

การใช้สารสกัดจากสาหร่ายโพรงในผลิตภัณฑ์เจลลูกชิ้นปลา

Use of Edible Seaweed Extracts from *Solieria robusta* in Fish Ball Gel

ภัทธิรา สุดเลิศ และวารางคณา สมพงษ์*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Phatthira Sutloet and Warangkana Sompongse*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการใช้สารสกัดจากสาหร่ายที่บริโภคได้ในผลิตภัณฑ์เจลลูกชิ้นปลา โดยสาหร่ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ สาหร่ายโพรง (*Solieria robusta*) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของสารสกัด โดยพบว่าการสกัดสาหร่ายโพรงที่อุณหภูมิ 121 °C ทั้งสองสภาวะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) สูงกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่การสกัดที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 นาที มีค่า % syneresis น้อยที่สุด จากนั้นนำสารสกัดจากสาหร่าย (เจลที่มีเส้นใยของสาหร่าย) จากสภาวะดังกล่าว เติมน้ำในซูริมิปลาเกาซีเกรด AA (*Mulloidichthys martinicus*) และซูริมิปลาทรายแดงเกรด FA (*Nemipterus hexodon*) ร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา เพื่อผลิตเจลลูกชิ้นปลา พบว่าการเติมน้ำสารสกัดจากสาหร่ายโพรงร้อยละ 5 ในซูริมิปลาเกาซี ทำให้ค่า expressible water ลดลง ($p \leq 0.05$) ค่า gel strength และ hardness ($p \leq 0.05$) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ขณะที่การเติมน้ำสารสกัดจากสาหร่ายโพรงร้อยละ 5 ในซูริมิปลาทรายแดงไม่ทำให้ค่า gel strength และค่าทางเนื้อสัมผัสแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) ผลการศึกษาโครงสร้างในระดับจุลภาคของเจลลูกชิ้นจากซูริมิทั้งสองชนิด พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมน้ำสารสกัดจากสาหร่ายร้อยละ 5 แสดงการเชื่อมต่อกันมากขึ้นของโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ และมีช่องว่างขนาดเล็กลง

คำสำคัญ : สารสกัดจากสาหร่าย; *Solieria robusta*; เจลลูกชิ้นปลา; ซูริมิปลาเกาซี; ซูริมิปลาทรายแดง

Abstract

The objective of this research is to use seaweed extract in fish ball gel. The seaweeds used in this research was *Solieria robusta*, and the optimum conditions for extraction of seaweed was

studied. The results showed that temperature and heating time had affected the physical properties of the seaweed extracts. Both of the extraction at 121 °C showed higher in gel strength ($p \leq 0.05$) than the extraction at 90 °C. Moreover, the extraction at 121 °C, 30 min exhibited the lowest in % syneresis. Then, the seaweed extracts (solid gel with traces of seaweed fibrous) was added to goatfish (*Mulloidichthys martinicus*) AA grade and threadfin bream (*Nemipterus hexodon*) FA grade surimi at 0, 1, 3 and 5 % (w/w) to make fish ball. The result showed that the addition of 5 % in goatfish surimi decreased expressible water ($p < 0.05$), but increased gel strength and hardness ($p \leq 0.05$). However, the fish ball added with 5 % seaweed extract in threadfin beam surimi were not significant difference in gel strength and textural parameters from its control gel. ($p > 0.05$) The microstructure of fish balls from both surimis appeared that the addition of 5 % seaweed extract would induce more interconnected three - dimensional protein network with smaller voids, comparing with its control.

Keywords: seaweed extract; *Solieria robusta*; fish ball gel; goatfish surimi; threadfin bream surimi

1. บทนำ

สาหร่ายเป็นวัตถุดิบที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารมนุษย์ และสัตว์ อุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมการผลิตไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่าง ๆ เช่น อัลจิเนตจากสาหร่าย sea spaghetti เพอเซลลาแรนจากสาหร่ายสายใบคาร์ราจีแนนจากสาหร่ายโพรง และวุ้นจากสาหร่ายผสมนาง ซึ่งเป็นสารสกัดจากสาหร่ายกลุ่มสีน้ำตาลและสีแดง สารสกัดเหล่านี้เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง เมื่อรวมตัวกับน้ำจะเกิดการกระจายตัวและให้ความข้นหนืด สามารถใช้ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารได้ [1] จึงมีการนำสาหร่ายมาใช้แก้ปัญหาด้านสมบัติในการจับน้ำและไขมัน และปรับปรุงเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยวิธีการส่วนใหญ่ที่ใช้ในการสกัดสารสกัดจากสาหร่ายนั้น อาจใช้ความร้อนหรือความดันที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ซึ่งแตกต่างกันในสาหร่ายแต่ละชนิด

การผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนเจลจากเนื้อปลาสมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นสมบัติเชิงหน้าที่

ที่มีความสำคัญมาก ผู้ผลิตส่วนใหญ่จึงพยายามหาแนวทางในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น การเพิ่มปริมาณคาร์ราจีแนน ส่งผลให้เจลของโปรตีนเนื้อสัตว์มีความแข็งแรงมากขึ้น [2] การเติม flaxseed gum ส่งผลให้โปรตีนที่ละลายในเกลือคงทนต่อความร้อนมากขึ้น % syneresis ของเจลมีค่าลดลง และโครงสร้างระดับจุลภาคเกิดการเชื่อมต่อกันของโครงร่างตาข่ายมากขึ้น [3] นอกจากนี้ ด้วยสมบัติเชิงหน้าที่ของ dietary fiber ที่เป็นองค์ประกอบของสาหร่าย มีสมบัติในการจับน้ำและความสามารถในการดูดซับไขมัน [4] จึงช่วยให้ค่า water holding capacity ของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น และช่วยปรับปรุงสมบัติ emulsification และ gel formation ของผลิตภัณฑ์ [5] เช่น การเติมสาหร่าย sea spaghetti (*Himanthalia elongata*) ในส่วนผสมมวลเหนียวของเนื้อหมู ส่งผลให้ตัวอย่างมีประสิทธิภาพในการจับน้ำหรือไขมันมากขึ้น และมีค่า hardness และ elastic modulus [6] สูงขึ้น และการเติมสาหร่าย wakame

(*Undaria pinnatifida*) ส่งผลให้แพดเนื้อวุ้นที่มีปริมาณเกลือและไขมันต่ำ มีค่า % thawing loss และ % cooking loss น้อยลง [7]

การเติมไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โปรตีนเจลาจากเนื้อปลา ชนิด และคุณภาพวัตถุดิบมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากความสามารถในการเกิดเจลที่ดีนั้น ได้รับผลมาจากวัตถุดิบสดหรือเนื้อปลาสดที่มีคุณภาพโปรตีนสูง และมีความแตกต่างกันในเนื้อปลาแต่ละชนิด ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้นำสารสกัดจากสาหร่ายโพรงซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์มาปรับปรุงคุณภาพเจลลูกชิ้นจากปลาต่างชนิดที่มีคุณภาพโปรตีนแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากสาหร่ายโพรง โดยใช้วิธีการสกัดที่ไม่ยุ่งยากและไม่ใช้สารเคมีในการสกัด และใช้สารสกัดจากสาหร่ายที่มี dietary fiber เป็นส่วนประกอบในการผลิตเจลลูกชิ้นปลา โดยเนื้อปลาที่เลือกใช้ ได้แก่ ชูริมิปลาฮาชิเกรด AA และชูริมิปลาทรายแดงเกรด FA ทำการประเมินผลในด้านค่าสี ความสามารถในการอุ้มน้ำ ลักษณะเนื้อสัมผัส และโครงสร้างระดับจุลภาค

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากสาหร่าย

ทำความสะอาดสาหร่ายโพรงสดที่ได้จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งเพชรบุรี กรมประมง อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 13 ± 2 ชั่วโมง โดยมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 12 จากนั้นศึกษาเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากสาหร่าย 3 สภาวะ ได้แก่ การให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การใช้หม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 และ 60 นาที โดยใช้อัตราส่วนของสาหร่ายต่อน้ำ

เท่ากับ 1:30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นกรองสารสกัดจากสาหร่ายของแต่ละวิธีด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำสารสกัดจากสาหร่ายไปวัดค่าทางกายภาพในข้อ 2.2

2.2 การวัดค่าทางกายภาพของสารสกัดจากสาหร่าย

2.2.1 % yield

ซึ่งสารสกัดที่ผ่านการกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นคำนวณเปรียบเทียบกับน้ำหนักสาหร่ายแห้งก่อนการสกัดที่มีการเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนสาหร่ายต่อน้ำ เท่ากับ 1:30 ดังนี้

$$\% \text{ yield} = \left[\frac{\text{น้ำหนักสารสกัดจากสาหร่าย (g)} - \text{น้ำหนักสาหร่ายแห้ง (g)}}{\text{น้ำหนักสาหร่ายแห้ง (g)}} \right] \times 100$$

2.2.2 การวัดค่าสี

ทดสอบสกัดที่ผ่านการกรองด้วยผ้าขาวบางใส่บีกเกอร์ขนาด 50 ml ปริมาตร 30 ml จากนั้นรอให้สารสกัดแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง และนำไปวัดค่าสี (L^* a^* b^*) โดยเครื่องวัดสี HunterLab รุ่น ColorFlex CX2687 ใช้ D65 illuminant เป็นแหล่งกำเนิดแสง และวัดด้วยค่ามุม 10 องศา

2.2.3 การวัดความแข็งแรงของเจล

ทดสอบสกัดที่ผ่านการกรองด้วยผ้าขาวบางใส่บีกเกอร์ขนาด 50 ml ปริมาตร 30 ml จากนั้นรอให้สารสกัดแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง และนำไปวัดความแข็งแรงของเจล (gel strength) ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น TA-XTPlus (Stable Micro Systems, Surrey, UK) โดยใช้หัววัด cylinder probe (P/10) วัดค่าของแรงต่อพื้นที่ที่ใช้ในการกดให้ผิวหน้าของเจลแตก (g/cm^2) ด้วยอัตราเร็ว 1.1 mm/s ดัดแปลงจากวิธีการของ Marinho-Soriano และ Bourret [8]

2.2.4 การวัดสมบัติด้าน freeze - thaw stability

เทสารสกัดจากสาหร่ายใส่หลอดสำหรับการปั่นเหวี่ยง จำนวน 20 g จากนั้นนำหลอดไปปั่นเหวี่ยงที่ 1000 rpm เป็นเวลา 3 นาที และดูดน้ำที่ถูกแยกออกมา เพื่อกำจัดน้ำอิสระ นำหลอดตัวอย่างไปเก็บที่อุณหภูมิ -18 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาละลายที่อุณหภูมิ 25 °C ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 4500 rpm เป็นเวลา 25 นาที กำจัดน้ำที่ถูกแยกออกมาในแต่ละรอบ และชั่งน้ำหนักหลอดทดลอง แล้วคำนวณดังสมการ โดยทำการทดลองซ้ำรวมจำนวน 8 รอบของการแช่แข็งและการละลาย [9]

$$\% \text{ syneresis} = \frac{\text{น้ำที่ถูกแยกออก (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}$$

2.3 การผลิตเจลโปรตีนจากเนื้อปลา

2.3.1 การเตรียมสารสกัดจากสาหร่าย

เตรียมสารสกัดจากสาหร่ายตามสมภาวะการสกัดที่ดีที่สุดจากข้อ 2.1 ซึ่งไม่มีการกรองกากออก สารสกัดที่ได้จึงมีลักษณะเป็นเจลที่มีเส้นใยของสาหร่ายนำสารสกัดดังกล่าวมาเติมในเจลลูกชิ้นปลา

2.3.2 การเตรียมเจลลูกชิ้นปลา

นำซูริมีปลาตาชี (*Mulloidichthys martinicus*) เกรด AA (ค่า gel strength 312 - 337 g.cm) และซูริมีปลาทรายแดง (*Nemipterus hexodon*) เกรด FA (ค่า gel strength 395 - 425 g.cm) มาละลายที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 คืน และหั่นให้มีขนาด 1 cm³ จากนั้นนำมาสับผสมด้วยเครื่องสับผสม รุ่น LR - QS - 3LA (ยี่ห้อกล้วยน้ำไท, ประเทศไทย) กับเกลือร้อยละ 2.5 เป็นเวลา 2 นาที โดยแปรปริมาณสารสกัดจากสาหร่าย 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา ซึ่งเติมแทนที่ส่วนของน้ำแข็งในแต่ละสูตร เติมน้ำพริกไทย ร้อยละ 0.2 และเติมน้ำแข็ง เพื่อควบคุมปริมาณความชื้นให้คงที่ร้อยละ 80 อัตราส่วนผสมมวลเหนียวใส่

ไส้เซลลูโลส ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 mm จากนั้นต้มในน้ำอุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที และต้มในน้ำอุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 20 นาที [10] จากนั้นนำมาแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 10 °C เป็นเวลา 10 นาที ตัวอย่างที่ได้ ถูกนำไปวัดค่าทางกายภาพในข้อ 2.4

2.4 การประเมินผลทางกายภาพ

2.4.1 การทดสอบการพับ (folding test)

ตัดตัวอย่างหนา 4 mm แล้วพับครึ่ง และพับครึ่งต่ออีกครั้ง หรือพับเป็นหนึ่งในสี่ และคงไว้นาน 5 วินาที ตรวจสอบการแตกของตัวอย่าง แล้วให้คะแนนตามเกณฑ์ [11] โดยคะแนน 5 หมายถึง ตัวอย่างไม่มีรอยแตกเลย เมื่อถูกพับสี่ส่วน คะแนน 3 หมายถึง ตัวอย่างแตกขาดจากกันเมื่อถูกพับสี่ส่วน แต่มีรอยแตกเมื่อพับครึ่ง และคะแนน 1 หมายถึง ตัวอย่างแตกขาดจากกันเมื่อถูกพับครึ่ง

2.4.2 การวัดค่าสี (L^* a^* b^*) ตัดตัวอย่างสูง 25 mm และนำมาวัดค่าสี (L^* a^* b^*) ใช้ D65 illuminant เป็นแหล่งกำเนิดแสง และวัดด้วยค่ามุม 10 องศา โดยใช้เครื่องวัดสีเช่นเดียวกับข้อ 2.2.2

2.4.3 การวัดค่า expressible water ตัดตัวอย่างให้มี ความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 0.5 x 1 x 0.5 cm นำไปวางระหว่างกระดาษกรอง Whatman No. 4 ด้านบนตัวอย่าง 2 แผ่น และด้านล่างตัวอย่าง 3 แผ่น กดด้วยแรงคงที่ขนาด 10 kg/cm² เป็นเวลา 2 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังการกด นำไปคำนวณร้อยละของน้ำที่ถูกขับออกมาภายหลังการกด ดังสูตรดัดแปลงจาก Balange และ Benjakul [10]

$$\text{expressible water (\%)} = 100 \times \frac{(\text{น้ำหนักก่อนถูกกด} - \text{น้ำหนักหลังถูกกด})}{\text{น้ำหนักก่อนถูกกด}}$$

2.4.4 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ตัดตัวอย่างสูง 25 mm และนำมาวัดลักษณะทางเนื้อ

สัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.2.3 โดยใช้หัววัดที่แตกต่างกัน 2 ลักษณะ ดังนี้

(1) ค่า gel strength (g.cm) คำนวณจากการคูณกันของแรงที่ใช้ในการกดให้ผิวหน้าเจลแตก (breaking force, g) กับระยะทางที่หัววัดกดผิวหน้าจนกระทั่งผิวหน้าเจลแตก (deformation, cm) โดยใช้หัววัด spherical probe P/5s (ดัดแปลงจากวิธีการของ Marinho-Soriano และ Bourret [8])

(2) วิธี TPA วัดค่า hardness, springiness, cohesiveness และ chewiness โดยใช้หัววัด cylinder P50 และตั้งค่าการกดเป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงในการกดสองครั้ง ด้วยความเร็วคงที่ 5 mm/s

2.4.5 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลา

แช่ชิ้นตัวอย่างด้วย 2.5% glutaraldehyde ในสารละลาย phosphate buffer 0.1 M (pH 7.2) เป็นเวลา 1 คืน ที่อุณหภูมิ 4 °C จากนั้นล้างชิ้นตัวอย่างด้วยสารละลาย phosphate buffer 2 ครั้ง เป็นเวลา 10 นาทีต่อครั้ง และล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่น เป็นเวลา 10 นาที กำจัดน้ำออกจากชิ้นตัวอย่างด้วยการแช่ในชุดความเข้มข้นของ ethanol (30, 50, 70 และ 95 %) เป็นเวลา 30 นาทีต่อหนึ่งความเข้มข้น และ absolute ethanol 3 ครั้ง เป็นเวลา 10 นาทีต่อครั้ง ทำชิ้นตัวอย่างให้แห้งถึงจุดวิกฤต (critical point dryer, Balzers รุ่น CPD 020) และเคลือบชิ้นตัวอย่างด้วยทอง (sputter coater, Balzers รุ่น SCD 040) และสังเกตโครงสร้างในระดับจุลภาคของตัวอย่างด้วยกล้อง scanning electron microscope (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5410LV)

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ complete randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากสาหร่าย

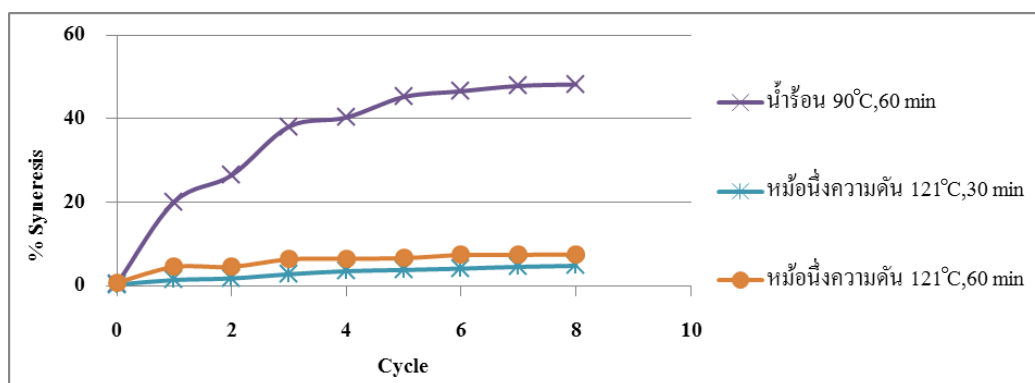
จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากสาหร่ายโพรง พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 121 °C ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากการสกัดที่อุณหภูมิ 121 °C ทำให้ผนังเซลล์ของสาหร่ายถูกทำลาย และสกัดได้สารไฮโดรคอลลอยด์ในปริมาณที่มากกว่า และเมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในการสกัดโดยใช้หม้อนึ่งความดัน เป็นเวลา 60 นาที พบว่าสารสกัดจากสาหร่ายโพรงมีค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) ลดลง คือ จาก $80.97 \pm 17.55 \text{ g/cm}^2$ เป็น $77.94 \pm 24.23 \text{ g/cm}^2$ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สาหร่ายโพรงเป็นสาหร่ายที่มีโครงสร้างอ่อน [12] การใช้สภาวะรุนแรงที่ระยะเวลานานเกินไป จึงอาจทำให้โครงสร้างของสารสกัดถูกทำลายได้ เมื่อพิจารณาค่าสี ($L^* a^* b^*$) พบว่าค่าความสว่าง (L^*) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อนำมาผ่านการสกัดด้วยการใช้หม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121°C สำหรับค่าสีเขียว ($-a^*$) และค่าสีเหลือง (b^*) พบว่าการสกัดในสภาวะ ต่าง ๆ ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า % syneresis พบว่าการใช้หม้อนึ่งความดันส่งผลให้มีค่า % syneresis ที่ต่ำกว่า (รูปที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดภายใต้ความร้อนสูงในระยะเวลาสั้นส่งผลให้เซลล์ของสาหร่ายถูกทำลายมากกว่าการให้ความร้อนด้วยน้ำร้อน โดยการสกัดด้วยน้ำร้อนมีความ

เข้มข้นของสารสกัดคิดเป็นร้อยละ 30.90 ± 12.32 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับปริมาณสารสกัดจากการสกัดภายใต้ความร้อนสูงที่ระยะเวลา

30 นาที (ร้อยละ 30.62 ± 20.20) และการสกัดภายใต้ความร้อนสูงที่ระยะเวลา 60 นาที ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 40.57 ± 22.94

ตารางที่ 1 ค่า gel strength ค่าสี ($L^*a^*b^*$) และค่า yield (%) ของสารสกัดจากสาหร่ายโพรงที่สภาวะการสกัดต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	น้ำร้อน อุณหภูมิ 90 °C 60 นาที	หม้อนึ่งความดัน อุณหภูมิ 121 °C 30 นาที	หม้อนึ่งความดัน อุณหภูมิ 121 °C 60 นาที
gel strength (g/cm ²)	41.88 ^b ± 6.09	80.97 ^a ± 17.55	77.94 ^a ± 24.23
L*	9.86 ^b ± 1.42	11.74 ^a ± 0.94	11.41 ^a ± 0.74
a* ^{ns}	-0.04 ± 0.47	-0.06 ± 0.63	-0.24 ± 0.66
b* ^{ns}	5.62 ± 1.04	5.83 ± 2.17	6.62 ± 0.79
yield (%) ^{ns}	30.90 ± 12.32	30.62 ± 20.20	40.57 ± 22.94



รูปที่ 1 ค่า % syneresis ของสารสกัดจากสาหร่ายโพรงสภาวะการสกัดต่าง ๆ

3.2 ผลของการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรงในผลิตภัณฑ์เจลลูกชิ้นปลา

3.2.1 การทดสอบการพับ

จากการศึกษาผลของการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรงในตัวอย่างเจลลูกชิ้นจากซูริมิปลา ถาฮิและปลาทรายแดง (ตารางที่ 2) พบว่าค่าการทดสอบการพับของตัวอย่างเจลลูกชิ้นของปลาถาฮินั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยจะเห็นได้ว่าค่าการทดสอบการพับของตัวอย่างเจลลูก

ชิ้นปลาเมื่อมีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่าการทดสอบการพับมีแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยมีค่าการทดสอบการพับสูงสุดในตัวอย่างที่มีการเติมสารสกัดร้อยละ 5 เท่ากับ 4.60 ± 0.51 นั่นคือเมื่อตัวอย่างถูกพับเป็นสี่ส่วน ตัวอย่างเกิดการแตกขาดจากกัน แต่ไม่เกิดรอยแตกเมื่อพับครึ่ง และสำหรับตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากซูริมิปลาทรายแดง พบว่าค่าการทดสอบการพับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับผลของตัวอย่าง

เจลลูกชิ้นปลาที่ได้จากซูริมิปลาเกะ กล่าวคือ ค่าการทดสอบการพื้มีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยค่าการทดสอบการพื้ที่สูงที่สุดได้จากตัวอย่างที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรงที่ร้อยละ 5 เท่ากับ 4.06 ± 0.88 เนื่องจากโครงสร้างของเจลซูริมิที่มีลักษณะเป็น

โครงข่าย 3 มิติ หากมีการเชื่อมประสานของเส้นใยโปรตีนอย่างมีระเบียบและสม่ำเสมอ จะได้โครงสร้างของเจลที่มีความแข็งแรงสูง [13] นั่นคือ ตัวอย่างที่มีโครงสร้างแข็งแรง โครงข่าย 3 มิติ สามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงข่ายได้ เมื่อถูกนำมาทดสอบการพื้ตัวอย่างจึงมีความยืดหยุ่นสูง ไม่ถูกทำลายได้ง่าย

ตารางที่ 2 ค่าการทดสอบการพื้ ค่าสี ($L^*a^*b^*$) และค่า expressible water ของเจลโปรตีนที่ได้จากซูริมิปลาเกะและซูริมิปลาทรายแดงที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เจลลูกชิ้นปลา	สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		ปริมาณสารสกัดจากสาหร่าย (%) โดยน้ำหนักเนื้อปลา			
		0 (ควบคุม)	1	3	5
ซูริมิปลาเกะ	folding test ^{ns}	4.13 ± 0.90	3.93 ± 0.88	4.40 ± 0.63	4.60 ± 0.51
	L^*	$71.19^a \pm 0.96$	$71.12^a \pm 1.33$	$69.63^b \pm 1.65$	$67.41^c \pm 2.03$
	a^*	$2.59^a \pm 0.49$	$2.38^a \pm 0.52$	$2.23^a \pm 0.42$	$1.81^b \pm 0.64$
	b^* ^{ns}	12.09 ± 0.52	11.97 ± 0.62	12.15 ± 0.56	11.87 ± 0.66
	expressible water (%)	$31.01^a \pm 2.95$	$32.96^a \pm 1.08$	$31.17^a \pm 2.75$	$26.78^b \pm 2.07$
ซูริมิปลาทรายแดง	folding test ^{ns}	3.80 ± 0.86	3.53 ± 0.99	3.60 ± 0.74	4.06 ± 0.88
	L^*	$74.28^a \pm 1.62$	$72.74^b \pm 1.47$	$72.34^b \pm 1.36$	$70.82^c \pm 1.58$
	a^*	$-0.45^a \pm 0.25$	$-0.57^a \pm 0.29$	$-0.81^b \pm 0.28$	$-1.01^c \pm 0.23$
	b^* ^{ns}	9.70 ± 0.41	9.82 ± 0.43	9.72 ± 0.45	9.75 ± 0.41
	expressible water (%) ^{ns}	33.86 ± 3.64	35.43 ± 5.97	33.68 ± 5.39	30.85 ± 1.28

^{a,b,c} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.2.2 การวัดค่าสี ($L^*a^*b^*$)

จากการศึกษาการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรงในตัวอย่างเจลลูกชิ้นจากซูริมิปลาเกะและปลาทรายแดง (ตารางที่ 2) พบว่าตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากวัตถุดิบทั้งสองชนิดนั้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีแดง (a^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าน้อยที่สุดในตัวอย่างที่มีการเติมสารสกัดจาก

สาหร่ายโพรงร้อยละ 5 เนื่องจากสารสกัดจากสาหร่ายโพรงมีสีเขียว เมื่อมีการเติมเข้าไปในระบบเจลของซูริมิ จึงทำให้ซูริมิปลาเกะที่มีสีค่อนข้างแดง และซูริมิปลาทรายแดงที่มีสีขาว มีค่าสีแดงลดลง สำหรับค่าสีเหลือง (b^*) พบว่าเมื่อมีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรงเพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสีเหลืองของตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากซูริมิทั้งสองชนิด ($p > 0.05$)

3.2.3 การวัด expressible water

จากการวัดค่า expressible water ของตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายไพรอง (ตารางที่ 2) พบว่าตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากซูริมิปลาถาซิมิมีค่า expressible water น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายไพรองร้อยละ 5 เนื่องจากสาหร่ายไพรองจัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีแดงที่ให้สารสกัดไฮโดรคอลลอยด์ประเภทคาร์ราจีแนน ซึ่งมีโครงสร้างเป็นประจุลบจากกลุ่มของ ester sulfate ($R-O-SO_3^-$) [14] ทำให้เมื่อมีการเติมเข้าไปในระบบของเจลโปรตีนปลา ประจุลบของคาร์ราจีแนนจึงอาจเกิดอันตรกิริยากับประจุบวกของโปรตีน [15] ส่งผลให้โครงสร้างตาข่ายมีความแน่นหนาและสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น จากงานวิจัยของ DeFreitas และคณะ [16] พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของเจลและการอุ้มน้ำ เมื่อมีการเติมคาร์ราจีแนนในเจลโปรตีนเนื้อหมูที่สามารถละลายได้ในเกลือ และจากการศึกษาของ Bullens และคณะ [17] พบว่าความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิจากปลา Alaska pollack มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมคาร์ราจีแนน เนื่องจากอันตรกิริยาของหมู่ sulfate ของคาร์ราจีแนนกับ myofibrillar protein นอกจากนี้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเติมไฮโดรคอลลอยด์คาร์ราจีแนนร่วมกับแป้งจากหัวบุกต่อการเกิดเจลของเนื้อปลา พบว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่เติมเข้าไปในระบบนั้นอาจเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายที่สอง โดยอยู่ในตำแหน่งข้างโครงสร้างตาข่ายของโครงสร้างของเจลโปรตีน ทำให้โครงสร้างตาข่ายแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากสร้างโครงสร้างตาข่ายที่เป็นอิสระ ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างโครงสร้างที่อยู่ติดกัน จึงเป็นส่วนช่วยในการสนับสนุนโครงสร้างหลักที่เกิดขึ้นโดยโปรตีนปลา [18]

สำหรับค่า expressible water ของตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากซูริมิปลาทรายแดง พบว่าการเติมสารสกัดจากสาหร่ายไพรองไม่ส่งผลต่อค่า

expressible water ทั้งนี้เนื่องจากซูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงมีโปรตีนคุณภาพดี จึงทำให้ myofibrillar protein ที่มีบทบาทสำคัญระหว่างการแปรรูปสามารถสร้างโครงสร้าง 3 มิติ ของเจลได้อย่างแข็งแรง จากรายงานของ Lee และคณะ [19] พบว่าผลของสารไฮโดรคอลลอยด์นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการเกิดเจลของ myofibrillar protein โดยการเติม gelling agents หรือ thickeners จะช่วยเพิ่ม rheological properties ในกล้ามเนื้อที่มีความสามารถในการเกิดเจลต่ำ แต่หากกล้ามเนื้อที่มีความสามารถในการเกิดเจลสูงจะทำให้สมบัตินี้ด้อยลง ดังนั้นสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่ายไพรองจึงไม่ส่งผลต่อความสามารถในการจับน้ำของเจลลูกชิ้นที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดง

3.2.4 การวัดเนื้อสัมผัส

จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากซูริมิปลาถาซิมิและปลาทรายแดงในตารางที่ 3 พบว่าการเติมสารสกัดจากสาหร่ายไพรองในตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากซูริมิปลาถาซิมิส่งผลให้ค่า gel strength มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการเติมสารสกัดจากสาหร่ายไพรองร้อยละ 5 ส่งผลให้ตัวอย่างเจลลูกชิ้นมีค่า gel strength สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากซูริมิปลาทรายแดง ซึ่งพบว่าการเติมสารสกัดจากสาหร่ายไพรองร้อยละ 5 ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า gel strength สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) สำหรับการวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ TPA ในตารางที่ 4 พบว่าการเติมสารสกัดจากสาหร่ายไพรองในตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากปลาถาซิมิให้ผลสอดคล้องกับค่า gel strength นั่นคือ การเติมร้อยละ 5 ส่งผลให้ค่าที่บ่งชี้เนื้อสัมผัส ได้แก่ hardness, gumminess และ chewiness มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) สำหรับตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากซูริมิปลาทรายแดง พบว่าการเติมสาร

สกัดจากสาหร่ายโพรทที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อค่าที่บ่งชี้เนื้อสัมผัส ($p > 0.05$) ยกเว้นค่า cohesiveness ซึ่งมีค่าสูงสุดในตัวอย่างเจลลูกชิ้นที่ได้จากการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรทร้อยละ 5 ($p > 0.05$)

การเกิดขึ้นของอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นผ่าน electrostatic interaction ระหว่างกลุ่มประจุลบของไฮโดรคอลลอยด์และประจุบวกของโมเลกุลโปรตีน

[20] คาร์ราจีแนนซึ่งสามารถสกัดได้จากสาหร่ายโพรทเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่ sulfate ในโมเลกุล ซึ่งมีการกระจายตัวอยู่ภายในเจล [15] นั่นคือ ประจุลบของหมู่ sulfate อาจเกิดอันตรกิริยากับ myofibrillar protein ทำให้โครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ของโปรตีน มีความแข็งแรงมากขึ้น [15] นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของชนิดคาร์ราจีแนนส่งผลต่อการปรับปรุงโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนด้วย

ตารางที่ 3 ค่า breaking force, breaking distance และ gel strength ของเจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เจลลูกชิ้นปลา	สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		ปริมาณสารสกัดจากสาหร่าย (% โดยน้ำหนักเนื้อปลา)			
		0 (ควบคุม)	1	3	5
ซูริมิปลาเกะ	breaking force (g)	202.55 ^b $\pm$ 24.57	168.22 ^c $\pm$ 34.94	207.58 ^b $\pm$ 41.28	264.23 ^a $\pm$ 46.84
	breaking distance (cm)	0.69 ^b $\pm$ 0.08	0.61 ^c $\pm$ 0.08	0.70 ^b $\pm$ 0.08	0.80 ^a $\pm$ 0.05
	gel strength (g.cm)	143.31 ^b $\pm$ 32.66	104.68 ^c $\pm$ 35.27	147.35 ^b $\pm$ 45.49	213.66 ^a $\pm$ 48.89
ซูริมิปลาทรายแดง	breaking force (g)	201.96 ^{ab} $\pm$ 14.08	195.58 ^b $\pm$ 47.71	189.73 ^b $\pm$ 43.76	224.46 ^a $\pm$ 29.44
	breaking distance ^{ns} (cm)	0.67 $\pm$ 0.10	0.64 $\pm$ 0.12	0.59 $\pm$ 0.05	0.69 $\pm$ 0.14
	gel strength (g.cm)	136.04 ^{ab} $\pm$ 26.60	128.96 ^{ab} $\pm$ 54.66	112.36 ^b $\pm$ 27.71	159.26 ^a $\pm$ 48.68

^{a,b,c} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวบนเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.2.5 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลา

จากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาเกะตัวอย่างควบคุมเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรทร้อยละ 5 (รูปที่ 2) พบว่าเจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรท มีโครงสร้างตาข่าย 3 มิติที่มีความหนาแน่นมากขึ้นและมีช่องว่างที่มีขนาดเล็กลงดังแสดงในรูปที่ 2B สำหรับตัวอย่างเจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาทรายแดง พบว่า ตัวอย่างควบคุมมี

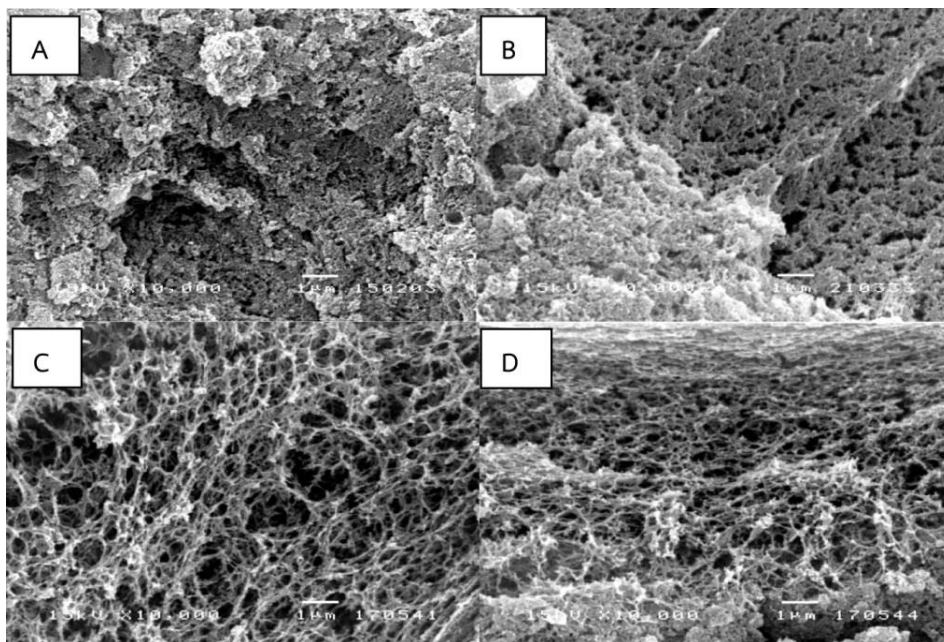
ลักษณะ protein matrix ที่สานกันอย่างเป็นระเบียบ ขณะที่ตัวอย่างที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรทร้อยละ 5 แสดงถึงลักษณะของ protein matrix ที่อัดเรียงตัวกันแน่นและแสดงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) มากขึ้น นอกจากนี้ตัวอย่างที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรทร้อยละ 5 ยังมีการเชื่อมต่อของโครงสร้างตาข่ายที่เป็นระเบียบและหนาแน่นมากขึ้น กล่าวคือ สารสกัดจากสาหร่ายอาจช่วยให้โครงสร้างตาข่ายของโปรตีนมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2D

ตารางที่ 4 สมบัติทางเนื้อสัมผัสของเจลลูกชิ้นปลาที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เจลลูกชิ้นปลา	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		ปริมาณสารสกัดจากสาหร่าย (% โดยน้ำหนักเนื้อปลา)			
		0 (ควบคุม)	1	3	5
ซูริมิปลาฤทธิ์	hardness (g)	2210.30 ^c $\pm$ 161.86	2247.58 ^{bc} $\pm$ 272.84	2408.31 ^{ab} $\pm$ 222.80	2566.66 ^a $\pm$ 261.96
	cohesiveness	0.757 ^a $\pm$ 0.01	0.736 ^b $\pm$ 0.02	0.763 ^a $\pm$ 0.03	0.772 ^a $\pm$ 0.02
	springiness ^{ns}	0.928 $\pm$ 0.01	0.928 $\pm$ 0.01	0.930 $\pm$ 0.01	0.933 $\pm$ 0.01
	gumminess (g)	1671.06 ^c $\pm$ 88.15	1655.04 ^c $\pm$ 209.52	1837.01 ^b $\pm$ 193.15	1984.04 ^a $\pm$ 229.09
	chewiness (g)	1550.39 ^c $\pm$ 77.29	1537.47 ^c $\pm$ 201.42	1709.62 ^b $\pm$ 189.34	1851.04 ^a $\pm$ 210.97
ซูริมิปลาทรายแดง	hardness ^{ns} (g)	2537.98 $\pm$ 364.49	2498.69 $\pm$ 385.83	2462.93 $\pm$ 365.84	2667.44 $\pm$ 374.64
	cohesiveness	0.750 ^a $\pm$ 0.02	0.733 ^b $\pm$ 0.02	0.733 ^b $\pm$ 0.02	0.753 ^a $\pm$ 0.02
	springiness ^{ns}	0.923 $\pm$ 0.01	0.920 $\pm$ 0.01	0.921 $\pm$ 0.01	0.924 $\pm$ 0.01
	gumminess ^{ns} (g)	1906.66 $\pm$ 284.18	1838.75 $\pm$ 327.60	1824.58 $\pm$ 356.08	2012.56 $\pm$ 321.40
	chewiness ^{ns} (g)	1759.26 $\pm$ 254.26	1688.66 $\pm$ 288.91	1677.54 $\pm$ 308.07	1858.39 $\pm$ 278.53

^{a,b,c} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวบนเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



รูปที่ 2 โครงสร้างระดับจุลภาคของเจลลูกชิ้นปลา (กำลังขยาย 10,000 เท่า) [A = เจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาฤทธิ์ (ตัวอย่างควบคุม), B = เจลลูกชิ้นจากซูริมิปลาฤทธิ์ที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรทร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา, C = เจลลูกชิ้นปลาจากซูริมิปลาทรายแดง (ตัวอย่างควบคุม), D = เจลลูกชิ้นจากซูริมิปลาทรายแดงที่มีการเติมสารสกัดจากสาหร่ายโพรทร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเนื้อปลา]

สารสกัดจากสาหร่ายไพร่ง เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ประเภทคาร์ราจีแนน ซึ่งสมบัติในการจับน้ำของไฮโดรคอลลอยด์ในระบบ อาจช่วยให้ protein matrix มีความแน่นและแข็งแรงมากขึ้น โดยสารประเภทคาร์ราจีแนนที่มีสมบัติเป็นประจุลบจากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของ Montero และคณะ [15] พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์เกิดการขยายในลักษณะการแทรกตัว (inclusion) เพื่อเกิดเป็นช่องว่างที่มีโครงสร้าง (morphology) และขนาดที่แตกต่างกัน โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุลบจะเกิดการรวมตัวกับ protein matrix ซึ่งอาจเกิดผ่านอันตรกิริยากับ myofibrillar protein สำหรับไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่มีประจุ จะเกิดการกระจายตัวทั่ว matrix แต่ไม่เกิดอันตรกิริยากับโปรตีน เป็นเพียงการแทรกตัวเข้าไป โดยสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถเกิดเจลได้นั้น (คาร์ราจีแนนชนิด kappa และ iota) จะเกิดเป็นโครงสร้างหลักที่ต่อเนื่องกันภายในช่องว่าง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และทุนสนับสนุนงานวิจัย ประเภททุนวิจัยทั่วไป สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2555 ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิธิยา รัตนานนท์, 2551, เคมีอาหาร, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 504 น.
- [2] Farouk, M.M., Frost, D.A., Krsinic, G., and Wu, G., 2011, Phase behaviour, rheology and microstructure of mixture of meat

proteins and kappa and iota carrageenans, Food Hydrocolloid 25: 1627-1636.

- [3] Chen, H.H., Xu, S.Y. and Wang, Z., 2007, Interaction between flaxseed gum and meat protein, J. Food Eng. 80: 1051-1059.
- [4] Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M. and Bourgeois, C.M., 1997, Dietary fibres: Nutritional and technological interest, Trend Food Sci. Technol. 8: 41-47.
- [5] Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. and Attia, H., 2011, Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review, Food Chem. 124: 411-421.
- [6] Fernández-Martin, F., López-López, I., Cofrades, S. and Jiménez-Colmenero, F., 2009, Influence of adding Sea Spaghetti seaweed and replacing the animal fat with olive oil or konjac gel on pork meat batter gelation, Potential protein/alginate association. Meat Sci. 83: 209-217.
- [7] López-López, I., Cofrades, S., Yakan, A., Solas, M.T. and Jiménez - Colmenero, F., 2010, Frozen storage characteristics of low-salt and low-fat beef patties as affected by Wakame adding and replacing pork with olive oil-in-water emulsion, Food Res. Int. 43: 1244-1254.
- [8] Marinho-Soriano, E. and Bourret, E., 2003,

- Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (*Gracilaria*, Rhodophyta), *Biores. Technol.* 90: 329-333.
- [9] Kuar, L., Singh, N. and Singh, J., 2004, Factor influencing the properties of hydroxypropylated potato starch, *Carbohydr Polym.* 55: 25-33.
- [10] Balange, A. and Benjakul, B., 2009, Enhancement of gel strength of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) surimi using oxidized phenolic compounds, *Food Chem.* 113: 61-70.
- [11] กรมประมง, 2541, การตรวจสอบคุณภาพซูริมิ, สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง, กรุงเทพฯ, 63 น.
- [12] จักรินทร์ ตรีอินทอง และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2554, ผลของการแช่ห่อซีต่อนและสภาวะการให้ความร้อนต่อปริมาณผลผลิตและสมบัติของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดจากสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria* sp.) และสาหร่ายไพลอง (*Solieria robusta*), น. 228-235, ใน รายงานการประชุมวิชาการครั้งที่ 49 สาขาประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [13] สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2549, ซูริมิ : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาสด, โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 336 น.
- [14] สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2530, สาหร่ายทะเลในอุตสาหกรรมอาหาร, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [15] Montero, P., Hurtado, J.L. and Perez-Mateos, M., 2000, Microstructural behavior and gelling characteristic of myosystem protein gels interacting with hydrocolloid, *Food Hydrocolloid* 14: 455-461.
- [16] DeFreitas, Z., Sebranek, J.G., Olson, D.G. and Carr, J.M., 1997, Carrageenan effects on salt-soluble meat proteins in model systems, *J. Food Sci.* 62: 539-543.
- [17] Bullens, C.W., Llanto, M.G., Lee, C.M. and Modliszewski, J.J., 1990, The Function of a Carrageenan-based Stabilizer to Improve Quality of Fabricated Seafood Products, pp. 313-324, In Voigt, M. and Botta, R. (Eds.), *Advances in Fisheries Technology and Biotechnology for Increased Profitability*, Technomic Pub. Co., Inc., Lancaster, Pennsylvania.
- [18] Cardoso, C.L., Mendes, R., Vaz-Pires, P. and Nunes, M.L., 2011, Production of high quality gels from sea bass: Effect of MTGase and dietary fibre, *LWT-Food Sci. Technol.* 44: 1282-1290.
- [19] Lee, C., Wu, M.C. and Okada, M., 1992, Ingredient and Formulation Technology for Surimi-based Products, pp. 273-302, In Lanier, T.C. and Lee, C.M. (Eds.), *Surimi Technology*, Marcel Dekker, New York.
- [20] Tolstoguzov, V.B., 1986, Functional Properties of Protein-polysaccharide Mixtures, pp. 385-415, In Mitchell, J.R. and Ledward, D.A. (Eds.), *Functional Properties of Food Macromolecules*, Elsevier Applied Sciences, London.