



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์ประมง)

ปริญญา

ผลิตภัณฑ์ประมง

ผลิตภัณฑ์ประมง

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้สารสกัดจากสาหร่ายในการปรับปรุงคุณภาพลูกชิ้นปลา

Use of Seaweed Extracts to Improve Quality of Fish Ball

นามผู้วิจัย นายจักรินทร์ ศรีอินทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( รองศาสตราจารย์นงนุช รักสกุลไทย, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้สารสกัดจากสาหร่ายในการปรับปรุงคุณภาพลูกชิ้นปลา

Use of Seaweed Extracts to Improve Quality of Fish Ball

โดย

นายจักรินทร์ ตรีอินทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์ประมง)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จักรินทร์ ตรีอินทอง 2554: การใช้สารสกัดจากสาหร่ายในการปรับปรุงคุณภาพลูกชิ้นปลา ปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์ประมง) สาขาผลิตภัณฑ์ประมง ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, Ph.D. 141 หน้า

ศึกษาภาวะการสกัดที่มีผลต่อคุณภาพของสารไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่าย 3 ชนิดคือสาหร่าย  
ผสมนาง (*Gracilaria fisheri*), สาหร่ายโพรง (*Solieria robusta*) และสาหร่ายสายใบ (*Porphyra sp.*) โดยศึกษาการ  
บ่มสาหร่ายด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 80°C 2 ชม. และสภาวะการให้ความร้อน 2 สภาวะ  
คือ การบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 80°C 2 ชม. (WB-80) และการใช้หม้อนึ่งความดัน 121°C 30 นาที  
(AC-121) พบว่า การบ่มสาหร่ายผสมนางด้วยด่างทำให้วุ้นมีปริมาณผลผลิต, ความหนืดลดลง และเพิ่มค่าความ  
แข็งแรงของเจล (gel strength, GS) และค่าความสว่าง (L\*) ของวุ้น ( $p < 0.05$ ) ขณะที่การสกัดที่สภาวะ AC-121 มี  
ผลทำให้ปริมาณผลผลิตของวุ้นเพิ่มขึ้น ส่วนการบ่มสาหร่ายโพรงด้วยด่าง ก่อนนำไปสกัดที่สภาวะ AC-121 ทำ  
ให้มีปริมาณผลผลิตคาร์ราจีแนนต่ำกว่าการไม่บ่มด่าง ( $p < 0.05$ ) และการให้ความร้อนทั้ง 2 สภาวะในการสกัดไม่  
มีผลต่อค่า GS ของคาร์ราจีแนน ( $p > 0.05$ ) แต่มีผลทำให้ค่า emulsion activity (EA) และ emulsion activity index  
(ESI) ลดลง ส่วนการบ่มสาหร่ายสายใบด้วยด่างทำให้พอร์ไฟแรงแนที่สกัดได้สามารถเกิดเจลได้ และการสกัดที่  
สภาวะ AC-121 ทำให้ค่า GS, EA และ ESI ของพอร์ไฟแรงแนเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ )

การเติมวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนางบ่มด่างร้อยละ 1.0 – 2.0 ในซูริมิ (w/w) ทำให้มีเม็ดวุ้นในไส ๆ  
แทรกอยู่ในเจลโปรตีนซึ่งส่งผลให้ไม่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส การเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 2.0 เพิ่ม  
ค่า breaking force (BF), GS, hardness, cohesiveness และความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลซูริมิปลาปากคมได้  
มากกว่าเมื่อเติมร้อยละ 0.5 และ 1.0 ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบไม่ยอมรับลูกชิ้นจากซูริมิเกรดนี้เนื่องจากมี  
เนื้อสัมผัสและในปาก ส่วนการเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 ทำให้เจลของซูริมิเกรด A มีค่า BF, GS และคะแนน  
ความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุด ( $p < 0.05$ ) ในทางตรงกันข้ามการเติมคาร์ราจีแนนทำให้เจลซูริมิเกรด SA มีค่า  
GS และ breaking distance ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ( $p < 0.05$ )

เมื่อผลิตลูกชิ้นปลานิล และปลานวลจันทร์น้ำจืดที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักปลา พบว่า  
ค่า GS แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญจากตัวอย่างควบคุม ( $p > 0.05$ ) แต่มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส  
ด้านเนื้อสัมผัสสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p < 0.05$ )

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Jukkarin Treeinthong 2011: Use of Seaweed Extracts to Improve Quality of Fish Ball. Master of Science (Fishery Products), Major Field: Fishery Products, Department of Fishery Products. Thesis Advisor: Assistant Professor Jiraporn Runglerdkriangkrai, Ph.D. 141 pages.

Effects of extraction conditions on the quality of hydrocolloids extracted from 3 species of seaweed namely; *Gracilaria fisheri*, *Solieria robusta* and *Porphyra* sp. were studied including the incubation of seaweed in 5% sodium hydroxide at 80 °C for 2 h and two heating conditions i.e. incubating in water bath at 80 °C for 2 h (WB-80) and autoclaving at 121 °C for 30 min (AC-121). It was found that incubating in alkaline solution decreased the yield and viscosity and increased the gel strength (GS) and whiteness (L\*) of agar powder ( $p < 0.05$ ) extracted from *G. fisheri*, while, the extraction at AC-121 condition increased agar yield. For alkali treated *Solieria robusta*, heating at AC-121 lowered the yield of carrageenan than that of non - alkali treated sample and both heating conditions had no effect on GS ( $p > 0.05$ ) but had decreased emulsion activity (EA) and emulsion activity index (ESI). In case of *Porphyra* sp., alkali treated sample showed porphyran gel formation and extraction at AC-121 increased the GS, EA and ESI of porphyran ( $p < 0.05$ ).

Addition of 1.0 – 2.0 % (w/w) agar powder extracted from alkali treated *G. fisheri* in surimi presented the grainy clear agar gel distributed in the protein gel that resulted in the sensory unacceptability. Addition of 2% carrageenan increased the breaking force (BF), GS, hardness, cohesiveness and water holding capacity of lizard fish surimi gel more than adding at 0.5 % and 1.0 % ( $p < 0.05$ ). However, panelists had rejected fish ball making from this grade surimi due to the mushy texture. Addition of 0.5 % carrageenan caused grade A surimi gel showed the highest BF, GS and preference score of texture ( $p < 0.05$ ), on the other hand, addition of carrageenan to grade SA surimi gel decreased the GS and breaking distance when compared with the control ( $p < 0.05$ ).

Addition of 0.5 % carrageenan of fish weight into fish ball made of small mud carp (*Cirrhina microlopis*) and Nile tilapia had no significant difference from control ( $p > 0.05$ ) but had higher the sensory preference scores of texture than control ( $p < 0.05$ ).

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์นงนุช รักสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รอง ที่  
กรุณาดูแลให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความห่วงใยและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อเกษตรและอาหาร (CASAF) สถาบันวิทยาการขั้นสูง  
แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณ อาจารย์จันทนา ไพรบูรณ์ ที่  
กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทดลองอย่างดียิ่ง และคณาจารย์ภาควิชาผลิตภัณฑ์  
ประมงทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถนำความรู้เหล่านั้น  
มาใช้ประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ขอขอบคุณ คุณชนศ พุ่มทอง ผู้อำนวยการศูนย์วิจัย  
และทดสอบพันธุ์สัตว์น้ำเพชรบุรีและคุณสนอง อุ่นจิต ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สาหร่ายที่ใช้ในการ  
ทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ นิสิตปริญญาโท และเอกภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมงทุก  
ท่าน และเพื่อน ๆ ที่ไม่ได้ที่ระบุนาม ณ ที่นี้ ที่เป็นกำลังใจ เป็นที่ปรึกษารวมทั้งให้ความช่วยเหลือ  
ในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ความดีหรือประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่ คุณพ่อ  
ประสิทธิ์ และคุณแม่ใหม่ ที่ได้อบรมและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

จักรินทร์ ตรีอินทอง

เมษายน 2554

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	85
สรุป	85
ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	88
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก แบบทดสอบ	96
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพและสมบัติเชิงเคมี	98
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ทางเคมี	101
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	108
ภาคผนวก จ ตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ	110
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	141

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผสมนาง สาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบ	41
2 องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายผสมนาง	42
3 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนาง	43
4 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนาง	48
5 องค์ประกอบทางเคมีของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง	50
6 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง	51
7 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง	54
8 องค์ประกอบทางเคมีของพอร์ไฟแรนที่สกัดจากสาหร่ายสายใบ	56
9 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของพอร์ไฟแรน	58
10 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในพอร์ไฟแรน	60
11 สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาปากคมที่มีการเติมวุ้น ความเข้มข้นต่าง ๆ	62
12 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิ ปลาปากคมที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	63
13 สมบัติทางกายภาพของเจลของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มี การเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	65
14 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิ ปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	66
15 สมบัติทางกายภาพของเจลของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการ เติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	67
16 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิปลา ปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	68
17 สมบัติทางกายภาพของเจลของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาปากคมที่มีการเติม คาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ	70

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากปลาปากคมที่มีการเติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ	72
19	สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ	74
20	คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ	75
21	สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ	77
22	คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ	78
23	สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลานิลที่เติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5	81
24	คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลานิลที่เติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5	82
25	สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืดที่เติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5	83
26	คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืดที่เติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5	84
ตารางผนวกที่		
จ1	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผสมนางสาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบต่อน้ำหนักแห้ง (dry basis)	111
จ2	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนางต่อน้ำหนักแห้ง (dry basis)	112
จ3	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของคาร์ราจีเนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรงต่อน้ำหนักแห้ง (dry basis)	114

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ไฟไฟแรงแท่งที่สกัดจาก สาหร่ายสายใบต่อน้ำหนักแห้ง (dry basis)	116
จ5	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและ สมบัติของวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนาง	118
จ6	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี $L^*$ , $a^*$ และ $b^*$ ของวุ้นที่สกัดจาก สาหร่ายผสมนาง	120
จ7	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและ และสมบัติของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง	121
จ8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี $L^*$ , $a^*$ และ $b^*$ ของคาร์ราจีแนนที่สกัด จากสาหร่ายโพรง	123
จ9	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและ และสมบัติของพอร์ไฟไฟแรงแท่งที่สกัดจากสาหร่ายสายใบ	124
จ10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ breaking force, breaking distance และความ แข็งแรงของเจลพอร์ไฟไฟแรงแท่ง	125
จ11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี $L^*$ , $a^*$ และ $b^*$ ของพอร์ไฟไฟแรงแท่งที่สกัด จากสาหร่ายสายใบ	126
จ12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิต จากซูริมิปลาปากคมที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	127
จ13	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาท สัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	128
จ14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิต จากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	129
จ15	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาท สัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมวุ้นความ เข้มข้นต่าง ๆ	130

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ16	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกลูชันปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	131
จ17	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกลูชันปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ	132
จ18	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกลูชันปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาปากคมที่มีการเติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ	133
จ19	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกลูชันปลาที่ผลิตจากปลาปากคมที่มีการเติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ	134
จ20	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกลูชันปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ	135
จ21	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกลูชันปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ	136
จ22	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกลูชันปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ	137
จ23	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกลูชันปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ	138
จ24	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกลูชันปลานิลที่มีการเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5	139
จ25	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกลูชันปลานิลที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5	139

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
จ26	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืดที่มีการเติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5	140
จ27	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืดที่เติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5	140

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของสาหร่ายผมนางตากแห้ง	5
2	ลักษณะของสาหร่ายโพรง	6
3	ลักษณะของสาหร่ายสายใบ	7
4	รูปแบบโครงสร้างต่าง ๆ ของวุ้น	10
5	โครงสร้างโมเลกุลของแคปซาคาร์ราจีแนน, ไอโอทาคาร์ราจีแนน และแลมบีดา คาร์ราจีแนน	15
6	โครงสร้างของพอร์ไฟแรน	18
7	แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลของโปรตีนเนื้อปลาในระยะต่าง ๆ ณะให้ ความร้อน	22
8	วิธี freeze-thaw สำหรับการผลิตวุ้น	33
9	วิธีตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์สำหรับการผลิตคาร์ราจีแนนและพอร์ไฟแรน	34
10	ขั้นตอนการผลิตเจลโปรตีนปลาผสมสารไฮโดรคอลลอยด์	38
11	SDS-PAGE ของเจลซูริมิที่ใส่คาร์ราจีแนน	76

## การใช้สารสกัดจากสาหร่ายในการปรับปรุงคุณภาพลูกชิ้นปลา

### Use of Seaweed Extracts to Improve Quality of Fish Ball

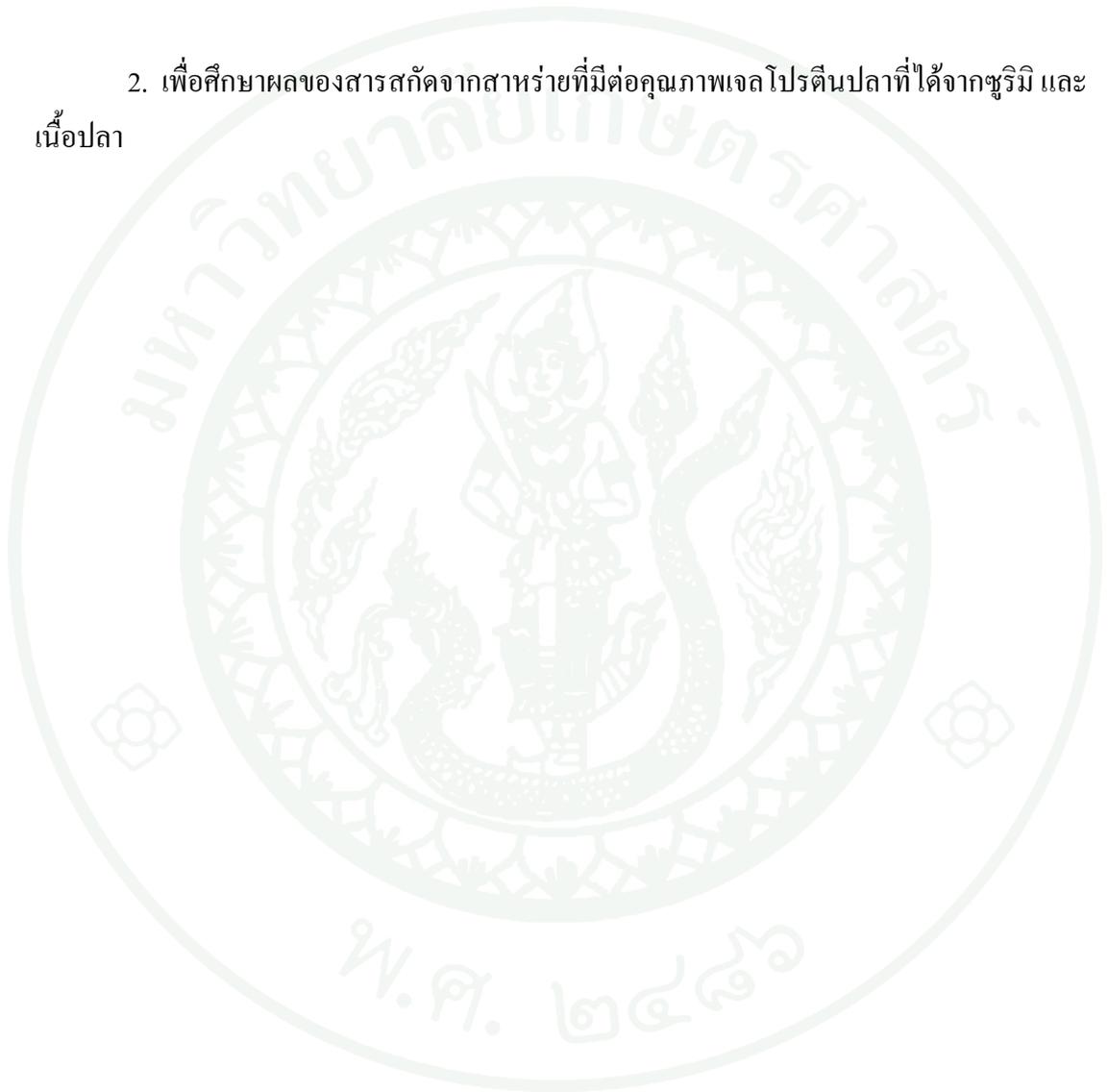
#### คำนำ

สาหร่ายทะเลเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นการนำสาหร่ายทะเลมาใช้บริโภคเป็นอาหารโดยตรงหรือใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ รวมถึงใช้เป็นวัตถุดิบทางอุตสาหกรรมเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น ไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ วุ้น คาร์ราจีแนน เพอร์เชลลาเรน และอัลจิเนต ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่สามารถสกัดได้จากสาหร่ายสีแดงและสีน้ำตาล ในทางอุตสาหกรรมอาหาร ไฮโดรคอลลอยด์ หรือกัม เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หรือโพรตีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายยาวและน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญและใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อใช้เป็นสารให้ความหนืด สารทำให้เกิดเจล สารเพิ่มความคงตัว หรือใช้เป็นสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์อีกด้วย

การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายทะเลในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมนำมาบริโภคแบบสดหรือตากแห้งเพื่อจำหน่ายให้โรงงานอุตสาหกรรมสำหรับการผลิตไฮโดรคอลลอยด์ สาหร่ายทะเลที่นิยมนำมาบริโภคจะอยู่ในสกุล *Gracilaria*, *Porphyra*, *Caulerpa* และ *Sargassum* โดยอาจบริโภคแบบสดหรือนำไปปรุงเป็นอาหารประเภทต่าง ๆ อย่างไรก็ตามยังมีสาหร่ายบางชนิดที่ยังไม่ถูกนำมาบริโภคหรือใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีคุณสมบัติบางอย่างที่ไม่เหมาะสมในการผลิต ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทยให้มากขึ้น โดยเฉพาะที่มีรายงานว่ามีการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่ายโพรง และสาหร่ายพมนาง เป็นต้น และเนื่องจากสาหร่ายสาวยใบสามารถนำมาสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์ได้ และเป็นสาหร่ายที่คนไทยนิยมบริโภค งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาด้านเทคนิคการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่ายสีแดงทั้ง 3 ชนิดประกอบด้วย สาหร่ายโพรง (*Solieria robusta*) สาหร่ายพมนาง (*Gracilaria fisheri*) และสาหร่ายสาวยใบ (*Porphyra* sp.) และศึกษาผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้ที่มีต่อเจลโพรตีนปลาโดยใช้ลูกชิ้นปลาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบของผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของสภาวะการสกัดและการผลิตสารไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่ายพมนางสาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบที่มีต่อสมบัติของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้
2. เพื่อศึกษาผลของสารสกัดจากสาหร่ายที่มีต่อคุณภาพเจลโปรตีนปลาที่ได้จากซูริมิ และเนื้อปลา



## การตรวจเอกสาร

### 1. สาหร่าย

“สาหร่าย” ตรงกับภาษาอังกฤษว่า “algae” ซึ่งเป็นพหูพจน์ ส่วนเอกพจน์คือ “alga” แปลว่า วัตถุที่มีค่าน้อย (object of little value) มีการนำคำว่า “สาหร่าย” มาใช้กับสิ่งมีชีวิตที่ยังไม่มีต้น ราก และใบ มีลักษณะง่าย ๆ เป็นท่อนหรือคู้่นหรือทลัสส์ (thallus) คือ มีตั้งแต่เซลล์เดียวซึ่งเป็นชนิดที่ง่ายที่สุด จนกระทั่งถึงชนิดเชิงซ้อนและมีขนาดใหญ่ประกอบด้วยเซลล์เป็นจำนวนมาก สาหร่ายมีแบบแผนการสืบพันธุ์ที่ต่างกันอย่างหลากหลายและเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารได้เอง โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับพืชชั้นสูง (วันเพ็ญ, 2549)

#### 1.1 โครงสร้างของเซลล์สาหร่าย

โครงสร้างของเซลล์สาหร่าย แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.1.1 สาหร่ายที่มีเซลล์แบบโพรแคริโอติก ได้แก่ ไชยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งปัจจุบันนี้ได้จัดรวมไว้ในพวกยูแบคทีเรีย (eubacteria) ในอาณาจักรโมเนรา ลักษณะของเซลล์ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสและไม่มีออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม (วันเพ็ญ, 2549)

1.1.2 สาหร่ายที่มีเซลล์แบบยูแคริโอติก ตามปกติจะมีผนังเซลล์ซึ่งประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ล้อมรอบเซลล์ ซึ่งสารเหล่านี้สร้างมาจากกอลไจบอดี โดยมีการคัดหลั่งออกมาล้อมรอบเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งเป็นเยื่อเลือกผ่านสารที่เข้าออกเซลล์ ใช้เฟลเจลลาที่มีเยื่อหุ้มในการเคลื่อนที่ ลักษณะของเซลล์มีนิวเคลียส คลอโรพลาสต์และไมโทคอนเดรียที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น (วันเพ็ญ, 2549)

#### 1.2 การจัดจำแนกสาหร่าย

นักวิทยาศาสตร์ได้จัดจำแนกสาหร่ายไว้ใน 2 อาณาจักร คือ สาหร่ายโพรแคริโอตอยู่ในอาณาจักรโมเนราได้แก่ ไชยาโนแบคทีเรียและโพรคลอโรไฟต์ และสาหร่ายยูแคริโอตอยู่ใน

อาณาจักรโพรทิสตา โดยอาณาจักรโพรทิสตาจัดแบ่งออกเป็นดิวิชันต่าง ๆ ซึ่งจำแนกเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวได้ 3 ดิวิชันคือ ยูกลีโนไฟตา (Euglenophyta) คริสโซไฟตา (Chrysophyta) และไพร์โรไฟตา (Pyrrophyta) และอีก 3 ดิวิชันจะมีทั้งสาหร่ายเซลล์เดียวและหลายเซลล์รวมอยู่ด้วยกันคือ คลอโรไฟตา (Chlorophyta) ฟีโอไฟตา (Phaeophyta) และโรโดไฟตา (Rhodophyta) (วันเพ็ญ, 2549)

### 1.3 สาหร่ายสีแดง

สาหร่ายสีแดง (red algae) เป็นสาหร่ายในดิวิชันโรโดไฟตาที่พบในทะเลมากกว่าในน้ำจืด ชนิดที่พบมีทั้งหมดรวม 5,000-5,500 ชนิดซึ่งอยู่ใน 500-600 สกุล ที่พบในน้ำจืดมีประมาณ 150 ชนิด (ยูวดี, 2549) ขึ้นอยู่ตั้งแต่ชายฝั่งไปจนถึงที่ลึก ๆ ที่แสงส่องถึง มีขนาดตั้งแต่เล็กมากไปจนถึงขนาดใหญ่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและสภาพทางภูมิศาสตร์ พวกที่มีขนาดใหญ่มักขึ้นอยู่ในเขตอบอุ่นและเขตหนาว ส่วนในเขตร้อนมักมีขนาดเล็ก (กาญจนภาชน์, 2527)

สาหร่ายสีแดงเป็นสาหร่ายที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะกลุ่ม โดยมีโครงสร้าง สมบัติทางเคมีและการสืบพันธุ์ที่พิเศษกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่น (วันเพ็ญ, 2549) ผนังเซลล์ของสาหร่ายสีแดงประกอบด้วยผนัง 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นสารเมือกพวกซัลเฟตเตดกาแลคแทน (sulfated galactans) ได้แก่ วุ้น (agar) คาร์ราจีแนน (carrageenan) พอร์ไฟแรน (porphyran) และเฟอร์เซลล์ลารัน (fucellaran) มีสาหร่ายบางชนิดที่ชั้นนอกสุดคือ คิวติเคิล (cuticle) อาจมีพวกโปรตีนสะสมอยู่ผนังชั้นในเป็นพวกเซลลูโลสซึ่งมีไม่มากนัก บางชนิดไม่มีเซลลูโลส เช่นใน *Porphyra* จะมีผนังชั้นในเป็นสารพวกไซแลน (xylan) และผนังชั้นนอกเป็นแมนแนน (mannan) ซึ่งทำให้ผนังเซลล์ของ *Porphyra* มีลักษณะนุ่ม ไม่กระด้าง (ยูวดี, 2549)

### 1.4 ชนิดของสาหร่ายที่ใช้ในการศึกษา

#### 1.4.1 สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*)

สาหร่ายผมนางสามารถจัดหมวดหมู่ทางหลักอนุกรมวิธานได้ดังนี้ (ยูวดี, 2549)

Division Rhodophyta  
 Class Rhodophyceae  
 Subclass Florideophycidae  
 Order Gigartinales  
 Family Gracilariaceae  
 Genus *Gracilaria*  
 Specie *fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia

สาหร่ายผมนางมีการแพร่กระจายอยู่ตามชายฝั่งของอ่าวไทยและฝั่งมหาสมุทร  
 อินเดีย ลักษณะโดยทั่วไปของสาหร่ายมีทลล์ตั้งตรงเป็นรูปเรียวยาวทรงกระบอกกลมหรือแบน  
 ลักษณะของทลล์มีตั้งแต่บอบบาง อ่อนนุ่ม หักง่าย ไปจนกระทั่งเหนียวเหมือนฟังผืด สามารถ  
 เจริญเติบโตได้ 2 ทาง คือการเจริญเติบโตที่เซลล์ปลายยอดและการแตกแขนงด้านข้าง (ภาพที่ 1)  
 สารสีของสาหร่ายผมนางประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll A) คลอโรฟิลล์ดี (chlorophyll  
 D) ไฟโคบิลิน (phycobilin) เช่น อาร์ไฟโคอีริทริน (R-phycoerythrin) อาร์ไฟโคไซยานิน  
 (R-phyococyanin) ซี-อัลโลไฟโคไซยานิน (C-allophycocyanin) และคาร์โรทีนอยด์ (carotenoid)  
 เช่น เบต้าคาโรทีน (beta-carotene) แอนเทอราแซนทิน (antheraxanthin) เป็นต้น ในประเทศไทย  
 สามารถพบสาหร่ายผมนางได้ทั่วไปบริเวณน้ำตื้นหรือชายฝั่งที่ลมพัดไม่แรงมากนัก (คณิต และ  
 ศุภิต, 2535)



ภาพที่ 1 ลักษณะของสาหร่ายผมนางตากแห้ง

สาหร่ายผสมนางเป็นสาหร่ายทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในประเทศไทย นำมาใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคแบบสดหรือส่งออกในสภาพสาหร่ายแห้งเพื่อใช้ในการผลิตวุ้น โดยเฉพาะสาหร่าย *G. fisheri* และ *Gracilaria tenuistipitata* จะมีการเก็บเกี่ยวในปริมาณมาก เนื่องจากเป็นแหล่งของวุ้น และอาหารสำหรับหอยเป๋าฮื้อ (Lewmanomont, 1998) ซึ่งวุ้นที่ผลิตได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร ยา เครื่องสำอาง เป็นต้น ทั้งนี้มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับสาหร่าย *G. fisheri* ที่พบในประเทศไทย เช่น Praiboon *et al.* (2006) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างของวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่าย *G. fisheri* พบว่า โครงสร้างของวุ้นที่สกัดได้มีหมู่ methyl เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง C6 บนหน่วยของ 3-linked  $\beta$ -D-galactopyranosyl ขณะที่หน่วยของ 4-linked 3,6-AG มีหมู่ methyl เกาะอยู่ที่ตำแหน่ง C2 และยังพบหน่วยของ 4-O-methyl- $\alpha$ -L-galactopyranosyl ยึดกับ C6 ของหน่วย 3-linked  $\beta$ -D-galactopyranosyl โดยวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่าย *G. fisheri* มีค่าความแข็งแรงของเจลวุ้นอยู่ระหว่าง 145.61 – 228.27 กรัม/ตร. ซม. นอกจากนี้ Chirapart *et al.* (2006) ได้รายงานวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่าย *G. fisheri* มีปริมาณผลผลิตและค่าความแข็งแรงของเจลวุ้นเท่ากับร้อยละ 40.07 - 43.48 และ 658.6 – 623.0 กรัม/ตร. ซม.

#### 1.4.2 สาหร่ายโพรง (*Solieria robusta*)

สาหร่ายโพรง (ภาพที่ 2) สามารถจัดหมวดหมู่ทางหลักอนุกรมวิธานได้ดังนี้ (ยูวดี, 2549)

Division	Rhodophyta
Class	Rhodophyceae
Subclass	Florideophycidae
Order	Gigartinales
Family	Solieriaceae
Genus	<i>Solieria</i>
Specie	<i>robusta</i> (Greville) Kylin



ภาพที่ 2 ลักษณะสาหร่ายโพรง

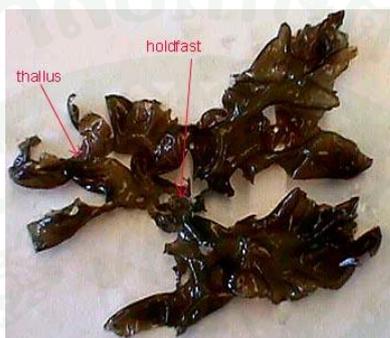
สาหร่ายโพรงมีลักษณะลำต้นเป็นพุ่มอวบน้ำ นุ่ม แดกแขนงได้หลายแบบ มักพบในน้ำทะเลความเค็มสูงระหว่าง 28-31 ส่วนในพันส่วน อาศัยอยู่ในแหล่งพื้นทรายหรือหินปะการัง ความลึกระหว่าง 1-5 เมตรที่มีน้ำทะเลขึ้นลงหรือไหลผ่านได้ดี (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, 2550) สาหร่ายชนิดนี้สามารถใช้ประโยชน์ในด้านการประมง หรือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยตรง เนื่องจากเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำเค็ม การจัดการดูแลง่าย สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดปี จึงมักนิยมใช้เป็นตัวดูดซับธาตุอาหารที่เกิดจากการจับถ่ายของเสีย หรือสารอาหารในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือใช้เป็นที่หลบซ่อนระหว่างการเพาะอนุบาลสัตว์วัยอ่อน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประกอบอาหาร และสกัดสารคาร์ราจีแนนที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหาร เครื่องดื่ม รวมทั้งเครื่องสำอางอีกด้วย (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, 2550)

Chiovitti *et al.* (1999) รายงานว่า สารกาแลคแทนซึ่งอยู่ที่ผนังเซลล์ของสาหร่าย *Solieria robusta* มีโครงสร้างประกอบด้วยลักษณะเด่นของหน่วย carrabiose 2,4' -disulfate ซึ่งเป็นหน่วยซ้ำของไอโอทาคารราจีแนน และยังมีพบสัดส่วนอย่างมีนัยสำคัญของหน่วย 4', 6'-pyruvated carrabiose 2-sulfate

#### 1.4.3 สาหร่ายสายใบ (*Porphyra* sp.)

สาหร่ายสายใบ (ภาพที่ 3) สามารถจัดหมวดหมู่ทางหลักอนุกรมวิธานได้ดังนี้ (ยูวดี, 2549)

Division	Rhodophyta
Class	Rhodophyceae
Subclass	Bangiophycidae
Order	Bangiales
Family	Bangiaceae
Genus	<i>Porphyra</i>



### ภาพที่ 3 ลักษณะของสาหร่ายสายใบ

ที่มา: Monterey Bay Aquarium Research Institute (1999)

สาหร่ายสายใบเป็นสาหร่ายที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจสูงมีชื่อสามัญว่า Laver ชื่อญี่ปุ่นคือ นอริ และชื่อจีนคือ จีฉ่าย มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบางสีม่วงเข้ม ส่วนใหญ่มีรอยจีบข่น ทลัสเจริญจากไฮสดีฟาสต์ มีความหนาของทลัส 1-2 ชั้น มีคลอโรพลาสต์รูปดาวสีชมพู มีไฟรีนอยด์ 1 อัน มีเมือกเคลือบอยู่บนทลัสในเขตบอบอุ่นอาจพบเกาะติดอยู่กับทลัสของ *Laminaria* (ยูวดี, 2549) สาหร่ายชนิดนี้เป็นสาหร่ายที่นิยมนำมาบริโภคกันสูงมากไม่ว่าจะเป็นการใช้ในการประกอบอาหาร หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากสาหร่าย นอกจากนี้แล้วยังเป็นแหล่งของสารพอร์ไฟแรนซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่พบบริเวณผนังเซลล์และบริเวณระหว่างเซลล์ของสาหร่ายสีแดงสกุล *Porphyra* อีกด้วย (Takahashi *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2005)

## 2. สารไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หรือโปรตีนที่เป็นพอลิเมอร์จากการที่มีโมเลกุลเดี่ยว ๆ มาต่อกัน ทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่ ในเชิงวิทยาศาสตร์ คำว่า ไฮโดรคอลลอยด์ หมายถึงพอลิแซ็กคาไรด์และโปรตีนต่างๆที่พิจารณาว่าเป็นสารคอลลอยด์ (colloidal materials) ในเฟสของน้ำเนื่องจากมีขนาดของโมเลกุลใหญ่มากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของน้ำ (รุ่งนภา, 2549)

ไฮโดรคอลลอยด์หรือไบโอพอลิเมอร์ หรือกัมเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญและใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อทำหน้าที่เป็นสารให้ความหนืดและ/หรือทำให้เกิดเจล เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสต่างๆหรือใช้เป็นสารก่อให้เกิดความคงตัวแก่ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในระหว่างการเก็บ (รุ่งนภา, 2549) มีการนำไปประยุกต์ใช้มากมายทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหาร เช่น ยา เครื่องสำอาง สิ่งทอ เป็นต้น โดยนำไปใช้เพื่อทำให้สารละลายข้นหนืดและ/หรือเป็นเจล ซึ่งเป็นการควบคุมเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำให้โฟม (foam) อิมัลชัน และคอลลอยด์ (dispersion) มีความคงตัว ยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งหรือน้ำตาล หรือควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นรส และอื่น ๆ (รุ่งนภา, 2549)

ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความสำคัญทางการค้าสามารถแบ่งตามแหล่งที่พบได้ 4 กลุ่มดังนี้

1. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากพืช ได้แก่ กัมอะราบิก ทรากาแคนท์ เพคติน กัวร์กัม โลกัสทีบินกัม และแป็งบุก เป็นต้น
2. ไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล ได้แก่ วุ้น คาร์ราจีแนน และแอลจินेट
3. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม เด็กซ์แทรน และเจแลน
4. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากสัตว์ เช่น เจลาติน ไคโตแซน เคซีนท และโปรตีนเวย์

## 3. สารไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่ายสีแดง

ไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดงและมีการนำมาใช้ประโยชน์ เช่น วุ้น คาร์ราจีแนน พอร์ไฟแรน และเฟอร์เซลลาแรน เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1 วุ้น

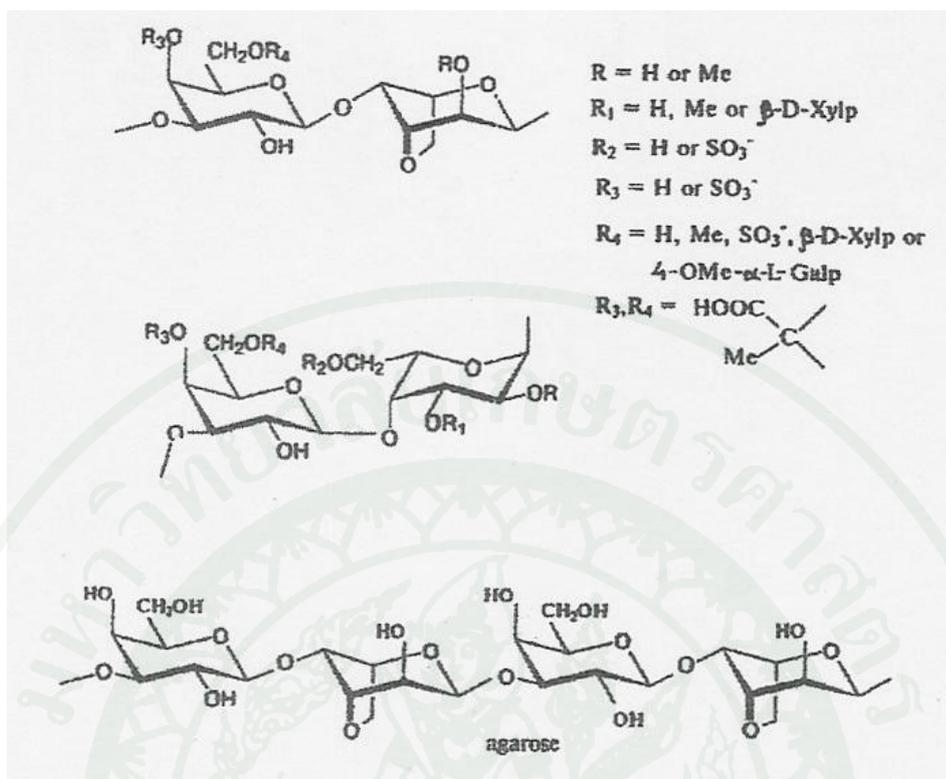
วุ้นเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติละลายได้ในน้ำร้อนแต่ไม่ละลายในน้ำเย็น เมื่อสารละลายวุ้นเย็นลงจะเกิดเป็นเจลได้เป็นอย่างดี แม้จะมีความเข้มข้นต่ำมากจนถึงประมาณร้อยละ 0.4 ด้วยคุณลักษณะดังกล่าวนี้เองจึงนำวุ้นมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่าสูงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ( ธารารัตน์, 2541)

#### 3.1.1 ชนิดและแหล่งวัตถุดิบ

สาหร่ายสีแดงชนิดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดวุ้นนั้นเรียกว่า อะกาโรไฟต์ (Agarophytes) ส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ของ Gracilariaceae, Gellidiaceae, Phyllophoraceae และ Ceramiaceae (Stanley, 1995) ซึ่งสกุลที่นิยมนำมาสกัดวุ้นได้แก่ *Gelidium*, *Gracilaria*, *Pterocladia* และ *Ahnfeltia* โดย *Gelidium* จะให้ผลผลิตวุ้นที่มีคุณภาพดีที่สุด แต่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุลนี้ยังมีความยุ่งยากและแหล่งที่พบในธรรมชาติมีน้อยกว่าสาหร่ายสกุล *Gracilaria* ซึ่งมีการเพาะเลี้ยงในหลายประเทศและใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตวุ้น ส่วนสาหร่ายสกุล *Pterocladia* และ *Ahnfeltia* มีการเจริญเติบโตในบางพื้นที่เพียงเล็กน้อยและมีการใช้ประโยชน์ในประเทศนิวซีแลนด์และสหภาพโซเวียต (U.S.S.R.) เท่านั้น (UNDP/FAO, 1990)

#### 3.1.2 โครงสร้างของวุ้น

วุ้นเป็นพอลิแซ็กคาไรด์แบบเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำของอะกาโรไบโอส (agarobiose) ที่ต่อสลับกันระหว่าง 3-linked  $\beta$ -D-galactopyranosyl และ 4-linked 3,6-anhydro- $\alpha$ -L-galactopyranosyl (3,6-AG) ซึ่งมีน้ำตาลกาแลคโตส (galactose) เป็นหน่วยย่อยพื้นฐาน มีการวางตัวของโมเลกุลแบบ D-galactose ต่อสลับกับ L-galactose ซึ่งคาร์บอนที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนหน่วยซ้ำของวุ้นที่มีหมู่ไฮโดรเจนเกาะอยู่นั้นอาจถูกแทนที่ด้วยหมู่ซัลเฟต (sulfate group) หมู่เมทิล (methyl group) ไซโลส (xylose) และหมู่ไพรูเวตคีตัล (pyruvate ketal group) อีกด้วย ทั้งนี้การถูกแทนที่ด้วยหมู่ต่าง ๆ ในโครงสร้างของวุ้นนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สภาพและสภาพที่มีความหลากหลาย รวมถึงกรรมวิธีที่ใช้ในการสกัดและแยกวุ้น ซึ่งรูปแบบโครงสร้างของวุ้นที่ถูกแทนที่บริเวณคาร์บอนตำแหน่งต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 รูปแบบโครงสร้างต่าง ๆ ของวุ้น

ที่มา: Usov (1998)

วุ้นประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อย่างคืออากาโรส (agarose) และอากาโรเพคติน (agarpectin) ดังนี้

1) อากาโรส เป็นองค์ประกอบที่ทำให้วุ้นมีความแข็ง จัดเป็น sulfated – free nonionic polysaccharides มีสมบัติเป็นกลางและเกิดเจลได้ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของ 1,3- $\beta$ -D-galactose และ 1,4- 3,6-AG ต่อสลับกันไป (ภาพที่ 4) (สายสนม, 2530)

2) อากาโรเพคติน จัดเป็น linear polymer of sulfated D-glucuronic acid เป็นส่วนที่ไม่เกิดเจล (สายสนม, 2530) มีโครงสร้างคล้ายอากาโรสโดยที่บางโมเลกุลของ 3,6 – AG ถูกแทนที่ด้วย L-galactose sulfate และบางโมเลกุลของ D-galactose ถูกแทนที่ด้วย D-galactose sulfate หรือ 4,6-O-(1-carboxyethylidene)-D-galactopyranose ซึ่งทำให้อากาโรเพคตินมีประจุลบ อากาโร

เพคตินเป็นองค์ประกอบที่ทำให้ความแข็งแรงของเจลวุ้นต่ำลง และถ้ามีการจัดหมู่ซัลเฟตออกไปด้วยการทำปฏิกิริยากับเบสจะทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างจาก 6-sulfated-L-galactose ไปเป็น 3,6-AG ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลวุ้นเพิ่มขึ้น ( ธารารัตน์, 2541)

วุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายแต่ละชนิดมีปริมาณและสัดส่วนของอากาโรสและอากาโรเพคตินที่แตกต่างกันไปตามธรรมชาติของสาหร่ายแต่ละชนิด ตลอดจนถึงกรรมวิธีการสกัดวุ้นด้วย วุ้นที่มีปริมาณอากาโรสสูงจะเป็นวุ้นที่ให้ความแข็งแรงของเจลสูง และมีราคาแพงกว่าวุ้นที่มีความแข็งแรงของเจลต่ำ

### 3.1.3 กระบวนการผลิตวุ้น

กระบวนการผลิตวุ้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ การเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการสกัด การทำให้บริสุทธิ์ และการทำให้แห้ง

#### 1) การเตรียมวัตถุดิบ

สาหร่ายที่นำมาสกัดวุ้นมักเป็นสาหร่ายแห้งซึ่งมีเกลือและสิ่งแปลกปลอมเช่น กรวดดิน และหินทรายติดมา จึงต้องมีการล้างสาหร่ายด้วยน้ำเย็น เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นให้หมดไป อาจมีการฟอกสีซึ่งวิธีดั้งเดิมมักฟอกสีโดยอาศัยแสงแดด แต่ถ้าต้องการวุ้นที่สีขาวมาก ๆ อาจใช้สารละลายฟอกสีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) เข้มข้นร้อยละ 0.01 หรือใช้ผง activated carbon แทนการใช้แสงแดดก็ได้ (สายสนม, 2530) นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธีแช่สาหร่ายในอะซิโตนเพื่อขจัดสีอีกด้วย (Praiboon *et al.*, 2006)

#### 2) กระบวนการสกัด

วิธีการสกัดวุ้นออกจากสาหร่ายอาศัยความร้อนและปรับสภาพความเป็นกรดต่างให้เหมาะสม (สายสนม, 2530) ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกันเช่น วิธีดั้งเดิมโดยสกัดสาหร่ายด้วยน้ำที่มากเกินไปที่ระดับอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำและมีการเติมกรดซัลฟิวริก (ร้อยละ 0.01-0.02) หรือกรดอะซิติก (ร้อยละ 0.05) เพื่อช่วยกระตุ้นให้การสกัดวุ้นดีขึ้น (Matsubashi, 1990) ส่วนวิธีการสกัดภายใต้ความดันช่วยลดระยะเวลาในการสกัดและเพิ่มปริมาณวุ้น ซึ่งเหมาะสมกับสาหร่ายชนิดที่มี

ความแข็ง (rigid-type seaweeds) แต่มีข้อเสียคือ โครงสร้างของวุ้นที่สกัดได้อาจถูกทำลาย ดังนั้นจึงควรเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสมกับสาหร่ายแต่ละชนิด นอกจากนี้แล้วยังมีการปรับปรุงวิธีการสกัดวุ้นเพื่อเพิ่มคุณภาพของวุ้นให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสาหร่ายส่วนใหญ่ที่นำมาผลิตวุ้นในอุตสาหกรรมเช่น สาหร่ายสกุลกราซิลาเรียนั้นมีอนุโมลของซัลเฟต ( $-SO_3$ ) อยู่ในโมเลกุลสูงส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลวุ้นต่ำมากเมื่อมีการสกัดวุ้นโดยตรง การบ่มสาหร่ายด้วยด่าง (alkali treatment) จึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้ก่อนการสกัดวุ้นจากสาหร่าย เนื่องจากด่างจะช่วยขจัดหมู่ซัลเฟตเหล่านั้นออกไปบางส่วน และช่วยเปลี่ยนโครงสร้างของ L-galactose-6-sulfate ให้เป็น 3,6-AG ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับอากาโรสส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลวุ้นสูงขึ้น (สายสนม, 2530 ; Armisen and Galatas, 1987 ; Matsubashi, 1990) สำหรับการบ่มสาหร่ายด้วยด่างนิยมบ่มที่อุณหภูมิ 80-90 °ซ ทั้งนี้ระยะเวลาในการบ่ม อุณหภูมิ และความเข้มข้นของด่างต้องมีการศึกษาให้เหมาะสมกับสาหร่ายแต่ละชนิด

### 3) การทำให้บริสุทธิ์

วุ้นที่สกัดได้จะถูกนำมากรองด้วยผ้าหยาบ ๆ ขณะร้อนซึ่งวุ้นจะมีลักษณะเป็นของเหลวข้น ส่วนกากที่ได้จะนำไปสกัดซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งได้มีการพัฒนาขั้นตอนการกรองโดยใช้เครื่อง Filter press และมีการผสมสารช่วยกรองลงไปด้วย สำหรับวุ้นที่ได้จากการกรองขณะร้อนจะถูกทิ้งให้เกิดเจล แล้วนำไปแช่แข็ง (freezing) จากนั้นนำวุ้นที่แช่แข็งมาละลายน้ำ (thawing) เพื่อแยกวุ้นออกจากน้ำเนื่องจากวุ้นมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำเย็น ดังนั้นสารเจือปนต่าง ๆ ที่ละลายมากับสารสกัดวุ้นจะละลายไปพร้อมกับน้ำ วิธีทำให้บริสุทธิ์วิธีนี้เรียกว่า “freeze-thaw” เป็นวิธีที่นิยมในการทำวุ้นให้บริสุทธิ์

### 4) การทำให้แห้ง

วุ้นที่แยกมาได้นำมาทำให้แห้งได้หลายวิธีเช่น ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-60 °ซ หรือใช้รังสีอินฟราเรด เป็นต้น (สายสนม, 2530) สำหรับวุ้นที่แห้งแล้วอาจื่อนำบรรจุถุงไปจำหน่ายทั้งที่เป็นแผ่นก็ได้หรืออาจื่อนำไปบดให้เป็นผงขนาดตามต้องการจึงบรรจุถุงส่งออกจำหน่าย

### 3.1.4 สมบัติของวุ้น

#### 1) การละลายของวุ้น

ปกติวุ้นไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ละลายได้ดีในน้ำร้อนตั้งแต่อุณหภูมิ 85 °ซ ขึ้นไป ถ้าต้องการเตรียมสารละลายวุ้นที่มีความเข้มข้นสูง ๆ อาจต้องใช้หม้อนึ่งอัดความดัน (autoclave) เข้าช่วยในการละลาย (สายสนม, 2530)

#### 2) การเกิดเจลของวุ้น (gelation)

สารละลายวุ้นที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1-2 จะมีลักษณะหนืดข้นขุ่น สีเหลือง และเมื่อทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิ 40 °ซ จะสามารถเกิดเจลที่คงรูปร่างได้ มีความขุ่นและแข็งเปราะ (brittle) ถ้าเป็นสารละลายที่เกิดจากส่วนของอากาศโรสจะมีลักษณะใสโปร่งแสง ไม่มีสี แต่เมื่อเกิดเจลก็ยังคงให้เจลที่ขุ่น อันเนื่องมาจากธรรมชาติของการตกผลึกขณะเกิดเป็นเจล

#### 3) ความหนืด

สารละลายวุ้นที่เข้มข้นร้อยละ 1 จะมีความหนืดประมาณ 2-10 centipoise (cP) ที่อุณหภูมิ 45 °ซ ความแตกต่างของความหนืดขึ้นอยู่กับชนิดและสกุลของสาหร่ายที่นำมาสกัดวุ้น

#### 4) ความแข็งแรงของเจลวุ้น (gel strength)

เมื่อสารละลายวุ้นเย็นตัวลงเกิดเป็นเจล ความแข็งแรงของเจลวุ้นเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญในการประเมินคุณภาพของวุ้น ความแข็งแรงของเจลวุ้นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายวุ้น ชนิดของสาหร่ายซึ่งจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างอากาศโรสและอากาศโรเฟลดินเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดวุ้นด้วยเช่นกัน เช่น ในกรณีของการสกัดวุ้นจากกราซีลาเรียวพบว่า ถ้าผ่านการแช่ในค้างแล้วจะทำให้วุ้นมีความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น (สายสนม, 2530) ความแข็งแรงของเจลวุ้นนิยมนทดสอบกันที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 (w/v) (Praiboon *et al.*, 2006 ; Villanueva *et al.*, 2010 ; Freile-Pelegrin and Murano, 2005)

### 3.1.5 ประโยชน์ของวุ้น

วุ้นเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและไม่ใช่อาหาร ไม่ว่าจะเป็นการใช้วุ้นผสมเพื่อทำขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลทั้งหลาย เช่น วุ้นกะทิ วุ้นน้ำเชื่อม วุ้นสังขยา เป็นต้น การใช้วุ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่บรรจุกระป๋องเพื่อทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นและป้องกันการแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขณะทำการขนส่ง การใช้วุ้นในการทำ icing เพื่อเคลือบผิวหน้าผลิตภัณฑ์ขนมอบหรือใช้ในผลิตภัณฑ์นมเพื่อช่วยปรับเนื้อสัมผัสของไอศกรีม sherbet เนยแข็ง นมเปรี้ยว เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้วุ้นในอาหารลดน้ำหนักและการใช้ประโยชน์ในงานด้านจุลชีววิทยา รวมทั้งใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมประเภทอื่น ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตยา เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมเส้นใย กระดาษ การทำพิมพ์ถ่ายภาพ เป็นต้น

### 3.2 คาร์ราจีแนน

คาร์ราจีแนน เป็นสารไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์ (hydrophilic colloids) ที่มีความสำคัญทางการค้าสกัดได้จากสาหร่ายสีแดงและมีสมบัติละลายน้ำได้ โครงสร้างของคาร์ราจีแนนนั้นเป็นสารซัลเฟตเตตกาแลคแทนที่มีหมู่ซัลเฟตเกาะอยู่ที่ตำแหน่งคาร์บอนต่าง ๆ ทำให้คาร์ราจีแนนเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ (anionic polymer) (Stanley, 1987) คาร์ราจีแนนที่ใช้กันทั่วไปทางการค้ามี 3 รูปแบบ คือ แคลปปา (kappa), ไอโอทา (iota) และ แลมบ์ดา (lambda) คาร์ราจีแนน โดยชนิดแคลปปาและไอโอทาสสามารถเกิดเจลชนิด thermally reversible gel ส่วนคาร์ราจีแนนชนิดแลมบ์ดาไม่สามารถเกิดเจล

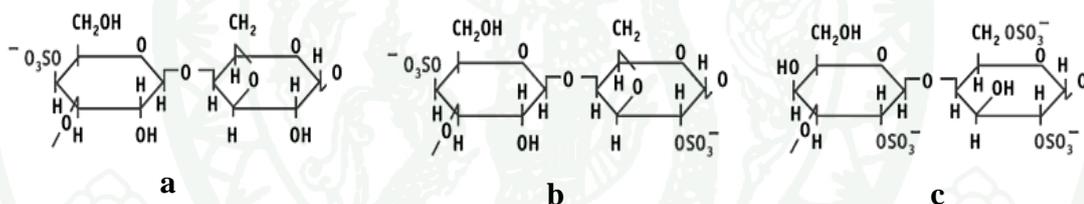
#### 3.2.1 ชนิดและแหล่งวัตถุดิบ

สาหร่ายสีแดงชนิดที่ให้ผลผลิตคาร์ราจีแนนเรียกว่า คาร์ราจีโนไฟต์ (carrageenophytes) ซึ่งมีรายงานว่าพบในสาหร่ายสีแดง 7 วงศ์ประกอบด้วย Solieriaceae, Gigartineae, Furcellariaceae, Phyllophoraceae, Hypneaceae, Rhabdoniaceae และ Rhodophyllidaceae (Stanley, 1990) สกุลที่นิยมใช้สกัดในอุตสาหกรรมคือ *Chondrus*, *Eucheuma*, *Gigartina* และ *Hynea*

### 3.2.2 โครงสร้างของคาร์ราจีแนน

คาร์ราจีแนนเป็นพอลิแซ็กคาไรด์สายตรงที่ประกอบด้วยหน่วยของกาแลคโตสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -(1,3) และ  $\alpha$ -(1,4) ไกลโคซิดิกลับกันไปซึ่งโดยส่วนใหญ่ในหน่วยของ  $\alpha$ -(1,4) กาแลคโตสมีโครงสร้างเป็น 3,6-AG โครงสร้างของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิดแตกต่างกันที่ปริมาณของ 3,6-AG และ ester sulfate ความแตกต่างของปริมาณเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการดูดน้ำ (hydration) ความแข็งแรงของเจลคาร์ราจีแนน อุณหภูมิในการละลายและเซ็ดตัวของเจล การแยกตัวของของเหลวออกจากเจล (syneresis) และการทำงานร่วมกัน (synergism) ของสารผสม

คาร์ราจีแนนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณของ 3,6 - AG และ ester sulfate ที่แตกต่างกัน คือ ชนิดแคปคาร์ราจีแนน (ภาพที่ 5a) มีประมาณร้อยละ 34 และ 25 ไอโอทาคาร์ราจีแนน (ภาพที่ 5b) มีร้อยละ 30 และ 32 ตามลำดับ ส่วนแลมบ์ดาคาร์ราจีแนน (ภาพที่ 5c) ประกอบด้วย ester sulfate ร้อยละ 35 และปริมาณของ 3,6 - AG เพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่พบในชนิดนี้ (Imeson, 2000)



ภาพที่ 5 โครงสร้างโมเลกุลของแคปคาร์ราจีแนน (a), ไอโอทาคาร์ราจีแนน (b) และแลมบ์ดาคาร์ราจีแนน (c)

ที่มา: Imeson (2000)

### 3.2.2 กระบวนการผลิต

คาร์ราจีแนนสกัดได้ด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของคาร์ราจีแนนที่อยู่ในสาหร่ายนั้น โดยปกติแล้วการสกัดคาร์ราจีแนนมักทำภายใต้สภาวะที่มีด่างเพราะด่างจะช่วยย่อยสาหร่ายให้เปื่อยยุ่ย ชะลอการทำลายพันธะพอลิเมอร์ของกาแลคแทนจากการย่อยของกรด และตัดแปลงโครงสร้างของสายกาแลคแทนเพื่อเพิ่มสมบัติของเจลของสารสกัดที่ได้ แม้ว่าการสกัดจะเป็นหลักการทั่วไป แต่ก็ได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตซึ่งรายละเอียดการสกัดมักถูกเก็บเป็นความลับทางการค้า (Stanley, 1990) กรรมวิธีผลิตคาร์ราจีแนนที่นิยมใช้กันมี 3 วิธีประกอบด้วย การตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ วิธี freeze-thaw และวิธี gel press สำหรับวิธีการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์มีขั้นตอนทั่วไปดังนี้

- (1) การสกัด (extraction) นำสาหร่ายไปล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดทราย หิน และสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ ที่อาจติดมากับสาหร่าย แล้วนำไปทำให้แห้งและบ่มด้วยสารละลายด่างเจือจางเป็นเวลา 1-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างออกจากสาหร่ายด้วยน้ำไหลผ่าน แล้วสกัดคาร์ราจีแนนจากสาหร่ายด้วยน้ำต่อไป
- (2) การทำให้บริสุทธิ์ (purification) กากของสาหร่ายจะถูกแยกออกจากสารสกัดโดยการใช้การหมุนเหวี่ยง (centrifugation) หรือการกรอง (filtration)
- (3) การทำให้เข้มข้น (concentration) ใช้เครื่องระเหยระบบสุญญากาศเพื่อทำให้สารละลายคาร์ราจีแนนมีความเข้มข้นร้อยละ 2-3
- (4) การตกตะกอน (precipitation) ตกตะกอนคาร์ราจีแนนจากสารละลายโดยการเติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) ทำให้เกิดก้อนหนืดของเส้นใย (fibrous coagulum) ซึ่งจะแยกออกมาด้วยการกรอง
- (5) การทำแห้ง (drying) คาร์ราจีแนนที่ได้จากการตกตะกอนจะนำไปทำแห้งและบดให้มีขนาดอนุภาคตามความต้องการ

สำหรับวิธี freeze-thaw และวิธี gel press จะแตกต่างจากวิธีตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ในขั้นตอนที่ 4 กล่าวคือวิธี freeze-thaw จะอาศัยหลักการการขจัดน้ำจากเจลที่ถูกแช่แข็งเหมือนกับที่ใช้ในวุ้น ซึ่งการใช้วิธี freeze-thaw นี้มีข้อจำกัดคือสามารถใช้ได้กับเฟอร์เซลลาแรนและแคปซูลคาร์ราจีแนนเท่านั้นเนื่องจากเจลของสารทั้งสองชนิดนี้ซึ่งเกิดกับไอออนของโพแทสเซียมสามารถแสดงการแยกตัวของของเหลวได้อย่างชัดเจน ส่วนวิธี gel press จะมีการใช้

บ้างเล็กน้อยโดยจะใช้ความดันในการขจัดน้ำออกจากเจล ซึ่งวิธีการนี้ไม่ต้องผ่านวัฏจักรของการ freeze-thaw (Stanley, 1990)

### 3.2.4 สมบัติของคาร์ราจีแนน

คาร์ราจีแนนแต่ละรูปแบบจะมีสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกลุ่ม ester sulfate และ สัดส่วนของ 3, 6-AG ที่อยู่ในคาร์ราจีแนน ความแตกต่างของตำแหน่งและ โครงสร้างเหล่านี้ส่งผลให้คาร์ราจีแนนแต่ละรูปแบบมีคุณสมบัติทางวิทยากระแส (rheological properties) ที่แตกต่างกันจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างกว้างขวาง (Imeson, 2000)

#### 1) การละลาย

คาร์ราจีแนนทุกรูปแบบละลายได้ดีในน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 °ซ ส่วนปริมาณที่จะละลายได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นกับความหนืดของสารละลายคาร์ราจีแนนชนิดนั้น ตามปกติสามารถเตรียมสารละลายคาร์ราจีแนนได้เข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อทำการเตรียมด้วยเครื่อง ผสมโดยทั่ว ๆ ไป ส่วนการละลายในน้ำเย็นนั้นพบว่าสารประกอบเกลือทุกชนิดของแลมบ์ดาคาร์ราจีแนนจะละลายได้ดี ส่วนแคปพาและไอโอทาคาร์ราจีแนนนั้นจะละลายได้เฉพาะชนิดที่เป็นเกลือ โซเดียมเท่านั้น ส่วนในรูปเกลือ โพแทสเซียม และแคลเซียมจะไม่ละลาย แต่จะพองตัวและกระจาย ตัวได้ดีในน้ำเย็นที่มีแคทไอออน (cation) อยู่ในสารละลายนั้น ซึ่งเหมาะที่จะใช้เป็น suspending agent (สายสนม, 2530)

#### 2) ความหนืด

คาร์ราจีแนนในรูปสารละลายจะให้ความหนืดได้อันเนื่องมาจากลักษณะ โครงสร้างที่เป็นพอลิเมอร์ในแบบเป็นเส้นสายไม่มีกิ่งก้านและเป็นโครงสร้างที่มีประจุไฟฟ้า ประจําตัวตามธรรมชาติในรูปของ negative charge ตรงหมู่ ester sulfate ( $R-O-SO_3^-$ ) เป็นผลให้เกิด การผลักกันระหว่างประจุดังกล่าวและบางส่วนของโมเลกุลจะรวมตัวกับน้ำได้ในแบบที่เข้าหุ้มผิว ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดความหนืดได้ ส่วนความหนืดจะสูงหรือต่ำจะแตกต่างกันไปตาม ชนิดของคาร์ราจีแนนและสภาวะที่ต่างกัน โดยทั่วไปแล้วคาร์ราจีแนนที่อยู่ในรูปการค้ำจะมีความ

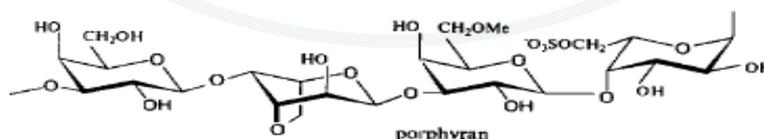
หนืดอยู่ในช่วง 5-800 cP เมื่อทำการวัดที่ความเข้มข้นสารละลายร้อยละ 1.5 และที่อุณหภูมิ 75 °ซ (สายสนม, 2530)

### 3) การเกิดเจล

แคปลาและไอโอทาการ์ราจีแนนจะเกิดเจลได้ เมื่อสารละลายการ์ราจีแนนนั้นเย็นตัวลง แต่เจลนั้นจะคืนตัวได้เมื่อถูกความร้อนคือจะเปลี่ยนสภาพไปมาได้ด้วยความร้อน ในการเกิดเจลนั้น โมเลกุลของการ์ราจีแนนจะเริ่มจับตัวกันเกิดเป็นขดเกลียวไปมา ในสภาพที่เป็นสารละลาย การขดตัวจะเป็นแบบ random coil เมื่อสารละลายเริ่มเย็นตัวลงเส้นสายของพอลิเมอร์การ์ราจีแนนจะสานตัวเองจนอยู่ในรูปของโครงข่ายสามมิติ (three-dimension network) และบางส่วนจะพันกันเป็นเกลียว double-helix ที่มีความหนาแน่น เรียกส่วนนั้นว่า junction zone เมื่อสารละลายเย็นตัวลงอีกตรงส่วนที่เป็น junction zone จะเข้ามารวมตัวกันหนาแน่นขึ้นเป็นผลให้เกิดเจลได้ (สายสนม, 2530)

### 3.3 พอร์ไฟแรน

พอร์ไฟแรนเป็นซัลเฟตเตดพอลิแซ็กคาไรด์ (sulfated polysaccharide) ที่ประกอบด้วยบางส่วนที่ละลายได้ในน้ำร้อน พบบริเวณผนังเซลล์และบริเวณระหว่างเซลล์ของสาหร่ายสีแดงสกุล *Porphyra* โครงสร้างของพอร์ไฟแรนมีความคล้ายคลึงกับอาคาโรส แต่มีความแตกต่างกันอย่างมากในส่วนของ L-galactose-6-sulfate โดยโครงสร้างระดับปฐมภูมิของพอร์ไฟแรนมีลักษณะที่ต่อสลับกันของหน่วย 1,4-linked 3,6-AG และ 1,3-linked  $\beta$ -D-galactose ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดเป็น L-galactose-6-sulfate และอนุพันธ์ของ 6-O-methyl ตามลำดับ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 โครงสร้างของพอร์ไฟแรน

ที่มา: Usov (1998)

พอร์ไฟแรงแสดงคุณลักษณะความหนืดที่ต่ำและไม่สามารถเกิดเจลได้เนื่องจากมีปริมาณซัลเฟตที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับอากาโรสซึ่งเป็นพอลิแซ็กการไรด์ที่มีความหนืดสูงกว่าและมีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ดี พอร์ไฟแรงแจ้งเป็นพอลิแซ็กการไรด์ที่ไม่นิยมนำไปประยุกต์ใช้

กรรมวิธีการผลิตพอร์ไฟแรงแนั้นมีความคล้ายคลึงกับการผลิตคาร์ราจีแนน เนื่องจากพอร์ไฟแรงแไม่มีสมบัติในการเกิดเจลเหมือนกับวุ้นจึงไม่นิยมใช้วิธี freeze thaw แต่จะทำการแยกสารพอร์ไฟแรงแออกมาด้วยวิธีตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ กรรมวิธีการผลิตพอร์ไฟแรงแเริ่มจากการสกัดสารห่วยด้วยน้ำโดยใช้หม้อนึ่งอัดความดัน กรองสารสกัดเพื่อแยกกากออก แล้วนำสารสกัดที่ได้ไปหมุนเหวี่ยง จากนั้นแยกเอาส่วนที่เป็นสารละลายส่วนใส (supernatant) มาตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ แล้วแยกตะกอนที่ได้ด้วยการหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง ตะกอนพอร์ไฟแรงแที่แยกได้นำไปผ่านการ dialysis ด้วยน้ำกลั่นและทำแห้งด้วยวิธี freeze-dried (Takahashi *et al.*, 2000 ; Zhang *et al.*, 2005) หรืออาจล้างด้วยแอลกอฮอล์และอะซิโตนอีก 2-3 ครั้งก่อนนำไปทำแห้งด้วยวิธี freeze-dried (Ishihara *et al.*, 2005)

Matsuo *et al.*(1993) พบว่า saccharide-6-sulfate สามารถเปลี่ยนเป็น 3,6-AG โดยการขจัดหมู่ซัลเฟต 6-O ด้วย N,O-bis(trimethylsilyl)acetamide ส่งผลให้พอร์ไฟแรงแสามารถเกิดเจลได้ การเกิดเจลนี้ถูกกระตุ้นโดยการขจัดซัลเฟตทำให้แรงผลัทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างสายโซ่พอร์ไฟแรงแลดลงด้วยการขจัดหมู่ซัลเฟตและสายโซ่พอร์ไฟแรงแนั้นสามารถมีส่วนร่วมและเชื่อมกับตัวอื่นผ่านพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์เช่น ปฏิกริยาไฮโดรโฟบิก หรือปฏิกริยาทางไฟฟ้าสถิตย์ผ่านหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ถ้าสายโซ่พอร์ไฟแรงแสามารถเกิดปฏิกริยาไฮโดร โฟบิก ปฏิกริยาอาจมีผลต่อคุณสมบัติ amphiphilic ของพอร์ไฟแรงแซึ่งมีการแนะนำถึงความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์พอร์ไฟแรงแในการเป็นสารตึงผิว (surfactant) ชนิดใหม่

#### 4. เจลของโปรตีน

เจลจัดเป็นวิญญภาคที่มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างของแข็งและของเหลว โครงสร้างของเจลโปรตีนเกิดจากโมเลกุลของโปรตีนจับกันด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ เป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้ภายในได้ เจลของโปรตีนเป็นผลจากกระบวนการที่ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเกี่ยวข้องกับเปลี่ยนแปลงโครงร่างโมเลกุลของโปรตีนซึ่งมักจะเป็นผลจากการได้รับความร้อน หรือเกิดจากโปรตีนสูญเสียสภาพ

ธรรมชาติไปบางส่วนด้วยปัจจัยอื่น เมื่อการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเกิดขึ้นจะพบว่า ความหนืดของระบบโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดของโมเลกุลโปรตีนใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการคลายตัวของโมเลกุลร่วมกับการเริ่มจับตัวกันระหว่างโมเลกุลโปรตีนบางส่วนที่คลายตัวออกมา ต่อจากนั้นในขั้นตอนที่สองโปรตีนซึ่งสูญเสียสภาพธรรมชาติหรือ โมเลกุลที่คลายตัวอย่างสมบูรณ์แล้วจะรวมตัวกันหรือจับกันอย่างซ้ำ ๆ ในระหว่างการจับตัวเพื่อเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย ความหนืดของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในระยะสุดท้ายระบบของเจลก็จะมีสมบัติบางประการของของแข็งที่มีความยืดหยุ่น อัตราการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในทั้งสองขั้นตอนจะต้องเกิดขึ้นในระดับที่เหมาะสมกล่าวคือ ถ้าการทำโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติเกิดขึ้นเร็วกว่าการจับตัวกันของโปรตีน โครงสร้างตาข่าย 3 มิติที่ได้จะไม่มีคมสม่ำเสมอ เจลที่ได้จึงมีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นต่ำ แต่ถ้าการทำโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติเกิดขึ้นในอัตราไม่สูงมากนัก เจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่นและแข็งแรง (จักรี, 2544)

#### 4.1 กลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากเนื้อปลาสด

การเกิดเจลของโปรตีนเนื้อปลามีความสำคัญและจำเป็นต้องอาศัยโปรตีนที่มีคุณภาพสูง ตลอดจนการปฏิบัติและการให้ความร้อนที่เหมาะสม การเกิดเจลเป็นกลไกทางเคมีที่เกิดจากการเชื่อมของโปรตีนไมโอไฟบริลด้วยพันธะต่าง ๆ และอาจมีเอนไซม์บางชนิดเป็นตัวเร่งการเชื่อมประสานของโปรตีนและให้โครงข่ายของโปรตีนที่แข็งแรง กลไกการเกิดเจลสามารถจำแนกได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

##### 4.1.1 การแตกตัวของโปรตีนไมโอไฟบริล

การเกิดเจลของโปรตีนกล้ามเนื้อ ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีนไมโอไฟบริล สามารถเกิดขึ้นได้ในสถานะที่มีเกลือร้อยละ 2 โดยเกลือมีผลไปละลายโปรตีนไมโอไฟบริล ไมโอซินที่ละลายสามารถรวมตัวกับแอกตินเกิดเป็นแอกโตไมโอซิน ไมโอซินและแอกโตไมโอซิน มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลของซูริมิ โดยไมโอซินจัดเป็นโปรตีนที่มีความสำคัญที่สุดในการเกิดเจล (สุทธวัฒน์, 2549)

#### 4.1.2 การเกิดเจล

การเกิดเจลของโปรตีนสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน
2. การจับเรียงตัวของโปรตีน (aggregation)

การจับเรียงตัวมีความสำคัญต่อการเกิดโครงสร้าง 3 มิติ โดยอาศัยการจับเรียงตัวของโมเลกุลที่เหมาะสม การเกิดเจลแตกต่างจากขั้นตอนการจับตัวตกตะกอน (coagulation) โดยการเกิดเจลเป็นกระบวนการที่มีการจัดเรียงตัวของโครงข่ายโมเลกุลอย่างมีระเบียบ ส่วนการจับตัวตกตะกอนเป็นการจับเรียงตัวของโมเลกุลแบบสุ่มและไม่เป็นระเบียบ (สุทรวัดน์, 2549) อุณหภูมิในการเกิดเจลมีส่วนสำคัญในการควบคุมความแข็งแรงของเจล (Suzuki, 1981) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังแสดงในภาพที่ 7

##### 2.1) ซูวาริ (suwari)

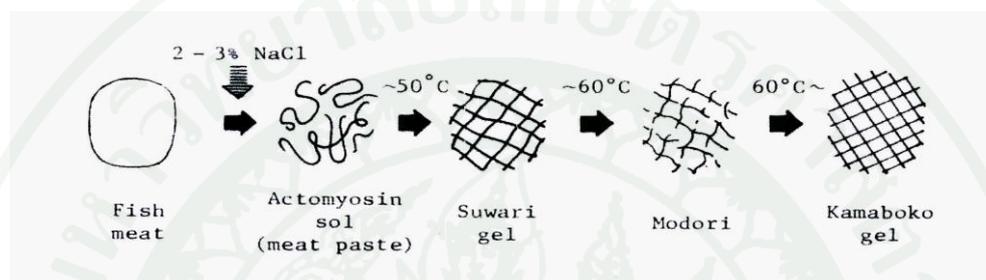
ซูวาริ หรือการเรียงตัว (gel setting) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 5-30 °ซ แยกโตไมโอซินในเนื้อปลาจะจับตัวกับน้ำและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายอย่างหลวมๆ มีการกักน้ำอยู่ภายในร่างแห เมื่อได้รับความร้อน โมเลกุลของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง มีการจับตัวกันระหว่างกรดอะมิโนที่ยื่นออกมาทางด้านข้างของโมเลกุลโปรตีนข้างเคียงโดยในช่วงนี้เป็นการจับกันของพันธะไฮโดรเจน และพันธะไฮโดรโฟบิก เจลที่ได้มีลักษณะใสและค่อนข้างยืดหยุ่น

##### 2.2) โมโดริ (modori)

โมโดริหรือการแตกตัว (disintegration) เกิดจากการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60-70 °ซ ซึ่งในช่วงนี้ไมโอซินเฮฟวีเชน (myosin heavy chain, MHC) ถูกย่อยสลายทำให้เกิดการแตกสลายของโครงสร้างเจลบางส่วน ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงช่วงอุณหภูมินี้โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า 70 °ซ กล่าวกันว่า การเกิดโมโดริเป็นผลมาจากเอนไซม์อัลคาไลน์โปรตีเอส (alkaline protease enzyme) ซึ่งทำงานได้ดีที่อุณหภูมิของเนื้อปลาเท่ากับ 60 °ซ และ pH ที่เหมาะสมคือ 7.5-8.0 ปริมาณการแตกตัวนี้ขึ้นกับชนิดของปลา

### 2.3) อาชิ (ashi)

อาชิ หรือการตรึง (elasticity fixation) เป็นการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 80-90 °ซ ทำให้เส้นใยโปรตีนเริ่มจับกันมากขึ้น เป็นการรวมกลุ่มแบบการสุ่ม (random network aggregation) พันธะที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะเป็นพันธะไฮโดรโฟบิก และพันธะไดซัลไฟด์เป็นส่วนใหญ่ทำให้โครงสร้างตาข่ายมีความคงตัวมากขึ้น เจลมีลักษณะทึบเสถียรมากขึ้น



ภาพที่ 7 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลของโปรตีนเนื้อปลาในระยะเวลาต่าง ๆ ณะให้ความร้อน

ที่มา: Suzuki (1981)

### 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อสัตว์และปลาหลายประเภท มีการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อเพิ่มคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของอาหารให้ดียิ่งขึ้น เช่น การใช้แคปซูลคาร์ราจีแนนร่วมกับโลคัสทีนบีนกัมในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ที่ผ่านการปรุงให้สุก และใช้ในการเกิดเจลในอาหารสัตว์เลี้ยง การใช้แคปซูลคาร์ราจีแนนในไส้กรอกเพื่อลดปริมาณการใช้ไขมันให้น้อยลงและมีการใช้เพื่อรักษาความชื้นและปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในแฮม นอกจากนี้ยังมีการใช้แคปซูลคาร์ราจีแนนร่วมกับไอโอทาการ์ราจีแนนในผลิตภัณฑ์ ground-beef patties ไขมันต่ำ ขณะที่ในกระบวนการแช่แข็งมีการใช้แคปซูลคาร์ราจีแนนร่วมกับโลคัสทีนบีนกัมเพื่อป้องกันการเกิด freeze burn

Candogan and Kolsarici (2003) ได้ศึกษาผลของคาร์ราจีแนนที่มีต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเยอรมันไขมันต่ำที่ผลิตจากเนื้อวัว (low-fat beef frankfurters) ระหว่างการเก็บรักษาด้วยวิธีการแช่เย็นพบว่า เมื่อเติมคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้นไส้กรอกเยอรมันไขมันต่ำมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้นและหลังจากการเก็บรักษาได้ 14 วันความสามารถในการอุ้มน้ำของไส้กรอกเยอรมันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของคาร์ราจีแนนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) และการเติมคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.3-0.7 เพิ่มความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น

Cardoso *et al.* (2007) ได้ศึกษาผลของการใช้คาร์ราจีแนนต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ restructured hake ที่มีการเติมเส้นใยอาหาร Swelite (inner pea fibre) และ Fibruline (chicory root inulin) ร้อยละ 4 พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 2 ในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ที่มีการผสมกับเส้นใยอาหารทั้งสองชนิดและค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่ผสมกับ Swelite

พัชรกมล (2548) ได้ศึกษาคุณภาพของลูกชิ้นปลาบรรจุกระป๋อง โดยศึกษาผลของโลคัสท์บินกัม, คาร์ราจีแนน, แอลจินेट และแป้งบุก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 และเอนไซม์ทรานกลูตามิเนสทางการค้าร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักสุรรมิต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากสุรรมิเกรด SA บรรจุกระป๋องและฆ่าเชื้อที่  $116^{\circ}\text{C}$  22 นาที พบว่า ลูกชิ้นหลังการฆ่าเชื้อมีค่าความแข็งแรงลดลง โดยลูกชิ้นที่เติมแป้งบุกร้อยละ 1.5 มีความแข็งแรงสูงกว่าลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีแนน, เอนไซม์ทรานกลูตามิเนส, แอลจินेट และแป้งบุก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 0.2, 1.5 และ 1.0 ตามลำดับ ( $p \leq 0.05$ ) ความขาวของลูกชิ้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีค่าทดสอบการพับคือ AA

Montero *et al.* (2000) ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของการกระจายตัวของสารไฮโดรคอลลอยด์ (คาร์ราจีแนน, แอลจินेट, โลคัสท์บินกัม, กัวร์กัม, แซนแทนกัม และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส) ในเจลโปรตีนที่เตรียมจากเนื้อปลาควบูไวท์ดิง (blue whiting mince) ด้วยกล้อง Light microscope พบว่า สารไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดจะขยายตัวในลักษณะการผนวกกันกับโปรตีนโดยสร้างเป็นโพรง (cavity) ที่มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุลบจะเกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอในเมทริกซ์โปรตีนโดยอาจผ่านการเกิดปฏิกิริยากับไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ขณะที่ไฮโดรคอลลอยด์กลุ่มที่ไม่มีประจุจะกระจายตัวตลอดเมทริกซ์โปรตีนแต่ไม่เกิดปฏิกิริยากับโปรตีนและสร้างรูปร่างอย่างง่าย ๆ แทรกตัวผนวกรวมเข้าด้วยกันกับโปรตีน ทั้งนี้

โพรงของสารไฮโดรคอลลอยด์มีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ สารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสมบัติเกิดเจลได้ (คาร์ราจีแนน และแอลจินต) จะเกิดเจลข้างในโพรง โดยมีโครงสร้างแบบต่อเนื่อง ขณะที่สารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสมบัติให้ความข้นหนืด (โลคัสทีบีนกัม, กัวร์กัม, แซนแทนกัม และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส) จะเกิดเป็นร่างแหเส้นใยอยู่ในภายในโพรง

Ramirez *et al.* (2002) พบว่า การเติมแซนแทนกัมและโลคัสทีบีนกัมลงในซูริมิจากปลาซิลเวอร์คาร์ปมีผลให้สมบัติเชิงกลของเจลซูริมิลดลง ทั้งนี้เนื่องจากแซนแทนกัมมีประจุลบซึ่งสามารถเกิดแรงผลักรันกับประจุลบของโปรตีนในซูริมิส่งผลให้โมเลกุลโปรตีนจับประสานตัวได้น้อยลง การเติมเกลือแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 4 ทำให้เจลซูริมิที่เติมแซนแทนกัมสูงขึ้น ขณะที่โลคัสทีบีนกัมทำหน้าที่เป็นสารเติมเต็ม (filler) ซึ่งหากเติมที่ความเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลขัดขวางการจับประสานตัวของโปรตีนกล้ำมเนื้อส่งผลให้ซูริมามีความแข็งแรงเจลดน้อยลง

# อุปกรณ์และวิธีการ

## อุปกรณ์

### 1. วัสดุดิบ

- 1.1 สาหร่ายสาขายใบ (*Porphyra* sp.) แบบแห้งชนิดไม่ปรุงรส ตรายุงทอง บริษัท ส.กิจ วัฒนา ฟู้ดส์ จำกัด
- 1.2 สาหร่ายโพรง (*Solieria robusta*) แบบสดจากจังหวัดเพชรบุรี
- 1.3 สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) แบบแห้งจากจังหวัดระนอง
- 1.4 ชูริมิผลิตจากปลาปากคม (บริษัทพรีเมียร์โฟเซ่น จำกัด) และชูริมิเกรด SA (บริษัท มารีนฟู้ดโปรดักส์ จำกัด) และ A ผลิตจากปลาทรายแดง (บริษัท อนุสรณ์มหาชัยชูริมิ จำกัด)
- 1.5 ปลาน้ำจืด 2 ชนิด ได้แก่ ปลานิล และปลานวลจันทร์น้ำจืด
- 1.6 เกลือป่น ตราปรงทิพย์
- 1.7 พริกไทย ตรามือ

### 2. สารเคมีที่ใช้ในการสกัดไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่าย

- 2.1 อะซิโตน (acetone) (commercial grade)
- 2.2 เอทานอล (ethanol) ร้อยละ 95 grade A (food grade)
- 2.3 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (analytical grade, BDH)
- 2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (commercial grade)
- 2.5 กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) ร้อยละ 96 (analytical grade, Carlo)

### 3. วัสดุอุปกรณ์ในการสกัดสาหร่าย

- 3.1 ถังกรองที่ผลิตจากถุงแพลงก์ตอน (plankton net) ขนาด 75 ไมครอน
- 3.2 แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar)

- 3.3 ปีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 3.4 ขวดรูปชมพู่ขนาด 2000 มิลลิลิตร
- 3.5 ขวดระเหยรูปทรงกระบอก
- 3.6 ถาดอะลูมิเนียม
- 3.7 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) HIRAYAMA รุ่น 240/300 MIV
- 3.8 เครื่องระเหย (rotary evaporator) Buchi R-124
- 3.9 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- 3.10 ตู้อบแห้งชนิดลมร้อน (hot air oven)
- 3.11 เครื่องบดละเอียดคีย์หือ Kenwood
- 3.12 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง Ohaus รุ่น ARB 120
- 3.13 ขวดโหลแก้ว
- 3.14 แท่งแก้ว

#### 4. วัสดุอุปกรณ์ในการผลิตลูกชิ้นปลา

- 4.1 เครื่องบดสับ (chopper)
- 4.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง Sartorius 1219 MP
- 4.3 เทอร์โมมิเตอร์
- 4.4 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- 4.5 แท่งทรงกระบอกสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. สูง 2.5 ซม.
- 4.6 แผ่นฟิล์มห่ออาหาร
- 4.7 เครื่องหาความชื้นระบบอินฟราเรด คีย์หือ Sartorius รุ่น MA 40
- 4.8 อุปกรณ์เครื่องครัวอื่น ๆ ที่จำเป็น เช่น มีด เขียง ไม้พาย เป็นต้น

#### 5. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

- 5.1 เครื่องวัดสี (Chroma meter) MINOLTA Spectrophotometer CM-3500d
- 5.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser) Stable Micro System TA-HD
- 5.3 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (hot air oven) Memmert UNB 400

- 5.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl Nitrogen Apparatus) ได้แก่ เครื่องย่อยโปรตีน Buchi 435 และเครื่องกลั่นโปรตีน Buchi 323
- 5.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน Soxtec System Ht 1043
- 5.6 เครื่องวัด pH (pH meter) Metrohm รุ่น 744, Switzerland
- 5.7 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย Fibertec system M ยี่ห้อ Tecator
- 5.8 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง AND รุ่น GR-200, Japan
- 5.9 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle Furnace) Phoenix Furnaces Model Beta 5
- 5.10 ชุดตรวจสอบรูปแบบการกระจายตัวของโปรตีนด้วยวิธี Gel electrophoresis ยี่ห้อ Bio-Rad รุ่น Mini-Protean ® 3 cell
- 5.11 ชุดอุปกรณ์การวิเคราะห์จุลินทรีย์ เช่น หลอดแก้ว เครื่องแก้ว อาหารเลี้ยงเชื้อ
- 5.12 ชุดอุปกรณ์การประเมินทางประสาทสัมผัส เช่น แก้วน้ำ ช้อน ส้อม ถาดชิม
- 5.13 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง Ohaus รุ่น ARB 120
- 5.14 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง Shimadzu UV-1700 Spectrophotometer, Japan
- 5.15 เครื่องวัดความหนืด Brookfield Model DV-III
- 5.16 เครื่องโสมมิไนเซอร์ IKA รุ่น T25
- 5.17 เครื่องโสมมิไนเซอร์ IKA รุ่น T-10 basic
- 5.18 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่นๆ

## 6. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 6.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ได้แก่ selenium reagent mixture (analytical grade, Merck), conc.  $H_2SO_4$  (analytical grade, Carlo), NaOH (analytical grade, Carlo) ร้อยละ 32.0, boric acid (analytical grade, BDH) ร้อยละ 2.0, mixed indicator และ 0.1 N  $H_2SO_4$
- 6.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ได้แก่ petroleum ether จุดเดือด 40-60 °C (analytical grade, Panreac)
- 6.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย ได้แก่ 0.128 M  $H_2SO_4$  (analytical grade, Carlo), 0.223 M KOH (analytical grade, Ajax) และอะซิโตน (analytical grade, Carlo)
- 6.4 สารเคมีที่ใช้ตรวจสอบรูปแบบการกระจายตัวของโปรตีนด้วยวิธี gel electrophoresis ได้แก่ acrylamide (analytical grade, BioRad), methylene-bis-acrylamide (analytical grade, Biorad), sodiumdihydrogen orthophosphate (analytical grade, Ajax), disodiumhydrogen

phosphate (analytical grade, Panreac), sodium dodecylsulphate (analytical grade, BioRad), urea (analytical grade, Merck), coomassie brilliant blue R-250 (analytical grade, BDH), methanol (analytical grade, BDH), acetic acid (analytical grade, Merck), bromophenol blue indicator (analytical grade, BDH), glycerol (analytical grade, BDH),  $\beta$  - mercaptoethanol (analytical grade, Sigma), *N, N, N', N'* - tetramethylethylenediamine (TEMED) (electrophoresis grade, BioRad), ammonium persulphate (electrophoresis grade, BioRad), โปรตีนมาตรฐาน (precision plus protein standards) (250-10 kD, Bio-Rad)

## 7. อาหารเลี้ยงเชื้อในการตรวจสอบจุลินทรีย์

7.1 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ได้แก่ plate count agar (PCA)

7.2 ยีสต์และรา ได้แก่ potato dextrose agar (PDA)

## 8. อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผล

8.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

8.2 เครื่องคำนวณ

## วิธีการ

### 1. สาหร่ายและการเตรียมสาหร่าย

สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) ใช้สาหร่ายในรูปแบบแห้งมาจากจังหวัดระนอง นำมาแช่น้ำ 1 คืนและล้างทำความสะอาดเพื่อขจัดเกลือและสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับสาหร่าย แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตัดสาหร่ายให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 0.5 - 1.0 เซนติเมตร บรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีนปิดสนิทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้ในการสกัดวันตลอดช่วงการศึกษา

สาหร่ายโพรง (*Solieria robusta*) นำสาหร่ายในรูปแบบสดจากจังหวัดเพชรบุรี มาล้างน้ำเพื่อขจัดเกลือและสิ่งปนเปื้อนที่ปนมากับสาหร่ายแล้วนำสาหร่ายไปแช่อะซิโตนในสัดส่วน 1:2 (w/v) เพื่อสกัดสีออกจากสาหร่ายสลับเปลี่ยนอะซิโตนที่ใช้แช่จนกระทั่งอะซิโตนไม่มีสีของสาหร่ายปนออกมาอีก นำสาหร่ายไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตัดสาหร่ายให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 0.5 - 1.0 เซนติเมตร บรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีนปิดสนิทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้ในการสกัดคาร์ราจีแนนตลอดช่วงการศึกษา

สาหร่ายสายใบ (*Porphyra* sp.) ซื้อมาจากร้านค้าในรูปแบบแห้งชนิดไม่ปรุงรส ตรายูทองนำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 0.5 - 1.0 เซนติเมตร บรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีนปิดสนิทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้ในการสกัดพอร์ไฟแรนตลอดช่วงการศึกษา

นำสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมาบดให้ละเอียด แล้ววิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไชมัน เยื่อใย เถ้า และความชื้น (AOAC, 2006) ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 2. ศึกษากรรมวิธีผลิตสารไฮโดรคอลลอยด์

กรรมวิธีผลิตสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1) ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของสารไฮโดรคอลลอยด์โดยเปรียบเทียบระหว่างสาหร่ายที่บ่มด้วยค่า (AT) และไม่บ่มด้วยค่า (NAT) (2) ขั้นตอนการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์โดยเปรียบเทียบการให้ความร้อนในการสกัดระหว่างการสกัดด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 80 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (WB-

80) และการสกัดด้วยหม้อนึ่งความดันที่ระดับ 121 °ซ เป็นเวลา 30 นาที (AC-121) และ 3) ขั้นตอนการแยกสารไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งสาหร่ายผสมนางใช้วิธี freeze-thaw ส่วนสาหร่ายโพรงและสาหร่ายสายใบใช้วิธีตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

## 2.1 การศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพและการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์

นำสาหร่ายผสมนาง สาหร่ายโพรงและสาหร่ายสายใบแบบแห้งมาปรับปรุงคุณภาพและสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลองดังนี้

- 1) สาหร่ายที่ไม่บ่มด้วยด่าง (non - alkali treatment: NAT) ก่อนการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์
- 2) สาหร่ายที่บ่มด้วยด่าง (alkali treatment: AT) ก่อนการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์ โดยแช่สาหร่ายแห้ง 30 กรัมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 (w/v) ปริมาตร 2 ลิตรในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ล้างสาหร่ายที่บ่มด้วยด่างด้วยน้ำประปาไหลผ่านเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อขจัดด่างส่วนเกิน นำสาหร่ายไปทำให้เป็นกลางโดยแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 2 (v/v) นาน 1 ชั่วโมง พร้อมทั้งมีการกวนสาหร่ายเป็นครั้งคราว จากนั้นล้างสาหร่ายด้วยน้ำประปาไหลผ่าน 1 ก็นเพื่อขจัดกรด แล้วนำสาหร่ายที่ผ่านการบ่มด้วยด่างมาสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์ในลำดับต่อไป (Praiboon *et al.*, 2006)

นำสาหร่ายทั้ง 2 ชุดการทดลองของสาหร่ายแต่ละชนิดมาศึกษาวิธีการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์ด้วยความร้อนโดยเติมน้ำกลั่นลงไปในอัตราส่วนสาหร่ายแห้งต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1 ต่อ 30 (w/v) แปรสภาวะการให้ความร้อนในการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์เป็น 2 สภาวะคือ WB-80 และ AC-121 กรองสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายแต่ละชนิดด้วยถุงกรองในลอน

## 2.2 วิธีการแยกสารไฮโดรคอลลอยด์จากสารสกัด

นำสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากข้อ 2.1 ทุกการทดลองมาแยกสารไฮโดรคอลลอยด์ โดยในการแยกจากสาหร่ายผสมนางใช้วิธี freeze-thaw ดังแสดงในภาพที่ 8 ส่วนการแยกคาร์ราจีแนนจากสาหร่ายโพรง และพอร์ไฟแรนจากสาหร่ายสายใบใช้วิธีตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยมีรายละเอียดดังนี้

นำสารสกัดวุ้นที่กรองได้ในข้อ 2.1 มาเทใส่ภาชนะสเตนเลส วางไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เย็น แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลายโดยผ่านน้ำไหล เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่ละลายมากับสารสกัดวุ้น สำหรับการแยกคาร์ราจีแนนจากสาหร่ายโพรง และพอร์ไฟแรนจากสาหร่ายสายใบ นำสารสกัดไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากข้อ 2.1 ไประเหยน้ำออกด้วยเครื่อง rotary evaporator โดยให้เหลือปริมาตรของสารสกัดประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาตรสารสกัดเริ่มต้น จากนั้นนำสารสกัดไปเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ให้มีความเข้มข้นในสารสกัด 0.1 โมลต่อลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 5 นาที เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ลงในสารสกัดในอัตราส่วนเอทานอล : สารสกัด เป็น 3 : 1 (v/v) พร้อมคนด้วยแท่งแก้ว หลังจากนั้นกรองตะกอนของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้ด้วยถุงกรอง แล้วล้างตะกอนด้วยเอทานอลร้อยละ 95 นำสารไฮโดรคอลลอยด์ที่แยกได้จากสาหร่ายทั้งสามชนิดไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบดให้เป็นผงละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 mesh เก็บในขวดแก้วปิดสนิทเพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป (ดัดแปลงจากวิธีของ Chiovitti *et al.*, 1995)

คำนวณหาร้อยละของปริมาณผลผลิตไฮโดรคอลลอยด์ต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ในแต่ละชนิดสาหร่ายวางแผนการทดลองแบบ  $2 \times 2$  Factorial in CRD โดยปัจจัย A คือการปรับปรุงคุณภาพสารไฮโดรคอลลอยด์ประกอบด้วย AT และ NAT และปัจจัย B คือสภาวะการให้ความร้อนในการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์ 2 สภาวะประกอบด้วย WB-80 และ AC-121 วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

### 2.3 การตรวจสอบสมบัติเชิงหน้าที่ของสารไฮโดรคอลลอยด์

ตรวจสอบสมบัติของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดดังนี้

2.3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไชมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น (AOAC, 2006) (ภาคผนวก ก1-ก5) และปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (FAO, 1981) (ภาคผนวก ก6)

2.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง โดยวุ้นและพอร์ไฟแรนใช้สัดส่วน 1 กรัมต่อน้ำกลั่นที่ต้มไล่ก๊าซ  $\text{CO}_2$  9 มิลลิลิตร ขณะที่คาร์ราจีแนนใช้อัตราส่วน 1 กรัมต่อน้ำกลั่นที่ต้มไล่ก๊าซ  $\text{CO}_2$  99 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดโดยใช้เครื่อง pH meter

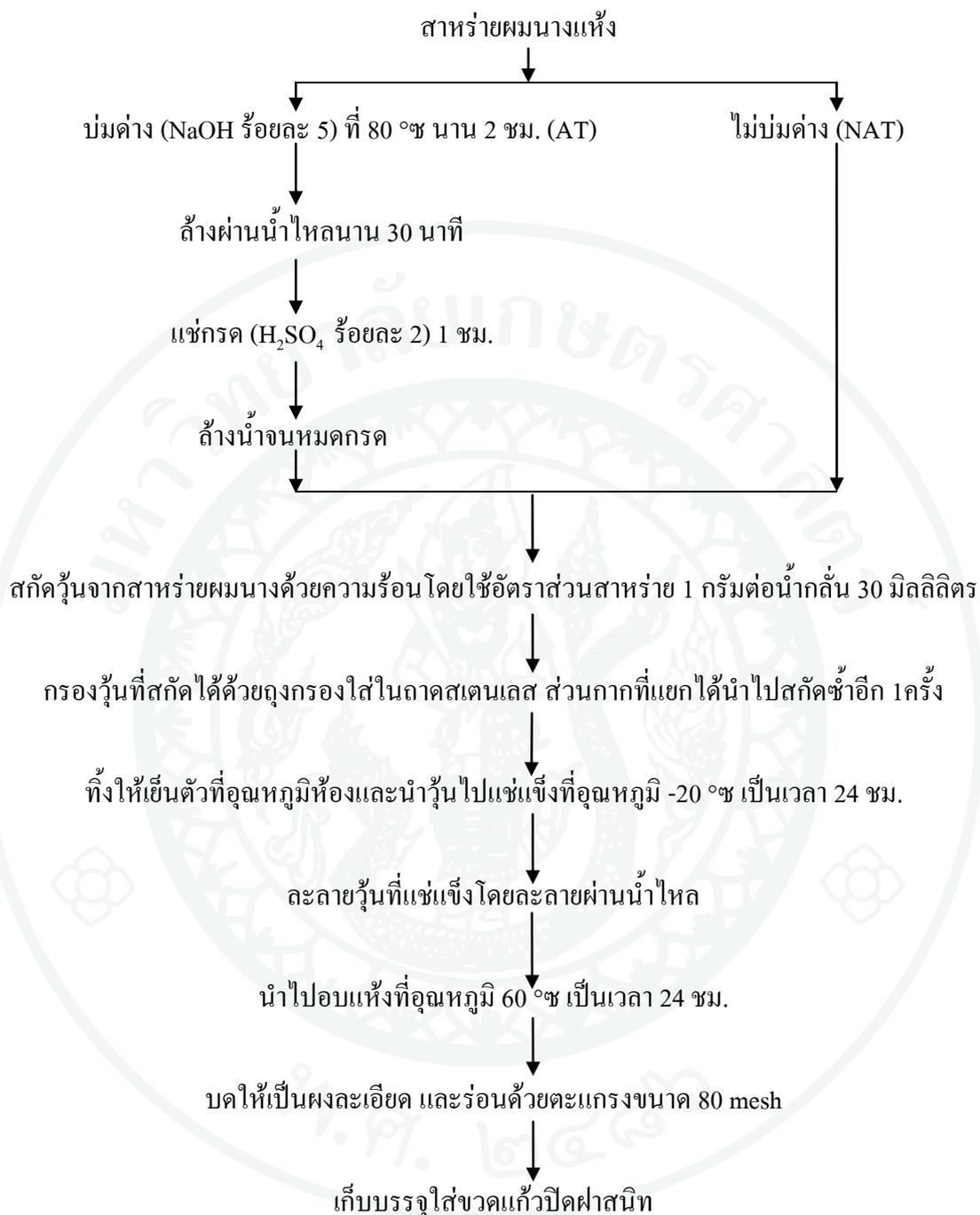
2.3.3 ค่าสี  $L^*$   $a^*$   $b^*$  โดยใช้เครื่องวัดสี MINOLTA Spectrophotometer CM-3500d โดยค่า  $L^*$  คือค่าความสว่างมีค่าระหว่าง 0-100 หรือสีดำถึงสีขาว,  $a^*$  คือ โทนสีแดง,  $-a^*$  คือ โทนสีเขียว,  $b^*$  คือ โทนสีเหลือง และ  $-b^*$  คือ โทนสีน้ำเงิน

2.3.4 ความหนืด โดยใช้สารละลายไฮโดรคอลลอยด์เข้มข้นร้อยละ 1.5 (w/v) นำไปวัดด้วยเครื่อง Brookfield Model DV-III spindle no. SSA21/13R ความคมอุณหภูมิของสารละลายวุ้นและพอร์ไฟแรน ที่ 80 °ซ (Praiboon *et al.*, 2006) และสารละลายคาร์ราจีแนนที่อุณหภูมิ 75 °ซ (Hayashi *et al.*, 2007)

2.3.5 ความแข็งแรงของเจลสารไฮโดรคอลลอยด์ (gel strength) เตรียมสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 (w/v) นำไปให้ความร้อนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เทสารละลายใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 30 มิลลิลิตร วางที่อุณหภูมิห้องให้เกิดเจลเป็นเวลา 1 คืน แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Stable Micro System TA-HD โดยใช้หัววัดทรงกระบอกหน้าตัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร วัดค่าของแรงต่อพื้นที่ที่ใช้ในการกดให้ผิวหน้าของเจลแตก (หน่วยเป็นกรัมต่อตารางเซนติเมตร;  $g/cm^2$ ) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Marinho-Soriano and Bourret (2003)

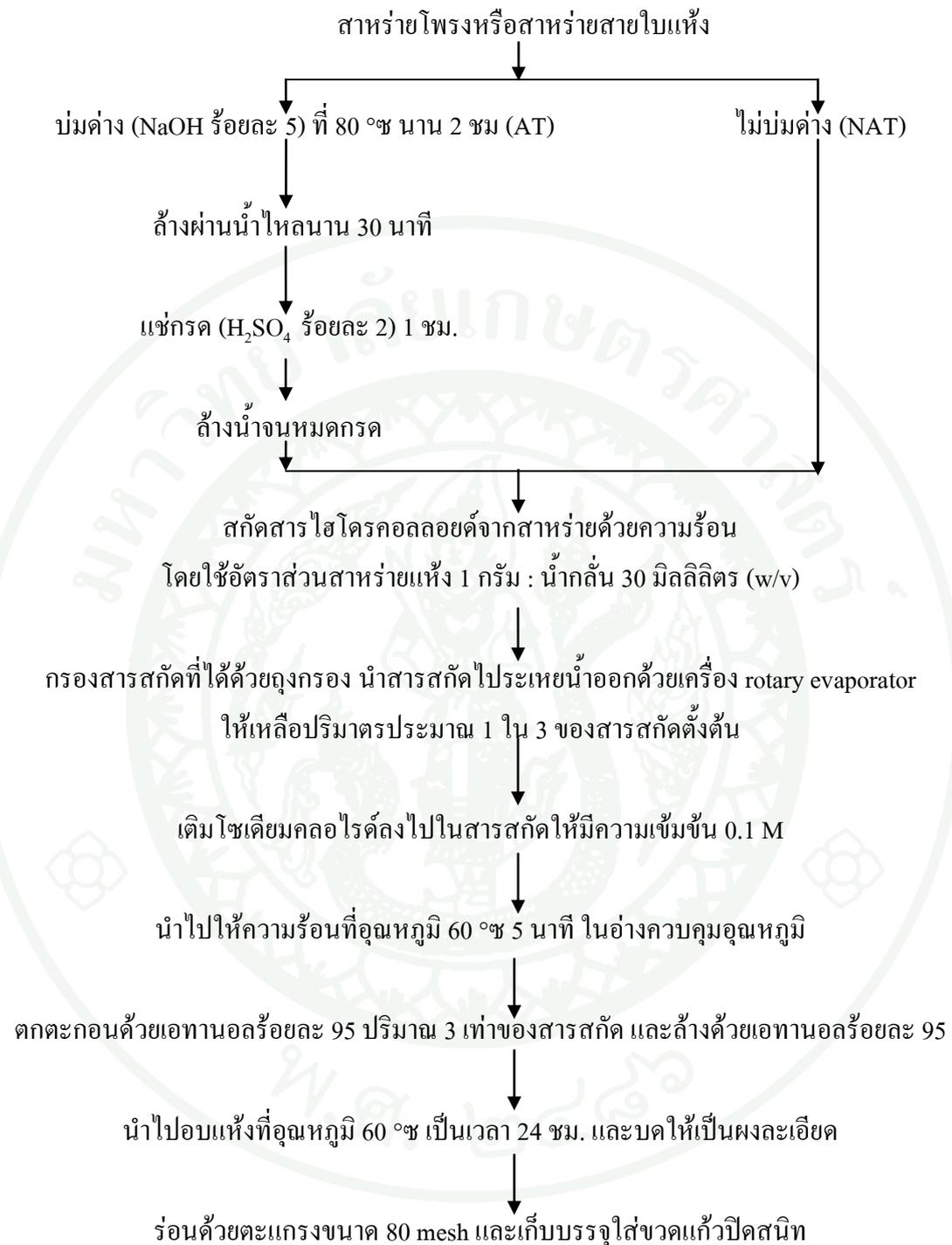
2.3.6 สมบัติการเกิดอิมัลชัน วัดค่า Emulsion Activity (EA) และ Emulsion Stability Index (ESI) ใช้วิธี “Turbidimetric Method” ดัดแปลงจากวิธีของ Pearce and Kinsella (1978) (ภาคผนวก ข1)

2.3.7 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (AOAC, 2006) (ภาคผนวก ง1-ง2)



ภาพที่ 8 วิธี freeze thaw สำหรับการผลิตวุ้น

ที่มา: คัดแปลงจากวิธีของ Praiboon *et al.* (2006)



ภาพที่ 9 วิธีตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์สำหรับการผลิตคาร์ราจีแนน และพอร์ไฟแรน

ที่มา: คัดแปลงจากวิธีของ Chiovitti *et al.* (1995)

### 3. ศึกษาผลของการนำสารสกัดจากสาหร่ายมาปรับปรุงคุณภาพเจลโปรตีนปลา

#### 3.1 วัตถุดิบและวิธีการผลิตลูกชิ้น

##### 3.1.1 ชูริมิ

นำชูริมิที่ผลิตจากปลาปากกม และชูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงเกรด SA และ A มาแบ่งเป็นก้อนขนาด 500 กรัมบรรจุใส่ถุงสุญญากาศแล้วใส่กล่องเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °ซ ตลอดระยะเวลาการทดลอง

##### 3.1.2 ปลานิล และปลานวลจันทร์น้ำจืด

นำปลานิลน้ำหนักตัวประมาณ 200 – 300 กรัม และปลานวลจันทร์น้ำจืด น้ำหนักตัวประมาณ 400 – 500 กรัม มาล้างทำความสะอาด ตัดหัว ควักไส้ และล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง แล้วเป็นชิ้นและชุบแยกเนื้อปลาออกจากหนัง นำเนื้อปลาที่ได้ไปใช้ในการผลิตลูกชิ้นต่อไป

##### 3.1.3 สูตรและวิธีการผลิตลูกชิ้นจากชูริมิผสมสารไฮโดรคอลลอยด์

เตรียมเจล โปรตีนปลาโดยใช้ชูริมิเป็นวัตถุดิบ และมีสูตรพื้นฐานในการผลิต ประกอบด้วยชูริมิ 100 กรัม เกลือ 2.5 กรัม พริกไทย 0.2 กรัม น้ำแข็ง 13-14 กรัม และมีขั้นตอนการผลิตแสดงดังภาพที่ 10 โดยมีรายละเอียดการผลิตดังนี้

- 1) ละลายชูริมิแช่เยือกแข็ง โดยบรรจุถุงพลาสติก แช่ในน้ำเป็นเวลา 30 นาที
- 2) หั่นชูริมิให้เป็นชิ้นเล็กขนาด 1 ลบ. ซม.
- 3) วัดปริมาณความชื้นของชูริมิ ด้วยเครื่อง Infrared Moisture Determination อุณหภูมิ 250 °ซ โดยใช้ตัวอย่างชูริมิ 5.0 กรัม
- 4) กำหนดปริมาณน้ำแข็งที่ใช้เติมเพื่อให้เจลมีความชื้นร้อยละ 80
- 5) ปั่นผสมชูริมิกับเกลือโดยค่อย ๆ เติมเกลือในระหว่างที่ปั่นผสมด้วยเครื่อง บดสับเป็นเวลา 5 นาที

6) เติมน้ำสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้ พริกไทยและน้ำแข็งลงไป แล้วปั่นผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที

7) ขึ้นรูปเจลโดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ขึ้นรูปในแท่งทรงกระบอกสเตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. สูง 2.5 ซม. อัดให้แน่นไม่ให้เกิดฟองอากาศ แล้วห่อด้วยแผ่นฟิล์ม ส่วนที่ 2 ปั่นเป็นลูกทรงกลม (ลูกชิ้น) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 ซม.

8) แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 40 °ซ นาน 20 นาที

9) ต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 90 °ซ นาน 20 นาที

10) ทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำผสมน้ำแข็งนาน 5 นาที

11) สะเด็ดน้ำ บรรจุถุงพลาสติกและเก็บที่ 4 °ซ 1 คืน ก่อนนำไปทดสอบขั้น

ต่อไป

3.2 ศึกษาผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายในการปรับปรุงคุณภาพเจลโปรตีนปลาที่ผลิตจากชูริมิ

เตรียมเจลโปรตีนปลาตามวิธีในข้อ 3.1.3 โดยนำสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมได้จากส่วนที่ 1 ที่มีศักยภาพในการเกิดเจลอย่างน้อย 2 ตัวอย่างมาเติมในชูริมิที่ผลิตจากปลาปากคม และชูริมิเกรด SA และ A ที่ผลิตจากปลาทรายแดงโดยแปรปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไปเป็นอัตราส่วนร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 และร้อยละ 0.5, 1.0, 2.0 ของน้ำหนักชูริมิตามลำดับ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมน้ำสารไฮโดรคอลลอยด์ วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำเจลโปรตีนปลาที่ผลิตได้ไปประเมินคุณภาพดังนี้

3.2.1 วัดความแข็งแรงเจลโปรตีน (gel strength) โดยใช้ตัวอย่างที่บรรจุในแท่งสเตนเลส วัดค่าของแรงที่ใช้ในการเจาะ (breaking force) (หน่วยเป็นกรัม) และระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุ (breaking distance) (หน่วยเป็นเซนติเมตร) รายงานค่าความแข็งแรงของเจล (หน่วยเป็น กรัม. ซม.) โดยวิธีที่ดัดแปลงจาก MFRD (1987) (ภาคผนวก ข2)

3.2.2 วิเคราะห์ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture Analyser รุ่น Stable Micro System TA – HD โดยใช้หัวกดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กดไปในตัวอย่างขนาด 25x25 มิลลิเมตร เป็นระยะทางร้อยละ 60 ของความสูงในรูปแบบของการกด

สองครั้ง (two bite) ด้วยความเร็วคงที่ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที วัดค่า ความแข็ง (hardness) ค่าการเกาะตัว (cohesiveness) และ ความยืดหยุ่น (springiness)

3.2.3 วัดการพับ (folding test) (MFRD, 1987) (ภาคผนวก ข5)

3.2.4 วัดความขาว (whiteness) ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นบาง ๆ หนา 5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร แล้วนำไปวัดค่า  $L^* a^* b^*$  ค่าที่ได้นำไปคำนวณค่าความขาว (Lanier and Lee, 1992) (ภาคผนวก ข3)

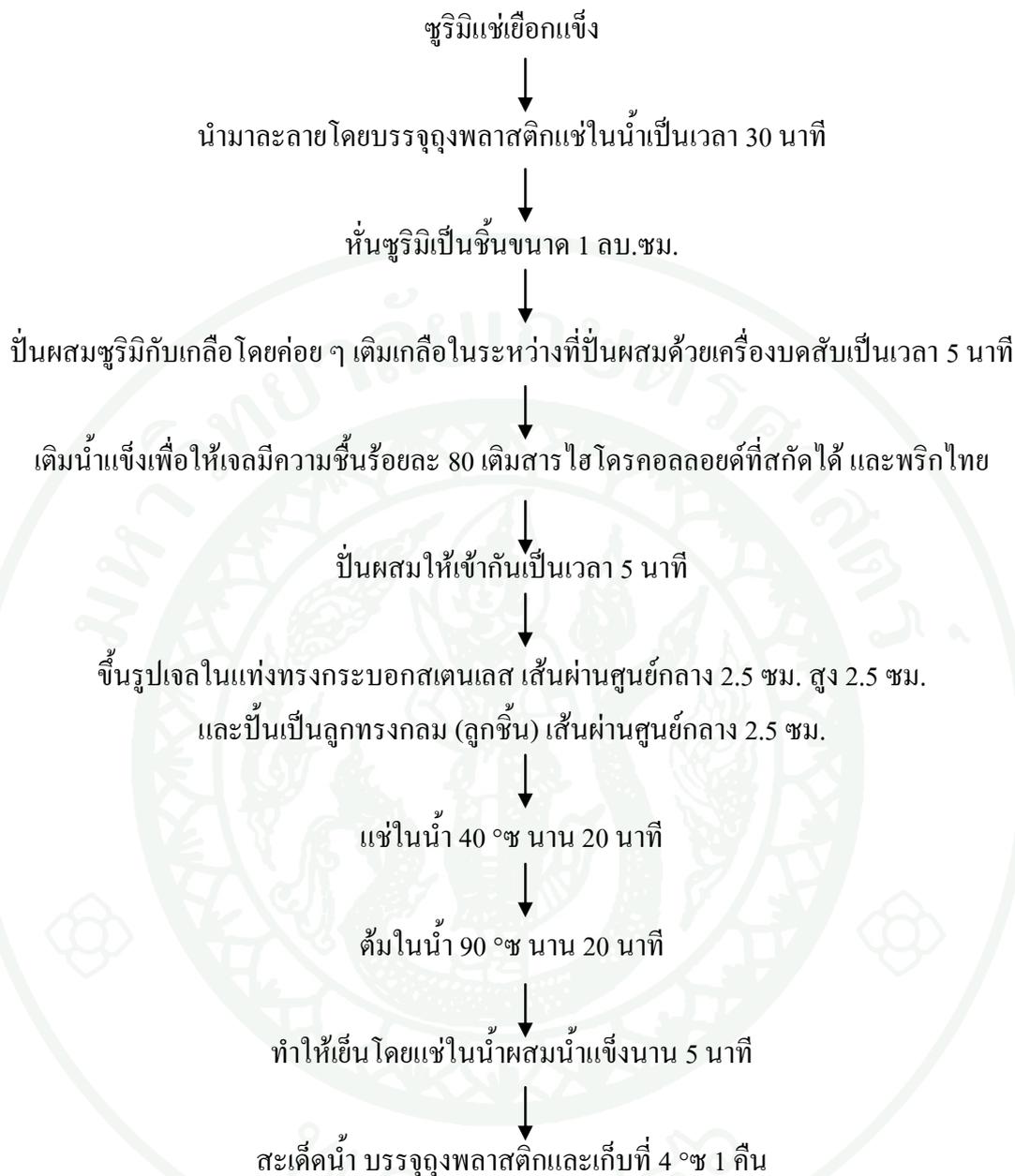
3.2.5 วัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity: WHC) (Motohiro, 1981) (ภาคผนวก ข4)

3.2.6 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้น โดยวิธีทดสอบความชอบ (9 point Hedonic scale) ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยคะแนน 9 คือชอบมากที่สุด และคะแนน 1 คือไม่ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (Randomized Complete Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

3.2.7 ตรวจสอบรูปแบบของโปรตีนด้วยวิธี Gel electrophoresis โดยคัดเลือกสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมในการผสมในเจลโปรตีนปลา 1 ชนิด เตรียมเจลปลาผสมสารไฮโดรคอลลอยด์มาตรวจสอบรูปแบบของโปรตีนด้วยวิธี Gel electrophoresis (Weber and Osborn, 1969) (ภาคผนวก ก7)

3.3. ศึกษาผลของของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากเนื้อปลา 2 ชนิด

คัดเลือกสภาวะที่ดีที่สุด ในข้อ 3.2 มาใช้ในการผลิตลูกชิ้นจากเนื้อปลา 2 ชนิด คือ เนื้อปลานิล และเนื้อปลานวลจันทร์น้ำจืด โดยผลิตตามวิธีการในข้อ 3.1.3 และประเมินคุณภาพตามวิธีข้อ 3.2.1 – 3.2.5 โดยสูตรพื้นฐานในการผลิตลูกชิ้นมีการเพิ่มเติมแป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม และกระเทียม 0.2 กรัมต่อเนื้อปลา 100 กรัม ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลระหว่าง 2 กลุ่มตัวอย่างด้วยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสตามวิธีข้อ 3.2.6 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ทำการทดลอง 2 ซ้ำ



ภาพที่ 10 ขั้นตอนการผลิตเจลโปรตีนปลาผสมสารไฮโดรคอลลอยด์

## ผลและวิจารณ์

### 1. องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผสมนาง สาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายผสมนาง สาหร่ายโพรงและสาหร่ายสายใบที่ผ่านการอบแห้ง (ตารางที่ 1) พบว่า สาหร่ายผสมนาง สาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบมีความชื้นเท่ากับ 9.64, 14.18 และ 9.15 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) สาหร่ายสายใบมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 31.42) มากกว่าสาหร่ายโพรงและสาหร่ายสายผสมนาง (ร้อยละ 0.18-0.35) อย่างมาก ( $p < 0.05$ ) จึงเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สูง จากการศึกษาของ Kayama *et al.* (1983) รายงานว่า สาหร่ายสายใบมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 39.0 – 40.0 ต่อน้ำหนักแห้ง ขณะที่การศึกษาของสำนักวิจัยและพัฒนาชายฝั่ง (2550) พบว่า สาหร่ายโพรงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.85 ต่อน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ความแตกต่างของปริมาณโปรตีนของสาหร่ายแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น สายพันธุ์ ฤดูกาล และแหล่งที่พบ เป็นต้น เมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าซึ่งแสดงถึงปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสาหร่าย พบว่า สาหร่ายทั้งสามชนิดมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 9.59 – 22.13 โดยสาหร่ายโพรงมีปริมาณเถ้าต่อน้ำหนักแห้งสูงสุดคือร้อยละ 22.13 ขณะที่สาหร่ายผสมนางมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเยื่อใยมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) (ร้อยละ 79.96 และ 9.99) รองลงมาคือสาหร่ายโพรง (ร้อยละ 69.77 และ 6.92) และสาหร่ายสายใบ (ร้อยละ 50.79 และ 3.84) ตามลำดับ สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดจึงเหมาะที่จะเป็นแหล่งของไฮโดรคอลลอยด์ที่ดีเนื่องจากสารไฮโดรคอลลอยด์เป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นกลุ่มหนึ่งของคาร์โบไฮเดรต ส่วนปริมาณไขมันของสาหร่ายทั้งสามชนิดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

### 2. ศึกษาขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพและการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์

ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพสารไฮโดรคอลลอยด์ด้วยการบ่มสาหร่ายด้วยด่าง (NAT และ AT) และสภาวะความร้อนในการสกัดสารไฮโดรคอลลอยด์ (WB-80 และ AC-121) จากสาหร่ายผสมนาง สาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบ โดยองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณผลผลิต และสมบัติของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มีดังนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผสมนาง สาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบ

องค์ประกอบทางเคมี* (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	สาหร่ายผสมนาง ( <i>Gracilaria fisheri</i> )	สาหร่ายโพรง ( <i>Solieria robusta</i> )	สาหร่ายสายใบ ( <i>Porphyra</i> sp.)
ความชื้น	9.64 <sup>b</sup> ± 1.14	14.18 <sup>a</sup> ± 0.60	9.15 <sup>b</sup> ± 0.71
โปรตีน	0.35 <sup>b</sup> ± 0.11	0.18 <sup>b</sup> ± 0.09	31.42 <sup>a</sup> ± 0.12
ไขมัน <sup>ns</sup>	0.11 ± 0.08	0.14 ± 0.00	0.10 ± 0.12
เถ้า	9.59 <sup>c</sup> ± 1.75	22.13 <sup>a</sup> ± 0.26	13.85 <sup>b</sup> ± 0.06
เยื่อใย	9.99 <sup>a</sup> ± 0.24	6.92 <sup>b</sup> ± 0.08	3.84 <sup>c</sup> ± 0.42
คาร์โบไฮเดรต**	79.96 <sup>a</sup> ± 1.98	69.77 <sup>b</sup> ± 1.83	50.79 <sup>c</sup> ± 0.46

\* องค์ประกอบทางเคมียกเว้นความชื้นของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดคำนวณจากน้ำหนักแห้ง (dry basis)

\*\* คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) คำนวณจาก 100 - (โปรตีน + ไขมัน + เถ้า + เยื่อใย)

<sup>abc</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

## 2.1 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณผลผลิต และสมบัติของวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายผสมนาง

### 2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายผสมนาง

การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อปริมาณความชื้น, เถ้า, เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 2) กล่าวคือ การบ่มต่างมีผลทำให้ปริมาณเถ้าและเยื่อใยลดลง และทำให้ความชื้น และปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น การให้ความร้อนที่สภาวะ AC-121 ทำให้วุ้นที่สกัดได้มีปริมาณความชื้น (เฉพาะที่ AT), เยื่อใย (เฉพาะที่ NAT) และคาร์โบไฮเดรต (เฉพาะที่ NAT) สูงกว่าสภาวะ WB-80 และมีผลทำให้ปริมาณเถ้า และเยื่อใยลดลง (เฉพาะที่ AT ลดลง 0.60 เท่า) อย่างไรก็ตามการบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณโปรตีน และไขมัน โดยเมื่อพิจารณาแยกตามปัจจัยหลักพบว่า การบ่มต่างทำให้วุ้นมีปริมาณโปรตีนและไขมันลดลง ส่วนการให้ความร้อนสูง (AC-121) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน ( $p > 0.05$ ) วุ้นที่สกัดได้จากทั้ง 4 ชุดการทดลองมีปริมาณเถ้า และคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 3.39 – 12.20 และ 84.64 – 96.05 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายผสมนาง

องค์ประกอบทางเคมี* (ร้อยละ)	การบ่มค่า	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		เฉลี่ย
		สภาวะการให้ความร้อน		
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที	
ความชื้น	ไม่บ่มค่า	3.73 <sup>Ba</sup> ± 0.05	3.55 <sup>Ba</sup> ± 0.58	
	บ่มค่า	4.92 <sup>Ab</sup> ± 0.58	8.36 <sup>Aa</sup> ± 0.10	
โปรตีน	ไม่บ่มค่า	1.94 ± 0.28	1.56 ± 0.46	1.75 <sup>A</sup> ± 0.39
	บ่มค่า	0.18 ± 0.03	0.26 ± 0.22	0.21 <sup>B</sup> ± 0.14
	เฉลี่ย	1.06 <sup>a</sup> ± 0.98	0.90 <sup>a</sup> ± 0.78	
ไขมัน	ไม่บ่มค่า	0.22 ± 0.07	0.12 ± 0.05	0.17 <sup>A</sup> ± 0.08
	บ่มค่า	0.09 ± 0.04	0.02 ± 0.01	0.06 <sup>B</sup> ± 0.05
	เฉลี่ย	0.16 <sup>a</sup> ± 0.08	0.07 <sup>b</sup> ± 0.07	
เถ้า	ไม่บ่มค่า	12.20 <sup>Aa</sup> ± 0.60	8.01 <sup>Ab</sup> ± 0.32	
	บ่มค่า	4.09 <sup>Ba</sup> ± 0.15	3.39 <sup>Bb</sup> ± 0.02	
เยื่อใย	ไม่บ่มค่า	0.99 <sup>Ab</sup> ± 0.17	1.00 <sup>Aa</sup> ± 0.07	
	บ่มค่า	0.71 <sup>Ba</sup> ± 0.11	0.28 <sup>Bb</sup> ± 0.02	
คาร์โบไฮเดรต**	ไม่บ่มค่า	84.64 <sup>Bb</sup> ± 1.00	89.31 <sup>Ba</sup> ± 0.76	
	บ่มค่า	94.93 <sup>Aa</sup> ± 0.11	96.05 <sup>Ab</sup> ± 0.21	

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>AB</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

\* องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นยกเว้นความชื้นคำนวณจากน้ำหนักแห้ง (dry basis)

\*\* คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) คำนวณจาก  $100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{เยื่อใย})$

### 2.1.2 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของวุ้น

การบ่มค่า และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อปริมาณผลผลิต, ความแข็งแรงของเจลวุ้น, breaking force, breaking distance, ความหนืด, ค่าความสว่าง ( $L^*$ ), ค่าสีแดง ( $a^*$ ), ความเป็นกรด-ด่าง, EA และ ESI แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสีเหลือง ( $b^*$ )

และปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์ (ตารางที่ 3) กล่าวคือ การบ่มด่างทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง (ที่สภาวะ AC-121 ลดลง 0.30 เท่า และที่สภาวะ WB-80 ลดลง 0.03 เท่า) แต่ที่สภาวะ AC-121 ทำให้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้นที่ได้ (ร้อยละ 32.03 – 45.48) มากกว่าสภาวะ WB-80 (ร้อยละ 23.08 – 23.73) ดังนั้นการสกัดภายใต้ความร้อนสูง เวลาสั้น จึงช่วยเพิ่มปริมาณวุ้นและเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับสาหร่ายชนิดที่มีความแข็ง (rigid-type seaweed) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของสาหร่ายผสมนางที่ใช้ในการทดลองที่มีความแข็งและเหนียว อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ยังมีข้อจำกัดคือต้องเลือกสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับสาหร่ายแต่ละชนิดเพื่อป้องกันการทำลายโครงสร้างของวุ้น (Matsubashi, 1990) ขณะที่ปริมาณวุ้นที่ลดลงเมื่อบ่มสาหร่ายด้วยด่างเกิดจากการสลายตัวของพอลิแซ็กคาไรด์ระหว่างการบ่มด่าง (Praiboon *et al.*, 2006) และการสูญหายไประหว่างกระบวนการผลิต

ตารางที่ 3 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนาง

ปริมาณผลผลิต และสมบัติของวุ้น	การบ่มด่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		สภาวะการให้ความร้อน	
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที
ปริมาณผลผลิต (% w/ w)	ไม่บ่มด่าง	23.73 <sup>Ab</sup> ± 0.57	45.48 <sup>Aa</sup> ± 1.15
	บ่มด่าง	23.08 <sup>Ab</sup> ± 0.75	32.03 <sup>Ba</sup> ± 0.57
ความแข็งแรงของเจลวุ้น (กรัม/ตร. ซม.)	ไม่บ่มด่าง	279.20 <sup>Ba</sup> ± 22.80	265.85 <sup>Ba</sup> ± 17.27
	บ่มด่าง	424.13 <sup>Ab</sup> ± 19.40	486.09 <sup>Aa</sup> ± 14.70
breaking force (กรัม)	ไม่บ่มด่าง	265.20 <sup>Ba</sup> ± 21.66	252.52 <sup>Ba</sup> ± 16.40
	บ่มด่าง	402.86 <sup>Ab</sup> ± 18.43	461.72 <sup>Aa</sup> ± 13.96
breaking distance (มิลลิเมตร)	ไม่บ่มด่าง	3.02 <sup>Aa</sup> ± 0.09	2.97 <sup>Aa</sup> ± 0.31
	บ่มด่าง	2.08 <sup>Bb</sup> ± 0.08	2.38 <sup>Ba</sup> ± 0.12
ความหนืด (cP)	ไม่บ่มด่าง	23.61 <sup>Ab</sup> ± 0.48	28.34 <sup>Aa</sup> ± 1.44
	บ่มด่าง	19.45 <sup>Ba</sup> ± 0.48	15.83 <sup>Bb</sup> ± 0.84

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สมบัติของวุ้น	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		เฉลี่ย	
		สภาวะการให้ความร้อน			
		80° ซ 2 ชั่วโมง	121 ° ซ 30 นาที		
สี	ค่าความสว่าง (L*)	ไม่บ่มต่าง	57.80 <sup>Bb</sup> ±1.02	61.77 <sup>Ba</sup> ±0.75	
	บ่มต่าง	77.08 <sup>Aa</sup> ±0.20	75.05 <sup>Ab</sup> ±0.38		
	ค่าสีแดง (a*)	ไม่บ่มต่าง	3.16 <sup>Aa</sup> ±0.17	2.95 <sup>Ab</sup> ±0.14	
	บ่มต่าง	2.01 <sup>Bb</sup> ±0.04	2.38 <sup>Ba</sup> ±0.07		
	ค่าสีเหลือง (b*)	ไม่บ่มต่าง	15.78±0.50	15.87±0.38	15.82 <sup>A</sup> ±0.43
	บ่มต่าง	12.92±0.45	12.76±0.25	12.84 <sup>B</sup> ±0.36	
	เฉลี่ย		14.35 <sup>a</sup> ±1.56	14.31 <sup>a</sup> ±1.65	
เกลือโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ)	ไม่บ่มต่าง	0.57±0.20	0.36±0.10	0.46 <sup>A</sup> ±0.21	
	บ่มต่าง	0.57±0.20	0.29±0.00	0.43 <sup>A</sup> ±0.22	
	เฉลี่ย	0.57 <sup>a</sup> ±0.22	0.32 <sup>b</sup> ±0.10		
ความเป็นกรด - ค่า	ไม่บ่มต่าง	6.33 <sup>Bb</sup> ±0.13	6.71 <sup>Ba</sup> ±0.04		
	บ่มต่าง	6.92 <sup>Aa</sup> ±0.05	6.98 <sup>Aa</sup> ±0.04		
emulsion activity (A <sub>500nm</sub> )	ไม่บ่มต่าง	0.391 <sup>Ab</sup> ±0.02	0.887 <sup>Aa</sup> ±0.00		
	บ่มต่าง	0.140 <sup>Bb</sup> ±0.03	0.829 <sup>Ba</sup> ±0.01		
emulsion stability index (นาที)	ไม่บ่มต่าง	24.79 <sup>Aa</sup> ±1.04	13.46 <sup>Bb</sup> ±0.02		
	บ่มต่าง	21.58 <sup>Bb</sup> ±1.80	85.75 <sup>Aa</sup> ±12.13		

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

<sup>AB</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตของวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายพมนาง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 23.08 – 45.08 เปรียบเทียบกับสาหร่ายชนิดเดียวกันที่พบในประเทศไทย พบว่า มีค่า

ใกล้เคียงกับงานวิจัยของจิตติมา (2544), Praiboon *et al.* (2006) และ Chirapart *et al.* (2006) คือ ร้อยละ 34.66 – 41.13, 13.33 – 39.55 และ 40.07 – 43.48 ต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณวุ้นที่แตกต่างกันอาจขึ้นกับฤดูกาล (Marinho-Soriano and Bourret, 2003) และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Chirapart *et al.*, 2006) เป็นต้น

ผลการวัดค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงของเจลวุ้น พบว่า การบ่มต่างมีผลทำให้ค่า breaking distance ลดลง 0.20 – 0.31 เท่า และเพิ่มค่า breaking force และความแข็งแรงของเจลวุ้น (0.52 – 0.83 เท่า) โดยความแข็งแรงของเจลวุ้นที่สกัดจาก AT มีค่าอยู่ในช่วง 424.13 – 486.09 กรัม/ตร. ซม. ขณะที่การสกัดด้วยความร้อนสูงที่สภาวะ AC-121 ทำให้วุ้นที่สกัดจาก NAT มีค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงของเจลวุ้นลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อบ่มสาหร่ายด้วยต่าง พบว่า การสกัดที่สภาวะ AC-121 ทำให้วุ้นที่ได้มีค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงของเจลวุ้นเพิ่มขึ้น แสดงว่าการบ่มสาหร่ายด้วยต่าง และการสกัดด้วยความร้อนสูงมีอิทธิพลเสริมกันต่อค่าดังกล่าว

Praiboon *et al.* (2006) ศึกษาวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายในประเทศไทยคือ *G. fisheri* และ *G. edulis* พบว่า วุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด เมื่อบ่มด้วยต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 และเตรียมเจลวุ้นร้อยละ 1.5 มีค่าความแข็งแรงของเจลวุ้น (228.27-239.95 กรัม/ตร. ซม.) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายไม่บ่มต่าง (145.61 - 197.08 กรัม/ตร. ซม.) Kumar and Fotedar (2009) รายงานว่า หากไม่คำนึงถึงอุณหภูมิในการสกัด (60-80 °ซ) การบ่มสาหร่าย *G. cliftonii* ด้วยต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 3 และ 5 ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจลวุ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ขณะที่ Meena *et al.* (2008) พบว่า การบ่มสาหร่าย *G. edulis* และ *G. crassa* ด้วยต่างเข้มข้นร้อยละ 8 ทำให้ความแข็งแรงของเจลวุ้น (490 และ 800 กรัม/ตร. ซม. ตามลำดับ) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ต่างที่ใช้สามารถไปขจัดหมู่ซัลเฟตที่มีอยู่ในโมเลกุลของวุ้นบางส่วนออกไป และช่วยเปลี่ยนโครงสร้างของ L-galactose-6-sulfate ให้เป็น 3,6-AG จึงส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลวุ้นสูงขึ้น (Armisen and Galatas, 1987 ; Matsuhashi, 1990) ทั้งนี้ระยะเวลาในการบ่ม อุณหภูมิ และความเข้มข้นของต่างจะเหมาะสมกับสาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกัน

การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อค่าความหนืด กล่าวคือ การบ่มต่างทำให้วุ้นมีค่าความหนืดลดลง 0.18 - 0.44 เท่า และการให้ความร้อนที่สภาวะ AC-121 ทำให้ค่าความหนืด (เฉพาะที่ NAT) สูงกว่าวุ้นที่สกัดจากสภาวะ WB-80 เมื่อ

เปรียบเทียบค่าความหนืดที่ได้กับสารละลายวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายสกุลเดียวกันที่พบประเทศไทย พบว่า มีค่าความหนืด (15.83 – 28.34 cP) มากกว่าสารละลายวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่าย *G. fisheri* (4.34 – 18.37 cP) และสาหร่าย *G. edulis* (8.59 – 22.05 cP) (Praiboon *et al.*, 2006)

Bird *et al.* (1981) รายงานว่า น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของวุ้นมีความสัมพันธ์ทางตรงกับค่าความหนืดและความแข็งแรงของเจลวุ้น เมื่อพิจารณาความหนืดของสารละลายวุ้นที่วิเคราะห์ได้ พบว่า สารละลายวุ้นที่ได้จาก NAT มีความหนืด (23.61 – 28.34 cP) มากกว่า AT (15.83-19.45 cP) ซึ่งผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของเจลวุ้นที่ได้จาก AT ที่มีค่าสูงกว่าวุ้นที่ได้จาก NAT ทั้งนี้อาจเกิดจากผลของค่าที่ไปลดปริมาณซัลเฟต และเพิ่มปริมาณ 3,6-AG ทำให้ความแข็งแรงของเจลวุ้นสูงขึ้น แม้ว่าค่าความหนืดจะต่ำ (Armisen and Galatas, 1987 ; Matsubashi, 1990) จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเจลวุ้นที่ปรากฏไม่สอดคล้องกันกับความหนืดที่วิเคราะห์ได้

เมื่อพิจารณาค่า  $L^*$ , ค่าความเป็นกรด – ด่าง และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ของวุ้น พบว่า การบ่มค่า และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และค่าความเป็นกรด – ด่าง กล่าวคือ การบ่มค่าทำให้วุ้นมี  $a^*$  น้อยกว่าวุ้นที่ได้จาก NAT ขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของ  $L^*$  และค่าความเป็นกรด – ด่าง ส่วนการให้ความร้อนที่สภาวะ AC-121 ทำให้ค่า  $L^*$  (เฉพาะที่ NAT),  $a^*$  (เฉพาะที่ AT) และค่าความเป็นกรด – ด่างมากกว่าสภาวะ WB-80 ทั้งนี้ปัจจัยหลักทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ และค่า  $b^*$  ของวุ้น โดยเมื่อพิจารณาแยกตามอิทธิพลหลัก พบว่า การบ่มค่าทำให้วุ้นมีค่า  $b^*$  ลดลง ส่วนการสกัดด้วยความร้อนสูงที่สภาวะ AC-121 ทำให้วุ้นมีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์น้อยกว่าวุ้นที่สกัดจากสภาวะ WB-80 ขณะที่ไม่พบอิทธิพลที่มีต่อค่า  $b^*$  ใดๆก็ตามวุ้นที่สกัดได้จากทั้ง 4 ชุดการทดลองเมื่อสังเกตด้วยสายตา พบว่าวุ้นที่สกัดได้จาก NAT มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวปนน้ำตาลอ่อน ส่วนวุ้นที่สกัดได้จาก AT มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวปนเทา ดังนั้นการบ่มสาหร่ายด้วยค่าจึงช่วยปรับปรุงสีของวุ้นให้มีความขาวมากขึ้น

สมบัติอิมัลชันพิจารณาได้จากค่า emulsion activity (EA) ซึ่งเป็นค่าแสดงความสามารถของสารที่ช่วยให้เกิดอิมัลชันในสารละลาย และ emulsion stability index (ESI) เป็นค่าคงตัวของเม็ดอิมัลชันที่ยังกระจายตัวอยู่ใน aqueous phase โดยไม่เกิดการหลอมรวม (coalescence), การเกาะกลุ่มของเม็ดไขมัน (flocculation) และการแยกชั้น (creaming) ผลการ

ตรวจสอบพบว่า การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อสมบัติการเกิดอิมัลชันของวุ้น กล่าวคือ การบ่มต่างทำให้ค่า EA และ ESI (เฉพาะที่ WB-81) ลดลง ขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของค่า ESI (ที่ AC-121) การให้ความร้อนสูง เวลาสั้นที่สภาวะ AC-121 มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า EA และ ESI (เฉพาะที่ AT) โดยวุ้นที่สกัดจาก NAT ที่สภาวะ AC-121 มีค่า EA สูงสุดคือ 0.887 ขณะที่วุ้นที่สกัดจาก AT ที่สภาวะ WB-80 มีค่าต่ำสุด (0.140) สำหรับค่า ESI ของวุ้น วุ้นที่สกัดที่สภาวะ AC-121 ที่ได้จาก AT มีค่าสูงสุดคือ 85.75 นาที ขณะที่วุ้นที่สกัดจาก NAT มีค่าต่ำที่สุด (13.46 นาที) ส่วนค่า ESI ที่สภาวะ WB-80 มีค่าอยู่ในช่วง 21.58-24.79 นาที แสดงว่าการบ่มต่าง และการให้ความร้อนสูงมีอิทธิพลเสริมกันต่อสมบัติอิมัลชันของวุ้น

สมบัติอิมัลชันของวุ้นนี้เกิดจากปริมาณ โปรตีนที่มีอยู่ในวุ้นที่แตกต่างกัน โดยวุ้นที่สกัดได้จาก NAT จากทั้ง 2 สภาวะการให้ความร้อนมีค่าโปรตีน (ร้อยละ 1.56-1.94) สูงกว่าวุ้นที่สกัดได้จาก AT (ร้อยละ 0.18-0.26) ซึ่งโปรตีนที่อยู่ในโครงสร้างวุ้นจะทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์เชื่อมระหว่างน้ำและน้ำมัน ทำให้หยดน้ำมันกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ส่งผลให้วุ้นที่สกัดได้จาก NAT มีค่า EA มากกว่าวุ้นที่สกัดจาก AT นอกจากนี้สมบัติอิมัลชันของวุ้นที่แตกต่างกันอาจเกิดจากปัจจัยอื่นเช่น ปริมาณ 3,6-AG เป็นต้น Takahashi *et al.* (2000) รายงานว่า 3,6-AG สามารถเข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิด emulsification กับ porphyrin ซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดจากสาหร่ายสาบาย (Porphyrin yezoensis) และมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายอากาศ โดย 3,6-AG ซึ่งเป็นส่วนที่มีความไม่ชอบน้ำสูงอาจเกิดปฏิกิริยากับพื้นผิวของหยดน้ำมันได้ สอดคล้องกับผลการตรวจสอบค่า ESI ของวุ้นที่สกัดได้จาก AT (เฉพาะที่ AC-121) ที่มีค่าเพิ่มขึ้น 5.37 เท่า ทั้งนี้เกิดจากการบ่มต่าง ช่วยขจัดซัลเฟต และเปลี่ยน โครงสร้างของ L-galactose-6-sulfate ของวุ้นให้เป็น 3,6-AG มากขึ้น จึงช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอิมัลชันได้ อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนอาจไม่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน โดยชนินันท์ (2551) ได้ศึกษาผลของปริมาณโปรตีนในกัมจากลูกสำรอง 3 ชนิด ได้แก่ กัมจากผงสำรองปกติ กัมจากผงสำรองที่ล้างด้วยน้ำกลั่น และกัมจากผงสำรองที่ล้างด้วย 0.02 M กรด HCl ที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 4.48, 3.49 และ 2.63 ตามลำดับ ต่อสมบัติอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยมีกัมสำรองอยู่ในวิภาคของน้ำร้อยละ 0.5 (w/v) และมีอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำมันคือ 9:1 พบว่า กัมสำรองทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsion capacity) ไม่ต่างกัน ( $p < 0.05$ ) พร้อมทั้งรายงานว่ โปรตีนอาจไม่มีผลต่อการเกิดอิมัลชัน แต่อาจมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันเนื่องจากความหนืดของกัม โดยกัมสำรองที่มีความหนืดมากจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากกว่า

### 2.1.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของวุ้น

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในวุ้นแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า วุ้นที่สกัดได้จาก AT จากทั้ง 2 สภาวะการให้ความร้อนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ( $1.2 \times 10^3 - 4.2 \times 10^3$  CFU/g) น้อยกว่าวุ้นที่สกัดได้จาก NAT ( $2.6 \times 10^4 - 6.1 \times 10^4$ ) ขณะที่ยีสต์และราพบว่า อยู่ในช่วง  $2.0 \times 10^2 - 2.6 \times 10^3$  CFU/g โดยวุ้นที่สกัดได้จาก AT ที่สภาวะ AC-121 พบยีสต์และรามากที่สุด ( $2.6 \times 10^3$  CFU/g) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในวุ้นมีค่าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานของสารผสมอาหารในลักษณะแห้งบางชนิดเช่น เจลาติน ซึ่งต้องมีจุลินทรีย์ทั้งหมด และราไม่เกิน  $10^4$  และ 10 CFU/g ตามลำดับ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) ทั้งนี้ ปริมาณที่มากอาจเกิดจากการปนเปื้อนระหว่างกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนาง

การตรวจสอบ	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		สภาวะการให้ความร้อน	
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด) (CFU/g)	ไม่บ่มต่าง	$6.1 \times 10^4$	$2.6 \times 10^4$
	บ่มต่าง	$1.2 \times 10^3$	$4.2 \times 10^3$
ยีสต์และรา (CFU/g)	ไม่บ่มต่าง	$4.0 \times 10^2$	$2.3 \times 10^2$
	บ่มต่าง	$2.0 \times 10^2$	$2.6 \times 10^3$

จากการพิจารณาผลของปริมาณผลผลิตที่สูง, การมีอิทธิพลเสริมกันระหว่างการบ่มสาหร่ายด้วยต่าง และการใช้ความร้อนสูงในการสกัดที่มีต่อค่าความแข็งแรงของเจลวุ้น, breaking force และสีของวุ้น จึงได้คัดเลือกวุ้นที่สกัดได้จาก AT ที่สภาวะ AC-121 ไปใช้ในการศึกษาผลของวุ้นที่มีต่อคุณภาพเจลโปรตีนปลาจากชูริมิต่อไป

## 2.2 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณผลผลิต และสมบัติของคาร์ราจีแนนที่สกัดได้จากสาหร่ายโพรง

### 2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง

การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อปริมาณความชื้น, เถ้า, เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 5) กล่าวคือ การบ่มต่างทำให้คาร์ราจีแนนมีปริมาณความชื้น และเถ้า (0.09 – 0.14 เท่า) มากกว่า แต่คาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าคาร์ราจีแนนที่สกัดจาก NAT ในขณะที่เดียวกันการสกัดด้วยความร้อนสูง เวลาสั้น (AC-121) มีผลทำให้ปริมาณเถ้า (เฉพาะที่ AC-121) และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น และทำให้ปริมาณความชื้น, เถ้า (เฉพาะที่ NAT) และเยื่อใย (0.49 - 0.63 เท่า) ลดลง ทั้งนี้ปัจจัยหลักทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณ โปรตีน เมื่อพิจารณาแยกตามอิทธิพลหลักพบว่า การบ่มต่างทำให้คาร์ราจีแนนมีปริมาณ โปรตีนลดลง ขณะที่การสกัดด้วยความร้อนสูงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโปรตีน คาร์ราจีแนนที่สกัดได้ทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีปริมาณเถ้า, เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 26.18 - 33.01, 0.99 - 2.67 และ 64.35 – 72.58 ตามลำดับ การที่คาร์ราจีแนนมีปริมาณเถ้าที่ค่อนข้างสูงเนื่องจาก โครงสร้างของคาร์ราจีแนนที่สกัดได้ประกอบด้วยหมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ และอนุมูลโลหะอื่นๆซึ่งหมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ และอนุมูลโลหะมีผลต่อการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน โดยให้เจลที่มีความยืดหยุ่นและจับตัวกับ โมเลกุลที่มีขั้วได้ดี เช่น น้ำ โปรตีน เป็นต้น (Stanley, 1990) อย่างไรก็ตามการบ่มต่างและสภาวะการให้ความร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณไขมันของคาร์ราจีแนน ( $p > 0.05$ )

### 2.2.2 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของคาร์ราจีแนน

ผลการตรวจสอบปริมาณผลผลิต และสมบัติของคาร์ราจีแนนแสดงดังตารางที่ 6 พบว่า การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อปริมาณผลผลิตของคาร์ราจีแนน กล่าวคือ การบ่มต่างทำให้ปริมาณผลผลิตของคาร์ราจีแนนที่สภาวะ WB-80 และสภาวะ AC-121 ลดลง 0.75 และ 0.60 เท่าตามลำดับ โดยคาร์ราจีแนนที่สกัดได้จาก NAT มีปริมาณผลผลิต (ร้อยละ 52.13 – 54.88) มากกว่าคาร์ราจีแนนที่สกัดจาก AT (ร้อยละ 13.68 – 21.02) ซึ่งปริมาณผลผลิตที่ลดลงจากการบ่มต่างเกิดจากพอลิแซ็กคาไรด์บางส่วนถูกทำลายด้วยสภาวะที่รุนแรง (ความร้อน และ ภาวะที่เป็นด่าง) ของกระบวนการผลิต (Stanley, 1987) หรืออาจเกิดจากการสูญหายไประหว่างกระบวนการผลิต

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง

องค์ประกอบทางเคมี* (ร้อยละ)	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		เฉลี่ย
		สภาวะการให้ความร้อน		
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที	
ความชื้น	ไม่บ่มต่าง	3.35 <sup>Ba</sup> ± 0.92	4.83 <sup>Ba</sup> ± 0.59	
	บ่มต่าง	25.26 <sup>Aa</sup> ± 0.23	23.26 <sup>Ab</sup> ± 0.43	
โปรตีน	ไม่บ่มต่าง	0.14 ± 0.08	0.16 ± 0.10	0.15 <sup>B</sup> ± 0.08
	บ่มต่าง	0.40 ± 0.17	0.22 ± 0.07	0.31 <sup>A</sup> ± 0.16
	เฉลี่ย	0.28 <sup>a</sup> ± 0.18	0.19 <sup>a</sup> ± 0.08	
ไขมัน <sup>ns</sup>	ไม่บ่มต่าง	0.07 ± 0.03	0.09 ± 0.04	
	บ่มต่าง	0.11 ± 0.15	0.22 ± 0.11	
เถ้า	ไม่บ่มต่าง	30.32 <sup>Ba</sup> ± 0.09	26.18 <sup>Bb</sup> ± 0.12	
	บ่มต่าง	33.01 <sup>Ab</sup> ± 0.17	29.78 <sup>Aa</sup> ± 0.34	
เยื่อใย	ไม่บ่มต่าง	2.67 <sup>Aa</sup> ± 0.05	0.99 <sup>Ab</sup> ± 0.32	
	บ่มต่าง	2.13 <sup>Ba</sup> ± 0.05	1.08 <sup>Ab</sup> ± 0.13	
คาร์โบไฮเดรต**	ไม่บ่มต่าง	66.80 <sup>Ab</sup> ± 0.17	72.58 <sup>Aa</sup> ± 0.12	
	บ่มต่าง	64.35 <sup>Bb</sup> ± 0.20	68.70 <sup>Ba</sup> ± 0.65	

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>AB</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญ ( $p > 0.05$ )

\* องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นยักเว้นความชื้นคำนวณจากน้ำหนักแห้ง (dry basis)

\*\* ค่าคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) คำนวณจาก  $100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{เยื่อใย})$

การให้ความร้อนสูง เวลาสั้น (AC-121) ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตที่สกัดได้จาก AT เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตของคาร์ราจีแนนที่สกัดจาก NAT ทั้งนี้อาจเกิดจากสาหร่ายโพรงมีลักษณะเป็นสาหร่ายที่มีโครงสร้างอ่อนจึงสามารถสกัดคาร์ราจีแนนออกมาได้เกือบสมบูรณ์ในสภาวะที่ไม่รุนแรงได้จึงให้ปริมาณผลผลิตที่ใกล้เคียงกัน การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนจึงมีอิทธิพลร่วมกันต่อการลดลงของปริมาณผลผลิตดังกล่าว

ตารางที่ 6 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง

ปริมาณผลผลิต และสมบัติของคาร์ราจีแนน	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		เฉลี่ย
		สภาวะการให้ความร้อน		
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที	
ปริมาณผลผลิต (% w/ w)	ไม่บ่มต่าง	54.88 <sup>Aa</sup> ±4.05	52.13 <sup>Aa</sup> ±2.78	
	บ่มต่าง	13.68 <sup>Bb</sup> ±0.57	21.02 <sup>Ba</sup> ±4.18	
ความแข็งแรงของเจล คาร์ราจีแนน (กรัม/ตร. ซม.)	ไม่บ่มต่าง	8.38 ± 1.07	7.81 ± 1.42	8.09 <sup>B</sup> ±1.22
	บ่มต่าง	9.35 ± 1.79	9.96 ± 1.36	9.65 <sup>A</sup> ±1.53
	เฉลี่ย	8.86 <sup>a</sup> ±1.48	8.88 <sup>a</sup> ±1.73	
breaking force (กรัม)	ไม่บ่มต่าง	7.96±1.02	7.42±1.35	7.69 <sup>B</sup> ±1.16
	บ่มต่าง	8.88±1.70	9.46±1.29	9.17 <sup>A</sup> ±1.45
	เฉลี่ย	8.42 <sup>a</sup> ±1.41	8.44 <sup>a</sup> ±1.64	
breaking distance <sup>ns</sup> (มิลลิเมตร)	ไม่บ่มต่าง	0.31±0.13	0.32±0.89	
	บ่มต่าง	0.36±0.13	0.49±0.21	
ความหนืด (cP)	ไม่บ่มต่าง	70.00±2.87	40.56±0.96	55.28 <sup>A</sup> ± 16.24
	บ่มต่าง	67.78±0.96	41.67±1.66	54.72 <sup>A</sup> ±14.35
	เฉลี่ย	68.89 <sup>a</sup> ±2.27	41.11 <sup>b</sup> ±1.36	
สี ค่าความสว่าง (L*)	ไม่บ่มต่าง	72.88 <sup>Bb</sup> ±0.42	74.55 <sup>Ba</sup> ±0.29	
	บ่มต่าง	81.54 <sup>Aa</sup> ±0.22	74.98 <sup>Ab</sup> ±0.36	
ค่าสีแดง (a*)	ไม่บ่มต่าง	1.49 <sup>Aa</sup> ±0.10	1.09 <sup>Ab</sup> ±0.07	
	บ่มต่าง	- 0.04 <sup>Bb</sup> ±0.04	0.76 <sup>Ba</sup> ±0.06	
ค่าสีเหลือง (b*)	ไม่บ่มต่าง	11.25 <sup>Aa</sup> ±0.34	10.38 <sup>Bb</sup> ±0.21	
	บ่มต่าง	10.62 <sup>Bb</sup> ±0.20	12.14 <sup>Aa</sup> ±0.21	
เกลือโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ)	ไม่บ่มต่าง	2.76 <sup>Ab</sup> ±0.20	3.48 <sup>Aa</sup> ±0.41	
	บ่มต่าง	2.90 <sup>Aa</sup> ±0.41	2.18 <sup>Bb</sup> ±0.20	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สมบัติของคาร์ราจีแนน	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		สภาวะการให้ความร้อน	
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที
ความเป็นกรด - ค่า <sup>ns</sup>	ไม่บ่มต่าง	6.93±0.02	6.81±0.01
	บ่มต่าง	6.70±0.13	6.98±0.02
emulsion activity (A <sub>500nm</sub> )	ไม่บ่มต่าง	0.875 <sup>Aa</sup> ±0.02	0.787 <sup>Ab</sup> ±0.02
	บ่มต่าง	0.805 <sup>Ba</sup> ±0.01	0.275 <sup>Bb</sup> ±0.02
emulsion stability index (นาที)	ไม่บ่มต่าง	525.37 <sup>Aa</sup> ±18.06	39.51 <sup>Ab</sup> ±5.46
	บ่มต่าง	170.03 <sup>Ba</sup> ±57.83	33.64 <sup>Ab</sup> ±1.58

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

<sup>AB</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตของคาร์ราจีแนนที่สกัดได้จาก NAT (ร้อยละ 52.13-54.88) กับสาหร่ายสกุลเดียวกัน พบว่า มีปริมาณผลผลิตคาร์ราจีแนนมากกว่าที่สกัดได้จาก สาหร่ายโพรง (*Solieria robusta*) ไม่บ่มต่าง (ร้อยละ 40) ที่พบในประเทศออสเตรเลีย (Chiovitti et al., 1999) เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายชนิดอื่น พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณผลผลิตคาร์ราจีแนนที่สกัดได้จากสาหร่าย *Eucheuma isiforme* (ร้อยละ 57.2) ที่พบในประเทศ Nicaragua (Freile-Pelegrin and Robledo, 2008) ปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกันนั้นเกิดจากปัจจัยหลายด้าน เช่น ชนิดของสาหร่าย และแหล่งที่พบ เป็นต้น

การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่า breaking force และค่าความแข็งแรงของเจลคาร์ราจีแนน และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า breaking distance ขณะที่อิทธิพลหลักมีผลต่อค่าทั้งสอง กล่าวคือ การบ่มต่างทำให้ค่า breaking force และความแข็งแรงของเจลคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (0.19 เท่า) ส่วนการให้ความร้อนสูง เวลาสั้น (AC-121) ในการสกัดไม่มีผลต่อ breaking force และความแข็งแรงของเจลคาร์ราจีแนน โดยค่า

ความแข็งแรงของเจลคาร์ราจีแนนที่สกัดจาก NAT และ AT มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 7.81 – 8.38 กรัม/ตร. ซม. และ 9.35 - 9.96 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจัดว่ามีค่าค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกับคาร์ราจีแนนที่สกัดได้จากสาหร่าย *Eucheuma isiforme* ที่ไม่ผ่านการบ่มด่างและบ่มด่างจากประเทศ Nicaragua ซึ่งมีความแข็งแรงของเจลน้อยกว่า 50 กรัม/ตร. ซม. (Freile-Pelegrín and Robledo, 2008) ขณะที่คาร์ราจีแนนที่สกัดได้จากสาหร่าย *Chondrus crispus* (Irish moss) มีความแข็งแรงของเจลอยู่ในช่วง 489-726 กรัม/ตร. ซม. ทั้งนี้เกิดจากความแตกต่างของชนิดสาหร่าย สภาพะของการบ่มด่าง และ ฤดูกาล (UNDP/FAO, 1990) เมื่อพิจารณาความแข็งแรงของเจล และ breaking force ของคาร์ราจีแนน เปรียบเทียบกับวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายพมนาง พบว่า มีค่าต่ำมาก ทั้งนี้เกิดจากคาร์ราจีแนนมีโครงสร้างเป็นสารซัลเฟตแตกกาแลคแทนที่มีหมู่ซัลเฟตมาเกาะอยู่ที่ตำแหน่งคาร์บอนต่าง ๆ ทำให้เป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ (Stanley, 1987) ซึ่งหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโครงสร้างคาร์ราจีแนนเป็นสาเหตุของการเกิดส่วนหักงอในสายพอลิแซ็กคาไรด์ส่งผลให้ไปขัดขวางการสร้าง double helices ของเจลคาร์ราจีแนนและทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงของเจลลดลง (Stanley, 1990)

ผลการตรวจสอบค่าความหนืด, ค่าสี, ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ และความเป็นกรด – ด่าง พบว่า การบ่มด่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อค่าสีและปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ ขณะที่สภาวะการให้ความร้อนปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพล ( $p < 0.05$ ) ต่อค่าความหนืด และทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีผลต่อความแตกต่างของค่าความเป็นกรด – ด่าง (6.70 – 6.98) กล่าวคือ การบ่มด่าง ทำให้ค่า  $L^*$  และ  $b^*$  (เฉพาะที่สภาวะ AC-121) เพิ่มขึ้น และค่า  $a^*$ ,  $b^*$  (เฉพาะที่สภาวะ WB-80) และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (เฉพาะที่สภาวะ AC-121) ลดลงขณะที่การให้ความร้อนสูง (AC-121) ทำให้ค่า  $L^*$  (เฉพาะที่ AT),  $a^*$  (เฉพาะที่ NAT),  $b^*$  (เฉพาะที่ NAT) และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ (เฉพาะที่ AT) น้อยกว่าสภาวะ WB-80 แม้ว่าคาร์ราจีแนนทั้ง 4 ชุดการทดลองจะมีค่าสีแตกต่างกัน แต่เมื่อสังเกตลักษณะปรากฏและสีด้วยสายตา พบว่า มีลักษณะทั่วไปใกล้เคียงกันคือเป็นผงละเอียด สีขาวนวลปนเทา ส่วนการลดลงของค่าความหนืดจาก 68.89 cP (ที่สภาวะ WB-80) เป็น 41.11 cP (ที่สภาวะ AC-121) อาจเกิดจากโครงสร้างของคาร์ราจีแนนถูกทำลายด้วยความร้อนสูงและความดัน

การบ่มด่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อค่า EA และ ESI ของคาร์ราจีแนน กล่าวคือ การบ่มด่าง ทำให้ค่า EA และ ESI (เฉพาะที่ WB-80) ลดลง โดยคาร์ราจีแนนที่สภาวะ WB-80 มีค่า EA ลดลง (0.08 เท่า) น้อยกว่าสภาวะ AC-121 ที่ลดลง 0.65 เท่า ขณะที่การให้ความร้อนสูง เวลาสั้นในการสกัดมีผลทำให้ค่า EA และ ESI ลดลง 0.10 -0.66 เท่า

และ 0.80 – 0.92 เท่า ตามลำดับ โดยคาร์ราจีแนนที่สกัดได้จาก AT ที่สภาวะ AC-121 มีค่า EA และ ESI น้อยที่สุด 0.275 นาที และ 33.64 นาที ตามลำดับ

การที่คาร์ราจีแนนที่สกัดได้จากสภาวะ WB-80 มีค่า EA และ ESI สูงกว่าสภาวะ AC-121 อาจเกิดจากสภาวะการสกัดที่ WB-80 ไม่รุนแรงเท่าที่ AC-121 จึงมีผลต่อการทำลายโครงสร้างของคาร์ราจีแนนไม่มากนัก เนื่องจากความหนืดของคาร์ราจีแนนมีความสัมพันธ์ทางตรงกับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย เมื่อนำสารละลายคาร์ราจีแนนจากสภาวะ WB-80 ไปผสมน้ำมัน ความหนืดที่มากกว่า จึงช่วยลดการเคลื่อนที่และชนกันของเม็ดไขมันที่กระจายตัวอยู่ใน aqueous phase เป็นการเพิ่มความคงตัวให้กับอิมัลชัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชนินันท์ (2551) ที่รายงานว่า ความคงตัวของอิมัลชันเกิดจากความหนืดของกัมสำรอง โดยกัมสำรองที่มีความหนืดมาก จะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากกว่า

### 2.2.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่าย โพรง

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในคาร์ราจีแนนอยู่ในช่วง  $3.3 \times 10^3 - 1.0 \times 10^4$  CFU/g และ  $23 - 2.6 \times 10^3$  CFU/g ตามลำดับ (ตารางที่ 7) โดยคาร์ราจีแนนที่สกัดจาก AT ที่สภาวะ AC-121 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงที่สุด ขณะที่ปริมาณยีสต์และรามากที่สุดพบใน

#### ตารางที่ 7 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง

การตรวจสอบ	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		สภาวะการให้ความร้อน	
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ไม่บ่มต่าง	$6.8 \times 10^3$	$5.8 \times 10^3$
	บ่มต่าง	$3.3 \times 10^3$	$1.0 \times 10^4$
ยีสต์และรา (CFU/g)	ไม่บ่มต่าง	23	35
	บ่มต่าง	$2.6 \times 10^3$	$1.5 \times 10^3$

คาร์ราจีแนนที่สกัดจาก AT ที่สภาวะ WB-80 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเจลาคิน เห็นได้ว่ามีจำนวนยีสต์และราสูงกว่าเกณฑ์ (ไม่เกิน 10 CFU/g) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการคาร์ราจีแนนที่สกัดได้ยังมีความชื้นที่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเติบโตได้ หรืออาจเกิดจากการปนเปื้อนระหว่างกระบวนการผลิต

เนื่องจากการบ่มต่างทำให้ค่า breaking force และความแข็งแรงของเจลคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และปริมาณผลผลิตลดลงมาก ประกอบกับการใช้ความร้อนสูง เวลาสั้นในการสกัด ไม่มีผลต่อ breaking force, breaking distance, ความแข็งแรงของเจล และปริมาณผลผลิต (เฉพาะที่ NAT) รวมทั้งสีของคาร์ราจีแนนที่สกัดได้ทั้ง 4 ชุดการทดลองก็ไม่แตกต่างกันเมื่อสังเกตด้วยสายตา จึงคัดเลือกคาร์ราจีแนนที่เตรียมจากสาหร่ายไม่บ่มต่าง และการสกัดที่สภาวะ AC-121 ไปใช้ในการศึกษาต่อไป

2.3 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณผลผลิต และสมบัติของพอร์ไฟแรนที่สกัดได้จากสาหร่ายสายใบ

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของพอร์ไฟแรนที่สกัดได้จากสาหร่ายสายใบ

การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 8) กล่าวคือ การบ่มต่างมีผลทำให้ปริมาณความชื้น และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น ขณะที่มีการลดลงของปริมาณโปรตีน (0.92 – 0.93 เท่า) และไขมัน (0.45 - 0.82 เท่า) การให้ความร้อนที่สภาวะ AC-121 ทำให้ปริมาณความชื้น และไขมัน (เฉพาะที่ NAT) ลดลง ในขณะที่เดียวกันมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีน (เฉพาะที่ AT) และคาร์โบไฮเดรต ทั้งนี้ปัจจัยหลักทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณไขมัน และเยื่อใย โดยเมื่อพิจารณาแยกตามอิทธิพลหลักพบว่า การบ่มต่างทำให้พอร์ไฟแรนมีปริมาณไขมัน และเยื่อใยลดลง ขณะที่การให้ความร้อนสูงที่สภาวะ AC-121 มีผลทำให้เยื่อใยเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน ( $p > 0.05$ )

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของพอร์ไฟแรนที่สกัดได้จาก NAT (ร้อยละ 10.51 - 13.91) กับปริมาณโปรตีนของพอร์ไฟแรนที่สกัดได้จากสาหร่ายสกุลเดียวกัน พบว่ามีค่าน้อยกว่าพอร์ไฟแรนที่สกัดจากสาหร่าย *Porphyra yezoensis* (ร้อยละ 21) (Takahashi *et al.*, 2000)

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของพอร์ไฟแรงแทนที่สกัดจากสาหร่ายสายใบ

องค์ประกอบทางเคมี* (ร้อยละ)	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		สภาวะการให้ความร้อน		
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที	เฉลี่ย
ความชื้น	ไม่บ่มต่าง	2.76 <sup>Bb</sup> ±0.42	3.59 <sup>Ba</sup> ±0.19	
	บ่มต่าง	5.14± <sup>Ab</sup> 0.91	8.47 <sup>Aa</sup> ±0.43	
โปรตีน	ไม่บ่มต่าง	10.51 <sup>Ab</sup> ±0.47	13.91 <sup>Aa</sup> ±0.14	
	บ่มต่าง	0.74 <sup>Bb</sup> ±0.20	1.04 <sup>Ba</sup> ±0.61	
ไขมัน	ไม่บ่มต่าง	0.22±0.09	0.33±0.09	0.27 <sup>A</sup> ±0.11
	บ่มต่าง	0.14±0.02	0.19±0.02	0.16 <sup>B</sup> ±0.03
	เฉลี่ย	0.18 <sup>a</sup> ±0.08	0.26 <sup>a</sup> ±0.10	
เถ้า	ไม่บ่มต่าง	15.99 <sup>Aa</sup> ±0.41	13.67 <sup>Ab</sup> ±0.38	
	บ่มต่าง	2.88 <sup>Bb</sup> ± 0.80	7.42 <sup>Ba</sup> ±0.32	
เยื่อใย	ไม่บ่มต่าง	0.27±0.07	0.42±0.04	0.35 <sup>A</sup> ±0.10
	บ่มต่าง	0.25±0.09	0.29±0.03	0.27 <sup>B</sup> ±0.07
	เฉลี่ย	0.26 <sup>b</sup> ±0.08	0.36 <sup>a</sup> ±0.08	
คาร์โบไฮเดรต**	ไม่บ่มต่าง	73.01 <sup>Ba</sup> ±0.22	71.67 <sup>Bb</sup> ±0.84	
	บ่มต่าง	95.99 <sup>Aa</sup> ± 0.71	91.06 <sup>Ab</sup> ±0.93	

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>AB</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

\* องค์ประกอบทางเคมีของพอร์ไฟแรงแทนที่สกัดจากสาหร่ายสายใบคำนวณจากน้ำหนักแห้ง (dry basis)

\*\* ค่าคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) คำนวณจาก  $100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{เยื่อใย})$

ทั้งนี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนที่พบในวุ้น และคาร์ราจีแนน พบว่ามีปริมาณโปรตีนมากกว่า ทั้งนี้เกิดจากสาหร่ายสายใบเป็นแหล่งโปรตีนที่ค่อนข้างสูง (ร้อยละ  $31.42 \pm 0.12$ ) ดังนั้นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในสาหร่ายอาจถูกสกัดมาพร้อมกับพอร์ไฟแรงแทน ขณะที่ปริมาณเถ้าที่วิเคราะห์ได้ในพอร์ไฟแรงแทนมีค่าน้อยกว่าคาร์ราจีแนน และใกล้เคียงกับวุ้น ทั้งนี้เนื่องจาก

พอร์ไฟแรมมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายอากาศซึ่งพบในวุ้น ดังนั้นปริมาณเถ้าที่แสดงถึงแร่ธาตุ ได้แก่ หมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ และอนุมูลโลหะอื่น ๆ ที่พบในวุ้น และพอร์ไฟแรมจึงค่าไม่แตกต่างกัน

### 2.3.2 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของพอร์ไฟแรม

ปริมาณผลผลิต และสมบัติของพอร์ไฟแรมแสดงดังตารางที่ 9 พบว่า การบ่มด่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อปริมาณผลผลิต กล่าวคือ การบ่มด่างทำให้ปริมาณผลผลิตที่สกัดจากสภาวะ WB-80 เพิ่มขึ้น 0.82 เท่าและลดลง 0.54 เท่าที่สภาวะ AC-121 โดยพอร์ไฟแรมที่ได้สกัดได้จากทั้ง 4 ชุดการทดลองมีปริมาณผลผลิตต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งค่อนข้างต่ำ คือมีปริมาณร้อยละ 6.43 – 24.39

ผลการทดสอบ breaking fore, breaking distance และความแข็งแรงของเจลพอร์ไฟแรม พบว่า สาหร่ายที่ไม่ผ่านการบ่มด่างจะให้พอร์ไฟแรมที่ไม่สามารถเกิดเจลได้ ทั้งนี้เกิดจากพอร์ไฟแรมมีปริมาณซัลเฟตสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศ (Takahashi *et al.*, 2000) ขณะที่การบ่มด่างสามารถทำให้พอร์ไฟแรมเกิดเจลได้ เนื่องจากด่างจะช่วยขจัดหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโครงสร้างของพอร์ไฟแรม และปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็น 3, 6-AG การบ่มด่าง และการให้ความร้อนที่สภาวะ AC-121 ทำให้มีค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงของเจลพอร์ไฟแรมสูงกว่า (เพิ่มขึ้น 5.70 เท่า) ที่สภาวะ WB-80 โดยพอร์ไฟแรมที่ได้จาก AT มีค่าความแข็งแรงของเจลอยู่ในช่วง 167.29 – 1120.73 กรัม/ตร. ซม.

การบ่มด่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน ( $p < 0.05$ ) ต่อค่าความหนืด,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์ของพอร์ไฟแรม กล่าวคือ การบ่มด่างมีผลทำให้ค่าความหนืด,  $L^*$  (เฉพาะที่ AC-121),  $a^*$  และปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์ (เฉพาะที่ WB-80) ลดลง และทำให้ค่า  $L^*$  (เฉพาะที่ WB-80) และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น ส่วนการให้ความร้อนสูงที่สภาวะ AC-121 ทำให้ค่าความหนืด (เฉพาะที่ NAT),  $L^*$  (เฉพาะที่ AT),  $a^*$  และ  $b^*$  (เฉพาะที่ AT) ลดลง ( $p < 0.05$ ) ขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืด (เฉพาะที่ AT),  $L^*$  (เฉพาะที่ NAT),  $b^*$  (เฉพาะที่ NAT) และปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์ (เฉพาะที่ AT) ทั้งนี้ปัจจัยหลักทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความเป็นกรด – ด่าง แต่อิทธิพลหลักมีผลต่อค่าดังกล่าวคือ การบ่มด่างทำให้พอร์ไฟแรมมีค่าความเป็นกรด – ด่างลดลง ส่วนการให้ความร้อนสูงทำให้ค่าดังกล่าวลดลง โดยพอร์ไฟแรมที่สกัด

ได้ทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าความหนืด, ปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์ และค่าความเป็นกรด – ด่าง อยู่ในช่วง 5.56 – 79.17 cP , ร้อยละ 2.18 – 3.94 และ 5.69 – 7.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ปริมาณผลผลิตและสมบัติของพอร์ไฟแรงแน

ปริมาณผลผลิต และสมบัติของพอร์ไฟแรงแน	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		สภาวะการให้ความร้อน	
		80° ซ 2 ชั่วโมง	121 ° ซ 30 นาที
ปริมาณผลผลิต	ไม่บ่มต่าง	6.43 <sup>Bb</sup> ±1.17	24.39 <sup>Aa</sup> ±1.14
(% w/ w)	บ่มต่าง	11.69 <sup>Aa</sup> ±0.33	11.24 <sup>Ba</sup> ±0.69
ความแข็งแรงของเจล	ไม่บ่มต่าง	ไม่เกิดเจล	ไม่เกิดเจล
พอร์ไฟแรงแน (กรัม/ตร. ซม.)	บ่มต่าง	167.29 <sup>b</sup> ± 19.99	1120.73 <sup>a</sup> ± 54.12
breaking force	ไม่บ่มต่าง	ไม่เกิดเจล	ไม่เกิดเจล
(กรัม)	บ่มต่าง	158.90 <sup>b</sup> ±18.99	1064.52 <sup>a</sup> ±51.40
breaking distance	ไม่บ่มต่าง	ไม่เกิดเจล	ไม่เกิดเจล
(มิลลิเมตร)	บ่มต่าง	1.38 <sup>b</sup> ±0.29	3.97 <sup>a</sup> ±0.76
ความหนืด (cP)	ไม่บ่มต่าง	79.17 <sup>Aa</sup> ±1.44	40.56 <sup>Ab</sup> ± 1.27
	บ่มต่าง	5.56 <sup>Bb</sup> ±1.27	21.67 <sup>Ba</sup> ±1.44
สี ค่าความสว่าง (L*)	ไม่บ่มต่าง	68.63 <sup>Bb</sup> ±0.28	73.45 <sup>Aa</sup> ±0.29
	บ่มต่าง	73.89 <sup>Aa</sup> ±0.91	67.30 <sup>Bb</sup> ±1.13
ค่าสีแดง (a*)	ไม่บ่มต่าง	0.72 <sup>Aa</sup> ±0.07	-0.68 <sup>Ab</sup> ±0.05
	บ่มต่าง	-0.58 <sup>Ba</sup> ±0.03	-1.16 <sup>Bb</sup> ±0.09
ค่าสีเหลือง (b*)	ไม่บ่มต่าง	5.87 <sup>Bb</sup> ±0.14	8.05 <sup>Ba</sup> ±0.39
	บ่มต่าง	15.29 <sup>Aa</sup> ±0.52	15.09 <sup>Ab</sup> ±0.46

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สมบัติของพอร์ไฟแรน	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		เฉลี่ย
		สภาวะการให้ความร้อน		
		80°ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที	
เกลือโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ)	ไม่บ่มต่าง	3.29 <sup>Aa</sup> ±0.54	2.76 <sup>Ba</sup> ±0.29	
	บ่มต่าง	2.18 <sup>Bb</sup> ±0.09	3.94 <sup>Aa</sup> ±0.21	
ความเป็นกรด - ค่า	ไม่บ่มต่าง	7.18±0.05	6.79±0.10	6.98 <sup>A</sup> ±0.23
	บ่มต่าง	6.05±0.06	5.69±0.10	5.87 <sup>B</sup> ±0.21
	เฉลี่ย	6.62 <sup>a</sup> ±0.62	6.24 <sup>b</sup> ±0.61	
emulsion activity (A <sub>500nm</sub> )	ไม่บ่มต่าง	0.441 <sup>Ab</sup> ±0.01	1.104± <sup>Aa</sup> 0.00	
	บ่มต่าง	0.454 <sup>Ab</sup> ±0.01	0.739 <sup>Ba</sup> ±0.11	
emulsion stability index (นาที)	ไม่บ่มต่าง	37.66 <sup>Bb</sup> ±1.64	178.22 <sup>Ba</sup> ±5.59	
	บ่มต่าง	41.47 <sup>Ab</sup> ±1.55	715.81 <sup>Aa</sup> ±35.25	

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

<sup>AB</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

การที่พอร์ไฟแรนที่สกัดจาก NAT มีค่าความหนืดสูงกว่าอาจเนื่องจาก โครงสร้างของพอร์ไฟแรนไม่ถูกทำลายด้วยการบ่มต่างจึงส่งผลให้พอร์ไฟแรนที่ได้มีความหนืดมากกว่าพอร์ไฟแรนที่สกัดได้จาก AT ส่วนปริมาณเกลือซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัน เกิดจากในกระบวนการแยกสารพอร์ไฟแรนมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปก่อนการตกตะกอนด้วยเอทานอลจึงส่งผลให้ปริมาณเกลือที่ตรวจสอบได้สูงกว่าในวัน ขณะที่ผลของค่าสีจากการสังเกตด้วยสายตา พบว่า AT ทำให้พอร์ไฟแรนที่ได้มีสีเขียวม่น้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีเขียว (ค่า a\* ตีคลบ) ที่วิเคราะห์ได้ และพอร์ไฟแรนที่ได้จาก NAT มีสีเทาขาว

ผลการทดสอบสมบัติอิมัลชันของพอร์ไฟแรน พบว่า การบ่มต่าง และสภาวะการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกัน (p<0.05) ต่อ EA และ ESI กล่าวคือ การบ่มต่างทำให้ EA

(เฉพาะที่ AC-121) ลดลง และเพิ่ม ESI ส่วนการให้ความร้อนสูงในการสกัดมีผลทำให้ค่า EA และ ESI เพิ่มขึ้น โดยพอร์ไฟแรงแท้สกัดได้จาก NAT จากสภาวะ AC-121 มีค่า EA สูงสุด (1.104) ในขณะที่เดียวกันพอร์ไฟแรงแท้สกัดจาก AT จากสภาวะ AC-121 มีค่า ESI สูงสุด (715.81 นาที)

สมบัติอิมัลชันนี้เกิดจากพอร์ไฟแรงแท้สกัดได้จาก NAT มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง (ร้อยละ 10.51-13.91 ต่อน้ำหนักแห้ง) จึงช่วยทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์เชื่อมระหว่างน้ำกับน้ำมัน ทำให้หยดน้ำมันกระจายตัวอยู่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Takahashi *et al.* (2000) ที่ศึกษาความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของพอร์ไฟแรงแท้สกัดจากสาหร่ายสายใบ (*Porphyra yezoensis*) โดยพบว่า พอร์ไฟแรงแท้ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้าง (ร้อยละ 8.6 – 10.5) จะมีค่า emulsion activity index (EAI) (111 - 129) สูงกว่า EAI ของพอร์ไฟแรงแท้ที่ไม่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ (77 – 98) แต่มีค่า emulsion stability (ES) น้อยกว่าโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.14 – 0.31 ในขณะเดียวกัน ES ของพอร์ไฟแรงแท้ที่ไม่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบมีค่าอยู่ในช่วง 0.29 – 0.31 ซึ่งแสดงว่าพอร์ไฟแรงแท้มีสมบัติการเป็นสารให้ความคงตัวที่ดี ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณ 3,6-AG (ร้อยละ 10.6 – 11.2) ซึ่งเป็นส่วนที่มีความไม่ชอบน้ำสูงอาจเกิดปฏิกิริยากับพื้นผิวของหยดน้ำมันได้

### 2.3.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในพอร์ไฟแรงแท้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในพอร์ไฟแรงแท้ (ตารางที่ 10) พบว่า พอร์ไฟแรงแท้สกัดได้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราอยู่ในช่วง  $4.0 \times 10^2 - 2.8 \times 10^4$  CFU/g และ  $67 - 1.6 \times 10^3$  CFU/g ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบในพอร์ไฟแรงแท้

การตรวจสอบ	การบ่มต่าง	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สภาวะการให้ความร้อน	
		80 °ซ 2 ชั่วโมง	121 °ซ 30 นาที
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	ไม่บ่มต่าง	$4.0 \times 10^2$	$4.0 \times 10^3$
	บ่มต่าง	$2.8 \times 10^4$	$2.5 \times 10^3$
ยีสต์และรา (CFU/g)	ไม่บ่มต่าง	$1.6 \times 10^3$	$2.7 \times 10^2$
	บ่มต่าง	67	$1.3 \times 10^2$

จากผลการทดสอบปริมาณผลผลิตและสมบัติของพอร์ไฟแรงแม่ว่าการบ่มต่าง และการให้ความร้อนที่สภาวะ AC-121 จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของเจลพอร์ไฟแรงแม่มาก แต่กลับให้ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ 11.24) ที่ต่ำมากเช่นกัน ทั้งนี้ยังมีลักษณะเป็นผงสีเขียวอมน้ำตาล จึงไม่คัดเลือกพอร์ไฟแรงแม่ไปใช้ในการศึกษาต่อไป

### 3. ศึกษาผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายในการปรับปรุงคุณภาพเจลโปรตีนปลาที่ผลิตจากซูริมิ

นำวุ้นและคาร์ราจีแนนมาศึกษาปริมาณที่เหมาะสม 3 ระดับในการเติมลงในซูริมิที่ผลิตจากปลาปากคม และปลาทรายแดง (เกรด SA และ A) โดยแปรปริมาณของวุ้นที่ร้อยละ 1.0, 1.5 และ 2.0 และคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 2.0 เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์

#### 3.1 ผลของวุ้นที่มีต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิ

##### 3.1.1 การประเมินคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม

ซูริมิจากปลาปากคม โดยทั่วไปจัดเป็นซูริมิที่มีคุณภาพของเจลก่อนข้างต่ำ ผลการวัดค่าทางกายภาพ (ตารางที่ 11) พบว่า ค่าเฉลี่ย breaking force, breaking distance และความแข็งแรงเจลอยู่ในช่วง 131.83-190.93 กรัม, 3.66-4.28 มิลลิเมตร และ 59.19-71.01 กรัม.ซม. ตามลำดับ โดยค่า breaking force และความแข็งแรงเจลของลูกชิ้น มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมวุ้นที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ( $p < 0.05$ ) จนถึงระดับหนึ่งคือ การเติมวุ้นที่ร้อยละ 1.5 และ 2.0 จะมีค่า breaking force และความแข็งแรงเจลของลูกชิ้นสูงที่สุด โดยเพิ่มขึ้น 0.45 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ขณะที่การเติมวุ้นที่ร้อยละ 1.0 ให้ค่า breaking distance สูงที่สุด คือ 4.28 มิลลิเมตร ( $p < 0.05$ ) จากผลการวิเคราะห์ค่า breaking force และ breaking distance แสดงให้เห็นว่าการเติมวุ้นมากขึ้นทำให้เจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมมีลักษณะแข็ง และเปราะ

ผลการวิเคราะห์ Texture Profile Analysis (TPA) ได้แก่ ความแข็ง (hardness), การเกาะตัว (cohesiveness) และความยืดหยุ่น (springiness) ของเจลลูกชิ้นปลา พบว่า ลูกชิ้นปลาที่เติมวุ้นปริมาณมากขึ้นมีค่า hardness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยการเติมวุ้นร้อยละ 2.0 มี

ค่า hardness สูงสุดคือ 30.95 นิวตัน (เพิ่มขึ้น 0.44 เท่า) ขณะที่ค่า cohesiveness พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.212 – 0.251 โดยเฉลี่ยของลูกชิ้นที่เติมวุ้นร้อยละ 1.5 มีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p < 0.05$ ) เช่นเดียวกับความยืดหยุ่นของลูกชิ้นปลาที่เติมวุ้นร้อยละ 1.5 ซึ่งมีความยืดหยุ่น (0.889) มากที่สุด ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 11 สมบัติทางกายภาพของเจลของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมที่มีการเติมวุ้น ความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย* $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่างควบคุม	วุ้นร้อยละ 1.0	วุ้นร้อยละ 1.5	วุ้นร้อยละ 2.0
breaking force (กรัม)	131.83 <sup>c</sup> $\pm$ 2.66	153.00 <sup>b</sup> $\pm$ 1.35	191.30 <sup>a</sup> $\pm$ 3.03	190.93 <sup>a</sup> $\pm$ 0.76
breaking distance (มิลลิเมตร)	3.88 <sup>b</sup> $\pm$ 0.20	4.28 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22	3.71 <sup>b</sup> $\pm$ 0.08	3.66 <sup>b</sup> $\pm$ 0.12
ความแข็งแรงเจล (กรัม. ซม.)	59.19 <sup>c</sup> $\pm$ 2.46	65.52 <sup>b</sup> $\pm$ 3.80	71.01 <sup>a</sup> $\pm$ 0.68	69.89 <sup>ab</sup> $\pm$ 2.55
hardness (นิวตัน)	21.48 <sup>c</sup> $\pm$ 2.04	22.74 <sup>bc</sup> $\pm$ 3.56	26.47 <sup>b</sup> $\pm$ 0.74	30.95 <sup>a</sup> $\pm$ 0.48
cohesiveness	0.230 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.012	0.212 <sup>c</sup> $\pm$ 0.004	0.251 <sup>a</sup> $\pm$ 0.007	0.234 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.013
springiness	0.722 <sup>b</sup> $\pm$ 0.052	0.752 <sup>b</sup> $\pm$ 0.071	0.889 <sup>a</sup> $\pm$ 0.033	0.784 <sup>b</sup> $\pm$ 0.039
ความขาว <sup>ns</sup>	64.45 $\pm$ 2.12	64.92 $\pm$ 1.17	64.17 $\pm$ 0.81	63.55 $\pm$ 0.65
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ)	66.60 <sup>b</sup> $\pm$ 2.37	74.58 <sup>a</sup> $\pm$ 1.01	74.76 <sup>a</sup> $\pm$ 0.98	76.26 <sup>a</sup> $\pm$ 0.82
ทดสอบการพับ	D	D	D	D

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการทดสอบการพับของลูกชิ้นปลา พบว่า ค่าเฉลี่ยความขาวของลูกชิ้นปลาแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง

ร้อยละ 63.55-64.92 ขณะที่ความสามารถในการอ้วนน้ำของเจลลูกชิ้นปลาที่เติมวุ้นที่ระดับต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) และมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p<0.05$ ) เมื่อนำมาทดสอบการพับ พบว่าทุกตัวอย่างมีคะแนนการพับคือ D มีรอยแตกและแยกออกจากกันเมื่อพับเป็น 2 ส่วน

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นซูริมิ (ตารางที่ 12) พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบรวม แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) โดยคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมมีคะแนนอยู่ในช่วงไม่ชอบปานกลางถึงไม่ชอบเล็กน้อย คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสีของลูกชิ้นมีการลดลงเมื่อเติมวุ้นปริมาณมากขึ้น ขณะที่คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นทุกตัวอย่างอยู่ในช่วงไม่ชอบมากถึงไม่ชอบปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากซูริมิที่ใช้ในการผลิตจัดเป็นซูริมิที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ โดยตัวอย่างควบคุมมีความแข็งแรงเจลเท่ากับ  $59.19 \pm 2.46$  กรัม. ซม. ขาดความยืดหยุ่นและอ้วนน้ำได้ไม่ดีซึ่งสอดคล้องกับค่า springiness และความสามารถในการอ้วนน้ำของลูกชิ้นตัวอย่างควบคุมที่มีค่าค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ผู้ทดสอบยังให้ความเห็นว่า ลูกชิ้นปลามีเนื้อสัมผัสที่ละเอียด ไม่ยืดหยุ่น

ตารางที่ 12 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย* $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่างควบคุม	วุ้นร้อยละ 1.0	วุ้นร้อยละ 1.5	วุ้นร้อยละ 2.0
ลักษณะปรากฏ	6.94 <sup>a</sup> $\pm$ 0.99	6.61 <sup>a</sup> $\pm$ 0.85	6.33 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.24	5.72 <sup>b</sup> $\pm$ 1.36
สี	7.06 <sup>a</sup> $\pm$ 0.94	6.94 <sup>a</sup> $\pm$ 0.99	6.72 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.18	6.22 <sup>b</sup> $\pm$ 1.26
กลิ่น <sup>ns</sup>	6.00 $\pm$ 1.49	5.89 $\pm$ 1.32	5.78 $\pm$ 1.59	5.72 $\pm$ 1.27
รสชาติ <sup>ns</sup>	5.11 $\pm$ 1.71	4.61 $\pm$ 1.82	4.78 $\pm$ 1.52	4.61 $\pm$ 1.61
เนื้อสัมผัส	3.06 <sup>a</sup> $\pm$ 1.35	2.78 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.16	2.50 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.98	2.11 <sup>c</sup> $\pm$ 0.90
ความชอบรวม <sup>ns</sup>	4.28 $\pm$ 1.56	4.06 $\pm$ 1.21	3.89 $\pm$ 1.37	3.72 $\pm$ 1.32

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

และรุ่นที่เติมลงไปมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ ขณะเคี้ยว ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับลูกชิ้นทั้ง 5 ตัวอย่าง ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านสีของลูกชิ้นที่ลดลงเมื่อเติมวุ้นมากขึ้น (ร้อยละ 1.5 และ 2.0) เกิดจากวุ้นที่เติมลงไปมีการกระจายตัวเป็นเม็ดสีขาวขุ่นอยู่ในลูกชิ้นค่อนข้างมากทำให้ลูกชิ้นมีความขาวลดลง

### 3.1.2 การประเมินคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A (ตารางที่ 13) พบว่า การเติมวุ้นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้ค่า breaking force เพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) มากกว่าตัวอย่างควบคุม และ breaking distance ที่ต่ำกว่าเช่นเดียวกับที่เติมในเจลที่ผลิตจากปลาปากคม โดยการเติมวุ้นที่ร้อยละ 1.0 และ 1.5 ให้ค่าความแข็งแรงเจลไม่ต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ขณะที่การเติมวุ้นร้อยละ 2.0 ให้ค่าความแข็งแรงเจลสูงที่สุด (357.66 กรัม. ซม.) ( $p < 0.05$ ) โดยเพิ่มขึ้น 0.18 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ผลการวิเคราะห์ TPA พบว่า การเติมวุ้นในลูกชิ้น ให้ค่า hardness (53.89 – 58.67 นิวตัน) ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) และมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (46.93 นิวตัน) ( $p < 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับค่า breaking force ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันการเติมวุ้นมากขึ้นมีผลทำให้ค่า cohesiveness และ springiness ของเจลลูกชิ้นปลาลดลง นั่นคือ การเติมวุ้นทำให้เจลโปรตีนปลา มีแรงเกาะตัวและความยืดหยุ่นลดลง โดยลูกชิ้นที่เติมวุ้นร้อยละ 2.0 มีค่า cohesiveness และ springiness น้อยที่สุด คือ 0.609 และ 0.838 ตามลำดับ ( $p < 0.05$ )

ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการทดสอบการพับ พบว่า ลูกชิ้นที่เติมวุ้นมีค่าความขาวลดลง โดยมีค่าความขาวอยู่ในช่วง 70.36 – 70.93 ส่วนความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) จากตัวอย่างควบคุมในทำนองเดียวกันกับการเติมวุ้นในซูริมิปลาปากคม โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 93.64 – 94.49 สำหรับการทดสอบการพับ พบว่า ลูกชิ้นทุกตัวอย่างมีค่าทดสอบการพับ คือ AA ไม่มีรอยแตกเมื่อพับเป็น 4 ส่วน

ตารางที่ 13 สมบัติทางกายภาพของเจลของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มี การเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่างควบคุม	วุ้นร้อยละ 1.0	วุ้นร้อยละ 1.5	วุ้นร้อยละ 2.0
breaking force (กรัม)	276.68 <sup>c</sup> ± 33.34	324.22 <sup>b</sup> ± 27.76	324.45 <sup>b</sup> ± 15.22	395.55 <sup>a</sup> ± 12.80
breaking distance (มิลลิเมตร)	10.97 <sup>a</sup> ± 0.84	8.94 <sup>b</sup> ± 0.39	8.47 <sup>b</sup> ± 0.92	9.04 <sup>b</sup> ± 0.12
ความแข็งแรงเจล (กรัม. ซม.)	302.92 <sup>b</sup> ± 37.96	290.62 <sup>b</sup> ± 37.31	275.52 <sup>b</sup> ± 40.09	357.66 <sup>a</sup> ± 9.49
hardness (นิวตัน)	46.93 <sup>b</sup> ± 3.64	58.67 <sup>a</sup> ± 1.77	53.89 <sup>a</sup> ± 4.19	54.42 <sup>a</sup> ± 5.39
cohesiveness	0.659 <sup>a</sup> ± 0.002	0.652 <sup>a</sup> ± 0.014	0.633 <sup>b</sup> ± 0.009	0.609 <sup>c</sup> ± 0.019
springiness	0.878 <sup>a</sup> ± 0.012	0.862 <sup>a</sup> ± 0.016	0.858 <sup>ab</sup> ± 0.015	0.838 <sup>b</sup> ± 0.016
ความขาว	72.46 <sup>a</sup> ± 1.19	70.93 <sup>b</sup> ± 0.42	70.36 <sup>b</sup> ± 0.97	70.86 <sup>b</sup> ± 1.21
ความสามารถใน การอุ้มน้ำ (ร้อยละ)	92.56 <sup>b</sup> ± 0.64	94.49 <sup>a</sup> ± 0.59	93.96 <sup>a</sup> ± 0.31	93.64 <sup>a</sup> ± 0.17
ทดสอบการพับ	AA	AA	AA	AA

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 14) พบว่า คะแนนเฉลี่ย ความชอบด้าน กลิ่น และรสชาติของลูกชิ้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) โดยมีคะแนน ในระดับชอบเล็กน้อย ขณะที่ลักษณะปรากฏ และสีของลูกชิ้นมีคะแนนลดลงเมื่อเติมวุ้นมากขึ้น เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับลูกชิ้นที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม ส่วนคะแนนด้านเนื้อสัมผัสและ ความชอบรวมพบว่า ลูกชิ้นที่เติมวุ้นร้อยละ 2.0 ( $p < 0.05$ ) มีคะแนนต่ำที่สุดคืออยู่ในระดับเฉย ๆ และชอบเล็กน้อยตามลำดับ

ตารางที่ 14 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย* $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่างควบคุม	วุ้นร้อยละ 1.0	วุ้นร้อยละ 1.5	วุ้นร้อยละ 2.0
ลักษณะปรากฏ	6.95 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.02	7.38 <sup>a</sup> $\pm$ 0.59	6.19 <sup>c</sup> $\pm$ 1.21	6.67 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.91
สี	6.95 <sup>a</sup> $\pm$ 0.74	6.95 <sup>a</sup> $\pm$ 0.86	6.71 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.01	6.38 <sup>b</sup> $\pm$ 1.28
กลิ่น <sup>ns</sup>	6.57 $\pm$ 1.25	6.81 $\pm$ 1.36	6.48 $\pm$ 0.98	6.33 $\pm$ 0.91
รสชาติ <sup>ns</sup>	6.71 $\pm$ 1.10	6.29 $\pm$ 1.42	6.57 $\pm$ 1.47	6.09 $\pm$ 1.37
เนื้อสัมผัส	6.81 <sup>a</sup> $\pm$ 0.81	6.71 <sup>a</sup> $\pm$ 1.23	6.52 <sup>a</sup> $\pm$ 1.29	5.43 <sup>b</sup> $\pm$ 1.50
ความชอบรวม	6.95 <sup>a</sup> $\pm$ 0.80	7.09 <sup>a</sup> $\pm$ 0.94	6.71 <sup>a</sup> $\pm$ 1.01	6.14 <sup>b</sup> $\pm$ 1.15

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

### 3.1.3 การประเมินคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดง เกรด SA

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา (ตารางที่ 15) พบว่า ผลของวุ้นที่เติมในลูกชิ้นต่อค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงเจลให้ผลในทิศทางตรงกันข้ามกับการเติมวุ้นในซูริมิปลาปากคม และซูริมิปลาทรายแดงเกรด A กล่าวคือ มีค่าดังกล่าวน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าลดลง 0.28 – 0.44 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้ อาจเกิดจากวุ้นไปขัดขวางการเกิดเจลของโปรตีนปลาส่งผลให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงเจลลดลง ขณะที่ผลการวิเคราะห์ TPA พบว่า ลูกชิ้นที่เติมวุ้นมีค่า cohesiveness และ springiness มีแนวโน้มลดลงในทำนองเดียวกันกับการเติมวุ้นในซูริมิปลาทรายแดงเกรด A แต่ไม่พบความแตกต่างของค่า hardness ( $p > 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าการเติมวุ้นทำให้เจลของลูกชิ้นปลามีแรงเกาะตัวและความยืดหยุ่นลดลงเมื่อเติมวุ้นเพิ่มขึ้น ลูกชิ้นที่ได้จึงมีลักษณะแข็ง และร่วน

ตารางที่ 15 สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่างควบคุม	วุ้นร้อยละ 1.0	วุ้นร้อยละ 1.5	วุ้นร้อยละ 2.0
breaking force (กรัม)	599.95 <sup>a</sup> ± 18.87	521.25 <sup>b</sup> ± 21.47	459.46 <sup>c</sup> ± 22.46	504.22 <sup>bc</sup> ± 10.29
breaking distance (มิลลิเมตร)	13.57 <sup>a</sup> ± 0.34	11.34 <sup>b</sup> ± 0.11	9.93 <sup>c</sup> ± 0.19	9.81 <sup>c</sup> ± 0.25
ความแข็งแรงเจล (กรัม. ซม.)	820.42 <sup>a</sup> ± 36.61	591.39 <sup>b</sup> ± 28.69	456.36 <sup>c</sup> ± 30.68	494.53 <sup>c</sup> ± 18.79
hardness <sup>ns</sup> (นิวตัน)	59.11 ± 4.39	61.33 ± 1.31	59.52 ± 0.53	63.09 ± 0.33
cohesiveness	0.679 <sup>a</sup> ± 0.003	0.641 <sup>b</sup> ± 0.006	0.614 <sup>c</sup> ± 0.005	0.607 <sup>c</sup> ± 0.004
springiness	0.891 <sup>a</sup> ± 0.002	0.876 <sup>b</sup> ± 0.003	0.846 <sup>c</sup> ± 0.003	0.837 <sup>d</sup> ± 0.007
ความขาว	67.67 <sup>a</sup> ± 0.37	66.48 <sup>a</sup> ± 0.35	66.73 <sup>a</sup> ± 1.61	65.21 <sup>b</sup> ± 0.60
ความสามารถในการอุ้มน้ำ <sup>ns</sup> (ร้อยละ)	88.91 ± 0.49	89.16 ± 0.53	89.06 ± 0.42	88.89 ± 0.77
ทดสอบการพับ	AA	AA	AA	AA

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ค่าความขาวของลูกชิ้นอยู่ในช่วง 65.21 – 67.67 โดยลูกชิ้นที่เติมวุ้นร้อยละ 2.0 มีค่าความขาวต่ำที่สุด คือ 65.21 ( $p < 0.05$ ) ขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของทุกตัวอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามแม้ว่าการเติมวุ้นจะทำให้ความแข็งแรงเจลลดลง แต่เมื่อนำไปทดสอบการพับ พบว่า มีค่าการทดสอบการพับของทุกตัวอย่าง คือ AA ไม่มีรอยแตกเมื่อพับเป็น 4 ส่วน ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบการพับเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแยกซูริมิ

คุณภาพสูงออกจากคุณภาพต่ำ แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างของคุณภาพซูริมิที่แสดงความสามารถการเกิดเจล (gelling ability) ดีถึงดีมากได้ (Lanier, 1992)

ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้น (ตารางที่ 16) พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านสี และ กลิ่น ของลูกชิ้นทุกตัวอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) และลูกชิ้นที่เติมวุ้นร้อยละ 1.0 มีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้าน ลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบรวม ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) ขณะที่คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมของลูกชิ้นเติมวุ้นเข้มข้นร้อยละ 2.0 มีคะแนนต่ำสุด ( $p<0.05$ ) คืออยู่ในระดับเฉย ๆ ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้ความเห็นในการทำงานเดียวกันกับลูกชิ้นที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม และซูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงเกรด A

ตารางที่ 16 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ย* $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่างควบคุม	วุ้นร้อยละ 1.0	วุ้นร้อยละ 1.5	วุ้นร้อยละ 2.0
ลักษณะปรากฏ	7.62 <sup>a</sup> $\pm$ 0.97	7.14 <sup>a</sup> $\pm$ 0.91	6.38 <sup>b</sup> $\pm$ 1.16	6.43 <sup>b</sup> $\pm$ 1.36
สี <sup>ns</sup>	7.52 $\pm$ 0.98	7.48 $\pm$ 0.87	7.14 $\pm$ 0.79	7.43 $\pm$ 0.81
กลิ่น <sup>ns</sup>	6.28 $\pm$ 1.15	6.33 $\pm$ 1.06	6.19 $\pm$ 1.08	6.19 $\pm$ 1.17
รสชาติ	6.76 <sup>a</sup> $\pm$ 1.37	6.28 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.34	5.95 <sup>b</sup> $\pm$ 1.02	5.80 <sup>b</sup> $\pm$ 0.98
เนื้อสัมผัส	7.24 <sup>a</sup> $\pm$ 1.22	7.09 <sup>a</sup> $\pm$ 0.99	6.62 <sup>a</sup> $\pm$ 0.97	5.80 <sup>b</sup> $\pm$ 1.08
ความชอบรวม	7.14 <sup>a</sup> $\pm$ 0.72	6.76 <sup>a</sup> $\pm$ 0.89	6.24 <sup>b</sup> $\pm$ 0.83	5.85 <sup>b</sup> $\pm$ 0.91

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

เมื่อพิจารณาผลของวุ้นที่มีต่อคุณภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิ พบว่า วุ้นที่เตรียมได้อาจไม่เหมาะสมในการใช้ปรับปรุงคุณภาพของเจลซูริมิ กล่าวคือ การเติมวุ้นทำให้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีเม็ดวุ้นแทรกตัวอยู่ในลูกชิ้น เมื่อ

เดี่ยวยจะรู้สึกมีเมื่คว้นติดอยู่ที่ล้น ขณะที่ค่า breaking force และค่า hardness ที่เพิ่มขึ้นของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม และซูริมิปลาทรายแดงเกรด A เมื่อเติมวุ้นร้อยละ 2 อาจเกิดจากแรงต้านหัวกดของเครื่องวัดเนื้อสัมผัสเมื่อสัมผัสไปที่เมื่คว้นที่แทรกตัวอยู่ในเจลซูริมิแทนที่จะเป็นเนื้อเจลซูริมิ ดังนั้นจึงไม่คัดเลือกว่าไปใช้ในการศึกษาต่อไป

### 3.2 ผลของคาร์ราจีแนนที่มีต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิ

#### 3.2.1 การประเมินคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม

สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาทั้ง 5 ตัวอย่าง (ตารางที่ 17) พบว่า เมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้นทำให้เจลลูกชิ้นมีค่า breaking force, ความแข็งแรงเจล, hardness และ cohesiveness เพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) ขณะที่ค่า breaking distance และ springiness ไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงว่าการเติมคาร์ราจีแนนในซูริมิปลาปากคมทำให้เจลลูกชิ้นที่ได้มีลักษณะแข็ง ยืดหยุ่นและมีแรงเกาะตัวในเจลที่สูงกว่าตัวอย่างควบคุม โดยการเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 2.0 มีค่า breaking force (215.97 กรัม), breaking distance (4.27 มิลลิเมตร), ความแข็งแรงเจล (92.10 กรัม. ซม.), hardness (50.96 นิวตัน), cohesiveness (0.327) และ springiness (0.881) สูงที่สุด

ความแข็งแรงเจล และ hardness ที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลเนื่องมาจากการจับกับน้ำของคาร์ราจีแนนและเกิดเจลขึ้นในเจลโปรตีนปลา หรือเกิดจากหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโครงสร้างของคาร์ราจีแนนทำปฏิกิริยากับไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ส่งผลให้เจลของลูกชิ้นปลาที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น Montero *et al.* (2000) รายงานว่า สารไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดสามารถให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่แตกต่างกัน โดยสารไฮโดรคอลลอยด์จะขยายตัวในลักษณะการผนวกเข้าด้วยกันกับโปรตีน โดยสร้างเป็นโพรง (cavity) ที่มีรูปร่างและขนาดที่ต่างกัน กล่าวคือ สารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุลบจะเกิดการผสมอย่างสม่ำเสมอในเมทริกซ์โปรตีน โดยอาจผ่านการเกิดปฏิกิริยากับไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ขณะที่ไฮโดรคอลลอยด์กลุ่มที่ไม่มีประจุจะกระจายตัวตลอดเมทริกซ์โปรตีนแต่ไม่เกิดปฏิกิริยากับโปรตีนและสร้างรูปร่างอย่างง่าย ๆ แทรกตัวผนวกเข้าด้วยกันกับโปรตีน

ตารางที่ 17 สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมที่มีการเติมคาร์รัจี้เนนความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่าง	คาร์รัจี้เนน	คาร์รัจี้เนน	คาร์รัจี้เนน
	ควบคุม	ร้อยละ 0.5	ร้อยละ 1.0	ร้อยละ 2.0
breaking force (กรัม)	131.83 <sup>d</sup> ± 2.66	172.30 <sup>c</sup> ± 5.32	187.40 <sup>b</sup> ± 3.21	215.97 <sup>a</sup> ± 3.13
breaking distance (มิลลิเมตร)	3.88 <sup>b</sup> ± 0.20	4.18 <sup>a</sup> ± 0.05	4.23 <sup>a</sup> ± 0.15	4.27 <sup>a</sup> ± 0.15
ความแข็งแรงเจล (กรัม. ซม.)	59.19 <sup>d</sup> ± 2.46	72.02 <sup>c</sup> ± 3.03	79.30 <sup>b</sup> ± 3.41	92.10 <sup>a</sup> ± 1.95
hardness (นิวตัน)	21.48 <sup>d</sup> ± 2.04	26.75 <sup>c</sup> ± 0.62	37.78 <sup>b</sup> ± 0.77	50.96 <sup>a</sup> ± 1.71
cohesiveness	0.230 <sup>b</sup> ± 0.012	0.257 <sup>b</sup> ± 0.005	0.272 <sup>b</sup> ± 0.034	0.327 <sup>a</sup> ± 0.024
springiness	0.722 <sup>b</sup> ± 0.052	0.853 <sup>a</sup> ± 0.018	0.880 <sup>a</sup> ± 0.008	0.881 <sup>a</sup> ± 0.002
ความขาว	64.45 <sup>a</sup> ± 2.12	64.36 <sup>a</sup> ± 0.42	62.59 <sup>b</sup> ± 0.26	59.91 <sup>c</sup> ± 0.48
ความสามารถในการ อุ้มน้ำ (ร้อยละ)	66.60 <sup>c</sup> ± 2.37	69.28 <sup>c</sup> ± 2.72	76.98 <sup>b</sup> ± 1.27	82.13 <sup>a</sup> ± 1.28
ทดสอบการพับ	D	C	B	B

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ผลการทดสอบความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการทดสอบการพับของเจลลูกชิ้นปลา พบว่า ตัวอย่างควบคุม และการเติมคาร์รัจี้เนนร้อยละ 0.5 ทำให้เจลลูกชิ้นปลามีค่าความขาวไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) และมีค่ามากกว่าการเติมคาร์รัจี้เนนที่ร้อยละ 1.0 และ 2.0 ( $p < 0.05$ ) โดยการเติมคาร์รัจี้เนนที่ร้อยละ 2.0 เจลมีค่าความขาวต่ำสุด (59.91) ทั้งนี้เนื่องจากคาร์รัจี้เนนที่ใช้มีลักษณะเป็นผงสีขาวนวลปนเทาเมื่อเติมในปริมาณที่มากจึงทำให้ลูกชิ้นมีสีคล้ำขึ้น

ส่งผลให้ความยาวลดลง ขณะที่ความสามารถในการอ้วนน้ำ พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 2.0 ทำให้เจลของลูกชิ้นมีความสามารถในการอ้วนน้ำสูงสุด คือ ร้อยละ 82.13 ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเกิดจากคาร์ราจีแนนไปจับกับน้ำและเกิดเจลในโครงข่ายของโปรตีน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gomez-Guillen and Montero (1995) ที่รายงานว่า การเติมคาร์ราจีแนนในปลาคุณภาพต่ำ และคุณภาพสูงที่มีการผสมเกลือร้อยละ 1.5 และ 2.5 ช่วยเพิ่มความสามารถในการอ้วนน้ำให้กับเจลโปรตีนปลาซาร์ดีนได้ สำหรับค่าการทดสอบการพับ พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนทำให้มีค่าทดสอบการพับเพิ่มขึ้น โดยการเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีค่าทดสอบการพับสูงสุดคือ B มีรอยแตกหรือฉีกขาดเล็กน้อยเมื่อพับเป็น 2 ส่วน ขณะที่การเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 0.5 และตัวอย่างควบคุมมีค่าทดสอบการพับเท่ากับ C และ D ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับค่า breaking force และความแข็งแรงเจล ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบการพับเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแยกชูริมิคุณภาพสูงจากคุณภาพต่ำ แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างคุณภาพของชูริมิที่มีความสามารถในการเกิดเจลที่ดีได้ (Lanier, 1992) ดังนั้นจึงทำให้แยกความแตกต่างเจลชูริมิจากปลาปากคมซึ่งมีคุณภาพเจลด่ำได้อย่างชัดเจน

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากชูริมิปลาปากคม (ตารางที่ 18) พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้าน กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านรสชาติ และความชอบรวม มีคะแนนอยู่ในช่วงไม่ชอบมากถึงไม่ชอบเล็กน้อย ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่า การเติมคาร์ราจีแนนทำให้ลูกชิ้นมีรสขม และรสชาติติดค้ำที่ลิ้น ส่วนคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏของตัวอย่างควบคุม และการเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 0.5 และ 1.0 พบว่าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ขณะที่สีของลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 2.0 มีคะแนนความชอบน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาด้านเนื้อสัมผัส พบว่า มีคะแนนอยู่ในช่วงไม่ชอบมากที่สุดถึงไม่ชอบมาก ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นมีลักษณะละเอียดในปาก และขาดความยืดหยุ่น ดังนั้นผู้ทดสอบจึงไม่ยอมรับลูกชิ้นที่ผลิตจากชูริมิปลาปากคม

ตารางที่ 18 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมที่มีการเติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย* $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่างควบคุม	คาร์ราจีเนน ร้อยละ 0.5	คาร์ราจีเนน ร้อยละ 1.0	คาร์ราจีเนน ร้อยละ 2.0
ลักษณะปรากฏ	6.36 <sup>a</sup> $\pm$ 1.78	5.92 <sup>a</sup> $\pm$ 1.54	5.57 <sup>a</sup> $\pm$ 1.34	3.93 <sup>b</sup> $\pm$ 1.38
สี	6.86 <sup>a</sup> $\pm$ 1.41	6.28 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.07	5.71 <sup>b</sup> $\pm$ 1.27	4.71 <sup>c</sup> $\pm$ 1.20
กลิ่น <sup>ns</sup>	5.21 $\pm$ 1.12	5.36 $\pm$ 1.59	5.14 $\pm$ 1.17	5.21 $\pm$ 1.53
รสชาติ <sup>ns</sup>	2.86 $\pm$ 1.66	3.28 $\pm$ 1.44	3.43 $\pm$ 1.83	3.14 $\pm$ 1.51
เนื้อสัมผัส	1.28 <sup>b</sup> $\pm$ 0.47	2.36 <sup>a</sup> $\pm$ 1.64	2.43 <sup>a</sup> $\pm$ 1.22	2.78 <sup>a</sup> $\pm$ 1.48
ความชอบรวม <sup>ns</sup>	2.14 $\pm$ 1.03	2.64 $\pm$ 1.28	2.78 $\pm$ 1.42	3.07 $\pm$ 1.64

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

### 3.2.2 การประเมินคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A

สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา (ตารางที่ 19) พบว่า การเติมคาร์ราจีเนนที่ร้อยละ 0.5 ทำให้เจลของลูกชิ้นมีค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงเจลมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) โดยความแข็งแรงเจลของเจลลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5 มีค่าเท่ากับ 405.42 กรัม. ซม. และเพิ่มขึ้น 0.19 เท่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ขณะที่การเติมคาร์ราจีเนนที่ร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีผลทำให้ค่า breaking distance และความแข็งแรงเจลมีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการเติมคาร์ราจีเนนในซูริมิปลาปากคม นั่นคือ มีค่าดังกล่าวลดลงเมื่อเติมคาร์ราจีเนนปริมาณมากขึ้น

ความแข็งแรงเจลที่ลดลงเมื่อมีการเติมคาร์ราจีเนนมากขึ้นเกิดจากคาร์ราจีเนนมีประจุลบเมื่อใส่ในปริมาณเพิ่มขึ้นประจุลบอาจผลักกันระหว่างประจุเองหรืออาจผลักกับประจุของไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนส่งผลให้การประสานตัวของโปรตีนปลาน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Ramirez *et al.* (2002) ที่รายงานว่า การเติมแซนแทนกัมและโลคัสทีบีนกัมลงในซูร์มิจากปลาซิลเวอร์คาร์ปมีผลให้สมบัติเชิงกลของเจลซูร์มิลดลง ทั้งนี้เนื่องจากแซนแทนกัมมีประจุลบซึ่งสามารถเกิดแรงผลักรันกับประจุลบของโปรตีนในซูร์มิส่งผลให้โมเลกุลโปรตีนจับประสานตัวได้น้อยลง ขณะที่โลคัสทีบีนกัมทำหน้าที่เป็นสารเติมเต็มซึ่งหากเติมที่ความเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลขัดขวางการจับประสานตัวของโปรตีนกล้ำเนื้อส่งผลให้ซูร์มิมีความแข็งแรงเจลน้อยลง ส่วนการลดลงของ breaking distance เมื่อใส่คาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้นเกิดจากน้ำถูกกักไว้ในโปรตีนได้มากขึ้น ส่งผลให้เจลที่ได้ง่ายต่อการเสียรูป (deformable gel) มากกว่าตัวอย่างที่เติมคาร์ราจีแนนน้อย ๆ

ผลการทดสอบ TPA ของเจลลูกชิ้นปลา พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนทำให้ค่า hardness, cohesiveness และ springiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันกับการเติมคาร์ราจีแนนในซูร์มิปลาปากคม โดยการเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 2.0 ทำให้เจลของลูกชิ้นมีค่าทั้งสามสูงที่สุด ( $p < 0.05$ ) ซึ่งแสดงว่าการเติมคาร์ราจีแนนทำให้เจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูร์มิปลาทรายแดงเกรด A มีลักษณะแข็ง ยืดหยุ่น และมีแรงเกาะตัวมากขึ้น ทั้งนี้ผลของค่า hardness ที่วิเคราะห์ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Perez-Mateos and Montero (2000) ที่พบว่า การเติมแคลปาคาร์ราจีแนนปริมาณมากขึ้นทำให้ค่า hardness ของเจลสูงขึ้น เนื่องจากแคลปาคาร์ราจีแนนมีการกระจายตัวบางส่วนเข้าไปแทรกตัวในโครงข่ายการเกิดเจลของโปรตีนแล้วจึงเกิดเจลขึ้น

ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการทดสอบการพับ พบว่า เจลของลูกชิ้นมีค่าความขาวลดลงเมื่อเติมคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) การเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 และ 1.0 ทำให้เจลลูกชิ้นปลาที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่น้อยกว่าตัวอย่างควบคุมและการเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 2.0 ( $p < 0.05$ ) ส่วนการทดสอบการพับของลูกชิ้นทุกตัวอย่างมีค่าทดสอบการพับ คือ AA ไม่มีรอยแตกเมื่อพับเป็น 4 ส่วน

ตารางที่ 19 สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่าง ควบคุม	คาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.5	คาร์ราจีแนน ร้อยละ 1.0	คาร์ราจีแนน ร้อยละ 2.0
breaking force (กรัม)	318.25 <sup>b</sup> ± 12.90	364.98 <sup>a</sup> ± 20.77	303.08 <sup>b</sup> ± 5.58	299.88 <sup>b</sup> ± 21.80
breaking distance (มิลลิเมตร)	10.73 <sup>a</sup> ± 0.19	11.09 <sup>a</sup> ± 0.46	8.87 <sup>b</sup> ± 0.14	8.16 <sup>c</sup> ± 0.33
ความแข็งแรงเจล (กรัม. ซม.)	341.59 <sup>b</sup> ± 20.21	405.42 <sup>a</sup> ± 39.63	268.97 <sup>c</sup> ± 9.16	245.05 <sup>c</sup> ± 22.72
hardness (นิวตัน)	49.66 <sup>c</sup> ± 2.27	53.20 <sup>bc</sup> ± 3.82	56.81 <sup>b</sup> ± 2.92	67.56 <sup>a</sup> ± 5.05
cohesiveness	0.647 <sup>c</sup> ± 0.012	0.662 <sup>bc</sup> ± 0.014	0.657 <sup>c</sup> ± 0.018	0.678 <sup>a</sup> ± 0.013
springiness	0.887 <sup>b</sup> ± 0.017	0.872 <sup>ab</sup> ± 0.006	0.882 <sup>a</sup> ± 0.007	0.893 <sup>a</sup> ± 0.007
ความขาว	72.28 <sup>a</sup> ± 0.60	70.27 <sup>b</sup> ± 0.25	69.50 <sup>c</sup> ± 0.69	67.55 <sup>d</sup> ± 0.24
ความสามารถใน การอุ้มน้ำ (ร้อยละ)	94.71 <sup>a</sup> ± 0.29	93.76 <sup>ab</sup> ± 0.85	93.32 <sup>b</sup> ± 0.32	94.71 <sup>a</sup> ± 0.37
ทดสอบการพับ	AA	AA	AA	AA

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้น (ตารางที่ 20) พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏ และ กลิ่น ไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) ขณะที่คุณลักษณะด้านสีมีคะแนนลดลงเช่นเดียวกับกับลูกชิ้นที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม ส่วนคุณลักษณะด้านรสชาติ, เนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 2.0 มีคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด ทั้งนี้ ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าลูกชิ้นมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งเปราะ และมีรสขมติดลิ้นเล็กน้อย ในทางตรงกันข้ามการเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 0.5 ทำให้ลูกชิ้นมีคะแนนด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมสูงสุด ( $p<0.05$ ) คืออยู่ในระดับชอบปานกลาง ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นมีความยืดหยุ่นพอดี

ตารางที่ 20 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่เติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย* $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่าง ควบคุม	คาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.5	คาร์ราจีแนน ร้อยละ 1.0	คาร์ราจีแนน ร้อยละ 2.0
ลักษณะปรากฏ <sup>ns</sup>	7.08 $\pm$ 1.18	6.92 $\pm$ 0.78	6.62 $\pm$ 1.09	6.62 $\pm$ 0.82
สี	7.38 <sup>a</sup> $\pm$ 0.92	7.21 <sup>a</sup> $\pm$ 0.78	6.75 <sup>b</sup> $\pm$ 1.11	6.71 <sup>b</sup> $\pm$ 1.16
กลิ่น <sup>ns</sup>	6.42 $\pm$ 1.35	6.67 $\pm$ 0.92	6.83 $\pm$ 1.24	6.42 $\pm$ 0.88
รสชาติ	6.79 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.88	7.04 <sup>a</sup> $\pm$ 1.08	6.50 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.18	6.38 <sup>b</sup> $\pm$ 1.31
เนื้อสัมผัส	6.58 <sup>b</sup> $\pm$ 1.06	7.29 <sup>a</sup> $\pm$ 0.75	6.54 <sup>b</sup> $\pm$ 1.14	5.92 <sup>c</sup> $\pm$ 1.66
ความชอบรวม	6.85 <sup>a</sup> $\pm$ 1.02	7.10 <sup>a</sup> $\pm$ 0.88	6.62 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.01	6.12 <sup>b</sup> $\pm$ 1.19

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

### 3.3 ผลของการรั้งเอ็นที่มีต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด

SA

#### 3.3.1 การประเมินคุณภาพของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA

สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา (ตารางที่ 21) พบว่า เมื่อเติมคาร์รั้งเอ็น ทำให้เจลลูกชิ้นปลามีค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงเจลในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการเติมคาร์รั้งเอ็นในซูริมิปลาปากคม และซูริมิปลาทรายแดงเกรด A โดยลูกชิ้นที่เติมคาร์รั้งเอ็นมีค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงเจลลดลง 0.08 - 0.17 เท่า, 0.18 - 0.23 เท่า และ 0.30 - 0.32 เท่า ตามลำดับ โดยมีค่าดังกล่าวอยู่ในช่วง 496.69 - 549.44 กรัม, 10.43 - 11.51 มิลลิเมตร และ 558.87 - 572.91 กรัม. ซม. ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติมคาร์รั้งเอ็นในซูริมิเกรด SA ที่จัดว่ามีคุณภาพสูงทำให้เจลมีความเปราะเพิ่มขึ้น และความแข็งแรงลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการรั้งเอ็นที่เติมลงไปอาจไปขัดขวางการเกิดเจลในโปรตีนของลูกชิ้นปลา

ผลการทดสอบ TPA พบว่า เมื่อเติมคาร์รั้งเอ็นปริมาณมากขึ้นทำให้ค่า hardness ของเจลลูกชิ้นมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการเติมคาร์รั้งเอ็นในซูริมิปลาปากคม และซูริมิปลาทรายแดงเกรด A โดยการเติมคาร์รั้งเอ็นร้อยละ 2.0 มีค่า hardness สูงสุดคือ 73.48 นิวตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 0.24 เท่าของตัวอย่างควบคุม ส่วนค่า springiness ของลูกชิ้นที่เติมคาร์รั้งเอ็นร้อยละ 0.5 และ 1.0 มีค่าต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) ขณะที่ค่า cohesiveness ของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ )

ค่าความขาว ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการทดสอบการพับของเจลลูกชิ้น พบว่า การเติมคาร์รั้งเอ็นเพิ่มมากขึ้นทำให้เจลลูกชิ้นมีค่าความขาวลดลง ( $p < 0.05$ ) เช่นเดียวกับค่าความขาวของเจลลูกชิ้นที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม และซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่อนข้างใกล้เคียงกัน (ช่วงร้อยละ 88.22 - 89.19) ส่วนการทดสอบการพับ พบว่า มีค่าทดสอบการพับของทุกตัวอย่าง คือ AA ไม่มีรอยแตกเมื่อพับเป็น 4 ส่วน

ตารางที่ 21 สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่าง ควบคุม	คาร์ราจีเนน ร้อยละ 1.0	คาร์ราจีเนน ร้อยละ 1.5	คาร์ราจีเนน ร้อยละ 2.0
breaking force (กรัม)	599.95 <sup>a</sup> ± 18.87	496.69 <sup>c</sup> ± 15.60	503.85 <sup>c</sup> ± 17.52	549.44 <sup>b</sup> ± 7.38
breaking distance (มิลลิเมตร)	13.57 <sup>a</sup> ± 0.34	11.51 <sup>b</sup> ± 0.08	11.09 <sup>b</sup> ± 0.25	10.43 <sup>c</sup> ± 0.22
ความแข็งแรงเจล (กรัม. ซม.)	820.42 <sup>a</sup> ± 36.61	571.45 <sup>b</sup> ± 14.14	558.87 <sup>b</sup> ± 31.09	572.91 <sup>b</sup> ± 15.85
hardness (นิวตัน)	59.11 <sup>b</sup> ± 4.39	58.43 <sup>b</sup> ± 1.54	61.46 <sup>b</sup> ± 2.01	73.48 <sup>a</sup> ± 1.24
cohesiveness <sup>ns</sup>	0.679 ± 0.003	0.675 ± 0.010	0.674 ± 0.013	0.683 ± 0.012
springiness	0.891 <sup>a</sup> ± 0.002	0.885 <sup>b</sup> ± 0.004	0.883 <sup>b</sup> ± 0.002	0.890 <sup>a</sup> ± 0.003
ความขาว	67.67 <sup>a</sup> ± 0.37	66.50 <sup>b</sup> ± 0.42	64.79 <sup>c</sup> ± 0.70	61.28 <sup>d</sup> ± 0.75
ความสามารถใน การอุ้มน้ำ (ร้อยละ)	88.91 <sup>ab</sup> ± 0.49	88.22 <sup>b</sup> ± 0.27	88.90 <sup>ab</sup> ± 0.40	89.19 <sup>a</sup> ± 0.32
ทดสอบการพับ	AA	AA	AA	AA

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05)

ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้น (ตารางที่ 22) พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ขณะที่คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกัน (p>0.05) โดยลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีเนนมีคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วงคะแนนเฉย ๆ ถึง ชอบเล็กน้อย ซึ่งลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5 มีคะแนนไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (p<0.05) ลูกชิ้นที่เติม

คาร์ราจีเนนร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีคะแนนอยู่ในช่วงไม่ชอบเล็กน้อย ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่า ลูกชิ้นมีรสชาติขมติดลิ้นเล็กน้อย ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏและสี พบว่า ลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีเนนร้อยละ 1.0 และ 2.0 มีคะแนนอยู่ในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสีและปริมาณของคาร์ราจีเนนที่เติมลงไปทำให้ลูกชิ้นมีสีคล้ำขึ้น จึงส่งผลให้มีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ และความชอบรวมลดลง

ตารางที่ 22 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่เติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย* $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ตัวอย่างควบคุม	คาร์ราจีเนนร้อยละ 0.5	คาร์ราจีเนนร้อยละ 1.0	คาร์ราจีเนนร้อยละ 2.0
ลักษณะปรากฏ	7.47 <sup>a</sup> $\pm$ 0.94	6.59 <sup>b</sup> $\pm$ 1.00	5.53 <sup>c</sup> $\pm$ 0.94	4.82 <sup>d</sup> $\pm$ 0.81
สี	6.59 <sup>a</sup> $\pm$ 1.18	6.53 <sup>a</sup> $\pm$ 1.07	5.65 <sup>b</sup> $\pm$ 0.93	4.29 <sup>c</sup> $\pm$ 0.93
กลิ่น <sup>ns</sup>	6.06 $\pm$ 0.97	6.00 $\pm$ 0.94	5.76 $\pm$ 1.09	5.65 $\pm$ 0.93
รสชาติ	6.52 <sup>a</sup> $\pm$ 0.94	5.29 <sup>b</sup> $\pm$ 0.98	4.52 <sup>c</sup> $\pm$ 0.94	4.06 <sup>c</sup> $\pm$ 0.75
เนื้อสัมผัส	6.88 <sup>a</sup> $\pm$ 0.99	6.47 <sup>a</sup> $\pm$ 1.01	5.65 <sup>b</sup> $\pm$ 1.06	5.18 <sup>b</sup> $\pm$ 0.95
ความชอบรวม	6.35 <sup>a</sup> $\pm$ 0.99	6.18 <sup>a</sup> $\pm$ 0.95	5.35 <sup>b</sup> $\pm$ 0.99	4.53 <sup>c</sup> $\pm$ 0.63

\*<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

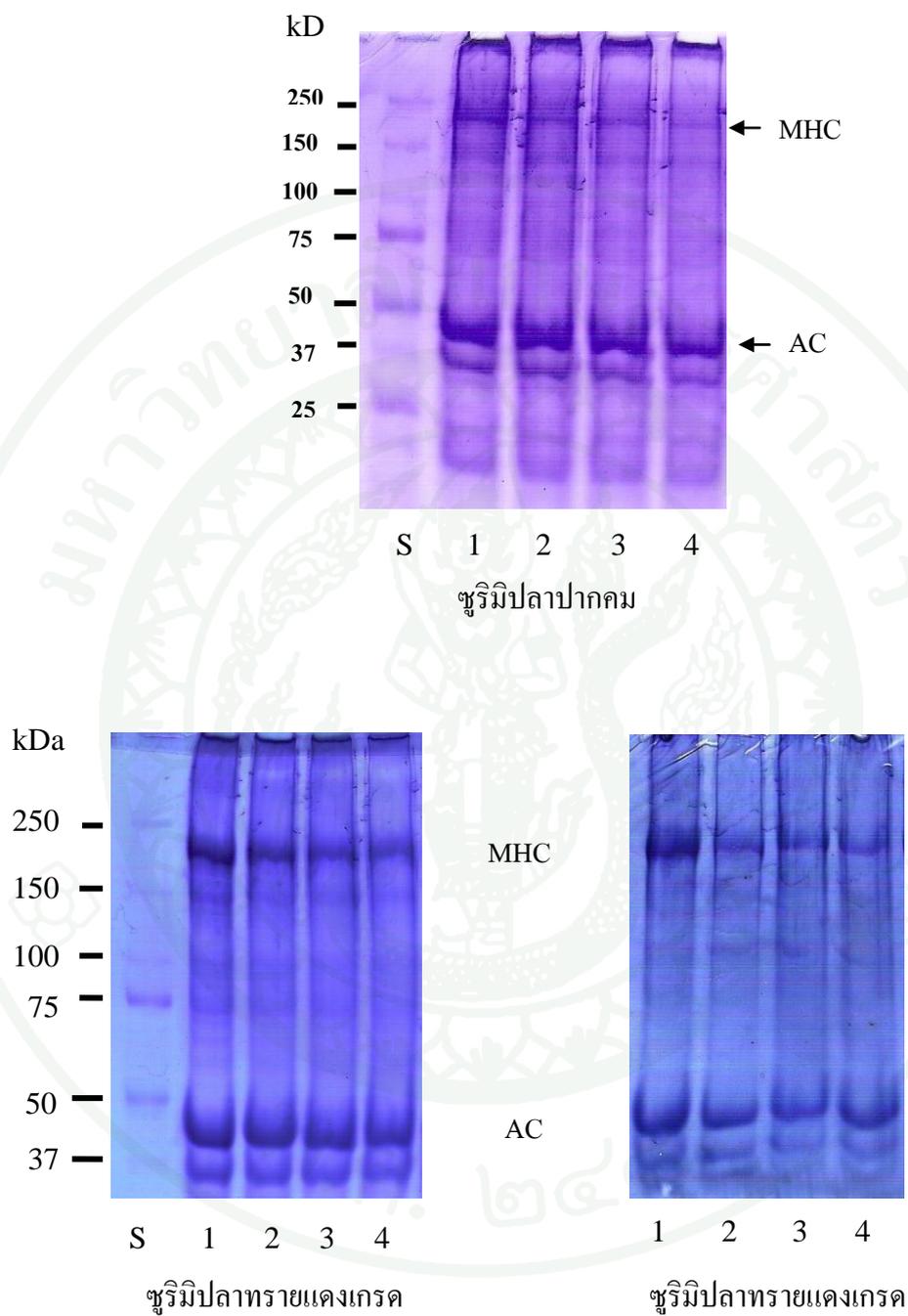
<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่เติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า คาร์ราจีเนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรงในประเทศไทยมีความเหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของเจลของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม และซูริมิปลาทรายแดงเกรด A ซึ่งเป็นซูริมิปลาที่มีคุณภาพของเจลค่อนข้างต่ำ และปานกลางตามลำดับ ในทางตรงข้ามการใช้คาร์ราจีเนนไม่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเจลของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ซึ่งจัดเป็นซูริมิปลาที่มีคุณภาพเจลสูง โดยปริมาณคาร์ราจีเนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรงในประเทศไทยที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจลของลูกชิ้น

ที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม และปลาทรายแดง เกรด A มากที่สุดคือร้อยละ 2.0 และ 0.5 ตามลำดับ แม้ว่า การใช้ปริมาณคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 2.0 จะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพเจลของซูริมิปลาปากคมก็ตาม แต่จากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ, สี และเนื้อสัมผัสมีคะแนนน้อยที่สุด รวมทั้งค่ามีความขาวดำที่ต่ำที่สุด ดังนั้น จึงคัดเลือกปริมาณคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 0.5 เพื่อนำไปทดสอบกับเนื้อปลาในการศึกษาต่อไป เนื่องจากให้ค่า breaking force, ความแข็งแรงเจล และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสสูง

### 3.4 ผลการตรวจสอบรูปแบบการกระจายตัวของ โปรตีนของเจล โปรตีนปลาผสมคาร์ราจีแนนที่ผลิตจากซูริมิด้วยวิธี Gel electrophoresis (SDS-PAGE)

การตรวจสอบ SDS-PAGE ของเจล โปรตีนปลาควบคุม และเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5, 1.0 และ 2.0 ที่ผลิตจากซูริมิทั้ง 3 ชนิดคือ ซูริมิปลาปากคม, ซูริมิปลาทรายแดง เกรด A และ ซูริมิปลาทรายแดง เกรด SA ที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างโดยผ่านการรีดิวซ์พันธะไดซัลไฟด์ด้วย  $\beta$ -mercaptoethanol (ภาพที่ 11) พบว่า ในแต่ละซูริมิ 3 ชนิด แถบ myosin heavy chain (MHC) และ actin ของเจลซูริมิทุกตัวอย่าง มีความเข้มของแถบไม่แตกต่างกันมาก และเมื่อพิจารณาแถบโปรตีนที่อยู่ภายใต้แถบไมโอซินซึ่งแสดงถึงโปรตีนที่เกิดจากการสลายตัว (degradation) ของไมโอซิน พบว่า แตกต่างกันอย่างน้อย แสดงว่าเจลโปรตีนปลาทั้งหมดมีการสลายตัวของไมโอซินที่ไม่แตกต่างกัน แต่จากผลของคาร์ราจีแนนที่เติมลงไป ในซูริมิทั้ง 3 ชนิดพบว่า เจลโปรตีนปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคม และซูริมิปลาทรายแดงเกรด A มีค่าความแข็งแรงเจลเพิ่มขึ้น แต่ให้ผลที่ตรงกันข้ามกับกับเจลโปรตีนปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ซึ่งความแตกต่างของค่าความแข็งแรงเจลที่วิเคราะห์ได้ไม่น่าเกิดจากการย่อยสลายโครงสร้างของโปรตีน แต่อาจเกิดจากคาร์ราจีแนนที่เติมลงไปอาจไปจับกับน้ำและเกิดเจลในโครงข่ายของโปรตีนหรือเกิดปฏิกิริยากับไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนทำให้ความแข็งแรงเจลเพิ่มขึ้น ขณะที่ความแข็งแรงเจลที่ลดลงเมื่อเติมคาร์ราจีแนนในซูริมิเกรด SA อาจเกิดจากประจุลบของคาร์ราจีแนนผลัดกันเอง หรือผลัดกับประจุของไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนทำให้ขัดขวางการประสานตัวของโปรตีน



ภาพที่ 11 SDS-PAGE ของเจลซูริมิที่ใส่คาร์ราจีแนน: (1) ตัวอย่างควบคุม, (2) คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5, (3) คาร์ราจีแนนร้อยละ 1.0, (4) คาร์ราจีแนนร้อยละ 2.0, S (โปรตีนมาตรฐาน); MHC (Myosin heavy chain), AC (Actin)

#### 4. ศึกษาผลของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากเนื้อปลาน้ำจืด

นำสภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 3 ซึ่งได้แก่การเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 มาใช้ในการผลิตลูกชิ้นปลาจากเนื้อปลานิล และปลานวลจันทร์น้ำจืด ผลการประเมินคุณภาพทางกายภาพและคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม มีดังนี้

##### 4.1 ลูกชิ้นปลานิล

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา (ตารางที่ 23) พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 ทำให้เจลลูกชิ้นปลานิลมีค่า breaking force, breaking distance, ความแข็งแรงเจล, hardness, cohesiveness, springiness การทดสอบการพับ และความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p>0.05$ ) และ ให้ค่าความขาวลดลงเล็กน้อย ( $p<0.05$ )

ตารางที่ 23 สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลานิลที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ตัวอย่างควบคุม	เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5
breaking force <sup>ns</sup> (กรัม)	299.60 $\pm$ 12.01	297.52 $\pm$ 17.35
breaking distance <sup>ns</sup> (มิลลิเมตร)	8.56 $\pm$ 0.38	8.20 $\pm$ 0.46
ความแข็งแรงเจล <sup>ns</sup> (กรัม. ซม.)	256.59 $\pm$ 20.98	244.61 $\pm$ 28.15
hardness <sup>ns</sup> (นิวตัน)	50.39 $\pm$ 1.87	51.37 $\pm$ 3.03
springiness <sup>ns</sup>	0.877 $\pm$ 0.009	0.887 $\pm$ 0.010
cohesiveness <sup>ns</sup>	0.607 $\pm$ 0.011	0.632 $\pm$ 0.012
ความขาว	68.92 <sup>a</sup> $\pm$ 0.22	67.25 <sup>b</sup> $\pm$ 0.76
ความสามารถในการอุ้มน้ำ <sup>ns</sup> (ร้อยละ)	94.03 $\pm$ 0.45	93.96 $\pm$ 1.35
ทดสอบการพับ	AA	AA

<sup>ab</sup>ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลานิล (ตารางที่ 24) พบว่า ลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 มีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) ขณะที่มีความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p<0.05$ ) โดยอยู่ในระดับชอบปานกลางแม้ว่าค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัสจะไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีแนนมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็ง และยืดหยุ่นกว่าตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเกิดจากผลของการเสริมฤทธิ์กันระหว่างแป้งที่เติมลงไปนในลูกชิ้นและคาร์ราจีแนน ทำให้ผลที่ได้แตกต่างจากผลของค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 24 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลานิลที่เติมคาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.5

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ตัวอย่างควบคุม	เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5
ลักษณะปรากฏ <sup>ns</sup>	7.25 $\pm$ 0.99	6.88 $\pm$ 0.89
สี <sup>ns</sup>	7.17 $\pm$ 0.92	6.96 $\pm$ 0.81
กลิ่น <sup>ns</sup>	6.83 $\pm$ 1.09	7.12 $\pm$ 1.29
รสชาติ <sup>ns</sup>	7.42 $\pm$ 0.93	7.38 $\pm$ 0.97
เนื้อสัมผัส	6.96 <sup>b</sup> $\pm$ 0.99	7.52 <sup>a</sup> $\pm$ 0.83
ความชอบรวม <sup>ns</sup>	7.35 $\pm$ 0.86	7.48 $\pm$ 0.97

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

## 4.2 ลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืด

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืด (ตารางที่ 25) พบว่า การเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 ให้ค่า breaking force, breaking distance, ความแข็งแรงเจล hardness, springiness ความขาว, การทดสอบการพับ และความสามารถในการอุ้มน้ำ แตกต่างจาก ตัวอย่างควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) และ ให้ค่า cohesiveness เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าการเติมคาร์ราจีแนนช่วยเพิ่มแรงเกาะตัวให้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 25 สมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืดที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย <sup>a</sup> ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ตัวอย่างควบคุม	เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5
breaking force <sup>ns</sup> (กรัม)	443.43 ± 37.68	438.10 ± 26.14
breaking distance <sup>ns</sup> (มิลลิเมตร)	8.06 ± 0.55	8.13 ± 0.42
ความแข็งแรงเจล <sup>ns</sup> (กรัม. ซม.)	358.31 ± 50.07	356.97 ± 39.19
hardness <sup>ns</sup> (นิวตัน)	79.06 ± 1.44	77.48 ± 4.04
springiness <sup>ns</sup>	0.858 ± 0.006	0.868 ± 0.004
cohesiveness	0.605 <sup>b</sup> ± 0.008	0.629 <sup>a</sup> ± 0.004
ความขาว <sup>ns</sup>	66.26 ± 0.47	66.56 ± 0.27
ความสามารถในการอุ้มน้ำ <sup>ns</sup> (ร้อยละ)	94.53 ± 0.83	94.48 ± 0.49
ทดสอบการพับ	AA	AA

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืด (ตารางที่ 26) พบว่า คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ของลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 มีคะแนนแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) และมี

คะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยมีคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าลูกชิ้นที่เติมคาร์ราจีแนนมีความแข็งและยืดหยุ่นมากกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งอาจเกิดจากผลของแป้งและคาร์ราจีแนนที่เสริมฤทธิ์กัน

ตารางที่ 26 คะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาเนื้อจืดที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5

คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ตัวอย่างควบคุม	เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5
ลักษณะปรากฏ <sup>ns</sup>	7.16 $\pm$ 1.07	7.04 $\pm$ 0.84
สี <sup>ns</sup>	6.92 $\pm$ 1.29	7.04 $\pm$ 0.79
กลิ่น <sup>ns</sup>	6.88 $\pm$ 0.88	6.92 $\pm$ 0.95
รสชาติ <sup>ns</sup>	6.80 $\pm$ 0.82	6.80 $\pm$ 1.26
เนื้อสัมผัส	6.12 <sup>b</sup> $\pm$ 1.09	7.12 <sup>a</sup> $\pm$ 1.24
ความชอบรวม	6.54 <sup>b</sup> $\pm$ 0.91	7.12 <sup>a</sup> $\pm$ 0.78

<sup>ab</sup> ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากผลการศึกษาการใช้คาร์ราจีแนนในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนปลาทั้ง 2 ชนิด พบว่า คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นค่า cohesiveness ในปลานวลจันทร์น้ำจืด ทั้งนี้อาจเกิดจากเนื้อปลานิล และปลานวลจันทร์น้ำจืดที่ใช้ไม่ได้ผ่านการล้างน้ำเพื่อกำจัดเลือด เอนไซม์ ไชมัน และโปรตีนที่ละลายน้ำ เหมือนกับในซูริมิ ซึ่งอาจไปขัดขวางคาร์ราจีแนนในการเกิดปฏิกิริยากับไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนของเนื้อปลา หรืออาจเกิดจากสูตรที่ใช้ในการผลิตลูกชิ้นจากเนื้อปลาที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 ตามสูตรการผลิตทางการค้า จึงส่งผลให้คาร์ราจีแนนแสดงความสามารถในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนปลาได้ไม่ชัดเจน

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

1. สาหร่ายผมนาง สาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบ มีปริมาณความชื้น โปรตีน ใย เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยสาหร่ายสายใบมีปริมาณ โปรตีนสูงสุด สาหร่ายโพรงซึ่งเป็นแหล่งของคาร์ราจีแนนมีปริมาณเถ้ามากที่สุด และสาหร่ายผมนางมีปริมาณเยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )
2. การสกัดวุ้นจากสาหร่ายผมนางที่สภาวะ  $121^{\circ}\text{C}$  30 นาที สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตของวุ้น ขณะที่การบ่มสาหร่ายผมนางด้วยค่าก่อนการสกัดทำให้วุ้นมีปริมาณผลผลิตและความหนืดลดลง แต่มีค่าความแข็งแรงของเจลวุ้นเพิ่มขึ้น โดยมีความแข็งแรงของเจลวุ้นอยู่ในช่วง 402.13 - 486.09 กรัม/ตร. ซม. การไม่บ่มค่าและสกัดที่สภาวะ  $121^{\circ}\text{C}$  30 นาที ทำให้วุ้นมีค่า EA และ ESI สูงสุด ( $p < 0.05$ )
3. การบ่มสาหร่ายโพรงด้วยค่าทำให้มีปริมาณผลผลิตคาร์ราจีแนนต่ำกว่าการไม่บ่มค่า และเพิ่มความแข็งแรงของเจลคาร์ราจีแนนเล็กน้อย ส่วนการบ่มค่าและสกัดที่สภาวะ  $80^{\circ}\text{C}$  2 ชม. มีความหนืด, EA และ ESI สูงสุด ( $p < 0.05$ ) การใช้อุณหภูมิสูงไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตเมื่อไม่บ่มค่า, ค่าความแข็งแรงของเจล, breaking force และ breaking distance
4. สมบัติการเกิดอิมัลชันของพอร์ไฟแรงแนที่สกัดได้จากสาหร่ายสายใบไม่บ่มค่าและบ่มค่าที่สภาวะ  $121^{\circ}\text{C}$  30 นาที มีค่า EA และ ESI สูงกว่าสภาวะ  $80^{\circ}\text{C}$  2 ชม. ( $p < 0.05$ ) พอร์ไฟแรงแนที่สกัดได้จากสาหร่ายสายใบไม่บ่มค่าไม่มีสมบัติในการเกิดเจล แต่การบ่มค่าก่อนการสกัดส่งผลให้พอร์ไฟแรงแนสามารถเกิดเจลได้ การสกัดที่สภาวะ  $121^{\circ}\text{C}$  30 นาที มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของเจลมาก แต่ให้ปริมาณผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 11.24)
5. การเติมวุ้นทำให้เจลซูริมิปลาปากคมมีค่า breaking force, ความแข็งแรงเจล, ความสามารถในการอุ้มน้ำ และ hardness สูงกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p < 0.05$ ) สำหรับความขาว และการทดสอบการพับแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนการเติมวุ้นที่ร้อยละ 2.0 ทำให้เจลซูริมิเกรด

A มีค่า breaking force, ความแข็งแรงเจลมากกว่าการเติมที่ร้อยละ 1.0 และ 1.5 และค่า cohesiveness, springiness และความขาว มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ฐานเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามการเติมฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทำให้เจลซูริมิเกรด SA มีค่าความแข็งแรงเจล, breaking distance, cohesiveness และ springiness ลดลง ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของเจลค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีเม็ดฐานใส ๆ แทรกอยู่ในเจลโปรตีน

6. การเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 2.0 ส่งผลให้เจลซูริมิปลาปากคมมีค่า breaking force, ความแข็งแรงเจล, hardness, cohesiveness และความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าการเติมคาร์ราจีแนนที่ร้อยละ 0.5 และ 1.0 ( $p < 0.05$ ) ส่วนการเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 ทำให้เจลซูริมิเกรด A มีค่า breaking force, ความแข็งแรงเจลสูงสุด และคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงสุด ( $p < 0.05$ ) การเติมคาร์ราจีแนนในซูริมิเกรด SA ทำให้ค่า breaking force, breaking distance และความแข็งแรงเจลน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p < 0.05$ )

7. เมื่อเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5 ในลูกชิ้นปลานิล และปลานวลจันทร์น้ำจืด พบว่า breaking force, breaking distance, ความแข็งแรงเจล, hardness, springiness, ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการทดสอบการพับแตกต่างอย่างไม่มีความสำคัญกับตัวอย่างควบคุม ( $p > 0.05$ ) แต่มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p < 0.05$ ) โดยมีคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง ทั้งนี้ผลการทดสอบที่แตกต่างจากในเจลซูริมิเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาและสูตรในการผลิตลูกชิ้นที่แตกต่างกัน

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคาร์ราจีแนน เช่น แหล่งที่พบ อุณหภูมิในการสกัด ระยะเวลาในการสกัด และความเข้มข้นของค่าที่ใช้ในการบ่ม เป็นต้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดคาร์ราจีแนนจากสาหร่ายชนิดนี้
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดจากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด เช่น อุณหภูมิในการเกิดเจลและหลอมเหลว ปริมาณซัลเฟต และปริมาณ 3, 6-AG เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ประโยชน์
3. ควรมีการศึกษาการใช้ประโยชน์สารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด เช่น ศึกษาในผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นชนิดอื่น ๆ หรือใช้ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่าง ๆ

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กาญจนภาชน์ ลีวมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณิต ไชยาคำ และคุณิต ตันวิไลย. 2535. การทดลองเลี้ยงสาหร่ายพมนาง *Gracilaria fisheri* บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 7. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง.

จิตติมา หมั่นกิจ. 2544. การเจริญเติบโตและปริมาณวุ้นของสาหร่ายทะเลสกุลกราซิลารีเรีย, *Gracilaria fisheri* (Xia et Abbott) Abbott, Zhang et Xia และ *G. tenuistipitata* var. *liui* Chang et Xia ที่เลี้ยงในสภาพป๋อธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักรี ทองเรือง. 2544. ชูริมิ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ชนินันท์ ลิ้มปิษฐ์ชาลย์. 2551. ผลของปริมาณโปรตีนในกัมสำรองต่อสมบัติอิมัลชัน ปริมาณกรดฟีนอลิก และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธารารัตน์ ศุภศิริ. 2541. โพลีเมอร์จากสาหร่าย: การผลิตและการใช้ประโยชน์, น. 7-32. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง Biopolymer จากแหล่งธรรมชาติและการใช้ประโยชน์. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัชรกมล วงษ์ประกอบ. 2548. ผลของไฮโดรคอลลอยด์และเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณสมบัติการเกิดเจลของลูกชิ้นปลาบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุวดี พิรพรพิศาล. 2549. สาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2549. หลักการประยุกต์ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์, น. 275-296. ใน  
 รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, บรรณาธิการ. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร.**  
 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันเพ็ญ ภูติจันทร์. 2549. **วิทยาศาสตร์หอย.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2549. **ซูริมิ: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาสด.** พิมพ์ครั้งที่ 1.  
 สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2530. **สาหร่ายทะเลในอุตสาหกรรม.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2548. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม - เจลาติน.**  
 มอก. 799-2548.

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. 2550. **ประมงน้อมเกล้าฯ เฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา “กิน  
 ปลา ชมปลา พาสุภาพดี”.** แหล่งที่มา: [http://www.coastalaqua.com/index  
 .php?option=com\\_content &task=view&id=552&Itemid=5,4](http://www.coastalaqua.com/index.php?option=com_content &task=view&id=552&Itemid=5,4) มีนาคม 2553.

AOAC. 2006. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 18<sup>th</sup> ed., Assoc. Off.  
 Anal. Chem., Gaithersburg, Maryland.

Armisen, R. and F. Galatas. 1987. Production, properties and uses of agar, pp. 1-57. In D. J.  
 McHugh, ed. **Production and utilization of products from commercial seaweeds.**  
 FAO Fish. Tech. Pap., (288).

Bird, K.T., M.D. Hanisak and J. Ryther. 1981. Chemical quality and production of agars  
 extracted from *Gracilaria tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment conditions.  
**Bot. Mar.** 24: 441-444.

- Candogan, K. and N. Kolsarici. 2003. The effects of carrageenan and pectin on some quality characteristics of low-fat frankfurters. **Meat Sci.** 64: 199-206.
- Cardoso, C., R. Mendes and M.L. Nunes. 2007. Effect of transglutaminase and carrageenan on restructured fish products containing dietary fibres. **Int. J. Food Sci. Technol.** 42: 1257-1264.
- Chiovitti, A., G.T. Kraft, G.W. Saunders, M.L. Liao and A. Bacic. 1995. A revision of the systematic of the Nizymeniaceae (Gigartinales, Rhodophyta) based on polysaccharides, anatomy and nucleotide sequences. **J. Phycol.** 31: 153-166.
- Chirapart, A., J. Munkit and K. Lewmanomont. 2006. Changes in yield and quality of agar from the agarophyte, *Gracilaria fisheri* and *G. tenuistipitata* var. *liui* cultivated in earthen ponds. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)**, 40: 529-540.
- FAO. 1981. **The prevention of losses in cured fish**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Freile-Peigrín, Y. and E. Murano. 2005. Agars from three species of *Gracilaria* (Rhodophyta) from Yucatán Peninsula. **Biores. Technol.** 96: 295-302.
- Freile-Peigrín, Y. and D. Robledo. 2008. Carrageenan of *Eucheuma isiforme* (Solieriaceae, Rhodophyta) from Nicaragua. **J. Appl. Phycol.** 20: 537-541.
- Gomez-Guillen, M.C. and P. Montero. 1995. Addition of hydrocolloids and non-muscle proteins to sardine (*Sardine pilchardus*) mince gels: Effect of salt concentration. **Food Chem.** 56: 421-427.

- Hayashi, L., E.C. Oliveira, G.B.-Lhonneur, P. Boulenger, R.T.L. Pereira, R.V. Seckendorff, V.T. Shimoda, A. Leflamand, P. Vallée and A.T. Critchley. 2007. The effects of selected cultivation conditions on the carrageenan characteristics of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in Ubatuba Bay, São Paulo, Brazil. **J. Appl. Phycol.** 19: 505-511.
- Imeson, A.P. 2000. Carrageenan, pp. 87-102. *In* G.O. Phillips and P.A. Williams, eds. **Handbook of Hydrocolloids**. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Ishihara, K., C. Oyamada, R. Mutahushima, M. Maruta and T. Muraoka. 2005. Inhibitory effect of porphyran, prepared from dried “Nori” on contact hypersensitivity in mice. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 69 (10): 1824-1830.
- Kayama, M., J. Imayoshi, S. Araki, H. Ogawa, T. Oofusa, T. Ueno and M. Saito. 1983. Changes in the lipids of dried laver “Nori” at different water activities. **Bull. Jpn. Soc. Fish.** 49: 787 – 793.
- Kumar, V. and R. Fotedar. 2009. Agar extraction process for *Gracilaria cliftonii* (Withell, Millar & Kraft, 1994). **Carbohydr. Res.** 78: 813-819.
- Lanier, T.C. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties, pp. 123 – 163. *In* T.C. Lanier and C.M. Lee, eds. **Surimi Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Lanier, T.C. and C.M. Lee. 1992. **Surimi Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Lewmanomont, K. 1998. The seaweed resources of Thailand, pp. 79 – 87. *In* A.T. Critchley and M. Ohno, eds. **Seaweed Resources of the World**. Kanagawa International Fisheries Training Center. Japan International Cooperation Agency, Japan.

- Marinho-Soriano, E. and E. Bourret. 2003. Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta). **Bioresour. Technol.** 90: 329-333.
- Matsushashi, T. 1990. Agar, pp. 1-51. In P. Harris, ed. **Food Gels**. Elsevier Science, London.
- Matsuo, M., R. Takano, K. Kamei-Hayashi and S. Hara. 1993. A novel regioselective desulfation of polysaccharide sulfates: Specific 6-O-desulfation with N,O-bis(trimethylsilyl) acetamide. **Carbohydr. Res.** 241: 209-215.
- Meena, R., K. Prasad, M. Ganesan and A.K. Siddhanta. 2008. Superior quality agar from *Gracilaria* species (Gracilariales, Rhodophyta) collected from the gulf of Mannar, India. **J. Appl. Phycol.** 20: 397-402.
- MFRD (Marine Fisheries Research Department). 1987. **Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products**. SEAFDEC, Singapore.
- Monterey Bay Aquarium Research Institute. 1999. **Porphyra Morphology**. Available Source: <http://www.mbari.org/staff/conn/botany/reds/lisa/morph.htm>, 5<sup>th</sup> March 2010.
- Montero, P., J.L. Hurtado and M. Perez-Mateos. 2000. Microstructural behavior and gelling characteristics of myosystem protein gels interacting with hydrocolloids. **Food Hydrocol.** 14: 455-461.
- Motohiro, T. 1981. General aspect of processing marine food. In T. Motohiro., H. Kadota., K. Hashimoto., M. Kayama and T. Tokunaga, eds. **Science of Processing Marine Food Products vol. II**. Kanagawa International Fisheries Training Center. Japan International Cooperation Agency, Japan.

- Pearce, K.N. and J.E. Kinsella. 1978. Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. **Agric. Food Chem.** 26: 716-723.
- Perez-Mateos, M. and P. Montero. 2000. Contribution of hydrocolloids to gelling properties of blue whiting muscle. **Eur. Food. Res. Technol.** 210: 383-390.
- Praiboon, J., A. Chirapart, Y. Akakabe, O. Bhumibhamon and T. Kajiwara. 2006. Physical and chemical characterization of agar polysaccharides extracted from the Thai and Japanese species of *Gracilaria*. **Sci. Asia.** 32(s1): 11-17.
- Ramirez, J.A., M. Barrera, O.G. Morales and M. Vazquez. 2002. Effect of xanthan and locust bean gums on the gelling properties of myofibrillar protein. **Food Hydrocol.** 16: 11-16.
- Stanley, N.F. 1987. Carrageenans, pp. 116-146. In D. J. McHugh, ed. **Production and Utilization of Products from Commercial Seaweeds.** FAO Fish. Tech. Pap., (288).
- \_\_\_\_\_. 1990. Carrageenans, pp. 79-119. In P. Harris ed. **Food Gels.** Elsevier Science, London.
- \_\_\_\_\_. 1995. Agars, pp. 217-238. In. A.M. Stephen ed. **Food Polysaccharides and Applications.** Marcel Dekker, Inc., New York.
- Suzuki, T. 1981. **Fish and Krill Protein Processing Technology.** Applied Science Publ, London.
- Takahashi, K., Y. Hirano, S. Araki and M. Hattori. 2000. Emulsifying ability of porphyran prepared from dried nori, *Porphyra yezoensis*, a red alga. **J. Agric. Food Chem.** 48: 2721-2725.

United Nations Development Programme/ Food and Agriculture Organization (UNDP/FAO).

1990. **Training Manual on Gracilaria Culture and Seaweed Processing in China.**

Training Manual 6. Regional Sea Farming. Development and Demonstration. Project (RAS/90/002). UNDP/FAO, People Republic of China.

Usov, A. I. 1998. Structure analysis of red seaweed galactan of agar and carrageenan groups.

**Food Hydrocol.** 12: 301-308.

Villanueva, R.D., A.M.M. Sousa, M.P. Gonçalves, M. Nilsson and L. Hilliou. 2010. Production

and properties of agar from the invasive marine alga, *Gracilaria vermiculophylla*

(Gracilariales, Rhodophyta). **J. Appl. Phycol.** 20: 211-220.

Weber, K. and M. Osborn. 1969. The reliability of molecular weight determinations by dodecyl

sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. **J. Bio Chem.** 244: 4406-4412.

Zhang, Q., H. Qi, T. Zhao, E. Deslandes, N.M. Ismaeli, F. Molloy and A.T. Critchley. 2005.

Chemical characteristics of a polysaccharide from *Porphyra capensis* (Rhodophyta).

**Carbohydr. Res.** 340: 2447-2450.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
แบบสอบถาม

## แบบทดสอบ 9-point Hedonic scale

## ตัวอย่าง ลูกชิ้นปลา

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา โดยให้คะแนนความชอบตามลำดับคะแนนที่ได้ กำหนดไว้ข้างล่าง และ กรุณาเว้นปากกระหว่างตัวอย่าง

การให้คะแนน

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง				
ลักษณะปรากฏ					
สี					
กลิ่น					
รสชาติ					
เนื้อสัมผัส					
ความชอบรวม					



ภาคผนวก ข  
วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

**ภาคผนวกที่ ข1** สมบัติการเกิดอิมัลชัน ได้แก่ Emulsion Activity (EA) และ Emulsion Stability Index (ESI) (ดัดแปลงจากวิธีการของ Pearce และ Kinsella, 1978)

นำสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ร้อยละ 0.1 (w/v) มาปรับ pH เป็น 7.0 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 N สารละลายไฮโดรคอลลอยด์ที่ปรับ pH แล้ว นำมาเตรียมอิมัลชันโดยใช้สารละลายไฮโดรคอลลอยด์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำมันถั่วเหลือง 35 มิลลิลิตร ปั่นผสมด้วยเครื่อง Ultra-turrax T-25 ที่ 13,600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C ขเปิดอิมัลชันที่ได้มา 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) ร้อยละ 0.1 (w/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Shimadzu UV-1700 Spectrophotometer (Shimadzu UV-1700, JAPAN) ทันที ( $T_0$ ) และภายหลังตั้งอิมัลชันไว้ 10 นาที ( $T_{10}$ ) รายงานค่า EA เป็นค่าการดูดกลืนแสงที่  $T_0$  และคำนวณค่า ESI จากสูตร

$$ESI = (T_0 \times 10) / (T_0 - T_{10})$$

**ภาคผนวกที่ ข2** การวัดความแข็งแรงเจลของลูกชิ้นปลา (ดัดแปลงจาก MFRD, 1987)

ตัดตัวอย่างที่บรรจุในแท่งทรงกระบอกสแตนเลส ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาตามกำหนดแล้ว ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ส่วนสูง 25 มิลลิเมตร นำตัวอย่างออกจากแท่งทรงกระบอกสแตนเลส วางบนเครื่อง Stable Micro System TA-HD ซึ่งประกอบด้วยหัวเจาะทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ให้หัวเจาะผ่านตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ 1.1 มิลลิเมตรต่อวินาที วัดค่าของแรงที่ใช้ในการเจาะตัวอย่าง (หน่วยเป็นกรัม) และระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุ (หน่วยเป็นเซนติเมตร) รายงานค่าความแข็งแรงของเจล (หน่วยเป็นกรัม. ซม.)

**ภาคผนวกที่ ข3** การวัดสี หรือ ความขาว (Lanier and Lee, 1992)

ตัดตัวอย่างให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร นำไปวัดค่า  $L^* a^* b^*$  โดยเครื่องวัดสี MINOLTA Spectrophotometer CM-3500d ซึ่ง  $L^*$  คือค่าความสว่างมีค่าระหว่าง 0-100 หรือสีดำถึงสีขาว  $a^*$  แสดงค่า (+) สีแดง หรือ (-) สีเขียว และ  $b^*$  แสดงค่า (+) สีเหลือง หรือ (-) สีน้ำเงินนำค่า  $L^* a^* b^*$  ที่ได้มาคำนวณค่าความขาว (whiteness) จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{whiteness} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{0.5}$$

**ภาคผนวกที่ ข4** การวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) (ดัดแปลงจาก Motohiro, 1981)

ตัดตัวอย่างเป็นรูป 15×15×15 ลูกบาศก์มิลลิเมตร วางตัวอย่างระหว่างกระดาษกรอง 2 แผ่น บีบด้วยแรงคงที่ 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 2 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังการบีบ นำค่าน้ำหนักก่อนบีบลบด้วยน้ำหนักหลังบีบ จะได้น้ำหนักน้ำที่ซึมอยู่บนกระดาษกรองแล้วนำไปคำนวณค่า water holding capacity ตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{WHC (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} \times \text{ปริมาณความชื้น}) - \text{น้ำหนักน้ำที่ซึมในกระดาษกรอง} \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} \times \text{ปริมาณความชื้น}}$$

**ภาคผนวกที่ ข5** ทดสอบโดยการพับ (MFRD, 1987)

นำตัวอย่างที่บรรจุในแท่งสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดออกจากแท่งสแตนเลส ตัดให้มีความหนา 5 มิลลิเมตร ทำการทดสอบพับโดยใช้แผ่นตัวอย่าง 6 แผ่น นำมาพับเป็น 2 ส่วน ถ้าไม่มีรอยแตกให้พับต่อเป็น 4 ส่วนแล้วให้คะแนนระดับชั้นคุณภาพตามเกณฑ์ ดังนี้

ลักษณะตัวอย่างเมื่อพับ	ระดับคุณภาพ
ไม่มีรอยแตกเมื่อพับเป็น 4 ส่วน	AA
มีรอยแตกหรือฉีกขาดเล็กน้อยเมื่อพับเป็น 4 ส่วน	A
มีรอยแตกหรือฉีกขาดเล็กน้อยเมื่อพับเป็น 2 ส่วน	B
มีรอยแตกแต่ไม่แยกออกจากกันเมื่อพับเป็น 2 ส่วน	C
มีรอยแตกและแยกออกจากกันเมื่อพับเป็น 2 ส่วน	D



### ภาคผนวกที่ ค1 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2006)

1.1 ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม และ selenium reagent mixture ประมาณ 1 กรัมใส่ในขวดย่อย (Kjeldahl flask)

1.2 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร และประกอบเข้ากับเครื่อง Digest จากนั้นให้ความร้อนอ่อน ๆ ในระยะแรกแล้วค่อยเพิ่มความร้อนให้สูงขึ้น ย่อยจนได้สารละลายใสย่อยต่อไปอีก 30 นาทีจึงยุติ

1.3 ปล่อยให้เย็นลงหรือพอร้อน ๆ เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 30 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 32 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.4 นำไปกลั่นโดยใช้เครื่อง Buchi 323 และใช้สารละลายกรดบอริกร้อยละ 2 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่เติมอินดิเคเตอร์ผสม 2-3 หยด เป็นสารที่ใช้จับแอมโมเนียที่กลั่นได้ จนกระทั่งมีปริมาตรประมาณ 200 มิลลิลิตร

1.5 นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ จะเปลี่ยนเป็นสีชมพู

1.6 ทำ Blank โดยใช้ภาวะเดียวกันกับตัวอย่าง

1.7 นำปริมาณกรดกำมะถันที่ใช้ในการไทเทรตไปใช้ในการคำนวณปริมาณไนโตรเจน

$$\text{ร้อยละไนโตรเจน} = \frac{(B-C) \times A \times 0.014 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

A = ความเข้มข้นของกรดกำมะถัน

B = ปริมาณกรดกำมะถันที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง

C = ปริมาณกรดกำมะถันที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank

1.8 การคำนวณปริมาณโปรตีน

$$\text{ร้อยละของโปรตีน} = \text{ร้อยละไนโตรเจน} \times 6.25$$

### ภาคผนวกที่ ค2 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2006)

2.1 อบ Aluminium dish ที่อุณหภูมิ 100-105 °ซ ประมาณ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่ออีก 30 นาที ปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่ ถ้าไม่คงที่ให้อบซ้ำอีกครั้ง

2.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2-10 กรัม ลงใน Aluminium dish แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 °ซ นาน 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

2.3 นำไปอบอีกครั้งที่สภาวะเดิม ปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

2.4 การคำนวณปริมาณความชื้น

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

### ภาคผนวกที่ ค3 ปริมาณไขมัน (AOAC, 2006)

3.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน (น้ำหนักสด 5-10 กรัม น้ำหนักแห้งประมาณ 2 กรัม) ใส่กระดาษกรอง นำไปอบให้แห้งแล้วพับใส่ใน Thimble

3.2 อบและชั่งน้ำหนักของถ้วยสกัด (cup) ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน

3.3 เติมตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในถ้วยสกัด 50 มิลลิลิตร แล้วต่อเข้ากับเครื่องสกัด จากนั้นทำการสกัดไขมัน ประมาณ 15 นาที

3.4 นำถ้วยสกัดที่มีไขมันและตัวทำละลายที่ติดมาเล็กน้อยไปประเหยตัวทำละลายออกให้หมด โดยใช้อุณหภูมิต่ำ ๆ จากนั้นปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วนำไปชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

3.5 การคำนวณปริมาณไขมัน

$$\text{ร้อยละของไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

#### ภาคผนวกที่ ค4 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2006)

4.1 เเผา crucible ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500-550 °ซ ประมาณ 2 ชั่วโมง นำออกจากเตาทิ้งไว้ สักครู่ นำเข้าโถดูดความชื้น (Desiccator) ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

4.2 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ตัวอย่างแห้งประมาณ 2 กรัม ตัวอย่างสด 8-12 กรัม) ใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

4.3 เเผา crucible จนกระทั่งหมดควัน จึงนำเข้าเตาเผา เเผาที่อุณหภูมิ 500-550 °ซ ประมาณ 2 ชั่วโมง นำออกจากเตาทิ้งไว้สักครู่ นำเข้าโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่

#### 4.4 การคำนวณปริมาณเถ้า

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

#### ภาคผนวกที่ ค5 การวิเคราะห์หาเยื่อใย (AOAC, 2006)

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กรัม (W) ใส่ลงใน crucible ที่ตั้งอยู่ใน crucible stand
2. นำ crucible ใส่ในเครื่อง Hot extraction unit โยกคั้น โยกลงมา
3. เลื่อนคั้น โยกด้านหน้า column ไปทางตำแหน่ง closed เดิมกรดซัลฟิวริกร้อน ความเข้มข้น 0.128 M จำนวน 150 มิลลิลิตร และเติม n-Octanol จำนวน 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ให้ความร้อนจนเดือดแล้วลดความร้อนลง และต้มเป็นเวลา 30 นาที
4. กรองโดยเลื่อนคั้น โยกมาที่ตำแหน่ง Vacuum (ถ้ากรองไม่ลงให้ใช้ความดันช่วย) ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ๆ ละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
5. เติม Potassium hydroxide ร้อน ความเข้มข้น 0.223 M จำนวน 150 มิลลิลิตร และ n-Octanol จำนวน 2-3 หยด และต้มจนเดือดเป็นเวลา 30 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง
6. นำ crucible ออกจาก Hot extraction unit มาวางไว้ที่ Cold extraction unit โดยใช้ crucible holder
7. ล้างด้วย acetone 3 ครั้ง ๆ ละ 25 มิลลิลิตร และกรองจนแห้ง
8. นำ crucible มาไว้ที่ Crucible stand อบค้างคืนที่อุณหภูมิ 100 °ซ หรืออบที่อุณหภูมิ

130°ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) เPEATตัวอย่างใน crucible ที่อุณหภูมิ 500°ซ เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง

9. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลงอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิห้องและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ( $W_2$ ) คำนวณหาปริมาณเชื้อใย

$$\text{ปริมาณเชื้อใย (\%)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W}$$

**ภาคผนวกที่ ๓6** การหาปริมาณ โซเดียมคลอไรด์ (FAO, 1981)

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละเอียดให้อยู่ระหว่าง 2 กรัม
2. สกัดเกลือโซเดียมคลอไรด์จากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น โดยใช้เครื่องบดผสมเป็นเวลา 2 นาที
3. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรของสารสกัดได้เป็น 250 มิลลิเมตร ด้วยน้ำกลั่น
4. ดูดสารละลายที่สกัดได้มา 25 มิลลิลิตร ใส่ใน flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม potassium chromate เข้มข้นร้อยละ 5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ลงไป 0.5 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทกับ 0.1 N silver nitrate จนได้ตะกอนสีแดงอิฐ
5. คำนวณปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ) จากสมการดังนี้

$$\text{ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาตรของ 0.1 N silver nitrate ที่ใช้ไตเตรท} \times 5.8}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

**ภาคผนวกที่ ๓7** การตรวจสอบรูปแบบของโปรตีนด้วยวิธี Gel electrophoresis (SDS - PAGE)

(Weber and Osborn, 1969)

### 5.1 สารเคมี

5.1.1 ammonium persulphate

5.1.2 Stock I: acrylamide solution (ละลาย acrylamide 22.2 กรัม และ methyllene-bis-acrylamide 0.6 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เป็น 100 มิลลิลิตร)

5.1.3 Stock II: 0.5 M Sodium phosphate buffer pH 7.2 (ละลาย

$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  15.907 กรัม และ  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  56.5306 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับ pH เป็น 7.2 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เป็น 1 ลิตร)

5.1.4 Stock III: 10% sodium dodecylsulphate (SDS) (ละลาย SDS 10 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เป็น 100 มิลลิลิตร)

5.1.5 solubilized solution: 8 M urea – 2% SDS - 0.05 M sodium phosphate pH 6.8 (ชั่ง urea 480.48 กรัม, SDS 20 กรัม และ 0.5 M phosphate buffer 100 มิลลิลิตร เติมน้ำ 300 มิลลิลิตร แช่น้ำอุ่นให้ละลาย ปรับ pH 6.8 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร)

5.1.6 Electrophoresis running (ใช้ Stock II 100 มิลลิลิตร และ Stock III 5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร)

5.1.7 Staining solution (ใช้ coomassie brilliant blue R250 0.6 กรัม ละลายในเมทานอล 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติม acetic acid 46 มิลลิลิตร และ น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ละลายให้เข้ากัน)

5.1.8 Destaining solution I ใช้อัตราส่วนระหว่าง acetic acid : methanol :  $\text{H}_2\text{O}$  เป็น 150 : 600 : 1250

5.1.9 Destaining solution II ใช้อัตราส่วนระหว่าง acetic acid : methanol :  $\text{H}_2\text{O}$  เป็น 150 : 100 : 1750

5.1.10 7 % acetic acid ใช้เก็บ gel ที่ล้างด้วย Destaining solution จนใสแล้ว

5.1.11 Marker BPB (bromphenol blue 0.05% ผสมกับ glycerol 2.5% ในน้ำกลั่น

## 5.2 การเตรียมตัวอย่าง

5.2.1 ชั่งตัวอย่างเนื้อปลาหรือซูริมิ 0.25 กรัม ใส่หลอดแก้วแช่น้ำแข็ง

5.2.2 เติมน้ำ Solubilized solution 9 มิลลิลิตร และ mercaptoethanol 1 มิลลิลิตร (reduced sample)

5.2.3 กวนสารละลายบน magnetic stirrer 24 ชั่วโมง และ/หรือละลายตัวอย่างใน Glass tube teflon homogenizer ให้ grinder จุ่มในสารละลายเพื่อไม่ให้เกิดฟอง จับหลอดแก้ว เลื่อนขึ้นลง จนไม่มีชิ้นเนื้อปลาและสารละลายใสประมาณ 30-45 นาที

5.2.4 ต้มตัวอย่างที่ 100 °ซ 3 นาที แช่น้ำเย็นเก็บตัวอย่างในตู้เย็น -20 °ซ

## 5.3 การเตรียมเจล (5% acrylamide gel)

5.3.1 เตรียมอุปกรณ์เพื่อทำ slab gel

5.3.2 ชั่ง ammonium persulphate 0.0283 กรัม เติมน้ำกลั่น 21.25 มิลลิลิตร (รีบ

ซึ่งเนื่องจากอากาศจะ oxidise)

5.3.3 เติม Stock solution I, II และ III (ถ้าอุณหภูมิต่ำ Stock solution II, III อาจตกตะกอนใช้วิธีแช่ในน้ำอุ่นก่อนจนละลาย แล้วเขย่าให้เข้ากันก่อนปิเปต)

5.3.4 หลังจากเติม Stock solution I, II และ III เขย่าให้เข้ากัน นำเอาไปไล่อากาศ (ถ้าใช้ Ultrasonic bath ประมาณ 5-10 นาที)

5.3.5 นำขวดหรือ flask ที่จะใช้ผสมแช่ในน้ำผสมน้ำแข็ง วางไว้ในห้องเย็นประมาณ 8 นาที

5.3.6 ดูด TEMED เติมลงไป เขย่าเบาๆ แล้วใช้ dropper ดูดใส่แผ่น slab

5.3.7 ใส่น้ำลงไปบนผิวหน้า gel วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เซตตัว

5.4 วิธีใส่ตัวอย่างลงบน gel

5.4.1 นำ slab gel ที่เตรียมไว้มาสบัดเอาน้ำที่ผิวหน้าออกไป

5.4.2 นำไปติดตั้งกับอุปกรณ์สำหรับทำ Gel electrophoresis

5.4.3 กำหนดช่องที่จะใส่ตัวอย่าง และบันทึกไว้

5.4.4 ใช้ syringe ดูด marker ใส่องไป 2 ไมโครลิตร

5.4.5 ใช้ syringe ดูดตัวอย่าง ใส่องไป 10 ไมโครลิตร

5.4.6 ใส Running buffer ลงไปในช่องด้านใน จนระดับของ buffer สูงเกินขอบ gel

5.4.7 ใส Running buffer ลงไปในช่องด้านนอก จนระดับของ buffer สูงเกินขอบ gel ด้านล่าง

5.4.8 เสียบไฟฟ้าผ่าน gel 30 นาทีแรก ใช้ 80 V 50 mA 90 นาทีต่อมาใช้ 160 V 100 mA (ต่อ 2 slab gel)

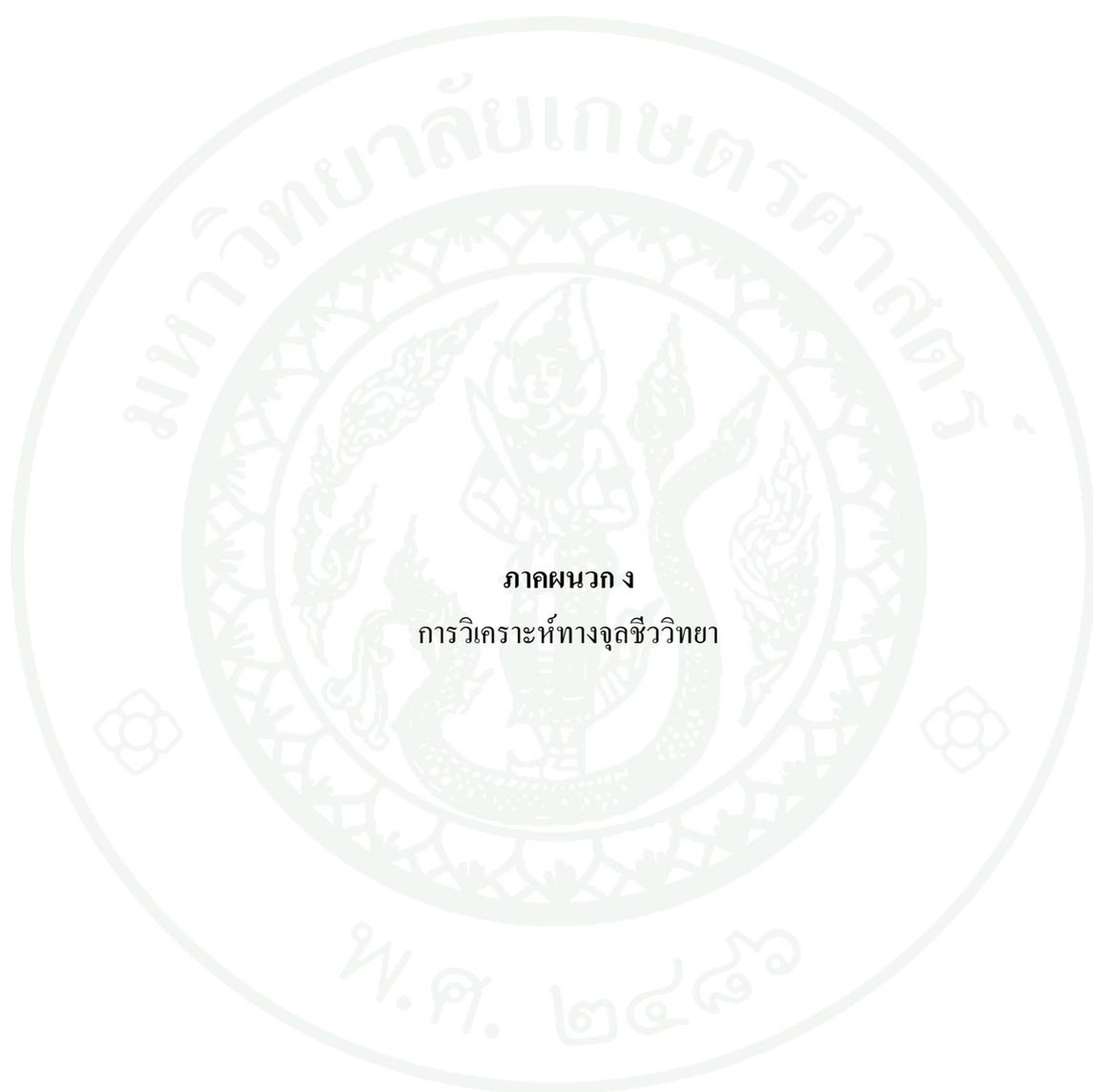
5.4.9 ปิดกระแสไฟ เมื่อระดับของ Marker เลื่อนลงมาถึงเส้นลวด

5.4.10 เอา gel ออกจากแผ่นกระจก ระวังอย่าให้ gel นึกขาด ใสใน Petridish หรือกล่องพลาสติกใส ใส Staining solution ให้ท่วมแผ่น gel แช่ประมาณ 1-2 ชั่วโมง

5.4.11 แช่ต่อใน Destaining solution I 1 คืน

5.4.12 แช่ต่อใน Destaining solution II จน gel ใส

5.4.13 เก็บ gel ใน 7% acetic acid



ภาคผนวก ง  
การวิเคราะห์ทางจุลชีวะวิทยา

## ภาคผนวกที่ ๑1 วิธีตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

1.1 เตรียมตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม โดยวิธีปราศจากเชื้อ (aseptic technique) แล้วเติมสารละลายเจือจาง 0.85 % โซเดียมคลอไรด์ ที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว ลงไป 225 มิลลิลิตร ปั่นตัวอย่างให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นตัวอย่าง (Stomacher) จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 1:10 จากนั้นทำการเจือจางลงครั้งละ 10 เท่า จนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม

1.2 ใช้วิธี Pour plate technique โดยการปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ กัน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในงานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว ค่อย ๆ รินอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar ลงไป ให้มีปริมาตรประมาณ 18-20 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เขย่าให้อาหารเลี้ยงเชื้อผสมกัน ทำระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °ซ นาน 48 ชั่วโมง

1.3 คัดเลือกงานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี นับจำนวนด้วยเครื่องนับโคโลนี (Colony counter)

1.4 หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้แต่ละระดับความเจือจาง คูณด้วยค่า Dilution factor คำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง (CFU/g)

## ภาคผนวกที่ ๑2 การตรวจสอบหาปริมาณยีสต์ และรา

1. ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม โดยวิธี aseptic technique ผสมกับสารละลายเจือจาง 0.85 % โซเดียมคลอไรด์ ที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว ลงไป 225 มิลลิลิตร ปั่นตัวอย่างให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นตัวอย่าง (Stomacher) จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 1:10 จากนั้นทำการเจือจางลงครั้งละ 10 เท่า จนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม

2. ใช้วิธี Pour plate technique โดยการปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ กัน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในงานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว ค่อย ๆ รินอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar ที่ผสมกรด tartaric acid ลงไป ให้มีปริมาตรประมาณ 18-20 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เขย่าให้อาหารเลี้ยงเชื้อผสมกัน ทำระดับความเจือจางละ 3 ซ้ำ ตั้งทิ้งไว้จนอาหารเลี้ยงเชื้อในงานเพาะเชื้อแข็ง นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 22-25 °ซ นาน 5 วัน

1.3 คัดเลือกงานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 10-100 โคโลนี นับจำนวนด้วยเครื่องนับโคโลนี (Colony counter) พร้อมค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้แต่ละระดับความเจือจาง คูณด้วยค่า Dilution factor คำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง (CFU/g)



ภาคผนวก จ  
ตารางวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ๑1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผสมนาง  
สาหร่ายโพรง และสาหร่ายสายใบต่อน้ำหนักแห้ง (dry basis)

องค์ประกอบทางเคมี	SOV	df	SS	MS	F
ความชื้น	ชนิดสาหร่าย	2	46.243	23.122	32.010*
	Error	6	4.334	0.722	
โปรตีน	ชนิดสาหร่าย	2	1941.297	970.649	82895.256*
	Error	6	0.070	0.012	
ไขมัน	ชนิดสาหร่าย	2	0.002	0.001	0.163 <sup>ns</sup>
	Error	6	0.041	0.007	
เถ้า	ชนิดสาหร่าย	2	252.125	126.062	110.750*
	Error	6	6.830	1.138	
เยื่อใย	ชนิดสาหร่าย	2	56.759	28.379	318.162*
	Error	6	0.535	0.089	
คาร์โบไฮเดรต	ชนิดสาหร่าย	2	1326.467	663.233	414.156*
	Error	6	9.608	1.601	

\*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ จ2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของวุ้นที่สกัดจาก  
สาหร่ายผสมนางต่อน้ำหนักแห้ง (dry basis)

องค์ประกอบทางเคมี	SOV	df	SS	MS	F
ความชื้น	การบ่มต่าง (A)	1	27.000	27.000	160.293*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	8.003	8.003	47.514*
	A*B	1	9.792	9.792	58.134*
	Error	8	1.348	0.168	
โปรตีน	การบ่มต่าง (A)	1	7.082	7.082	85.147*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	0.072	0.072	0.379 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.164	0.164	0.197 <sup>ns</sup>
	Error	8	0.665	0.083	
ไขมัน	การบ่มต่าง (A)	1	0.038	0.038	16.979*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	0.023	0.023	9.996*
	A*B	1	0.000	0.000	0.144 <sup>ns</sup>
	Error	8	0.018	0.002	
เถ้า	การบ่มต่าง (A)	1	121.596	121.596	989.821*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	18.037	18.037	146.827*
	A*B	1	9.122	9.122	74.256*
	Error	8	0.983	0.123	

## ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	SOV	df	SS	MS	F
คาร์โบไฮเดรต	การป่นต่าง (A)	1	217.393	217.393	530.608*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	25.235	25.235	61.594*
	A*B	1	9.361	9.361	22.848*
	Error	8	3.278	0.410	

\*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๑3** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรงต่อน้ำหนักแห้ง (dry basis)

องค์ประกอบทางเคมี	SOV	df	SS	MS	F
ความชื้น	การบ่มต่าง (A)	1	1220.285	1220.285	3358.120*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.200	0.200	0.551 <sup>ns</sup>
	A*B	1	9.100	9.100	25.043*
	Error	8	2.907	0.363	
โปรตีน	การบ่มต่าง (A)	1	0.076	0.076	5.928*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.022	0.022	1.751 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.032	0.032	2.475 <sup>ns</sup>
	Error	8	0.102	0.013	
ไขมัน	การบ่มต่าง (A)	1	0.022	0.022	2.408 <sup>ns</sup>
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.013	0.013	1.395 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.006	0.006	0.706 <sup>ns</sup>
	Error	8	0.072	0.009	
เถ้า	การบ่มต่าง (A)	1	29.736	29.736	727.675*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	40.732	40.732	996.756*
	A*B	1	0.641	0.641	15.679*
	Error	8	0.327	0.041	

## ตารางผนวกที่ ๓ (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	SOV	df	SS	MS	F
คาร์โบไฮเดรต	การบ่มต่าง (A)	1	30.028	30.028	308.678*
	สถานะการให้ความร้อน				
	(B)	1	77.013	77.013	791.678*
	A*B	1	1.537	1.537	15.797*
	Error	8	0.778	0.097	

\*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ ๑๔ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนองค์ประกอบทางเคมีของพอร์ไฟแรนที่สกัดจากสาหร่ายสายใบต่อน้ำหนักแห้ง (dry basis)

องค์ประกอบทางเคมี	SOV	df	SS	MS	F
ความชื้น	การบ่มต่าง (A)	1	39.676	39.676	128.909*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	13.021	13.021	42.305*
	A*B	1	4.713	4.713	15.311*
	Error	8	2.462	0.308	
โปรตีน	การบ่มต่าง (A)	1	384.093	384.093	2333.045*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	10.253	10.253	62.278*
	A*B	1	7.247	7.247	44.019*
	Error	8	1.317	0.165	
ไขมัน	การบ่มต่าง (A)	1	0.037	0.037	7.916*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	0.021	0.021	4.588 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.003	0.003	0.655 <sup>ns</sup>
	Error	8	0.037	0.005	
เถ้า	การบ่มต่าง (A)	1	280.989	280.989	1246.339*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	3.705	3.705	16.436*
	A*B	1	35.345	35.345	156.775*
	Error	8	1.804	0.225	

ตารางผนวกที่ จ4 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	SOV	df	SS	MS	F
คาร์โบไฮเดรต	การบ่มต่าง (A)	1	1345.744	1345.744	3434.642*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	29.594	29.594	75.530*
	A*B	1	9.556	9.556	24.389*
	Error	8	3.135	0.392	

\*มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๑5** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง และสมบัติของวุ้นที่สกัดจากสาหร่ายผสมนาง

ปริมาณผลผลิตและสมบัติของวุ้น	SOV	df	SS	MS	F
ปริมาณผลผลิต	การบ่มต่าง (A)	1	138.109	138.109	217.420*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	731.485	731.485	1151.551*
	A*B	1	133.133	133.133	209.587*
	Error	8	5.082	0.635	
ความแข็งแรงของเจล	การบ่มต่าง (A)	1	166689.559	166689.559	472.593*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	2954.662	2954.662	8.377*
	A*B	1	7090.842	7090.842	20.104*
	Error	16	5643.409	352.713	
breaking force	การบ่มต่าง (A)	1	150389.825	150389.825	472.593*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	2665.741	2665.741	8.377*
	A*B	1	6397.465	6397.465	20.104*
	Error	16	5091.568	318.223	
breaking distance	การบ่มต่าง (A)	1	2.957	2.957	94.052*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.078	0.078	2.469 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.147	0.147	4.683*
	Error	16	0.503	0.031	
ความหนืด	การบ่มต่าง (A)	1	208.333	208.333	256.774*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.930	0.930	1.146 <sup>ns</sup>
	A*B	1	52.167	52.167	64.296*
	Error	8	6.491	0.811	

## ตารางผนวกที่ ๖5 (ต่อ)

สมบัติของวุ้น	SOV	df	SS	MS	F
ความเป็นกรด-ด่าง	การบ่มต่าง (A)	1	0.568	0.568	94.613*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.143	0.143	23.835*
	A*B	1	0.075	0.075	12.535*
	Error	8	0.048	0.006	
ปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์	การบ่มต่าง (A)	1	0.005	0.005	0.140 <sup>ns</sup>
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.247	0.247	7.599*
	A*B	1	0.007	0.007	0.202 <sup>ns</sup>
	Error	12	0.389	0.032	
emulsion activity	การบ่มต่าง (A)	1	0.071	0.071	245.133*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	1.051	1.051	3606.834*
	A*B	1	0.028	0.028	96.169*
	Error	8	0.002	0.000	
emulsion stability index	การบ่มต่าง (A)	1	3578.905	3578.905	94.512*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	2094.020	2094.020	55.299*
	A*B	1	4274.303	4274.303	112.876*
	Error	8	302.937	37.867	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๖** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L\* a\* และ b\* ของวุ้นที่สกัดจาก  
สำหรับหมนาง

ค่าสี	SOV	df	SS	MS	F
ค่าความสว่าง (L*)	การบ่มต่าง (A)	1	1591.045	1591.045	3571.789*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	5.675	5.675	12.739*
	A*B	1	54.150	54.150	121.563*
	Error	20	8.909	0.445	
ค่าสีแดง (a*)	การบ่มต่าง (A)	1	4.438	4.438	323.009*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.037	0.037	2.680 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.505	0.505	36.729*
	Error	20	0.275	0.014	
ค่าสีเหลือง (b*)	การบ่มต่าง (A)	1	53.402	53.402	323.490*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.008	0.008	0.049 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.101	0.101	0.614 <sup>ns</sup>
	Error	20	3.302	0.165	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ ๗ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง และสมบัติของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง

ปริมาณผลผลิตและ สมบัติของคาร์ราจีแนน	SOV	df	SS	MS	F
ปริมาณผลผลิต	การบ่มต่าง (A)	1	3922.601	3922.601	373.788*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	15.826	15.826	1.508 <sup>ns</sup>
	A*B	1	76.401	76.401	7.208*
	Error	8	83.953	10.494	
ความแข็งแรงของเจล	การบ่มต่าง (A)	1	12.139	12.139	5.904*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.002	0.002	0.001 <sup>ns</sup>
	A*B	1	1.738	1.738	0.845 <sup>ns</sup>
	Error	16	32.897	2.056	
breaking force	การบ่มต่าง (A)	1	10.952	10.952	5.904*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.002	0.002	0.001 <sup>ns</sup>
	A*B	1	1.568	1.568	0.845 <sup>ns</sup>
	Error	16	29.680	1.855	
breaking distance	การบ่มต่าง (A)	1	0.061	0.061	2.087 <sup>ns</sup>
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.028	0.028	0.966 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.019	0.019	0.655 <sup>ns</sup>
	Error	16	0.465	0.029	
ความหนืด	การบ่มต่าง (A)	1	0.935	0.935	0.289 <sup>ns</sup>
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	2314.907	2314.907	714.823*
	A*B	1	8.350	8.350	2.578 <sup>ns</sup>
	Error	8	25.907	3.238	

ตารางผนวกที่ ๗ (ต่อ)

สมบัติของคาร์ราจีแนน	SOV	df	SS	MS	F
ความเป็นกรด-ด่าง	การบ่มต่าง (A)	1	0.002	0.002	0.532 <sup>ns</sup>
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.022	0.022	4.790 <sup>ns</sup>
	A*B	1	0.118	0.118	26.079*
	Error	8	0.036	0.005	
ปริมาณเกลือ โซเดียมคลอไรด์	การบ่มต่าง (A)	1	1.346	1.346	8.727*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.000	0.000	0.000 <sup>ns</sup>
	A*B	1	2.102	2.102	13.636*
	Error	12	1.850	0.154	
emulsion activity	การบ่มต่าง (A)	1	0.254	0.254	1187.579*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.286	0.286	1339.040*
	A*B	1	0.147	0.147	687.021*
	Error	8	0.002	0.000	
emulsion stability index	การบ่มต่าง (A)	1	97854.412	97854.412	105.694*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	290389.178	290389.178	313.654*
	A*B	1	91596.054	91596.054	98.934*
	Error	8	7406.621	925.828	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๑๘** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L\* a\* และ b\* ของคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายโพรง

ค่าสี	SOV	df	SS	MS	F
ค่าความสว่าง (L*)	การบ่มต่าง (A)	1	124.079	124.079	1119.048*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	35.893	35.893	323.709*
	A*B	1	101.476	101.476	915.194*
	Error	20	2.218	0.111	
ค่าสีแดง (a*)	การบ่มต่าง (A)	1	5.208	5.208	1046.137*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	0.240	0.240	48.209*
	A*B	1	2.124	2.124	426.679*
	Error	20	0.100	0.005	
ค่าสีเหลือง (b*)	การบ่มต่าง (A)	1	1.910	1.910	31.793*
	สถานะการให้ความร้อน (B)	1	0.631	0.631	10.497*
	A*B	1	8.532	8.532	142.046*
	Error	20	1.201	0.060	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๑๑** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง และสมบัติของพอร์ไฟแรมที่สกัดจากสาหร่ายสายใบ

ปริมาณผลผลิตและ สมบัติของพอร์ไฟแรม	SOV	df	SS	MS	F
ปริมาณผลผลิต	การบ่มต่าง (A)	1	46.740	46.740	57.868*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	230.116	230.116	284.902*
	A*B	1	254.076	254.076	314.566*
	Error	8	6.462	0.808	
ความหนืด	การบ่มต่าง (A)	1	6417.188	6417.188	3467.001*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	379.687	379.687	205.133*
	A*B	1	2245.709	2245.709	1213.285*
	Error	8	14.807	1.851	
ความเป็นกรด-ด่าง	การบ่มต่าง (A)	1	3.719	3.719	523.737*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.433	0.433	61.014*
	A*B	1	0.001	0.001	0.117 <sup>ns</sup>
	Error	8	0.057	0.007	
ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์	การบ่มต่าง (A)	1	0.006	0.006	0.049*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	1.511	1.511	12.530*
	A*B	1	5.268	5.268	43.684*
	Error	12	1.447	0.121	
emulsion activity	การบ่มต่าง (A)	1	0.093	0.093	30.131*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	0.674	0.674	218.545*
	A*B	1	0.108	0.108	34.869*
	Error	8	0.025	0.003	

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

สมบัติของพอร์ไฟแรน	SOV	df	SS	MS	F
emulsion stability index	การบ่มต่าง (A)	1	219843.332	219843.332	687.370*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	498052.87	498052.87	1557.230*
	A*B	1	213687.216	213687.216	668.122*
	Error	8	2558.660	319.833	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ ๑๑๐ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ breaking force, breaking distance และความแข็งแรงของเจลพอร์ไฟแรน

คุณสมบัติทางกายภาพ	df	Sig	t
breaking force	7	0.000	-36.900*
breaking distance	7	0.000	-7.087*
ความแข็งแรงของเจล	7	0.000	-36.900*

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L\* a\* และ b\* ของพอร์ไฟไฟเรนที่สกัดจากสาหร่ายสายใบ

ค่าสี	SOV	df	SS	MS	F
ค่าความสว่าง (L*)	การบ่มต่าง (A)	1	1.193	1.193	2.097 <sup>ns</sup>
	สภาวะการให้ความร้อน(B)	1	4.691	4.691	8.247*
	A*B	1	195.111	195.111	343.045*
	Error	20	11.375	0.569	
ค่าสีแดง (a*)	การบ่มต่าง (A)	1	4.753	4.753	1192.622*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	5.861	5.861	1470.719*
	A*B	1	1.025	1.025	257.231*
	Error	20	0.080	0.004	
ค่าสีเหลือง (b*)	การบ่มต่าง (A)	1	406.068	406.068	2466.676*
	สภาวะการให้ความร้อน (B)	1	5.900	5.900	35.842*
	A*B	1	8.520	8.520	51.758*
	Error	20	3.292	0.165	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ ๑12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา  
ที่ผลิตจากชูริมิปลาปากคมที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	SOV	df	SS	MS	F
breaking force	ความเข้มข้น	3	7787.313	2595.771	557.132*
	Error	8	37.273	4.659	
breaking distance	ความเข้มข้น	3	0.712	0.237	8.612*
	Error	8	0.221	0.028	
ความแข็งแรงเจล	ความเข้มข้น	3	748.603	249.534	36.356*
	Error	8	54.909	6.864	
hardness	ความเข้มข้น	3	163.056	54.352	12.349*
	Error	8	35.21	4.401	
cohesiveness	ความเข้มข้น	3	0.002	0.001	6.128*
	Error	8	0.001	9.78E-05	
springiness	ความเข้มข้น	3	0.048	0.016	7.877*
	Error	8	0.021	3.00E-03	
ความขาว	ความเข้มข้น	3	4.921	1.640	0.947*
	Error	16	27.704	1.732	
ความสามารถ ในการอุ้มน้ำ	ความเข้มข้น	3	171.491	57.164	27.655*
	Error	8	16.536	2.067	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ 13** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทาง  
ประสาทสัมผัสของลูกชิ้นที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมที่เติมวันความเข้มข้น  
ต่าง ๆ

คุณลักษณะ	SOV	df	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ	ความเข้มข้น	3	14.486	4.829	5.759*
	ผู้ทดสอบ	17	44.069	2.592	3.092*
	Error	51	42.764	0.839	
สี	ความเข้มข้น	3	7.375	2.458	4.197*
	ผู้ทดสอบ	17	52.736	3.102	5.296*
	Error	51	29.875	0.586	
กลิ่น	ความเข้มข้น	3	0.819	0.273	0.423 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	17	105.569	6.21	9.617*
	Error	51	32.931	0.646	
รสชาติ	ความเข้มข้น	3	3.000	1	1.378 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	17	152.444	8.967	12.360*
	Error	51	37.000	0.725	
เนื้อสัมผัส	ความเข้มข้น	3	8.778	2.926	5.691*
	ผู้ทดสอบ	17	58.111	3.418	6.648*
	Error	51	26.222	0.514	
ความชอบรวม	ความเข้มข้น	3	3.042	1.014	1.648 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	17	97.236	5.72	9.499*
	Error	51	30.708	0.602	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเจลลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลา  
ทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	SOV	df	SS	MS	F
breaking force	ความเข้มข้น	3	28817.2	9605.75	16.865*
	Error	12	6834.98	569.581	
breaking distance	ความเข้มข้น	3	14.659	4.886	11.336*
	Error	12	5.173	0.431	
ความแข็งแรงเจล	ความเข้มข้น	3	15369.1	5123.03	4.524*
	Error	12	13588.2	1132.35	
hardness	ความเข้มข้น	3	354.275	118.092	7.497*
	Error	18	252.024	15.752	
springiness	ความเข้มข้น	3	0.004	0.001	6.205*
	Error	18	0.004	0	
cohesiveness	ความเข้มข้น	3	0.007	0.002	14.871*
	Error	18	0.003	0	
ความขาว	ความเข้มข้น	3	14.805	4.935	4.946*
	Error	20	19.954	0.998	
ความสามารถ ในการอุ้มน้ำ	ความเข้มข้น	3	5.995	1.998	9.033*
	Error	8	1.77	0.221	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ 15** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทาง  
ประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมีปลาทรายแดงเกรด A  
ที่เติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	SOV	df	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ	ความเข้มข้น	3	15.75	5.25	6.238*
	ผู้ทดสอบ	20	23.31	1.165	1.385 <sup>ns</sup>
	Error	60	50.5	0.842	
สี	ความเข้มข้น	3	4.607	1.536	2.912*
	ผู้ทดสอบ	20	47.5	2.375	4.503*
	Error	60	31.643	0.527	
กลิ่น	ความเข้มข้น	3	2.524	3.14	1.217 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	20	62.81	0.841	4.543*
	Error	60	41.476	0.691	
รสชาติ	ความเข้มข้น	3	4.893	1.631	1.649 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	20	86.167	4.308	4.355*
	Error	60	59.357	0.989	
เนื้อสัมผัส	ความเข้มข้น	3	25.655	8.552	8.468*
	ผู้ทดสอบ	20	61.31	3.065	3.035*
	Error	60	60.595	1.01	
ความชอบรวม	ความเข้มข้น	3	11.083	3.694	4.963*
	ผู้ทดสอบ	20	32.952	1.648	2.213*
	Error	60	44.667	0.744	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ 16** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา  
ที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	SOV	df	SS	MS	F
breaking force	ความเข้มข้น	3	22324.752	7441.584	11.283*
	Error	8	5275.518	659.440	
breaking distance	ความเข้มข้น	3	29.100	9.700	169.557*
	Error	8	0.458	0.057	
ความแข็งแรงเจล	ความเข้มข้น	3	205018.148	68339.383	36.715*
	Error	8	14890.707	1861.338	
hardness	ความเข้มข้น	3	29.984	9.995	1.862 <sup>ns</sup>
	Error	8	42.942	5.368	
cohesiveness	ความเข้มข้น	3	0.010	0.003	154.972*
	Error	8	0.000	2.08E-05	
springiness	ความเข้มข้น	3	0.006	0.002	113.209*
	Error	8	0.000	1.69E-05	
ความขาว	ความเข้มข้น	3	15.390	5.130	6.381*
	Error	16	12.863	0.804	
ความสามารถในการอุ้มน้ำ	ความเข้มข้น	3	0.154	0.051	0.158 <sup>ns</sup>
	Error	8	2.591	0.324	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะ  
ทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA  
ที่เติมวุ้นความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	SOV	df	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ	ความเข้มข้น	3	22.417	7.472	8.406*
	ผู้ทดสอบ	20	46.286	2.314	2.604*
	Error	60	53.333	0.889	
สี	ความเข้มข้น	3	1.845	0.615	1.724 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	20	38.786	1.939	5.436*
	Error	60	21.405	0.357	
กลิ่น	ความเข้มข้น	3	0.321	0.107	0.720 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	20	90.5	4.525	30.408*
	Error	60	8.929	0.149	
รสชาติ	ความเข้มข้น	3	11.274	3.758	5.503*
	ผู้ทดสอบ	20	73.31	3.665	5.367*
	Error	60	40.976	0.683	
เนื้อสัมผัส	ความเข้มข้น	3	26.143	8.714	6.716*
	ผู้ทดสอบ	20	13.952	0.698	0.538 <sup>ns</sup>
	Error	60	77.857	1.298	
ความชอบรวม	ความเข้มข้น	3	20.238	6.746	16.683*
	ผู้ทดสอบ	20	32.5	1.625	4.019*
	Error	60	24.262	0.404	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๑18** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา  
ที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมที่มีการเติมคาร์ราจีเนนความเข้มข้นต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	SOV	df	SS	MS	F
breaking force	ความเข้มข้น	3	11065.849	3688.616	265.910*
	Error	8	110.973	13.872	
breaking distance	ความเข้มข้น	3	0.274	0.091	4.063*
	Error	8	0.18	0.022	
ความแข็งแรงเจล	ความเข้มข้น	3	2638.452	879.484	114.614*
	Error	8	61.388	7.673	
hardness	ความเข้มข้น	3	1532.583	510.861	253.737*
	Error	8	16.107	2.013	
cohesiveness	ความเข้มข้น	3	0.015	0.005	22.368*
	Error	8	0.004	0.000	
springiness	ความเข้มข้น	3	0.052	0.017	10.379*
	Error	8	0.006	0.001	
ความขาว	ความเข้มข้น	3	67.950	22.650	18.232*
	Error	16	19.877	1.242	
ความสามารถ ในการอุ้มน้ำ	ความเข้มข้น	3	455.432	151.811	37.263*
	Error	8	32.592	4.074	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๑๑** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทาง  
ประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิปลาปากคมที่เติมคาร์ราจีแนน  
ความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	SOV	df	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ	ความเข้มข้น	3	47.339	15.78	0.481*
	ผู้ทดสอบ	13	55.589	4.276	2.569*
	Error	39	64.911	1.664	
สี	ความเข้มข้น	3	35.071	11.690	12.181*
	ผู้ทดสอบ	13	42.857	3.297	3.435*
	Error	39	37.429	0.96	
กลิ่น	ความเข้มข้น	3	0.339	0.113	0.277*
	ผู้ทดสอบ	13	78.232	6.018	12.091*
	Error	39	19.411	0.498	
รสชาติ	ความเข้มข้น	3	2.5	0.833	1.757*
	ผู้ทดสอบ	13	117.214	9.016	19.008*
	Error	39	18.5	0.474	
เนื้อสัมผัส	ความเข้มข้น	3	17.571	5.857	6.358*
	ผู้ทดสอบ	13	49.929	3.841	4.169*
	Error	39	35.929	0.921	
ความชอบรวม	ความเข้มข้น	3	6.339	2.113	2.755*
	ผู้ทดสอบ	13	66.304	5.1	6.650*
	Error	39	29.911	0.767	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

**ตารางผนวกที่ ๒0** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา  
ที่ผลิตจากชูริมิปลาทรายแดงเกรด A ที่มีการเติมคาร์ราจีแนมความเข้มข้น  
ต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	SOV	df	SS	MS	F
breaking force	ความเข้มข้น	3	10831	3610.34	13.077*
	Error	12	3312.97	276.081	
breaking distance	ความเข้มข้น	3	24.107	8.036	84.929*
	Error	12	1.135	0.095	
ความแข็งแรงเจล	ความเข้มข้น	3	63579.2	21193.1	32.871*
	Error	12	7736.91	644.743	
hardness	ความเข้มข้น	3	1025.09	341.698	24.120*
	Error	18	254.993	14.166	
springiness	ความเข้มข้น	3	0.001	0.000	5.062*
	Error	18	0.002	9.70E-05	
cohesiveness	ความเข้มข้น	3	0.003	0.001	4.603*
	Error	18	0.004	0.000	
ความขาว	ความเข้มข้น	3	68.896	22.965	94.299*
	Error	20	4.871	0.244	
ความสามารถ ในการอุ้มน้ำ	ความเข้มข้น	3	4.402	1.467	5.594*
	Error	8	2.098	0.262	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตารางผนวกที่ จ21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมิเกรด A ที่เติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	SOV	df	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ	ความเข้มข้น	3	3.708	1.236	1.696 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	23	38.625	1.679	2.304*
	Error	69	50.292	0.729	
สี	ความเข้มข้น	3	7.948	2.649	5.573*
	ผู้ทดสอบ	23	60.24	2.619	5.509*
	Error	69	32.802	0.475	
กลิ่น	ความเข้มข้น	3	3	1	1.917 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	23	78.333	3.406	6.528*
	Error	69	36	0.522	
รสชาติ	ความเข้มข้น	3	6.448	2.149	2.343 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	23	53.24	2.315	2.523*
	Error	69	63.302	0.917	
เนื้อสัมผัส	ความเข้มข้น	3	22.75	7.583	8.406*
	ผู้ทดสอบ	23	70.333	3.058	3.390*
	Error	69	62.25	0.902	
ความชอบรวม	ความเข้มข้น	3	12.51	4.17	5.508*
	ผู้ทดสอบ	23	45.74	1.989	2.627*
	Error	69	52.24	0.757	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ ๒๒ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลา  
ที่ผลิตจากซูริมิปลาทรายแดงเกรด SA ที่มีการเติมคาร์ราจีแนนความเข้มข้น  
ต่าง ๆ

สมบัติทางกายภาพ	SOV	df	SS	MS	F
breaking force	ความเข้มข้น	3	20519.542	6839.847	28.464*
	Error	8	1922.412	240.302	
breaking distance	ความเข้มข้น	3	17.778	5.926	102.028*
	Error	8	0.465	0.058	
ความแข็งแรงเจล	ความเข้มข้น	3	144016.827	48005.609	69.613*
	Error	8	5516.874	689.609	
hardness	ความเข้มข้น	3	444.437	148.146	21.692*
	Error	8	54.636	6.829	
cohesiveness	ความเข้มข้น	3	0.000	5.12E-05	0.493 <sup>ns</sup>
	Error	8	0.001	0.000	
springiness	ความเข้มข้น	3	0.000	4.83E-05	5.915*
	Error	8	6.53E-05	8.17E-06	
ความขาว	ความเข้มข้น	3	116.403	38.801	112.680*
	Error	16	5.510	0.344	
ความสามารถ ในการอุ้มน้ำ	ความเข้มข้น	3	1.536	0.512	3.483*
	Error	8	1.176	0.147	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ จ23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทาง  
ประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลาที่ผลิตจากซูริมีปลาทรายแดงเกรด SA ที่  
เติมคาร์ราจีแนนเข้มข้นความเข้มข้นต่าง ๆ

คุณลักษณะ	SOV	df	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ	ความเข้มข้น	3	69.221	23.074	35.693*
	ผู้ทดสอบ	16	24.029	1.502	2.323*
	Error	48	31.029	0.646	
สี	ความเข้มข้น	3	58.471	19.490	23.371*
	ผู้ทดสอบ	16	31.735	1.983	2.378*
	Error	48	40.029	0.834	
กลิ่น	ความเข้มข้น	3	1.926	0.642	2.079 <sup>ns</sup>
	ผู้ทดสอบ	16	47.059	2.941	9.524*
	Error	48	14.824	0.309	
รสชาติ	ความเข้มข้น	3	59.338	19.779	32.280*
	ผู้ทดสอบ	16	23.529	1.471	2.400*
	Error	48	29.412	0.613	
เนื้อสัมผัส	ความเข้มข้น	3	30.515	10.172	14.915*
	ผู้ทดสอบ	16	31.618	1.976	2.898*
	Error	48	32.735	0.682	
ความชอบรวม	ความเข้มข้น	3	35.809	11.936	11.461*
	ผู้ทดสอบ	16	23.029	1.439	2.347*
	Error	48	29.441	0.613	

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ จ24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้นปลานิล  
ที่มีการเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5

สมบัติทางกายภาพ	df	Sig	t
breaking force	6	0.851	0.197 <sup>ns</sup>
breaking distance	6	0.281	1.185 <sup>ns</sup>
ความแข็งแรงเจล	6	0.520	0.683 <sup>ns</sup>
hardness	4	0.661	-0.473 <sup>ns</sup>
springiness	4	0.290	-1.219 <sup>ns</sup>
cohesiveness	4	0.059	-2.613 <sup>ns</sup>
ความขาว	10	0.000	5.198*
ความสามารถในการอุ้มน้ำ	4	0.940	0.080 <sup>ns</sup>

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ จ25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทาง  
ประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลานิลที่เติมคาร์ราจีแนนเข้มข้นร้อยละ 0.5

คุณลักษณะ	df	Sig	t
ลักษณะปรากฏ	46	0.176	1.374 <sup>ns</sup>
สี	46	0.408	0.836 <sup>ns</sup>
กลิ่น	46	0.403	-0.844 <sup>ns</sup>
รสชาติ	46	0.880	0.152 <sup>ns</sup>
เนื้อสัมผัส	46	0.039	-2.124*
ความชอบรวม	46	0.640	-0.47 <sup>ns</sup>

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ จ26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางกายภาพของเจลลูกชิ้น  
ปลานวลจันทร์น้ำจืดที่มีการเติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5

สมบัติทางกายภาพ	df	Sig	t
breaking force	4	0.850	0.201 <sup>ns</sup>
breaking distance	4	0.859	-0.189 <sup>ns</sup>
ความแข็งแรงเจล	4	0.973	0.036 <sup>ns</sup>
hardness	4	0.558	0.639 <sup>ns</sup>
springiness	4	0.104	-2.093 <sup>ns</sup>
cohesiveness	4	0.010	-4.651*
ความขาว	8	0.250	-1.241 <sup>ns</sup>
ความสามารถในการอุ้มน้ำ	4	0.936	0.086 <sup>ns</sup>

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ จ27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบคุณลักษณะทาง  
ประสาทสัมผัสของลูกชิ้นปลานวลจันทร์น้ำจืดที่เติมคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.5

คุณลักษณะ	Df	Sig	t
ลักษณะปรากฏ	48	0.661	0.442 <sup>ns</sup>
สี	48	0.693	-0.397 <sup>ns</sup>
กลิ่น	48	0.878	-0.154 <sup>ns</sup>
รสชาติ	48	1.000	0.000 <sup>ns</sup>
เนื้อสัมผัส	48	0.004	-3.032*
ความชอบรวม	48	0.020	-2.415*

\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายจักรินทร์ ตรีอินทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	5 สิงหาคม พ.ศ. 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	2551 วิทยาศาสตรบัณฑิต (ประมง) เกียรตินิยมอันดับ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU)