แผ่นเจลประดิษฐ์จากแป้งมันสำปะหลังสำหรับการประคบร้อน–เย็น

ภัทิรา สุขทนารักษ์* และเบญทิวา สุรศาสตร์พิศาล

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตลำปาง ลำปาง 52100

*E-mail: suktanarak.p@hotmail.com

รับบทความ: 10 ธันวาคม 2563 แก้ไขบทความ: 19 มีนาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 5 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนานวัตกรรมแผ่นเจลจากวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพสำหรับการประคบร้อน–เย็น โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารก่อเจลร่วมกับสารเติมแต่งกลีเซอรีนและบอแรกซ์ โดยศึกษาผลของกลีเซอรีนต่อการลดการแข็งตัวของเจลที่อุณหภูมิต่ำ และผลของบอแรกซ์ต่อการคงสภาพเจลด้วยการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างทางเคมีเพื่อให้ได้สูตรเจลที่เหมาะสมสำหรับประคบบนผิวหนัง และนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิเปรียบเทียบกับแผ่นเจลมาตรฐานในเกรดการแพทย์ ผลการทดลองพบว่า แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังสามารถเก็บกักอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงของการบำบัดได้เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 15–20 นาที โดยประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิไม่แตกต่างจากแผ่นเจลมาตรฐานในกรณีของแผ่นเจลร้อนและแผ่นเจลเย็นที่เตรียมด้วยวิธีการแช่ในอ่างน้ำแข็ง ($p \geq 0.05$) ขณะที่แผ่นเจลเย็นที่เตรียมด้วยการแช่ในช่องแข็งและช่องเย็นสามารถเก็บกักอุณหภูมิได้นานกว่าแผ่นเจลมาตรฐาน แต่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ: แผ่นเจลประคบร้อน–เย็น แป้งมันสำปะหลัง ประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิ

Invented Gel Pack from Cassava Starch for Hot–Cold Compress

Pattira Suktanarak[*] and Benthiwa Surasartpisal

Faculty of Sport and Health Sciences, Thailand National Sports University
Lampang Campus, Lampang 52100, Thailand
[*]E-mail: suktanarak.p@hotmail.com

Received: 10 December 2020 Revised: 19 March 2021 Accepted: 5 May 2021

Abstract

This research aimed to develop a gel pack from biopolymer material for application in hot–cold compress. Our work employed cassava starch as a gelator cooperated with additive substances of glycerin and borak to improve the properties of starch gel. Our research examined effect of glycerin on decreasing of gel change into the ice at low temperature, and effect of borax on stability enhancement of starch gel by analyzing physical characteristics as well as chemical structure to acquire an appropriate formula. Subsequently, the gel pack was investigated the efficiency of temperature control by comparing with standard gel in medical grade. The result showed that our starch gel can control temperature in range of clinical treatment for at least 15–20 min. In addition, efficiency of temperature control between starch gel and standard gel was no difference in case of hot gel as well as cold gel preparing in ice bath ($p \geq 0.05$). On the other hand, our cold gel prepared by freezing and cold storage exhibited a performance of temperature control higher than standard gel, but it was lower sensitivity to temperature.

Keywords: Hot–cold gel pack, Cassava starch, Efficiency of temperature control

บทนำ

การประคบร้อนและประคบเย็นเป็นวิธีการบรรเทาอาการบาดเจ็บในเบื้องต้นที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ทั้งในทางการแพทย์และการกีฬา การให้ความร้อนหรือความเย็นจะส่งผลต่อการหด–คลายตัวของหลอดเลือด และช่วยบรรเทาอาการบาดเจ็บ การปวดบวม การอักเสบของกล้ามเนื้อ รวมไปถึงลดอาการเกิดโรคทางสุขภาพต่าง ๆ เช่น การลดไข้ การปวดประจำเดือน การปวดเมื่อยจากออฟฟิตซินโดรม ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่กล่าวถึงความสำคัญของการใช้เจลเก็บรักษาอุณหภูมิควบคู่กับการรักษาโรคและการฟื้นฟูร่างกายหลังการรักษา (Eamchunprathip and Tepapal, 2017; Kaewfu, 2019; Kong-

phet and Paneeya, 2011; Leurcharusmee *et al*., 2017) ไม่เพียงแต่ทางการแพทย์และสุขภาพเท่านั้น ทางด้านการกีฬาเจลประคบร้อน–เย็นก็ถือเป็นอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้นของนักกีฬาระหว่างการแข่งขันและการฟื้นฟูสภาพร่างกาย โดยเฉพาะกีฬาที่ต้องใช้สมรรถภาพทางกาย ความทนทานแข็งแรง และยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อสูง เช่น กีฬาเรือพายที่ต้องใช้ท่าทางในการพายด้วยการงอ เหยียด บิดลำตัวและข้อไหล่ซ้ำ ๆ เพื่อดึงไม้พายไปข้างหลังอย่างรวดเร็ว ดังนั้นนักกีฬาที่มีกล้ามเนื้อไม่แข็งแรงเพียงพอต่อโปรแกรมการฝึกซ้อมที่หนักอาจส่งผลต่อการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อบริเวณส่วนต่างๆ (Phadungchai *et al*., 2015; Samokham and Sitilertpisan, 2016) อุปกรณ์ประคบร้อน–เย็นจึงมีความสำคัญกับนักกีฬาเป็นอย่างมาก และมักต้องใช้จำนวนมากสำหรับกีฬาประเภททีมที่นักกีฬามีโอกาสบาดเจ็บพร้อม ๆ กันได้

ถึงแม้ว่าเจลประคบร้อน–เย็นจะมีประโยชน์ต่าง ๆ มากมายแต่ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดนั้นมีราคาค่อนข้างสูง จึงมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว และพัฒนาผลิตภัณฑ์หรืออุปกรณ์สำหรับประคบร้อน–เย็นจากวัสดุที่มีราคาถูกสามารถผลิตขึ้นใช้เองได้ในหน่วยงานหรือตามครัวเรือน ทั้งการใช้วัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Theerasopon *et al*., 2016; Thepphabutra and Subbalekha, 2016) และการใช้สารจากธรรมชาติ (Ngamtura *et al*., 2018; Susawaengsup *et al*., 2020) โดยแผ่นเจลที่เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้ในการประคบร้อน–เย็นต้องมีประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงของการบรรเทาและฟื้นฟูร่างกาย โดยอุณหภูมิสำหรับการประคบร้อนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 40–45°C ขณะที่การประคบเย็นจะอยู่ในช่วง 10–15°C (Eungpithum *et al*., 2012; Jaiban *et al*., 2016) และต้องสามารถเก็บกักอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 15–20 นาทีต่อการประคบในแต่ละครั้ง นอกจากนั้นแผ่นเจลที่เหมาะสมต่อการนำมาประคบบนผิวหนังควรมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และให้ความสะดวกสบายกับผิวหนังระหว่างการใช้งาน ซึ่งจะแตกต่างจากเจลเก็บรักษาความเย็นสำหรับการขนส่งวัสดุการแพทย์ ยา และอาหารแช่แข็ง ที่จะแข็งตัวคล้ายน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำ (< 0°C) (Thaweethamcharoen, 2010)

การพัฒนาแผ่นเจลสำหรับประคบร้อน-เย็นในภาคอุตสาหกรรมมักใช้สารพอลิเมอร์และน้ำเป็นส่วนประกอบหลักในการเตรียมแผ่นเจล มีหลายผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการทางปิโตรเคมี ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้แล้วหมดไป นับวันจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ และสารบางชนิดอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ แนวโน้มของงานวิจัยในปัจจุบันในด้านการพัฒนาวัสดุไฮโดรเจลได้หันมาใช้สารตั้งต้นจากพอลิเมอร์ชีวภาพเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะสารจำพวกแป้ง (Ismail *et al*., 2013) ด้วยจุดเด่นของสารธรรมชาติ ไม่เป็นอันตราย มีปริมาณมากและถือเป็นสารหมุนเวียนได้ ราคาไม่แพง รวมทั้งยังย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนานวัตกรรมแผ่นเจลประคบร้อน–เย็นจากวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพและเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ปฐมพยาบาลเบื้องต้นสำหรับบุคคลทั่วไป นักกีฬา และทางการแพทย์ โดยเลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารก่อเจลร่วมกับสารเติมแต่ง (กลีเซอรีนและบอแรกซ์) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์ กลีเซอรีนซึ่งมีสมบัติต้านการแข็งตัวได้ (antifreezing agent) (Gramann *et al*., 2013; Lane, 1925) มีแนวโน้มจะช่วยป้องกันหรือชะลอการแข็งตัวของแผ่นเจลที่อุณหภูมิต่ำ รวมทั้งยังสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับแผ่นเจล ดังการรายงานถึงบทบาทสำคัญของกลีเซอรีนต่อการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจล (Adamu *et al*., 2017; Aghazadeh *et al*., 2018; Dawam Abdu *et al*., 2019) และเพื่อช่วยคงสภาพความเป็นเจลและยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ การปรับเปลี่ยนโครงทางเคมีด้วยสารเชื่อมขวางจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาเหล่านั้น (Maitra and Shukla, 2014; Tanan and Saengsuwan, 2014) ดังเช่นรายงานถึงการใช้บอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวางทางเคมีในวัสดุไฮโดรเจลชีวภาพ (Subrahmanyam, 2012; Thombare *et al*., 2017)

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีบางส่วนของการทดลองเกี่ยวข้องกับมนุษย์ โดยได้รับการพิจารณาเห็นชอบจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยเกี่ยวกับมนุษย์ วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี นครลำปาง สถาบันพระบรมราชชนก เลขที่โครงการวิจัย 111/2563

อุปกรณ์และสารเคมี

แป้งมันสำปะหลัง (cassava starch) บอแรกซ์ (sodium tetraborate decahydate, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) และกลีเซอรีน เป็นเกรดทางการค้า น้ำกลั่น (sterile water) จากบริษัทไทยนครพัฒนา จำกัด อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมและศึกษาประสิทธิภาพแผ่นเจลประดิษฐ์ ได้แก่ ถุงซิปล็อก ขนาด 9×13 เซนติเมตร ถุงร้อน จานให้ความร้อน (hotplate) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ช่วงของการวัดอุณหภูมิที่ 0–93 องศาเซลเซียส (±1.0°C) และเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) รุ่น Perkin Elmer Model Spectrum Two, ATR mode สำหรับใช้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างเจล เตรียมตัวอย่างโดยนำเจลแป้งมันสำปะหลังไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR

การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย มีขั้นตอนดังนี้

การพัฒนาแผ่นเจลสำหรับการประคบร้อน–เย็น

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารสำคัญในการเตรียมแผ่นเจล ร่วมกับการเติมกลีเซอรีนและบอแรกซ์ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารชนิดต่าง ๆ ดังในตาราง 1

แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังเตรียมได้จากการนำเจลสูตรต่าง ๆ ปริมาณ 150 กรัม ใส่ถุงซิปล็อค ขนาด 9×13 เซนติเมตร โดยแต่ละสูตรมีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

สูตร N1 เจลแป้งมันสำปะหลัง ชั่งแป้งมันสำปะหลัง 11.50 กรัม และเติมน้ำกลั่น 138.50 กรัม นำไปให้ความร้อนจนแป้งละลายหมด จะได้สารหนืดใส ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง จะได้เจลแป้งมันสำปะหลังสูตร *N1*

สูตร N2–N5 เจลแป้งมันสำปะหลังที่ประกอบด้วยกลีเซอรีนในอัตราส่วนต่าง ๆ นำเจลแป้งมันสำปะหลัง (*N1*) ที่ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงที่

อุณหภูมิห้องมาผสมด้วยกลีเซอรีนที่อัตราส่วนต่าง ๆ ตามตาราง 1 คนให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

สูตร N6–N10 เจลแป้งมันสำปะหลัง+กลีเซอรีน+บอแรกซ์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ นำเจลแป้งมันสำปะหลัง (*N4*) ที่มีอัตราส่วนของกลีเซอรีนที่เหมาะสม (ร้อยละ 20) มาผสมด้วยบอแรกซ์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และคนต่อให้เข้ากันอีกประมาณ 20 นาที

ตาราง 1 สูตรเจลจากแป้งมันสำปะหลัง

สูตร	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	น้ำกลั่น (กรัม)	กลีเซอรีน (กรัม)	บอแรกซ์[1]
N1	11.50	138.50	-	–
N2	10.92	131.58	7.50 (ร้อยละ 5 กลีเซอรีน)	–
N3	10.35	124.65	15.00 (ร้อยละ 10 กลีเซอรีน)	–
N4	9.20	110.80	30.00 (ร้อยละ 20 กลีเซอรีน)	–
N5	8.05	96.95	45.00 (ร้อยละ 30 กลีเซอรีน)	–
N6	9.20	110.80	30.00	0.1:1
N7	9.20	110.80	30.00	0.25:1
N8	9.20	110.80	30.00	0.5:1
N9	9.20	110.80	30.00	0.75:1
N10	9.20	110.80	30.00	1:1

[1]คำนวณจากโมลของบอแรกซ์:โมลของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลในแป้ง

อัตราส่วนของบอแรกซ์:แป้งมันสำปะหลัง คิดเทียบได้จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในแป้งมันสำปะหลังกับบอเรต (BO_4^-) โดยแป้งประกอบด้วยกลูโคส ($C_6H_{12}O_5$) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 162 กรัม/โมล เป็นหน่วยซ้ำ ดังนั้นเมื่อใช้แป้ง 1 กรัม คิดเป็น 6.2 มิลลิโมลของหน่วยกลูโคส โดยกลูโคสแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จึงมีค่าเท่ากับ 18.6 มิลลิโมลหมู่ไฮดรอกซิล เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาการเชื่อมขวางระหว่างบอแรกซ์และหมู่ไฮดรอกซิล พบว่า บอแรกซ์ 1 โมล สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลได้ 4 หมู่ (Reido *et al*., 2015) ดังนั้นต้องใช้บอแรกซ์เท่ากับ 1.77 กรัม เพื่อเกิดปฏิกิริยาพอดีในอัตราส่วน 1:1 (คำนวณวิธีการสังเคราะห์ไฮโดรเจลตามงานวิจัยของ Wutticharoenmonghol (2018))

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเจลแป้งมันสำปะหลัง

นำแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมขึ้นจากสูตรต่าง ๆ (*N1–N10*) มาศึกษาลักษณะทางกายภาพ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เป็นแผ่นเจลสำหรับการประคบร้อนและเย็น

1) ผลของกลีเซอรีนต่อการลดการแข็งตัวของเจลที่อุณหภูมิต่ำ (< 0°C)

นำเจลแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของกลีเซอรีน คือ ร้อยละ 0 5 10 20 และ 30 กลีเซอรีนในปริมาณสารทั้งหมดตามสูตร *N1–N5* มาศึกษาผลของกลีเซอรีนต่อการลดการแข็งตัวของแผ่นเจลเย็นที่อุณหภูมิต่ำ โดยนำเจล

ทั้ง 5 สูตร แช่แข็งในช่องแข็ง (อุณหภูมิ < 0°C) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเจลทั้ง 5 สูตร

2) อัตราส่วนของบอแรกซ์ที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นเจล

เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเจลที่มีปริมาณบอแรกซ์แตกต่างกัน ดังสูตรเจล *N1* *N4* และ *N6–N10* (0:1–1:1 บอแรกซ์: แป้งมันสำปะหลัง) ทั้งก่อนและหลังการเก็บเจลไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเจลสูตรต่าง ๆ ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

3) การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแผ่นเจลหลังใช้ประคบร้อน–เย็น ไป–กลับ เป็นจำนวน 5 รอบ

เลือกสูตรเจล *N7* มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เมื่อใช้เป็นเจลร้อนและเจลเย็น สลับไปกลับจำนวน 5 รอบ โดยเตรียมแผ่นเจลร้อนด้วยการแช่แผ่นเจลลงในน้ำร้อนเป็นเวลา 10 นาที และเตรียมแผ่นเจลเย็นด้วยการแช่ในช่องแข็ง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทุกครั้งของการทดลองจะมีการรอให้อุณหภูมิของแผ่นเจลเปลี่ยนกลับสู่อุณหภูมิห้องก่อนการนำไปศึกษาที่อุณหภูมิสูง (เจลร้อน) และอุณหภูมิต่ำ (เจลเย็น) ในรอบถัดไป

การศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นเจลในการเก็บกักอุณหภูมิ

ประสิทธิภาพของแผ่นเจลในการเก็บกักอุณหภูมิทำได้โดยเตรียมแผ่นเจลร้อนและเย็นด้วยวิธีการต่าง ๆ และติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ เวลาต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด รายงานค่าเฉลี่ยของเวลาที่แผ่นเจลสามารถเก็บกักอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงของการบำบัดคือ ณ เวลาที่แผ่นเจลสามารถรักษาอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 40°C สำหรับเจลร้อน และอุณหภูมิไม่สูงกว่า 15°C สำหรับเจลเย็น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังกับแผ่นเจลมาตรฐานที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เกรดทางการแพทย์ ขนาด 12.0×10.5 ซม. (ผลิตจากบริษัท กอคเคนเนอร์ จำกัด ประเทศเยอรมนี) ทำการทดลองทั้งหมดอย่างละ 3 ชุดทั้งสองผลิตภัณฑ์ (แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลัง *vs* แผ่นเจลมาตรฐาน) โดยทดลอง ณ ภาวะเดียวกัน และรายงานเป็นค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมทั้งวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสองผลิตภัณฑ์ด้วย independent *t*–test โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 25.0

ก่อนการศึกษาประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิ จะนำแผ่นเจลมาให้ความร้อนหรือความเย็นด้วยวิธีต่าง ๆ แผ่นเจลร้อนเตรียมได้โดยนำแผ่นเจลใส่ในถุงร้อน และนำไปแช่ในน้ำร้อน (อุณหภูมิ ~80–85°C) เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตามลำดับ สำหรับการเตรียมแผ่นเจลเย็นจะแบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ การแช่แผ่นเจลในช่องแข็ง (อุณหภูมิ < 0°C) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แช่ในช่องเย็น เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และแช่ในอ่างน้ำแข็ง เป็นเวลา 20 นาที

การศึกษาความระคายเคืองต่อผิวหนัง

ประชากร คือนักกีฬาเรือพาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตลำปาง จำนวน 30 คน กลุ่มตัวอย่าง คือนักกีฬาเรือพาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ จำนวน 28 คน โดยคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างจากตารางของ Krejcie and morgan เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยกำหนดเกณฑ์การคัดเลือก

(inclusion criteria) คือ เป็นเพศหญิงและเพศชาย มีสุขภาพแข็งแรง และกำหนดเกณฑ์การไม่รับอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการ (exclusion criteria) คือ มีความผิดปกติของผิวหนัง มีโรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน เช่น โรคแพ้ภูมิตัวเอง โรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง มีประวัติการแพ้หรือมีผิวแพ้ง่าย อยู่ในระหว่างการใช้ยากลุ่มสเตียรอยด์ ยาแก้แพ้หรือยากดภูมิคุ้มกัน

การทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังทำโดยวางแผ่นเจล (ที่อุณหภูมิห้อง) ลงบนตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่ หน้าผาก (forehead) ต้นคอ (nape) และปลายแขน (forearm) และสังเกตอาการแพ้ ผื่น/ตุ่มแพ้ ที่เกิดขึ้นก่อนและหลังทำการทดสอบ

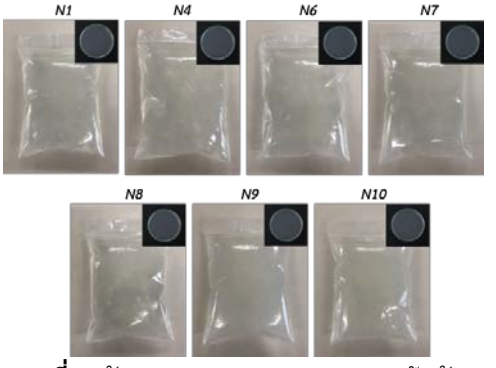
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพเป็นสารสำคัญในการเตรียมแผ่นเจล ด้วยวิธีการอย่างง่ายโดยประยุกต์จากวิธีการสังเคราะห์วัสดุไฮโดรเจล โดยทั่วไปแล้วการสังเคราะห์ไฮโดรเจลมักมีส่วนประกอบของสารพอลิเมอร์ ตัวทำละลาย (น้ำ) สารเชื่อมขวาง และสารเติมแต่งบางชนิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของไฮโดรเจลให้เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งาน งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารก่อเจลร่วมกับสารเติมแต่งจำพวกกลีเซอรีนและบอแรกซ์ โดยมีสมมติฐานที่ว่าสารเติมแต่งเหล่านี้จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นเจลให้เหมาะสมต่อการประคบร้อน–เย็นได้

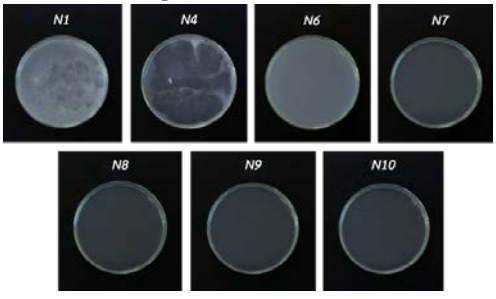
การศึกษาผลของกลีเซอรีนต่อการลดการแข็งตัวของแผ่นเจลที่อุณหภูมิต่ำ โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของกลีเซอรีนในเจลแป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ 0– 30) ดังสูตร *N1–N5* พบว่าแผ่นเจลที่มีส่วนผสมของกลีเซอรีนสามารถลดการแข็งตัวของเจลที่อุณหภูมิต่ำได้ แผ่นเจลที่ไม่มีกลีเซอรีนจะแข็งตัวคล้ายน้ำแข็ง และการแข็งตัวเป็นเกล็ดน้ำแข็งมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกลีเซอรีนที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนของกลีเซอรีนตั้งแต่ร้อยละ 20 แผ่นเจลยังคงมีลักษณะเป็นเจล ไม่แข็งตัวเป็นก้อนน้ำแข็ง ดังนั้นอัตราส่วนของกลีเซอรีนในปริมาณต่ำสุดที่สามารถลดการแข็งตัวของแผ่นเจลได้คือ เจลสูตร *N4* (กลีเซอรีนร้อยละ 20) จึงได้เลือกสูตรเจล *N4* ไปศึกษาผลของบอแรกซ์ต่อการเชื่อมขวางไฮโดรเจลในขั้นตอนถัดไป

ปริมาณสารบอแรกซ์ที่เหมาะสมต่อการเชื่อมขวางทางเคมีเพื่อปรับปรุงสมบัติของแผ่นเจลได้ศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของบอแรกซ์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ คือ 0.1 0.25 0.5 0.75 และ 1 โมลของบอแรกซ์ต่อโมลของหมู่ไฮดรอกซิลในแป้งมันสำปะหลัง และตรวจสอบการคงสภาพความเป็นเจล จากการเปรียบเทียบปริมาณบอแรกซ์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดังสูตร *N6–N10* กับแผ่นเจลสูตร *N1* และ *N4* พบว่า เจลแป้งมันสำปะหลังเริ่มต้นที่เตรียมขึ้นตามสูตรต่าง ๆ มีลักษณะทางกายภาพไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 1) แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน กลับพบว่าลักษณะทางกายภาพของเจลมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 2) ในกรณีเจลแป้งมันสำปะหลังที่ไม่มีสารเติมแต่ง (*N1*) ลักษณะทางกายภาพมีการเปลี่ยนจากเจลเริ่มต้น คือ มีการตกตะกอนและจับตัวกันของแป้งแยกตัวออกจากน้ำ เกิดการสูญเสียลักษณะความเป็นเจล ขณะที่เจลแป้งมันสำปะหลังผสมกับกลีเซอรีน (*N4*) มีการตกตะกอนของแป้งเช่นเดียวกัน แต่มีปริมาณ

น้อยกว่า *N1* แสดงว่ากลีเซอรีนมีส่วนช่วยในการคงสภาพเจลได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อเติมบอแรกซ์เป็นส่วนผสม พบว่า บอแรกซ์สามารถชะลอและลดการตกตะกอนของแป้งได้ โดยเจลสูตร *N6* ที่มีบอแรกซ์เพียงแค่ 0.1 โมลไม่พบการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของแป้ง แต่มีการตกตะกอนขาวขุ่นและเจลเปลี่ยนเป็นของเหลว ซึ่งสูญเสียสภาพความเป็นเจลเช่นกัน ในขณะที่ปริมาณบอแรกซ์ที่เพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 0.25–1.00 โมล เจลแป้งมันสำปะหลังยังคงมีลักษณะคล้ายเดิม เป็นกึ่งแข็งกึ่งเหลว จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า แผ่นเจลสูตร *N7* เป็นสูตรเจลที่มีส่วนประกอบของบอแรกซ์ปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถคงสภาพความเป็นเจลได้ ซึ่งมีความเหมาะสมทั้งด้านลักษณะทางกายภาพและอายุการใช้งาน



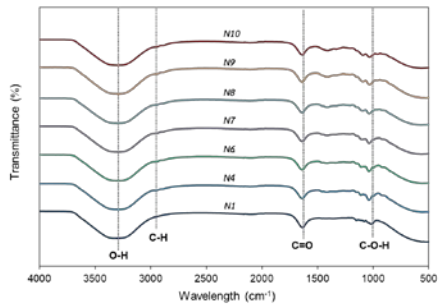
ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเจลแป้งมันสำปะหลังจากสูตรต่าง ๆ (*N1*, *N4*, *N6–N10*)



ภาพที่ 2 ลักษณะทางภายภาพของเจลแป้งมันสำปะหลัง (*N1*, *N4*, *N6–N10*) หลังตั้งทิ้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

นอกจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นเจลแล้ว ในงานวิจัยนี้ยังได้วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี จากสเปกตรา FTIR (ภาพที่ 3) พบว่าเจลแป้งมันสำปะหลัง *N1* มีการปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ได้แก่ ไฮดรอกซิล (OH–stretching) ที่เลขคลื่น 3307 คาร์บอนิลที่ 1635 cm^{-1} และ C–O–H ที่ 1020 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังที่มีน้ำตาลกลูโคสเป็นมอนอเมอร์ ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอนิล เมื่อเปรียบเทียบพีคของหมู่ฟังก์ชันของเจลแป้งมันสำปะหลังที่มีกลีเซอรีน (*N4*) กับ *N1* พบว่าพีค C–O–H มีการเปลี่ยนแปลงไปทางเลขคลื่นที่มากขึ้น (1041 cm^{-1}) ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดอันตรกิริยาภายในโครงสร้างระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรีน ผลการทดลองเหล่านี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการศึกษาผลของกลีเซอรีนต่อวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพ (Adamu *et al*., 2017; Aghazadeh *et al*., 2018; Dawam Abdu *et al*., 2019) จากข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ดังกล่าวนี้สามารถสนับสนุนผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพว่ากลีเซอรีนสามารถช่วยลดการตกตะกอนของแป้งแยกตัวออกจากน้ำได้ อาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างกลีเซอรีนกับหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลัง แต่กลีเซอรีนจะช่วยรักษาสภาพความเป็นเจลได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น

เมื่อพิจารณาเจลแป้งมันสำปะหลังที่มีบอแรกซ์ *N6–N10* พบว่าพีค C–O–H มีการเปลี่ยนแปลงไปทางเลขคลื่นมากขึ้น เมื่อเทียบสเปกตรา FTIR กับเจล *N1* แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับสเปกตรัม *N4* ที่มีกลีเซอรีน



ภาพที่ 3 สเปกตรา FTIR ของเจลแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของบอแรกซ์ในอัตราส่วนต่าง ๆ เทียบกับเจลแป้งมันสำปะหลังที่ไม่มีสารเติมแต่งและเจลที่มีส่วนผสมของกลีเซอรีน (สูตรเจล *N1 N4 N6–N10*)

เป็นส่วนประกอบ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาควบคู่กับลักษณะทางกายภาพของเจล พบว่า สูตรเจลที่มีบอแรกซ์สามารถช่วยคงสภาพความเป็นเจลได้ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจากบอแรกซ์สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของอันตรกิริยาระหว่างกลีเซอรีนกับแป้งมันสำปะหลังและยึดโครงสร้างของเจลให้แข็งแรงขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่รายงานถึงผลของสารเชื่อมขวางต่อการปรับปรุงคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ (tensile strength และ modulus) ของพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีกลีเซอรีนเป็นส่วนประกอบ (Mohamed *et al*., 2017)

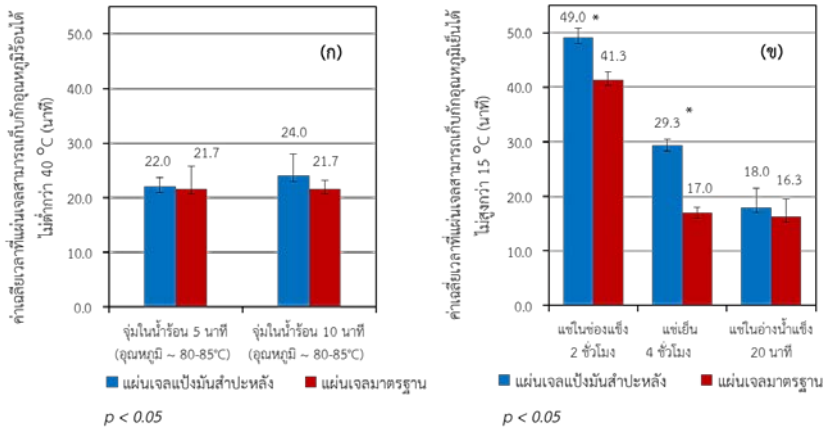
เมื่อนำแผ่นเจลที่เตรียมขึ้นตามสูตร *N7* ซึ่งเป็นสูตรเจลที่เหมาะสมที่สุดในด้านลักษณะทางกายภาพและการคงสภาพความเป็นเจลไปทดลองใช้ในการประคบร้อนและประคบเย็น โดยให้ความร้อนแก่แผ่นเจลด้วยการจุ่มในน้ำร้อน 10 นาที และให้ความเย็นด้วยการแช่ช่องแข็งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไป–กลับ ระหว่างร้อนและเย็น 5 รอบ พบว่า แผ่นเจลยังคงมีลักษณะเป็นเจล ไม่เกิดการเสียสภาพ แม้ว่าจะผ่านความร้อนและความเย็น ไปกลับไม่ต่ำกว่า 5 รอบ (ภาพที่ 4) เพียงแต่จะมีความขุ่นขึ้นบ้างเล็กน้อยเมื่อนำไปเตรียมเป็นแผ่นเจลเย็นโดยการแช่แข็ง แต่ไม่พบการตกตะกอนของแป้งแยกตัวออกจากน้ำดังเช่นในกรณีของแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังที่ไม่มีการเติมบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวาง

ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลัง สูตร *N7* เมื่อผ่านการใช้งานสำหรับประคบร้อนและเย็นไม่ต่ำกว่า 5 รอบ (ไป–กลับ)

นอกจากลักษณะทางกายภาพของแผ่นเจลที่เหมาะสมแล้ว คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการพัฒนาแผ่นเจลสำหรับประคบร้อน-เย็น คือประสิทธิภาพในการเก็บรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงระยะการบำบัดและฟื้นฟูสุขภาพ คือต้องสามารถเก็บรักษาอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 40°C สำหรับการประคบร้อน และเก็บรักษาอุณหภูมิเย็นได้ไม่สูงกว่า 15°C ต่อเนื่องเป็นเวลา 15–20 นาที (Eungapithum *et al*., 2012; Jaiban *et al*., 2016) เพื่อทดสอบคุณสมบัติดังกล่าวแผ่นเจลที่เตรียมจากสูตร *N7* จะนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิทั้งร้อนและเย็น และเปรียบเทียบกับแผ่นเจลมาตรฐานเชิงพาณิชย์ เกรดทางการแพทย์

การประยุกต์ใช้แผ่นเจลสำหรับประคบร้อน พบว่า แผ่นเจลทั้งสองชนิด (แผ่นเจลแป้งมัน-

สำปะหลัง *vs* แผ่นเจลมาตรฐาน) สามารถเก็บกักอุณหภูมิร้อนให้อยู่ในช่วงระยะการบำบัดได้ เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 20 นาที (ภาพที่ 5ก) ไม่ว่าจะเตรียมแผ่นเจลด้วยการจุ่มในน้ำร้อนเป็นเวลา 5 หรือ 10 นาที โดยที่แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิร้อนได้ไม่แตกต่างจากแผ่นเจลมาตรฐาน ($p < 0.05$) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานด้านการประคบร้อนได้เทียบเท่ากับแผ่นเจลมาตรฐาน



ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของแผ่นเจลในการเก็บกัก (ก) อุณหภูมิร้อน และ (ข) อุณหภูมิเย็น

ในขณะที่การประยุกต์ใช้แผ่นเจลสำหรับการประคบเย็น โดยการเตรียมแผ่นเจลเย็นด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การแช่แผ่นเจลในช่องแข็ง 2 ชั่วโมง แช่ในตู้เย็น 4 ชั่วโมง และแช่ในอ่างน้ำแข็ง 20 นาที พบว่า แผ่นเจลทั้ง 2 ชนิดสามารถเก็บรักษาความเย็นให้มีอุณหภูมิไม่สูงกว่า 15°C เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 15 นาที โดยพบว่าการเตรียมแผ่นเจลด้วยวิธีการแช่ช่องแข็งสามารถเก็บกักอุณหภูมิเย็นได้ยาวนานกว่าการแช่ในช่องเย็นและในอ่างน้ำแข็งตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นเจลในการเก็บรักษาความเย็นระหว่างแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังกับแผ่นเจลมาตรฐาน ($p < 0.05$) พบว่า แผ่นเจลเย็นทั้งสองชนิดที่เตรียมด้วยวิธีการแช่ในอ่างน้ำแข็งไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อเตรียมแผ่นเจลเย็นด้วยวิธีการแช่แข็งและแช่เย็น ให้ผลการทดลองที่แตกต่างไป คือแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังสามารถเก็บกักความเย็นได้นานกว่าแผ่นเจลมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 5ข)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นเจล ณ เวลาต่าง ๆ ตั้งแต่นาทีแรกจนถึง 20 นาที จะเห็นได้ว่าแผ่นเจลมาตรฐานมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่าแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลัง (ตาราง 2) อุณหภูมิของแผ่นเจลมาตรฐานหลังการแช่แข็งหรือแช่เย็นจะค่อนข้างต่ำกว่าแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปแผ่นเจลมาตรฐานซึ่งมีความไวต่ออุณหภูมิสูงกว่าจะเปลี่ยนกลับสู่อุณหภูมิห้องได้รวดเร็วกว่าด้วย จึงเป็นข้อสังเกตอย่างหนึ่งว่าวัสดุพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันในการเตรียมแผ่นเจลอาจส่งผลต่อความไวต่ออุณหภูมิและความสามารถในการเก็บกักอุณหภูมิได้แตกต่างกันด้วย

ซึ่งข้อดีของการมีความไวต่ออุณหภูมิที่สูงคือแผ่นเจลสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงการบำบัดได้เร็ว แต่ก็มีแนวโน้มของความสามารถในการเก็บกักอุณหภูมิได้ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วัสดุจากธรรมชาติ แม้จะมีข้อดีในด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม แต่ความคงทนของการใช้งานย่อมมีแนวโน้มลดลงด้วยเมื่อเทียบกับวัสดุดัดแปลงจากธรรมชาติหรือวัสดุสังเคราะห์

ตาราง 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นเจล ณ เวลาต่าง ๆ

วิธีการเตรียมแผ่นเจลประคบเย็น	ตัวอย่าง	อุณหภูมิของแผ่นเจลก่อนเตรียมแผ่นเจลเย็น	อุณหภูมิของแผ่นเจลหลังเตรียมแผ่นเจลเย็น	อุณหภูมิของแผ่นเจลเมื่อวางทิ้งไว้ ณ เวลาต่าง ๆ (°C)			
				5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
แช่ช่องแข็ง 2 ชั่วโมง	แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลัง	28.4	< 0	< 0	< 0	< 0	1.8
	แผ่นเจลมาตรฐาน	27.8	< 0	< 0	< 0	< 0	2.6
แช่เย็น 4 ชั่วโมง	แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลัง	28.7	3.6	4.2	7.3	9.9	11.2
	แผ่นเจลมาตรฐาน	28.1	0.8	4.7	10.0	14.5	16.2
แช่ในน้ำแข็ง 20 นาที	แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลัง	29.0	8.6	9.0	11.1	13.7	15.1
	แผ่นเจลมาตรฐาน	28.6	0.6	7.3	12.0	14.5	17.5

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาความระคายเคืองที่อาจเกิดขึ้นบนผิวหนังของผู้ใช้งาน โดยนำแผ่นเจลไปวางบนผิวหนังของกลุ่มตัวอย่างในตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ บริเวณหน้าผาก ต้นคอ และปลายแขน (ภาพที่ 6) พบว่าแผ่นเจลที่เตรียมขึ้นไม่ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนังของผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตามแผ่นเจลสำหรับประคบร้อน–เย็นในงานวิจัยนี้ได้เตรียมขึ้นโดยนำเจลบรรจุลงในถุงซิปล็อกที่สามารถป้องกันการสัมผัสระหว่างเนื้อเจลกับผิวหนังโดยตรง แผ่นเจลดังกล่าวจึงมีแนวโน้มของความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานค่อนข้างมาก และโดยทั่วไปแล้วการประคบร้อนหรือเย็นมักจะไม่ประคบแผ่นเจลลงบนผิวหนังโดยตรง แต่จะห่อหุ้มด้วยผ้าก่อนการประคบบนผิวหนัง จึงมีโอกาสน้อยมากที่ผู้ใช้งานจะเกิดความระคายเคืองจากการใช้แผ่นประคบ

ภาพที่ 6 การประคบแผ่นเจลบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ หน้าผาก ต้นคอ และปลายแขน

สรุปผลการทดลอง

แผ่นเจลประดิษฐ์สำหรับการประคบร้อน–เย็นพัฒนาขึ้นด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารก่อเจลร่วมกับสารเติมแต่ง (กลีเซอรีนและบอแรกซ์) ดังสูตรเจล *N1*–*N10* จากการศึกษาสูตรเจลทั้ง 10 สูตร พบว่าสูตรเจล *N7* มีลักษณะทางกายภาพ การคงสภาพความเป็นเจลและอายุการใช้งานที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นแผ่นเจลประคบบนผิวหนัง นอกจากนี้ยังพบว่า แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิให้อยู่ในระยะการบำบัดได้ เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 15–20 นาที โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิระหว่างแผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังและแผ่นเจลมาตรฐาน พบว่า ประสิทธิภาพในการเก็บกักอุณหภูมิของแผ่นเจลทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน ในกรณีของแผ่นเจลร้อนและแผ่นเจลเย็นที่เตรียมด้วยวิธีการแช่ในอ่างน้ำแข็ง ในขณะที่แผ่นเจลแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมเป็นเจลประคบเย็นด้วยการแช่ในช่องแข็งและช่องเย็นมีความสามารถเก็บกักอุณหภูมิได้นานกว่าแผ่นเจลมาตรฐาน แต่จะมีความไวต่ออุณหภูมิที่ต่ำกว่า นอกจากคุณสมบัติของแผ่นเจลเหล่านี้แล้ว ยังพบว่าแผ่นเจลจากแป้งมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้นไม่ทำให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนังของกลุ่มตัวอย่างด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากโครงการผลิตงานวิจัยและงานสร้างสรรค์ของมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตลำปาง ปีงบประมาณ 2563

เอกสารอ้างอิง

Adamu, A. D., Jikan, S. S., Talip, B. H. A., Badarulzaman, N. A., and Yahaya, S. (2017). Effect of glycerol on the properties of tapioca starch film. **Materials Science Forum** 888: 239–243.

Aghazadeh, M., Karim, R., Abdul Rahman, R., Sultan, M. T., Paykary, M., and Johnson, S. (2018). Effect of glycerol on the physicochemical properties of cereal starch films. **Czech Journal of Food Sciences** 36(5): 403–409.

Dawam Abdu, A. H., Pudjirahar, S., Karina, M., Dwi Putri, O., and Fauziyyah, R. H. (2019). Fabrication and characterization of sweet potato starch–based bioplastics plasticized with glycerol. **Journal of Biological Sciences** 19: 57–64.

Eamchunprathip, S., and Tepapal, T. (2017). Effects of cold compression with self–efficacy on the pain and recovery among patients received open reduction internal fixation of femur. **Nursing Journal** 44(1): 39–49.

Eungapithum, N., Parisunyakul, S., and Sansiriphun, N. (2012). Effect of cold and heat compression on labor pain among primiparous mothers. **Nursing Journal** 39(4): 46–58.

Gramann, P., Cruz, J., Grewell, D., Montablo–Lomboy, M., and Wang, T. (2013). Effects of glycerin antifreeze on CPVC. **2013 So-**

ciety of Plastic Engineers (SPE) ANTEC conference (pp. 1979–1984). Cincinnati, Ohio: Agricultural and Biosystems Engineering, Food Science and Human Nutrition.

Ismail, H., Irani, M., and Ahmad, Z. (2013). Starch–based hydrogels: Present status and applications. **International Journal of Polymeric Materials** 62(7): 411–420.

Jaiban, S., Ruangpuk, S., and Saetang, N. (2016). The suitability of time for applied hot pack, Physiotherapy department, Hua Hin Hospital. **Hua Hin Sook Jai Klai Kangwon Journal** 1(2): 66–77.

Kaewfu, J. (2019). Effect of cold pack applications on chemotherapy–induced injuries of blood vessels. **Journal of Health Science** 28(5): 139–146.

Kongphet, C., and Paneeya, J. (2011). The effect of cold gel pack compression on minimizing postoperative pain in eyelid surgery. **Kuakarun Journal of Nursing** 18(1): 67–79. (in Thai)

Lane, L. B. (1925). Freezing points of glycerol and its aqueous solutions. **Industrial & Engineering Chemistry** 17(9): 924.

Leurcharusmee, P., Nusupa, W., Lapisatepun, W., and Chawachart, C. (2017). Reduction of pain on injection from propofol by pretreatment with cold pack: a randomized controlled trial. **Thai Journal of Anesthesiology** 43(3): 214–223. (in Thai)

Maitra, J., and Shukla, V. K. (2014). Cross–linking in hydrogels – A review. **American Journal of Polymer Science** 4(2): 25–31.

Mohamed, R., Mohd, N., Nurazzi, N., Siti Aisyah, M. I., and Mohd Fauzi, F. (2017). Swelling and tensile properties of starch glycerol system with various crosslinking agents. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** 223: 1–7.

Ngamtura, T., Chaiamit, K., Jantila, R., Khanchai, K., Deesuya, J., and Saethao, S. (2018). Cold compression first aid equipment: "Treena cold/hot pack". **Journal of Health Science** 27(1): 144–155.

Phadungchai, E., Kasiyaphat, A., and Silalertdejkul, S. (2015). The effects of endurance and high–intensity interval training on energy expenditure and body composition on dragon boat rowers. **National and International Conference Interdisciplinary Research for Local Development Sustainability** (pp. 241–251). Nakhon Sawan, Thailand: Nakhon Sawan Rajabhat University.

Riedo, C., Caldera, F., Poli, T., and Chiantore, O. (2015). Poly(vinylalcohol)–borate hydrogels with improved features for the cleaning of cultural heritage surfaces. **Heritage Science** 3(1): 23.

Samokham, N., and Sitilertpisan, P. (2016). Effect of dynamic core stability exercise on physical performance in male dragon boat paddlers. **Bulletin of Chiang Mai**

Associated Medical Science 49(1): 146–154. (in Thai)

Subrahmanyam, P. (2012). Design and development of guar gum and borax cross–linked guar gum matrix tablets of theophylline for colon specific drug. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research** 4(2): 1052–1060.

Susawaengsup, C., Phuntulee, S., Wungkawan, N., and Sinnarong, N. (2020). Hom herb product development for reducing fever of upland community in Phrae province. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 11(1): 66–82. (in Thai)

Tanan, W., and Saengsuwan, S. (2014). Super Absorbent polymer: synthesis, characterization, and applications. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University** 16(2): 63–81. (in Thai)

Thaweethamcharoen, T. (2010). Outcomes and cost minimization between siriraj cold hot pack and the innovator product. **Siriraj Medical Journal** 62(5): 211–214.

Theerasopon, P., Panngam, N., and Hatkaew, N. (2016). The innovation of invented gal pad for use in health promotion and nursing therapeutic. **Journal of Prapokklao Nursing College** 27(2): 65–77. (in Thai)

Thepphabutra, A., and Subbalekha, K. (2016). Satisfaction of oral surgical patients with cold compression using temperature–maintaining gel. **Thai Red Cross Nursing Journal** 9(2): 119–131 (in Thai)

Thombare, N., Jha, U., Mishra, S., and Siddiqui, M. Z. (2017). Borax cross–linked guar gum hydrogels as potential adsorbents for water purification. **Carbohydrate Polymers** 168: 274–281.