาญจนบุรี

คำสำคัญ: PM2.5 การคลอดก่อนกำหนด ทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย อนุกรมเวลา กาญจนบุรี

ABSTRACT

Objectives: To analyze the relationship between monthly cumulative PM2.5 exposure and the number of monthly preterm births and monthly low-birth-weight infants in Kanchanaburi Province using 48 months of time-series data.

Methods: A time-series analytical study was conducted using secondary monthly data on PM2.5 levels, preterm births, and low-birth-weight infants from October 2021 to September 2025. Descriptive statistics, Pearson correlation, and the generalized linear models were developed with monthly PM2.5 as the independent variable and the number of preterm births and low-birth-weight infants as dependent variables for Mueang District and Kanchanaburi Province (a total of four models), in order to evaluate the effects of PM2.5 and cumulative PM2.5 on birth outcomes.

Results: Monthly PM2.5 levels were positively associated with low-birth-weight infants in Mueang Kanchanaburi District ($r = 0.335$, $p = 0.020$). A negative binomial regression model revealed that monthly PM2.5 increased the risk of low birth weight (IRR = 1.020, $p = 0.014$), corresponding to a 2.0% increase in risk per 1 μg/m³ increase in PM2.5. In contrast, 3-month cumulative PM2.5 exposure was significantly associated with preterm births at the provincial level (IRR = 0.998, $p = 0.046$), indicating a 0.2% decrease in preterm birth rate per 1 μg/m³ increase in cumulative PM2.5.

Conclusions: PM2.5 levels and accumulated particulate matter are significantly associated with adverse birth outcomes, as evidenced by the number of low birth weight infants and preterm births observed in Kanchanaburi Province.

Keywords: PM2.5, preterm birth, low birth weight, time-series analysis, Kanchanaburi

บทนำ

มลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เป็นปัญหาสาธารณสุขระดับโลกที่ก่อให้เกิดภาระโรค (Burden of Disease) คือ ผลกระทบของโรคหรือปัญหาสุขภาพที่มีต่อประชากรในเชิงปริมาณอย่างสำคัญ โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) รายงานว่า PM2.5 เป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพของมารดาและทารก โดยเฉพาะผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การคลอดก่อนกำหนด ทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย และผลกระทบต่อพัฒนาการระยะยาวของเด็ก (World Health Organization (WHO), 2018; WHO, 2021) ความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสมลพิษทางอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคารกับผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การคลอดก่อนกำหนดและโรคความดันโลหิตสูงขณะตั้งครรภ์ ฝุ่นละออง (PM) สามารถกระตุ้นให้เกิดภาวะออกซิเดชันและการอักเสบและยังสามารถไปถึงรก ส่งผลให้เกิดความเสียหายของรกและส่งผลกระทบต่อทารกในครรภ์กลุ่มหญิงตั้งครรภ์ถือเป็นประชากรที่มีความไวต่อมลพิษทางอากาศ (Chiarello et al., 2023) การได้รับมลพิษทางอากาศขณะตั้งครรภ์ (PAPE) มีความเชื่อมโยงกับผลลัพธ์ที่ไม่พึงประสงค์ทั้งในระยะคลอดและใน

วัยเด็ก (Broséus et al., 2024, 297-308) ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 กับผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่พึงประสงค์นั้น พบว่า PM2.5 สามารถส่งผลโดยตรงต่อการไหลเวียนเลือดในระบบรก (feto-placental hemodynamics) โดยเพิ่มความต้านทานของหลอดเลือดแดงมดลูกและหลอดเลือดแดงสะดือ (Tsoli, Ploubidis, and Kalantzi, 2019) ซึ่งนำไปสู่ภาวะรกขาดเลือดและออกซิเจน (placental hypoxia) นอกจากนี้ PM2.5 ยังรบกวนสมดุลของปัจจัยการสร้างหลอดเลือด (angiogenic factors) โดยเฉพาะการลดลงของ Placental Growth Factor (PLGF) ซึ่งเป็นตัวกลางสำคัญที่เชื่อมโยงการสัมผัส PM2.5 กับความเสี่ยงของการคลอดก่อนกำหนดและทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย (Yu et al., 2025)

การได้รับมลพิษทางอากาศ PM2.5 ระหว่างตั้งครรภ์มีความเชื่อมโยงกับผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่พึงประสงค์มากขึ้น จากงานวิจัยการศึกษาหญิงตั้งครรภ์ 16,965 คนในภาคเหนือของไทย (พ.ศ. 2559 – 2565) และพบว่าการได้รับ PM2.5 มากกว่า 37.5 มค.ก./ลบ.ม. ตลอดการตั้งครรภ์เพิ่มความเสี่ยงการคลอดก่อนกำหนดและทารกน้ำหนักน้อยอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ระดับ PM2.5 ต่ำกว่า 15 มค.ก./ลบ.ม. ก็ยังเพิ่มความเสี่ยงเมื่อเทียบกับกลุ่มอ้างอิง คือ กลุ่มที่สัมผัส PM2.5 ในระดับปานกลาง (15.1–37.5 มค.ก./ลบ.ม.) ตลอดช่วงตั้งครรภ์ การวิเคราะห์กลุ่มเสี่ยงสูงพบช่วงค่าความเสี่ยงวิกฤตอยู่ที่ประมาณ 31 – 38 มค.ก./ลบ.ม. ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการดำเนินมาตรการลดผลกระทบของ PM2.5 ต่อสุขภาพมารดาและทารก (Thaichana et al., 2025, 304) รายงานการวิจัยจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์อภิมาน สรุปว่าการสัมผัสกับฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ในระหว่างตั้งครรภ์นั้นมีความเชื่อมโยงกับภาวะน้ำหนักแรกเกิดน้อย (Low Birth Weight: LBW) จากนั้นจึงใช้แบบจำลองผลกระทบแบบสุ่ม (Random-effects model) เพื่อคำนวณอัตราส่วนความน่าจะเป็นรวม (Pooled Odds Ratios: ORs) ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการวิเคราะห์พบว่า การสัมผัส PM2.5 มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับภาวะ LBW ทั้งในไตรมาสแรกและไตรมาสที่สอง (OR 1.05, 95% CI 1.00-1.09, $p < 0.001$) (Parasin et al., 2024, 446) การได้รับ PM2.5 ระหว่างตั้งครรภ์สัมพันธ์กับน้ำหนักแรกเกิดที่ลดลง ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคเรื้อรังกับทารกในระยะยาว งานวิจัยวิเคราะห์ทารกครบกำหนดกว่า 775,000 รายในรัฐแมสซาชูเซตส์ และประเมินการได้รับ PM2.5 ด้วยแบบจำลองจากข้อมูลดาวเทียมและสภาพแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า เมื่อ PM2.5 เพิ่มขึ้นหนึ่งช่วง IQR (ระยะห่างที่ครอบคลุมข้อมูลตรงกลาง 50% ของชุดข้อมูล) น้ำหนักแรกเกิดลดลงเฉลี่ย 16 กรัม และผลกระทบเด่นชัดที่สุดในกลุ่มทารกที่มีน้ำหนักต่ำสุดตามเปอร์เซ็นไทล์ นอกจากนี้ไม่พบหลักฐานว่าปัจจัยด้านสังคมเศรษฐกิจมีผลปรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ดังกล่าว ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของ PM2.5 ต่อสุขภาพทารกแม้ในระดับที่แตกต่างกันของการกระจายน้ำหนักแรกเกิด (Fong et al., 2019, 617-623)

จังหวัดกาญจนบุรีเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางภูมิประเทศที่เป็นแอ่งล้อมรอบด้วยภูเขา ซึ่งส่งผลต่อการไหลเวียนและการถ่ายเทของอากาศในพื้นที่ โดยเฉพาะในช่วงปลายฤดูหนาวที่มวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุม ทำให้เกิดการผกผันกลับของอุณหภูมิในระดับต่ำ (temperature inversion) ส่งผลให้ฝุ่นละอองไม่สามารถลอยตัวและกระจายออกจากพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับการอ่อนกำลังของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในบางช่วง ทำให้การสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดมลพิษจากภาคคมนาคม การเผาในที่โล่งจากภาคเกษตรกรรมและครัวเรือน ไฟป่า การคมนาคมขนส่ง กิจกรรมอุตสาหกรรม การก่อสร้าง และหมอกควันข้ามแดน ส่งผลให้ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศมีความผันผวนตามฤดูกาล ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ณ ตำบลบ้านเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ระบุว่าในปี พ.ศ. 2565 มีค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) อยู่ที่

77 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าสูงสุดในเดือนมกราคมถึง 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกแนะนำอย่างมีนัยสำคัญ (สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดกาญจนบุรี และ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดกาญจนบุรี, 2566) สะท้อนถึงภาวะคุณภาพอากาศที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะกลุ่มเสี่ยง เช่น หญิงตั้งครรภ์ เด็กเล็ก และผู้สูงอายุ แม้จะมีการบันทึกข้อมูลด้านสุขภาพ เช่น จำนวนการคลอดก่อนกำหนดและจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM2.5 สะสมกับผลลัพธ์การตั้งครรภ์ในจังหวัดกาญจนบุรีโดยเฉพาะ การศึกษานี้จึงมีความสำคัญในการเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการ และสนับสนุนการกำหนดมาตรการด้านสาธารณสุขเพื่อการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพมารดาและทารกอย่างเป็นระบบ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM2.5 สะสมรายเดือนกับจำนวนการคลอดก่อนกำหนดรายเดือนและจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยรายเดือนในจังหวัดกาญจนบุรี

นิยามศัพท์/นิยามเชิงปฏิบัติการ

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เป็นฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้ทั้งจากยานพาหนะ การเผาวัสดุการเกษตร ไฟป่า และกระบวนการอุตสาหกรรม สามารถเข้าไปถึงถุงลมในปอดได้ เป็นผลทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ และโรคปอดต่าง ๆ หากได้รับในปริมาณมากหรือเป็นเวลานานจะสะสมในเนื้อเยื่อปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ มีอาการหอบหืด (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2569)

จำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย หมายถึง จำนวนเด็กแรกเกิดน้ำหนักน้อยกว่า 2500 กรัม (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กระทรวงสาธารณสุข, 2568)

จำนวนการคลอดก่อนกำหนด หมายถึง จำนวนหญิงสัญชาติไทยที่ตั้งครรภ์และคลอดบุตรในช่วงอายุครรภ์ 24 ถึง 36 สัปดาห์ 6 วัน (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กระทรวงสาธารณสุข, 2568)

อนุกรมเวลา (Time series) คือ ลำดับของการสังเกตค่าตัวแปรใด ๆ ที่วัดตามลำดับเวลา โดยทั้งค่าของข้อมูลและลำดับของข้อมูลมีความสำคัญ (de Jong et al., 2014) เช่น ข้อมูล PM2.5 รายเดือน ข้อมูลจำนวนการคลอดก่อนกำหนดรายเดือน และข้อมูลจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยรายเดือน ตลอดระยะเวลาเรียงต่อกันตามลำดับ 48 เดือน

อัตราส่วนอุบัติการณ์ (Incident Rate Ratio, IRR) หมายถึง ค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM2.5 กับจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน ได้แก่ จำนวนการคลอดก่อนกำหนด หรือจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย โดยคำนวณจากแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) ประเภทข้อมูลนับ เช่น Poisson Regression, Quasi-Poisson Regression หรือ Negative Binomial Regression (Cameron and Trivedi, 2013)

ค่า IRR ถูกตีความดังนี้:

IRR > 1 หมายถึง ระดับ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วย (เช่น 1 μg/m³) ทำให้ อัตราการเกิดเหตุการณ์เพิ่มขึ้น

IRR < 1 หมายถึง ระดับ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วย ทำให้ อัตราการเกิดเหตุการณ์ลดลง

IRR = 1 หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 กับเหตุการณ์ที่ศึกษา

ค่า IRR จะสะท้อนว่า เมื่อระดับ PM2.5 สะสมรายเดือนเพิ่มขึ้น จะทำให้ จำนวนการคลอดก่อนกำหนด หรือ จำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใด

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ จำนวนการคลอดรายเดือนและจำนวนทารกที่เกิดในจังหวัดกาญจนบุรี และ ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ครอบคุลมพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี

กลุ่มตัวอย่าง คือ ข้อมูลรายเดือนของอำเภอเมืองกาญจนบุรี และจังหวัดกาญจนบุรี ปีงบประมาณ 2565 ถึง 2568 เดือนตุลาคม 2564 ถึง กันยายน 2568 รวมระยะเวลา 48 เดือน เป็นข้อมูลจำนวนรายของมารดาที่คลอดก่อนกำหนด จำนวนรายของทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย และ ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เฉลี่ยรายเดือน

ขอบเขตด้านเวลา

ปีงบประมาณ 2565 ถึง 2568 เดือนตุลาคม 2564 ถึง กันยายน 2568 ระยะเวลา 48 เดือน

ขอบเขตด้านวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลรายเดือนจำนวนรายของมารดาที่คลอดก่อนกำหนด จำนวนรายของทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย รวบรวมจากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ (Health Data Center: HDC) ของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งเป็นรายงานจากสถานบริการของรัฐ (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กระทรวงสาธารณสุข, 2568)

ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เฉลี่ยรายเดือนรวบรวมจากระบบรายงานคุณภาพอากาศ Air4Thai: ข้อมูลย้อนหลังรายเดือนจากสถานีตรวจอากาศ กาญจนบุรี - สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (79T) รายงานคุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ต.ปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี (กรมควบคุมมลพิษ, 2568)

ขอบเขตด้านตัวแปรที่ต้องการศึกษา

ข้อมูลจำนวนมารดาที่คลอดก่อนกำหนดรายเดือน และจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยรายเดือนของอำเภอเมืองกาญจนบุรีและจังหวัดกาญจนบุรี เป็นตัวแปรตาม จำนวน 4 ตัวแปร เป็นตัวแปรตาม

ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เฉลี่ยรายเดือน จากสถานีตรวจอากาศ กาญจนบุรี - สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (79T) เป็นตัวแปรต้น

ทำให้มี 4 แบบจำลองตามตัวแปรต้นโดยมีระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เฉลี่ยรายเดือน เป็นตัวแปรต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสังเกตแบบวิเคราะห์เชิงอนุกรมเวลา (Time-Series Analytical Study) โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิรายเดือนของระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) และข้อมูลจำนวนการคลอดก่อนกำหนดและจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยในจังหวัดกาญจนบุรี ครอบคลุมช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 – 2569 (ตุลาคม 2564 ถึง พฤศจิกายน 2568) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM2.5 สะสมรายเดือนกับผลลัพธ์การตั้งครรภ์ที่ไม่พึงประสงค์

การวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

โปรแกรม Excel ประกอบไปด้วยสดมภ์ ปี พ.ศ. เดือน จำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย จำนวนมารดาคลอดก่อนกำหนด ระดับ PM2.5 ค่าจากการคำนวณเพิ่มเติมจากข้อมูลรายเดือนเป็นระดับ PM2.5 สะสม 3 เดือน (ข้อมูลรายเดือนรวมกับสองเดือนก่อนหน้า) 6 เดือน (ข้อมูลรายเดือนรวมกับห้าเดือนก่อนหน้า) และ 9 เดือน (ข้อมูลรายเดือนรวมกับแปดเดือนก่อนหน้า)

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

ตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลจากรายงานกับในแฟ้มที่บันทึกข้อมูลว่าถูกต้องตรงกัน

การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลรายเดือนจำนวนมารดาที่คลอดก่อนกำหนด และจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย เป็นข้อมูลตามปีงบประมาณ รวบรวมจากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ (Health Data Center: HDC) ของกระทรวงสาธารณสุข ครอบคลุมเดือนตุลาคม 2564 ถึง กันยายน 2568 ระยะเวลา 48 เดือน (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กระทรวงสาธารณสุข, 2568)

ระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีรวบรวมจากกรมควบคุมมลพิษ ระบบรายงานคุณภาพอากาศ Air4Thai ข้อมูลย้อนหลังรายเดือน จากสถานีตรวจอากาศ กาญจนบุรี - สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (79T) รายงานคุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณ ต.ปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี เป็นรายงานรายเดือน พ.ศ. 2564 – 2568 (กรมควบคุมมลพิษ, 2568)

การเลือกใช้ข้อมูล

ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กจากกรมควบคุมมลพิษเป็นรายงานตามปีปฏิทินระหว่างปี 2564 ถึง 2568 ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ค่าเฉลี่ย 24 ชม (มค.ก./ลบ.ม.) ไม่มีรายงานตั้งแต่เดือนกันยายน 2565 จึงตัดออกจากการวิเคราะห์ ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM10) ค่าเฉลี่ย 24 ชม (มค.ก./ลบ.ม.) มีรายงานตั้งแต่เดือนมกราคม 2564 ถึง กันยายน 2568 ข้อมูลรายเดือนจำนวนมารดาที่คลอดก่อนกำหนด และจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย เป็นข้อมูลรายงานตามปีงบประมาณ 2565 ถึง 2568 ครอบคลุมเดือนตุลาคม 2564 ถึง กันยายน 2568 ระยะเวลา 48 เดือน ดังนั้น ข้อมูลอนุกรมเวลาในช่วงเดือนเดียวกันที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูล คือ ตุลาคม 2564 ถึง กันยายน 2568 จำนวน 48 เดือน

การสร้างแบบจำลอง

ข้อมูลจำนวนมารดาคลอดก่อนกำหนดและจำนวนทารกน้ำหนักน้อยเป็นข้อมูลจำนวนนับ (count data) ในการศึกษาผลที่เกิดจากระดับ PM2.5 ในพื้นที่ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (Generalized Linear Model) วิธีที่เหมาะสมคือ Poisson Regression กรณีที่ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนใกล้เคียงกัน ส่วน Quasi-Poisson (QP) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับกรณีที่ข้อมูลมีความแปรปรวนมากกว่าค่าเฉลี่ย (overdispersion) ระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง ขณะที่การถดถอยทวินามลบ (Negative Binomial Regression, NB) เป็นตัวเลือกเมื่อข้อมูลมี overdispersion ชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ในข้อมูลจำนวนนับด้านระบาดวิทยาและสิ่งแวดล้อม ทำให้เป็นตัวเลือกหลักในการวิเคราะห์ข้อมูลประเภทนี้ (Cameron and Trivedi, 2013; Hilbe, 2011) ทั้ง Poisson Regression, QP, และ NB ใช้ Log Link Function เพื่อป้องกันปัญหาค่าเฉลี่ยของจำนวนนับติดลบ โดยมีสมการอย่างง่าย (Dobson and Barnett, 2018) ดังนี้

Y_i คือ ค่าตัวแปรตอบสนองที่สังเกตจริง (observed value) สำหรับข้อมูลแถวที่ i

μ_i คือ ค่าเฉลี่ยที่โมเดลคาดการณ์ (expected value) สำหรับข้อมูลแถวที่ i

β_0 คือ สัมประสิทธิ์จุดตัด (intercept) ในสมการเชิงเส้น

β_1 คือ สัมประสิทธิ์ผลของตัวแปร X ต่อ log (ค่าเฉลี่ย)

X_i คือ ค่าของตัวแปรอิสระ X สำหรับข้อมูลแถวที่ i

$\ln(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i$

$\mu_i = e^{\beta_0} \times e^{\beta_1 X_i}$

μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง

e^{β_0} คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองเมื่อ X = 0 เป็น baseline mean หรือ reference level ของข้อมูลจำนวนนับ

e^{β_1} คือ อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย เมื่อ X เพิ่มขึ้น 1 หน่วย เรียกว่า Incidence Rate Ratio (IRR)

การทดสอบความมีนัยสำคัญของแบบจำลองใช้ Likelihood Ratio Test (LRT) ซึ่งมีสถิติทดสอบเป็น Chi-square distribution ถ้าได้ค่า p-value < ระดับนัยสำคัญ (เช่น 0.05) หมายความว่า แบบจำลองที่มีตัวแปรอิสระอธิบายข้อมูลได้ดีกว่าโมเดลที่ไม่มีตัวแปรอิสระ ตัวแปรอิสระมีผลต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง และความสัมพันธ์ที่พบไม่น่าจะเกิดจากความบังเอิญ (McCullagh and Nelder, 1989)

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติ jamovi 2.3.28 (The jamovi project, 2024) และโมดูล GAMLj3 General Analyses for the Linear Models (v3) 3.2.7 (Gallucci, 2019)

จริยธรรมวิจัย

การวิจัยนี้ไม่เข้าข่ายเป็นการวิจัยในมนุษย์ เนื่องจากเป็นข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลจำนวนมารดาที่คลอดก่อนกำหนด และจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย โดยรวมรายเดือน จากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ (Health Data Center: HDC) ของกระทรวงสาธารณสุขสามารถเข้าถึงได้โดยบุคคลทั่วไป เป็นข้อมูลที่ไม่สามารถเชื่อมโยงถึงผู้ป่วยรายบุคคลใด ๆ ได้ ผู้วิจัยจึงไม่สามารถติดต่อเพื่อขอรับข้อมูลหรือกระทำการใด ๆ กับผู้ป่วยเป็นรายบุคคล งานวิจัยนี้จึง “ไม่เข้าข่ายโครงการวิจัยในคน” ไม่จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน และไม่จำเป็นต้องเสนอขอแม้แต่ Exemption review (พรพิมล อดัมส์, 2568)

ผลการวิจัย

ข้อมูลอนุกรมเวลาในช่วงเดือนเดียวกันที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูล คือ ตุลาคม 2564 ถึง กันยายน 2568 จำนวน 48 เดือน การวิเคราะห์สถิติพรรณนาของระดับ PM2.5 รายเดือนและค่าฝุ่นสะสม 3, 6 และ 9 เดือน รวม 48 เดือน ในอำเภอเมืองกาญจนบุรี พบว่า ค่าเฉลี่ยของ PM2.5 รายเดือนอยู่ที่ 23.8 µg/m³ และเพิ่มสูงขึ้นตามช่วงสะสมเป็น 70.9, 140 และ 208 µg/m³ ตามลำดับ ค่ามัธยฐาน และค่าต่ำสุด – สูงสุด สะท้อนความผันผวนของระดับฝุ่นในแต่ละช่วงเวลา ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาสะสม แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่กว้างขึ้น ผลการทดสอบ Shapiro–Wilk ชี้ว่าระดับ PM2.5 รายเดือนและค่าฝุ่นสะสม 9 เดือน มีการกระจายตัวไม่เป็นปกติ ($p < 0.05$) ขณะที่ค่าฝุ่นสะสม 3 และ 6 เดือนมีแนวโน้มเป็นปกติมากกว่า ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญก่อนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยและการคลอดก่อนกำหนด

ตารางที่ 1 สถิติพรรณนา PM2.5 และ PM2.5 สะสม (มค.ก./ลบ.ม.) กาญจนบุรี - สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (79T)

สถิติ	PM2.5			
	รายเดือน	สะสม 3 เดือน	สะสม 6 เดือน	สะสม 9 เดือน
ค่าเฉลี่ย	23.8	70.9	140	208
ค่ามัธยฐาน	20	66	144	213
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	12.2	33.4	55.2	67
ความแปรปรวน	148	1115	3049	4492
ค่าต่ำสุด	6	22	46	96
ค่าสูงสุด	50	144	252	315
Shapiro-Wilk W	0.939	0.957	0.973	0.952
Shapiro-Wilk p	0.015	0.073	0.339	0.048

สถิติพรรณนาของจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยและจำนวนการคลอดก่อนกำหนดในอำเภอเมืองกาญจนบุรีและทั้งจังหวัด ครอบคลุมระยะเวลา 48 เดือน โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยของทารกน้ำหนักน้อยอยู่ที่ 2.92 รายในอำเภอเมือง และ 14.20 รายในระดับจังหวัด ขณะที่การคลอดก่อนกำหนดมีค่าเฉลี่ย 19.90 รายในอำเภอเมือง และ 33.30 รายในจังหวัด ค่ามัธยฐาน ค่าต่ำสุด - สูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสะท้อนความผันผวนของจำนวนเหตุการณ์ในแต่ละเดือน ผลการทดสอบ Shapiro–Wilk ชี้ว่าข้อมูลทารกน้ำหนักน้อยในอำเภอเมืองมีการกระจายตัวไม่เป็นปกติ ($p < 0.05$) ส่วนตัวแปรอื่น ๆ มีแนวโน้มการกระจายตัวเป็นปกติมากกว่า ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สถิติพรรณนาจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยและจำนวนการคลอดก่อนกำหนด (ราย) อำเภอเมืองกาญจนบุรีและจังหวัดกาญจนบุรี

ค่าสถิติ	จำนวนการคลอดทารกน้ำหนักน้อย		จำนวนการคลอดก่อนกำหนด	
	อ.เมืองกาญจนบุรี	จังหวัดกาญจนบุรี	อ.เมืองกาญจนบุรี	จังหวัดกาญจนบุรี
ค่าเฉลี่ย	2.92	14.20	19.90	33.30
ค่ามัธยฐาน	3	14	19	34
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.90	5.31	5.46	7.03
ความแปรปรวน	3.61	28.2	29.8	49.4
ค่าต่ำสุด	0	3	9	13
ค่าสูงสุด	8	24	32	51
Shapiro-Wilk W	0.929	0.976	0.981	0.979
Shapiro-Wilk p	0.006	0.412	0.612	0.541

ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างระดับ PM2.5 กับผลลัพธ์การคลอดในอำเภอเมืองกาญจนบุรีและทั้งจังหวัด โดยพบว่า ระดับ PM2.5 มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยในอำเภอเมือง ($r = 0.335$, $p = 0.020$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่ใกล้มีนัยสำคัญในระดับจังหวัด ($r = 0.263$, $p = 0.071$) ขณะที่จำนวนทารกน้ำหนักน้อยในจังหวัดมีความสัมพันธ์สูงกับจำนวนทารกน้ำหนักน้อยในอำเภอเมือง ($r = 0.662$, $p < 0.001$) สำหรับการคลอดก่อนกำหนด พบความสัมพันธ์เชิงลบเล็กน้อยกับ PM2.5 ทั้งในอำเภอเมืองและจังหวัด แต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนจำนวนการคลอดก่อนกำหนดในจังหวัดมีความสัมพันธ์สูงกับจำนวนการคลอดก่อนกำหนดในอำเภอเมือง ($r = 0.723$, $p < 0.001$) สะท้อนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์การคลอดที่สอดคล้องกันในพื้นที่เดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่าง PM2.5 และ PM2.5 สะสม (มค.ก./ลบ.ม.) กับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยและจำนวนการคลอดก่อนกำหนด (ราย) อำเภอเมืองกาญจนบุรีและจังหวัดกาญจนบุรี

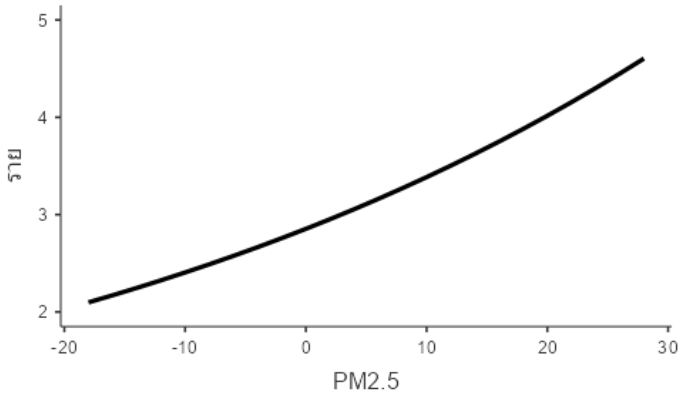
		PM2.5	จำนวนการคลอดทารกน้ำหนักน้อย		จำนวนการคลอดก่อนกำหนด
			อ.เมืองกาญจนบุรี	จังหวัดกาญจนบุรี	อ.เมืองกาญจนบุรี
จำนวนการคลอดทารกน้ำหนักน้อย					
อ.เมืองกาญจนบุรี	Pearson's r	0.335	—		
	p-value	0.020	—		
จังหวัดกาญจนบุรี	Pearson's r	0.263	0.662	—	
	p-value	0.071	<.001	—	
จำนวนการคลอดก่อนกำหนด					
อ.เมืองกาญจนบุรี	Pearson's r	-0.248	0.206	0.197	—
	p-value	0.089	0.160	0.179	—
จังหวัดกาญจนบุรี	Pearson's r	-0.221	0.222	0.219	0.723
	p-value	0.131	0.130	0.134	<.001

จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทวินามลบระหว่างจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย จำนวนการคลอดก่อนกำหนดของอำเภอเมืองกาญจนบุรีและจังหวัดกาญจนบุรี กับ ระดับ PM2.5 ในเดือนนั้น ค่าสะสม 3 เดือน 6 เดือน และ 9 เดือน โมเดลที่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงในตารางที่ 4 พบว่า PM2.5 รายเดือนมีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีนัยสำคัญกับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยในอำเภอเมืองกาญจนบุรี ($\exp(B) = 1.020$, $p = 0.014$) ตามภาพที่ 1 ขณะที่ PM2.5 สะสม 3 เดือนมีความสัมพันธ์เชิงลบเล็กน้อยกับจำนวนการคลอดก่อนกำหนดทั้งในอำเภอเมืองกาญจนบุรีและจังหวัดกาญจนบุรี โดยมีนัยสำคัญในระดับจังหวัด ($p = 0.046$) และใกล้มีนัยสำคัญในอำเภอเมือง ($p = 0.053$) ค่า R-square ของโมเดลอยู่ในช่วง 0.072 – 0.100 สะท้อนความสามารถในการอธิบายข้อมูลระดับหนึ่ง ส่วนผลการทดสอบ Log-likelihood ratio มีนัยสำคัญในทุกโมเดล ($p \leq 0.050$) แสดงว่าการเพิ่มตัวแปร

PM2.5 หรือ PM2.5 สะสมช่วยให้โมเดลอธิบายความแปรปรวนของผลลัพธ์การคลอดได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4 โมเดล Negative Binomial ที่เหมาะสม

ตัวแบบ	**ทวินามลบ**	**ทวินามลบ**	**ทวินามลบ**
ตัวแปรตาม	จำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย	จำนวนการคลอดก่อนกำหนด	จำนวนการคลอดก่อนกำหนด
เขตพื้นที่	อำเภอเมืองกาญจนบุรี	อำเภอเมืองกาญจนบุรี	จังหวัดกาญจนบุรี
ตัวแปรต้น	PM2.5	PM2.5 สะสม 3 เดือน	PM2.5 สะสม 3 เดือน
R-Square	0.100	0.072	0.0743
AIC	189.376	298.139	324.597
Loglikelihood ratio tests			
X^2	5.880	3.830	4.030
df	1	1	1
p	0.015	0.050	0.045
Model Intercept			
exp(B)	2.850	19.820	33.192
95% Lower	2.38	18.393	31.333
95% Upper	3.38	21.34	35.144
Z	11.76	78.8	119.59
P	< .001	< .001	< .001
PM25			
exp(B)	1.020	0.998	0.998
95% Lower	1	0.996	0.996
95% Upper	1.03	1.000	1.000
z	2.45	-1.94	-2.00
p	0.014	0.053	0.046



ภาพที่ 1 แบบจำลองทวินามลบ แสดงระดับ PM2.5 (มค.ก./ลบ.ม.) กับ จำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย (ราย) อำเภอเมืองกาญจนบุรี

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระดับ PM2.5 และ PM2.5 สะสม มีความสัมพันธ์กับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยและจำนวนการคลอดก่อนกำหนดในช่วงเวลา 48 เดือน การวิเคราะห์สถิติพรรณนาพบว่า ระดับ PM2.5 รายเดือนมีความผันผวนตามฤดูกาลและเพิ่มสูงขึ้นเมื่อคำนวณเป็นค่าฝุ่นสะสม 3 – 9 เดือน สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศแบบแอ่งกระทะของจังหวัดกาญจนบุรีที่เอื้อต่อการสะสมของมลพิษทางอากาศ ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่า PM2.5 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยในอำเภอเมืองอย่างมีนัยสำคัญ และมีแนวโน้มสัมพันธ์ในระดับจังหวัด ขณะที่ความสัมพันธ์กับการคลอดก่อนกำหนดมีทิศทางเชิงลบเล็กน้อยแต่ไม่ถึงระดับนัยสำคัญ ซึ่งอาจสะท้อนความแตกต่างของกลไกผลกระทบต่อผลลัพธ์ทั้งสองประเภทแบบจำลองทวินามลบซึ่งเหมาะสมกับข้อมูลที่มี overdispersion แสดงให้เห็นว่า PM2.5 รายเดือนเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดทารกน้ำหนักน้อยในอำเภอเมืองกาญจนบุรีอย่างมีนัยสำคัญ (exp(B) = 1.020, p = 0.014) หมายความว่าเมื่อ PM2.5 เพิ่มขึ้น 1 μg/m³ อัตราการเกิดทารกน้ำหนักน้อยเพิ่มขึ้นประมาณ 2% ส่วน PM2.5 สะสม 3 เดือนมีความสัมพันธ์เชิงลบเล็กน้อยกับการคลอดก่อนกำหนดทั้งในอำเภอเมืองและระดับจังหวัด โดยมีนัยสำคัญในระดับจังหวัด (p = 0.046) ซึ่งอาจสะท้อนความซับซ้อนของผลกระทบสะสมในช่วงตั้งครรภ์ตอนปลาย หรืออาจเกิดจากปัจจัยกวนที่ไม่ได้รวมในโมเดล เช่น พฤติกรรมสุขภาพของมารดา ภาวะแทรกซ้อนระหว่างตั้งครรภ์ หรือความแตกต่างของการเข้าถึงบริการสุขภาพ

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าในประเทศไทยและต่างประเทศที่รายงานว่าการได้รับ PM2.5 ระหว่างตั้งครรภ์เพิ่มความเสี่ยงของการคลอดก่อนกำหนดและทารกน้ำหนักน้อย (WHO, 2021; WHO, 2018; Chiarello et al., 2023; Thaichana et al., 2025, 304; Parasin et al., 2024, 446) โดยเฉพาะเมื่อได้รับในระดับสูงหรือได้รับสะสมเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์เชิงลบของ PM2.5 สะสมกับการคลอดก่อนกำหนดในบางโมเดลอาจสะท้อนข้อจำกัดของข้อมูลรายเดือนหรือความไม่สม่ำเสมอของการรายงานข้อมูลในพื้นที่ การศึกษานี้จึงช่วยเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการในพื้นที่กาญจนบุรี และชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการติดตามคุณภาพ

อากาศอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการพัฒนามาตรการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพมารดาและทารกในระดับพื้นที่อย่างเป็นระบบ

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าระดับ PM2.5 และค่าฝุ่นสะสมมีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์การคลอดที่ไม่พึงประสงค์ในจังหวัดกาญจนบุรี โดยพบว่า PM2.5 รายเดือน มีผลเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ PM2.5 สะสม 3 เดือน มีความสัมพันธ์กับจำนวนการคลอดก่อนกำหนดในระดับที่มีนัยสำคัญทางสถิติในจังหวัดกาญจนบุรี ผลลัพธ์เหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบของมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพมารดาและทารก แม้จะเป็นข้อมูลรายเดือนระดับพื้นที่ก็ตาม การศึกษานี้ช่วยเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการในพื้นที่ที่ยังไม่มีงานวิจัยมาก่อน และสนับสนุนความจำเป็นของการติดตามคุณภาพอากาศอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการพัฒนามาตรการด้านสาธารณสุขเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของหญิงตั้งครรภ์และทารกแรกเกิดในจังหวัดกาญจนบุรีอย่างเป็นระบบ

ข้อจำกัดการวิจัย

การศึกษานี้ใช้ตัวแปรอิสระเดี่ยว (univariate analysis) ซึ่งไม่ได้นำปัจจัยที่อาจมีผลต่อการคลอดก่อนกำหนดและทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อย เช่น อายุมารดา ภาวะแทรกซ้อนระหว่างตั้งครรภ์ พฤติกรรมสุขภาพ หรือปัจจัยด้านสังคมเศรษฐกิจ ทำให้ความสัมพันธ์ที่พบอาจสะท้อนอิทธิพลของปัจจัยอื่นร่วมด้วย ประการที่สอง ข้อมูล PM2.5 มาจากสถานีตรวจวัดเพียงแห่งเดียวในอำเภอเมืองกาญจนบุรี ซึ่งอาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของระดับมลพิษในพื้นที่อื่นของจังหวัดที่มีลักษณะภูมิประเทศและแหล่งกำเนิดมลพิษแตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าที่ใช้วิเคราะห์อาจมีความคลาดเคลื่อนจากระดับการสัมผัสจริงของประชากรในบางพื้นที่ ข้อจำกัดทั้งสองประการนี้อาจมีผลต่อความแม่นยำของการประเมินความสัมพันธ์ และควรได้รับการพิจารณาในการตีความผลลัพธ์และการออกแบบการศึกษาครั้งต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของระดับ PM2.5 ต่อผลลัพธ์การคลอดในจังหวัดกาญจนบุรี จึงควรนำข้อมูลไปใช้ในการกำหนดมาตรการด้านสาธารณสุขเพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อหญิงตั้งครรภ์ เช่น การจัดทำระบบแจ้งเตือนคุณภาพอากาศรายวัน การให้คำแนะนำแก่หญิงตั้งครรภ์ในการลดการสัมผัสมลพิษในช่วงที่ค่าฝุ่นสูง และการส่งเสริมการใช้หน้ากากหรือการอยู่ในพื้นที่อากาศสะอาดในช่วงฤดูที่มีฝุ่นสะสมสูง นอกจากนี้ หน่วยงานสาธารณสุขระดับจังหวัดสามารถใช้ข้อมูลนี้ประกอบการวางแผนเชิงพื้นที่ เช่น การเพิ่มจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ การจัดทำแผนป้องกันมลพิษในชุมชน และการสื่อสารความเสี่ยงต่อประชาชนกลุ่มเปราะบางอย่างต่อเนื่อง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาใช้แบบจำลองที่ควบคุมปัจจัยรบกวนเพิ่มเติม เช่น อายุและภาวะสุขภาพของมารดา ภาวะแทรกซ้อนระหว่างตั้งครรภ์ สถานะทางเศรษฐกิจสังคม และพฤติกรรมสุขภาพ เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการประเมินผลกระทบของ PM2.5 ต่อผลลัพธ์การคลอด นอกจากนี้ ควรเพิ่มจำนวนสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศหรือใช้ข้อมูลจากแบบจำลองเชิงพื้นที่ (spatial models) เพื่อให้ค่าการสัมผัส PM2.5 สะท้อนสภาพจริงของทั้งจังหวัดได้ดียิ่งขึ้น รวมถึงการใช้ข้อมูลรายวันหรือรายสัปดาห์แทนข้อมูลรายเดือนเพื่อตรวจจับผลกระทบ

ระยะสั้นและระยะเฉียบพลันได้ละเอียดมากขึ้น การศึกษาที่ครอบคลุมหลายอำเภอหรือหลายจังหวัดจะช่วยเพิ่มความทั่วไปของผลลัพธ์และสนับสนุนการกำหนดนโยบายด้านคุณภาพอากาศในระดับประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2569). **ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ**. ค้นเมื่อ มิถุนายน 5, 2569, จาก http://air4thai.pcd.go.th/webV3/#/AQIInfo.

กรมควบคุมมลพิษ. (2568). **ระบบรายงานคุณภาพอากาศ Air4Thai ข้อมูลย้อนหลัง รายเดือน กาญจนบุรี - สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (79T).** ค้นเมื่อ ธันวาคม 14, 2568, จาก http://air4thai.pcd.go.th/webV3/#/History.

พรพิมล อดัมส์. (2568). **ความสำคัญของการขอรับรองจริยธรรมการวิจัย.** ค้นเมื่อ ธันวาคม 14, 2568, จาก https://www.tm.mahidol.ac.th/research/images/Channel/slide/S2_ep30_จริยธรรมการวิจัยในคน.pdf.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กระทรวงสาธารณสุข. (2568). **ระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ (HDC): ตัวชี้วัดมาตรฐานอนามัยแม่และเด็ก รายการ 3.7 ร้อยละหญิงไทยคลอดก่อนกำหนด และ 4.1 ร้อยละทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยกว่า 2,500 กรัม.** ค้นเมื่อ ธันวาคม 14, 2568, จาก https://hdc.moph.go.th/center/public/standard-subcatalog/1ed90bc32310b503b7ca9b32af425ae5.

สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดกาญจนบุรี และ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดกาญจนบุรี. (2566). **แผนเผชิญเหตุมลพิษจากฝุ่นละอองขนาดเล็กจังหวัดกาญจนบุรี พ.ศ. 2566.** ค้นเมื่อ ธันวาคม 14, 2568, จาก https://backofficeminisite.disaster.go.th/upload/userfiles/แผนเผชิญเหตุแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองขนาด 65-66.pdf.

Broséus, L., Guilbert, A., Hough, I., Kloog, I., Chauvaud, A., Seyve, E., Vaiman, D., Heude, B., Chevrier, C., Tost, J., Slama, R., and Lepeule, J. (2024). Placental DNA methylation signatures of prenatal air pollution exposure and potential effects on birth outcomes: an analysis of three prospective cohorts. **Lancet Planet Health, 8 (5),** e297–e308.

Cameron, A. C, and Trivedi, P. K. (2013). **Regression Analysis of Count Data (2nd ed.).** New York: Cambridge University Press.

Chiarello, D. I., Ustáriz, J., Marín, R., Carrasco-Wong, I., Farías, M., Giordano, A., Gallardo, F. S., Illanes, S. E., and Gutiérrez, J. (2023). Cellular mechanisms linking to outdoor and indoor air pollution damage during pregnancy. **Front Endocrinol, 14,** 1084986.

de Jong, P., Frees, E.W., Derrig, R.A., and Meyers, G. (2014). **Time series analysis. In: Predictive Modeling Applications in Actuarial Science**. Cambridge: Cambridge University Press.

Dobson, A. J., and Barnett, A. G. (2018). **An Introduction to Generalized Linear Models (4th ed.).** Boca Raton: CRC Press.

Fong, K. C., Kosheleva, A., Kloog, I., Koutrakis, P., Laden, F., Coull, B. A., and Schwartz, J. D. (2019). Fine Particulate Air Pollution and Birthweight: Differences in Associations Along the Birthweight Distribution. **Epidemiology, 30 (5),** 617-623.

Gallucci, M. (2019). **GAMLj3: General analyses for linear models (Version 3.2.7).** Retrieved December 14, 2025, from https://gamlj.github.io/.

Hilbe, J. M. (2011). **Negative Binomial Regression (2nd ed.).** Cambridge: Cambridge University Press.

McCullagh, P., and Nelder, J. A. (1989). **Generalized Linear Models (2nd ed.).** London: Chapman & Hall.

Parasin, N., Amnuaylojaroen, T., and Saokaew, S. (2024). Prenatal PM2.5 Exposure and Its Association with Low Birth Weight: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Toxics, 12 (7),** 446.

Thaichana, P., Sripan, P., Rerkasem, A., Tongsong, T., Sangsawang, S., Kawichai, S., Srisukkham, W. Wanapirak, C., Sirilert, S., Mattawanon, N., Phanpong, C., Ongprasert, K., Derraik, J. G. B., and Rerkasem, K. (2025). Association of maternal PM2.5 exposure with preterm birth and low birth weight: a large-scale cohort study in Northern Thailand (2016–2022). **Toxics, 13 (4)**, 304.

The jamovi project. (2024). **jamovi (Version 2.5).** Retrieved December 14, 2025, from https://www.jamovi.org.

Tsoli, S., Ploubidis, G. B., and Kalantzi, O. (2019). Particulate air pollution and birth weight: A systematic literature review. **Atmospheric Pollution Research, 10 ,** 1084-1122, 10.1016/j.apr.2019.01.016.

World Health Organization (WHO). (2021). **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.** Geneva: WHO.

World Health Organization (WHO). (2018). **Air pollution and child health: prescribing clean air.** Geneva: WHO.

Yu, Y., Fan, W., Ni, J., Gao, X., Li, W., Zheng, J., Zhang, H., Chen, J., Liu, Q., Lin, Z., Chen, B., Wang, Y., Hou, S., Fang, L., Ni, S., Hou, S., Han, C., and Guo, L. (2025). Maternal placental growth factor mediates the association between PM2.5 and its constituents with adverse pregnancy outcomes. **J Hazard Mater, 5 (497),** 139598, 10.1016/j.jhazmat.2025.139598.

วารสารสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสุขภาพ
Journal of Multidisciplinary Science, Technology and Health

ความเป็นมา

วารสารสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสุขภาพ เป็นวารสารทางวิชาการ เริ่มออกฉบับแรก เมื่อปี พ.ศ. 2569 โดยอยู่ในความรับผิดชอบของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี วารสารนี้มุ่งส่งเสริมการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ระหว่างนักวิจัย นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปจากหลากหลายสาขา อันจะนำไปสู่การพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมที่ตอบสนองต่อความต้องการของสังคมอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่มีคุณภาพในสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสุขภาพ
2. เพื่อเป็นแหล่งรวมองค์ความรู้เชิงสหวิทยาการที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เชิงนโยบายและการพัฒนาอย่างยั่งยืน
3. เพื่อส่งเสริมการสร้างเครือข่ายนักวิจัยระหว่างสถาบันการศึกษา หน่วยงานภาครัฐ เอกชน และชุมชน

นโยบาย

บทความทุกบทความจะได้รับการตรวจสอบเบื้องต้นโดยกองบรรณาธิการ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมกับขอบเขตวารสาร และจะถูกส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อยจำนวน 3 ท่าน ประเมินความเหมาะสมของเนื้อหาแบบ Double-Blind Peer Review และการตัดสินใจสุดท้ายขึ้นอยู่กับกองบรรณาธิการโดยอิงตามข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อให้ได้บทความที่มีคุณค่าทางวิชาการ มีทฤษฎีประกอบสนับสนุนอย่างเพียงพอ หรือเป็นบทความวิชาการที่น่าสนใจ

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน / ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม

สถานที่ติดต่อ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
เลขที่ 70 หมู่ 4 ตำบลลาดหญ้า อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 71190
โทรศัพท์: 034-534-030 ภายในกด 211, 213
อีเมล: journal.jmsth@kru.ac.th

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป


B−A=C
A+B=C
A×B=C
A/B=C
m²
MATH