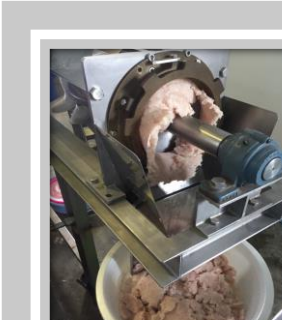


SURIMI



ซูริมิ (Surimi or surimi base)

หมายถึง เนื้อปลาบด ที่ผ่านการล้างเนื้อปลา แล้วนำมาแช่แข็ง มีรากศัพท์มาจากภาษาญี่ปุ่น 2 คำ คือ 'suru' หมายถึง ขั้นตอน และ 'mash/mi' หมายถึง เนื้อปลา ขั้นตอนการผลิตซูริมิถูกบันทึกไว้

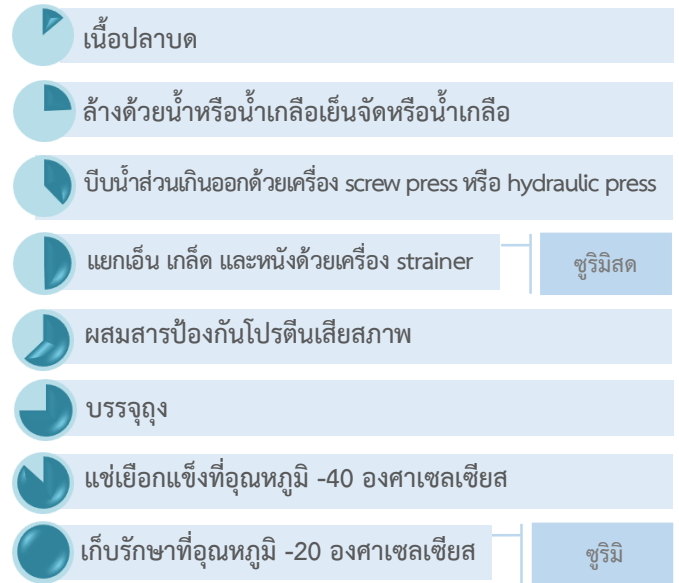
ครั้งแรกในตำราอาหารญี่ปุ่น ซึ่งถูกเขียนไว้ในปี 1528 ซูริมิได้จากการนำเนื้อปลาบดที่ผ่านการแยกก้างออก ล้างด้วยน้ำ หรือสารละลายเกลือ เพื่อขจัดไขมันและองค์ประกอบที่ละลายน้ำ เช่น เลือด สารโคพลาสไมคโปรตีนที่ละลายน้ำออกไป เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล นอกจากนี้ยังเป็นการทำจัดเอนไซม์ โดยเฉพาะโปรติเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถเร่งการย่อยสลายโปรตีนออกไป เนื้อปลาบดที่ผ่านการล้างส่วนใหญ่เป็นไมโอไฟบริลาร์โปรตีน มีลักษณะเป็นเส้นเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นในการเกิดเจล โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในการเกิดเจลของไมโอไฟบริลาร์โปรตีน ได้แก่ ไมโอซิน (myosin) และแอคติน (actin) ไมโอซิน มีประมาณร้อยละ 40-60 ส่วนแอคตินมีประมาณร้อยละ 15-30 ของไมโอไฟบริลาร์โปรตีนทั้งหมด (Asghar *et al.*, 1985) อย่างไรก็ตาม Yasui และคณะ (1980) พบว่าตัวอย่างเจลที่มีส่วนผสมระหว่างไมโอซินและแอคติน มีค่าความแข็งมากกว่าตัวอย่างที่มีไมโอซินเพียงอย่างเดียว ซูริมิที่ได้อาจนำไปทำผลิตภัณฑ์ทันทีหรือผสมสารเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของโปรตีน เช่น โซรบีทอล น้ำตาล ฟอสเฟต

ซึ่งสารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของโปรตีนโดยคลุมพื้นผิวของโปรตีนไว้ไม่ให้เสียน้ำและป้องกันการตกตะกอนของโปรตีน (Matsumoto and Noguchi, 1992; Okada, 1992) หลังจากนั้นจึงนำซูริมิที่ผสมด้วยสารป้องกันการเสื่อมสภาพของโปรตีนดังกล่าวเก็บไว้ในรูปผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา นิยมนำปลาทะเลมาผลิตซูริมิ เนื่องจากมีเนื้อขาว จับได้ในปริมาณมาก ไม่มีกลิ่นโคลน และราคาไม่แพง เช่น ปลาอะลาสกา (*Theragra chalcogramma*) ซึ่งเป็นปลาที่ให้คุณภาพเจลของซูริมิสูง (excellent) ผลิตภัณฑ์จากซูริมิมีความแข็งแรงของเจลในระดับ SA* ขึ้นไป ส่วนปลา New Zealand hoki (*Macrurus novaezelandiae*), southern blue whiting (*Micromesistius australis*) and northern blue whiting (*Micromesistius poutassou*), croaker (*Pennahai macrophthalmus*) ปลาทั้ง 4 ชนิดนี้ให้คุณภาพเจลของซูริมิอยู่ในระดับดี (good) ส่วนปลาทรายแดง (threadfin bream) (*Nemipterus bleekeri*) ซึ่งเป็นปลาในเขตร้อนมีความแข็งแรงของเจลอยู่ในระดับปานกลาง (fair) (Kano, 1992; Park, 2005) ผลิตภัณฑ์จากซูริมิ เช่น ลูกชิ้น ปูอัด ไส้กรอก คามาโบโกะ ชิคุวะ ทอดมัน

* SA หมายถึง คุณภาพของซูริมิ เกรด SA การจัดเกรดซูริมิ
ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

1 ขั้นตอนการผลิตซูริมี

หลักการในการผลิตซูริมีนั้น เป็นการนำเนื้อปลาสด มาล้างด้วยน้ำ หรือน้ำเกลือ เพื่อกำจัดไขมัน และโปรตีนที่ ละลายน้ำออกไป เหลือโปรตีนส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน จากนั้นจึงใส่สารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ และนำมาอัดเป็นก้อนแข็ง ขั้นตอนการผลิตซูริมีเริ่มจากการ นำปลามาตัดหัว ควักไส้ แล้วแยกเนื้อออกจากก้างและหนัง ซึ่ง ควรใช้ปลาที่มีความสดมาแปรรูป เนื่องจากเอนไซม์โปรตีนส จะย่อยสลายโปรตีนจากเนื้อปลา ทำให้ความแข็งแรงของเจล ลดลงอย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่วัน (Toyoda *et al.*, 1992) หลังจากนั้นจึงล้างเนื้อปลาสดด้วยน้ำ หรือน้ำเกลือเย็นจัด เพื่อ รักษาความสดของเนื้อปลา ขั้นตอนการล้างถือว่ามีสำคัญ อย่างมากในการผลิตซูริมี เพราะเป็นขั้นตอนในการกำจัดไขมัน และองค์ประกอบที่ละลายน้ำ เช่น เลือด เอนไซม์ และ สารโคพลาสติก โปรตีน เพื่อให้คงเหลือแต่ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ ไม่ละลายน้ำ และมีความสำคัญต่อการเกิดเจล อีกทั้งการล้าง ยังส่งผลต่อความขาว และเป็นการล้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ ออกไป โดยทั่วไปเนื้อปลาสดจะมีปริมาณไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน ประมาณ 2 ใน 3 ของโปรตีนทั้งหมด ดังนั้น จำนวนครั้งของการล้าง และปริมาณของน้ำที่ใช้ล้างจึงมีความสำคัญอย่างมาก แตกต่าง กันไปขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ความสด และชนิดของสารละลาย ที่ใช้ล้าง (Lee, 1984) จากนั้นแยกน้ำออกจากเนื้อปลา แล้วนำมา บีบน้ำส่วนเกินออกด้วยเครื่อง screw press หรือ hydraulic press เพื่อให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 82-85 ซึ่งเป็น ความชื้นที่ใกล้เคียงกับเนื้อปลาแล่ (Park and Morrissey, 2000; Satam *et al.*, 2004) ขั้นตอนนี้ยังช่วยแยกเกล็ด ก้างขนาดเล็ก และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ออกไป แล้วนำไป ผ่านเครื่องแยกเอ็น เกล็ด และหนังด้วยเครื่อง strainer อีกครั้ง จะได้เนื้อปลาสดที่มีสีขาว ไม่มีกลิ่นคาว และมีความสามารถ เกิดเจลที่ดี เรียกเนื้อปลาชนิดนี้ว่าซูริมีสด จากนั้นนำซูริมีสด มาปั่นผสมรวมกับสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ เช่น น้ำตาล ซอร์บิทอล ฟอสเฟต แล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติกแช่เยือกแข็งที่ อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง แล้ว จึงนำมาเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้งาน ขั้นตอนการผลิต ดังแสดงในแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตซูริมี

2 วัตถุประสงค์ในการผลิตซูริมี

การเลือกวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตซูริมีเริ่มแรกนั้นเลือกจาก ปลาที่หาได้ง่าย จับได้ครั้งละจำนวนมาก ราคาไม่แพง ดังนั้น ปลาทะเลจึงเป็นปลาที่นิยมนำมาผลิตเป็นซูริมี ซึ่งผู้บริโภคนิยม ซูริมีที่ให้ค่าความแข็งแรงของเจลสูง และมีเนื้อขาว เนื่องจากจะ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียว แน่น ไม่ร่วนซุย และมีสีขาว น่ารับประทาน ส่วนโรงงานต้องการผลิตซูริมีจากปลาทะเลเนื้อขาว เนื่องจากให้ร้อยละผลผลิตของซูริมีมากกว่าร้อยละ 20 ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการผลิตด้วยวัตถุดิบจากปลาน้ำจืดที่ ให้ร้อยละผลผลิตของซูริมีน้อยกว่าร้อยละ 15 และค่าความ แข็งแรงของเจลต่ำกว่าปลาทะเล อย่างไรก็ตาม เมื่อมีความ ต้องการเพิ่มมากขึ้น การทำประมงที่มากเกินไปกำลังผลิตของสัตว์น้ำ ทำให้การเกิดและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำไม่สามารถทดแทน ปริมาณสัตว์น้ำที่ตายโดยธรรมชาติและสัตว์น้ำที่ถูกจับจากการ ทำประมง ส่งผลให้ปริมาณปลาลดลงอย่างรวดเร็ว ผู้ผลิตจึงเริ่ม หันมาใช้สัตว์น้ำอื่นทดแทน เช่น การใช้วัตถุดิบจากปลาน้ำจืด ปลาทะเลเนื้อดำ และการผลิตซูริมีจากปลาชนิดอื่นที่ไม่ใช่ปลาทะเล ตัวอย่างวัตถุดิบสัตว์น้ำที่สามารถนำมาผลิตซูริมีได้มีดังนี้

1. ชูริมิจากปลาทะเล

1.1 ชูริมิจากปลาเนื้อขาว

ปลาที่นิยมนำมาผลิตชูริมิ เช่น ปลาอลาสกาทอลลอค ปลาทรายแดง ปลาไส้ก้อ ปลาตาหวาน ปลาจวด ปลาปากคม ปลาเข็ม ปลาตาโต ซึ่งปลาทะเลเนื้อขาวที่นิยมนำมาผลิตเป็นชูริมิ ได้แก่

1) **ปลาอลาสกาทอลลอค** เป็นปลาที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการผลิตชูริมิ เนื่องจากมีเนื้อสีขาว มีค่าความแข็งแรงของเจลอยู่ในระดับดีมาก (excellent) เป็นสายพันธุ์หนึ่งในตระกูลของปลาคอด พบได้ทั่วไปในแปซิฟิกเหนือจากอ่าวอลาสก้าทางตะวันตกออกตลอดทะเลแปซิฟิกรอบคาบสมุทรคัมชัตคาในแปซิฟิกตะวันตกและทะเลญี่ปุ่น ในอดีตปลาชนิดนี้เป็นปลาที่จับได้ครั้งละจำนวนมาก รสชาติดี ไม่คาว และมีราคาไม่แพง ในปี ค.ศ. 1971 ปริมาณการจับปลาชนิดนี้เพิ่มขึ้นจาก 3 ล้านตัน และเพิ่มสูงถึงเกือบ 7 ล้านตัน ในปี ค.ศ. 1986 และลดลงเหลือประมาณ 2.7 ล้านตัน ในปี ค.ศ. 2004 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป ความต้องการของผู้บริโภคกลับมีมากขึ้น ทำให้ต้องหาปลาชนิดอื่นมาทดแทน (FAO, 2007)

2) **ปลาโฮกิ** เป็นปลาที่ได้รับความนิยมมากในประเทศญี่ปุ่น และเกาหลี ปลาชนิดนี้นอกจากนำมาผลิตเป็นชูริมิแล้ว ยังนิยมรับประทานในรูปของปลาแล่ และปลาแล่ปรุงรส เนื้อปลาชนิดนี้มีคุณค่าทางอาหารสูง มีปริมาณโปรตีนมากกว่าร้อยละ 20 และมีไขมันน้อยกว่าร้อยละ 5 (Nopianti *et al.*, 2011)

3) **Northern and Southern blue whiting** เป็นปลาในตระกูลปลาคอด อาศัยอยู่ในน่านน้ำในประเทศนิวซีแลนด์ ลักษณะของชูริมิจากปลาชนิดนี้จะมีความเหนียว นุ่ม โดยทั่วไปแล้วชูริมิจากปลาชนิดนี้จะมีความขาว และรสชาติดีกว่าชูริมิจากปลาโฮกิ และปลาอลาสกาทอลลอค (Nopianti *et al.*, 2011)

4) **ปลาทรายแดง (Threadfin bream)** ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา ความต้องการใช้ปลาชนิดนี้เพื่อผลิตชูริมิมียิ่งขึ้น และยังคงมีบทบาทสำคัญในตลาดในอนาคต ปลาชนิดนี้เป็นปลาหน้าดินพบที่ระดับความลึก 20-50 เมตร เนื่องจากเป็นปลาที่มีเนื้อสีขาว เนื้อสัมผัสนุ่ม มีค่าความแข็งแรงของเจลสูง ทำให้ชูริมิจากปลาชนิดนี้นิยมนำมาผลิตเป็นคามาโบโกะ และปูอัด (Park, 2005)

1.2 ชูริมิจากปลาเนื้อดำ

ปลาชาร์ดิน (*Sardina pilchardus*) และ ปลา horse mackerel (*Trachurus trachurus*) เป็นปลาในกลุ่ม small fatty pelagic fish ซึ่งมีปริมาณการจับร้อยละ 40 ของปลาที่จับทั้งหมดทั่วโลก อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบจากการผลิตชูริมิจากปลาในกลุ่มนี้ คือการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีปริมาณไขมันและปริมาณ proteolytic enzyme ในการย่อยสลายโปรตีน สลายโปรตีนค่อนข้างสูงนอกจากนี้ยังมีปริมาณของโปรตีนที่ละลายน้ำ ได้แก่ ชาร์โคพลาสมิคโปรตีนสูง ทำให้ได้ร้อยละผลผลิตค่อนข้างต่ำ เนื้อชูริมิไม่ขาวมีสีออกเหลืองเทา มีกลิ่นคาว มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำ และรสชาติที่ต่างจากชูริมิจากปลาเนื้อขาวอาจเนื่องจากมีปริมาณไขมันที่เนื้อค่อนข้างสูง ทำให้ไม่ได้รับความนิยจากผู้บริโภค (Shimizu *et al.*, 1992; Hultin *et al.*, 2005)

1.3 ชูริมิจากปลาหูขาว หรือปลา oil fish

ปลาหูขาว (fatty-fish escolar, *Lepidocybium flavobrunneum*) เป็นปลาตระกูลเดียวกับปลาหูขาวในวงศ์ Gempylidae พบได้ในทะเลเขตร้อนและเขตอบอุ่น เป็นผลพลอยได้จากการจับปลาหูขาวเนื่องจากมีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 90 ซึ่งในปริมาณนี้เป็นซีฟิ่งร้อยละ 18-22 ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการท้องเสียได้ การผลิตชูริมิจากปลาชนิดนี้จึงจำเป็นต้องล้างไขมัน และซีฟิ่งออกไป (Pattaravivat *et al.*, 2008)

2. ชูริมิจากหมึก

Campo-Deano และคณะ (2009) ได้ศึกษาวิธีการผลิตชูริมิจากปลาหมึกยักษ์ (*Dosidicus gigas*) โดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วยในการตกตะกอนโปรตีน ส่วน Kim and Choi (2011) ได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของเจล โดยการใส่แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งสาลี ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพของเจลให้ดีขึ้นได้ 1.9 เท่า

3. ชูริมีจากเคย Antarctic krill (*Euphausia superba*)

เคย มีลำตัวคล้ายกุ้งแต่มีขนาดเล็กกว่า อาศัยอยู่ในน้ำเย็นจัด ใต้ท้องทะเลลึก บริเวณมหาสมุทรตอนใต้ พบได้เป็นกลุ่มใหญ่ประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 กม. ในมหาสมุทร (Kawaguchi and Nicol, 2015; Atkinson และคณะ, 2009) ระบุว่าในปี ค.ศ. 2000 น่าจะมีปริมาณเคย 125 ล้านตัน การผลิตชูริมีจากเนื้อเคยอย่างเดียวไม่ก่อให้เกิดเจลได้ ดังนั้น นอกจากการผสมสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพ ได้แก่ น้ำตาลร้อยละ 6 และโพสเฟอรัสร้อยละ 0.2 เพื่อรักษาสภาพของโปรตีนระหว่างแช่แข็ง จึงจำเป็นต้องเพิ่มปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพความแข็งแรงของเจลลงไปอีก เช่น โปรตีนจากถั่วเหลือง กัวกัม คาราจีแนน หรือ แป้งสาลี เพื่อเพิ่มความสามารถในการเกิดเจลให้ดียิ่งขึ้น (Chae *et al.*, 2014)

4. ชูริมีจากปลาน้ำจืด

จุดเด่นของการนำปลาน้ำจืดมาผลิตชูริมี เนื่องจากเป็นปลาที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ในปริมาณมาก สามารถกำหนดปริมาณที่ต้องการได้ ซึ่งจุดเด่นดังกล่าวอาจช่วยทดแทนปลาทะเลที่มีปริมาณการจับลดลงได้ ปลาน้ำจืดที่มีการทดลองผลิตชูริมี เช่น ปลานิล ปลาสร้อย ปลาตะเพียน ปลาไน ปลานวลจันทร์น้ำจืด ปลาช่อน ปลาจีน ซึ่งปลาที่ได้รับการยอมรับจากโรงงานผลิตชูริมี ได้แก่ ปลาจีนเกล็ดเงิน (*Silver carp*) (*Hypophthalmichthys molitrix*) เนื่องจากมีเนื้อสีขาว มีปริมาณเนื้อมาก และรสชาติดี (Wang *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตาม ชูริมีจากปลาน้ำจืดยังไม่ได้รับความสนใจจากโรงงานผลิตชูริมีมากนัก เนื่องจากได้ปริมาณร้อยละผลผลิตค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 15 ของน้ำหนักปลาสด) จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ และหาแนวทางในการเพิ่มผลผลิตชูริมี เพื่อช่วยลดต้นทุน และเป็นทางเลือกให้กับผู้ผลิตที่ประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบปลาทะเลในการผลิตชูริมีในปัจจุบัน

3 คุณภาพของชูริมี

คุณภาพของชูริมี มีผลโดยตรงกับราคาขายในท้องตลาด ซึ่งปลาที่นำมาผลิตชูริมีมีทั้งปลาทะเล และปลาน้ำจืด ทั้งปลาน้ำจืดและปลาน้ำจืด เช่น ปลาอะลาสก้าพอลลอค (Alaska pollock) ปลาบลูไวทิง (Blue whiting) ปลาจวด (Croaker) ปลาปากคม (Lizard fish) ปลาซาร์ดีน (Sardine) ปลานิล (Tilapia) ปลาจีน (Chinese carb) เป็นต้น คุณภาพของเจลจากชูริมีพิจารณาจากหลายปัจจัย ได้แก่ 1. ความแข็งแรงของเจล 2. สี 3. ความบริสุทธิ์ หมายถึง ต้องไม่มีสิ่งเจือปน เช่น เลือด หนัง เนื้อดำ และ 4. ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย

Oregon State University Surimi School ได้รวบรวมการแบ่งคุณภาพของชูริมีตามความแข็งแรงของเจล และสี ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 9 เกรด ชูริมีเกรด SSA เป็นเกรดที่มีคุณภาพดีที่สุดในด้านความแข็งแรงของเจล และค่าสี ส่วนชูริมีเกรด B เป็นเกรดชูริมีที่มีคุณภาพต่ำที่สุด (FAO, 2007) ดังนี้

1. การจัดเกรดชูริมีจากค่าความแข็งแรงของเจลชูริมี

การกำหนดค่าความแข็งแรงของแต่ละเกรด แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของปลา แหล่งผลิต หรือประเทศ เช่น ชูริมีเกรด AA ของปลาพอลลอค หากทำการผลิตบนเรือ (factory trawler) จะต้องมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่า 900 กรัม เซนติเมตร ในขณะที่การผลิตในโรงงาน (shore plant) การจัดเกรดในระดับ AA คิดจากค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่า 750 กรัม เซนติเมตร ส่วนปลา pacific whiting หากทำการผลิตบนเรือ จะต้องมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่า 800 กรัม เซนติเมตร ในขณะที่การผลิตในโรงงานการจัดเกรดในระดับ AA คิดจากค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่า 700 กรัม เซนติเมตร ส่วนปลาทรายแดง (threadfin bream) ประเทศไทย และประเทศอินเดีย กำหนดชูริมีเกรด AA ที่ค่าความแข็งแรงของเจล มากกว่า 600 กรัม เซนติเมตร รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพของซูริมิแบ่งตามความแข็งแรงของเจล (Gel Strength)

Surimi grade	Gel Strength (g.cm)							
	Pollock Surimi		Pacific whiting surimi		Northern blue whiting surimi	Itoyori (threadfin bream) surimi		Jack mackerel
	Factory trawler	Shore plant	Factory trawler	Shore plant	Factory trawler	Thailand	India	
SSA	-	-	-	-	-	-	>1,000	-
SA	>1,000	>1,000	>1,000	-	>1,200	-	>900	-
FA	>900	>900	>900	>900	>1,000	-	>750	>600
AA	>900	>750	>800	>700	-	>600	>600	-
A	>750	>600	>700	>600	>900	>500	>400	>400
KA	>600	>500	>500	>400	>600	>300	>300	>300
KB	>500	>400	>400	>300	>400	-	-	-
RA	>400	>200	>300	>200	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-	-	>200

หมายเหตุ Factory trawler คือ การผลิตซูริมิบนเรือ; Shore plant คือ การผลิตซูริมิในโรงงาน

ตารางที่ 2 คุณภาพของซูริมิแบ่งตามสี

Surimi grade	สี																
	Pollock Surimi				Pacific whiting surimi				Northern blue whiting surimi		Itoyori (threadfin bream) surimi				Jack mackerel		
	Factory trawler		Shore plant		Factory trawler		Shore plant		Factory trawler		Thailand		India				
	L*	b*	L*	b*	L*	b*	L*	b*	L*	b*	L*	b*	L*	b*	L*	b*	
SSA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>78	<6	-	-
SA	>75	<4	>75	<4	>75	<4	-	-	>75	<5	-	-	>76	<6	-	-	
FA	>75	<4	>75	<4	>75	<4	>75	<4	>75	<5	-	-	>75	<6	>72	<10	
AA	>75	<4	>74	<4	>75	<4	>75	<4	-	-	>76	<10	>75	<8	-	-	
A	>74	<4	>74	<4	>74	<4	>74	<4	>74	<6	>76	<12	>75	<8	>70	<10	
KA	>72	<6	>72	<6	>72	<6	>74	<6	>72	<8	>76	<12	>74	<10	>70	<12	
KB	>70	<10	>70	<8	>70	<10	>70	<8	>70	<10	-	-	-	-	-	-	
RA	>70	<10	>70	<10	>70	<10	>70	<10	-	-	-	-	-	-	-	-	
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>68	<14

หมายเหตุ Factory trawler คือ การผลิตซูริมิบนเรือ; Shore plant คือ การผลิตซูริมิในโรงงาน

L* คือค่าความสว่าง หมายถึง ระดับสีดำ (-) ถึงสีขาว (+) b* คือ ระดับของสีเหลือง (+) ถึง สีน้ำเงิน (-)

2. การจัดการซูริมิจากค่าสี

การกำหนดค่าสีของแต่ละเกรด แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของปลา แหล่งผลิต หรือประเทศ เช่นเดียวกับการจัดการซูริมิจากค่าความแข็งแรงของเจล เช่น ซูริมิเกรด A ของปลาพอลลอก และปลา pacific whiting ทั้งจากการผลิตบนเรือ และการผลิตในโรงงาน จะต้องมีความสว่าง (L*) มากกว่า 74 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ต้องมากกว่า 6 ปลาทรายแดง

ประเทศไทย และประเทศอินเดีย กำหนดซูริมิเกรด A ที่ค่าความสว่าง (L*) มากกว่า 76 และ 75 และต้องมีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่า 12 และ 8 ตามลำดับ และปลาแมกเคอเรล (Jack mackerel) ต้องมีความสว่าง (L*) มากกว่า 70 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่า 10 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพความแข็งแรงของเจล (gel strength)

ปรากฏการณ์ที่โปรตีนเรียงตัวประสานกันอย่างมีแบบแผน เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหเหล่านั้น เรียกว่า การเกิดเจล เจลที่มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดีทำให้เนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกิดเจลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของซูริมิ (จิรวัดน์, 2541) ความสามารถในการเกิดเจล แตกต่างกันไปในปลาแต่ละชนิด วัดได้จากค่าความแข็งแรงของเจล ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการผลิตซูริมิ ความแข็งแรงของเจลแปรผันตามคุณภาพของซูริมิ หากวัตถุดิบที่ใช้มีความแข็งแรงของเจลสูง ผลิตภัณฑ์จากซูริมียังมีความเหนียวนุ่ม เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ทำให้มีราคาแพงกว่าซูริมิที่มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจล ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในและภายนอก ดังนี้

1. ปัจจัยภายใน

ปัจจัยภายในที่มีผลต่อคุณภาพความแข็งแรงของเจลจากซูริมิ ได้แก่

1.1 ความสด

ความสดถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพความแข็งแรงของเจลจากซูริมิ เนื่องจากความสดมีผลต่อการเสถียรภาพของไมโอไฟบริลาร์โปรตีน เกิดการย่อยสลายของเอนไซม์โปรติเอส (protease enzyme) ที่อยู่ในลำไส้ และผิวหนังปลา ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์โปรตีน และโพลีเปปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์สายสั้นๆ จากงานวิจัยของ Benjakul และคณะ (2002) พบว่าหากทำการตัดหัว ควักไส้ปลาออกจะช่วยลดการย่อยสลายของโปรตีนจากเอนไซม์โปรติเอส นอกจากนี้ยังทำให้ซูริมิตมีความขาวมากกว่าการผลิตซูริมิจากปลาทั้งตัว ดังนั้นหลังจากจับควรแปรรูปภายใน 12 ชั่วโมง และควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการแปรรูปซูริมิไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส เนื่องจากเอนไซม์โปรตีนจะย่อยสลายโปรตีนจากเนื้อปลาทำให้ความแข็งแรงของเจลจะลดลงอย่างรวดเร็ว (Toyoda *et al.*, 1992)

1.2 ปริมาณไมโอไฟบริลาร์โปรตีน

ไมโอไฟบริลาร์โปรตีนประกอบด้วยไมโอซิน และแอคติน ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นก และปลาจะมีไมโอซินร้อยละ 43-45 และมีปริมาณแอคตินประมาณ 1 ส่วนใน 5 ส่วนของปริมาณไมโอไฟบริลาร์โปรตีนทั้งหมด (Maruyama, 1985; Robson 1995; Sun and Holley, 2011) เมื่อนำซูริมิมาผสมกับเกลือร้อยละ 2-3 โครงสร้างของเนื้อปลาจะเริ่มเปลี่ยนแปลงโดยไมโอไฟบริลาร์โปรตีนจะเริ่มละลาย และจับตัวกันเป็นแอคโตไมโอซิน (actomyosin) ทำให้เนื้อปลามีความเหนียว ซึ่งเรียกว่าโซล (sol) และเมื่อให้ความร้อนโซลจะแปรสภาพเป็นซูวาริ (suwar) หรือการเรียงตัว เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 5-30 องศาเซลเซียส ส่วนโมโดริ (modori) หรือการแตกตัวเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส และ อาชิ (ashi) หรือการตรึงเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (วุฒิพจน์, 2553; Okada, 1992)

1.3 ทรานซ์กลูตามิเนส (TGase)

เป็นเอนไซม์ (enzyme) ที่พบได้ในสิ่งมีชีวิต ทั้งพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ มีหน้าที่ประสานให้เกิดโครงสร้างของโปรตีน (protein networking) เช่น ช่วยให้เลือดแข็งตัวทำงานด้วยการกระตุ้นให้สร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างกรดอะมิโน (amino acid) สองชนิด คือ กลูตามีน (glutamine) และไลซีน (lysine) ทำให้โครงสร้างโปรตีนแข็งแรงขึ้นสามารถทำให้ขึ้นเนื้อชิ้นเล็ก ๆ จับตัวกันเป็นเนื้อชิ้นใหญ่ได้ (Kuraishi *et al.*, 1997; Ramirez-Suarez *et al.*, 2001, Sakamoto *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 1997)

2. ปัจจัยภายนอก

ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อคุณภาพความแข็งแรงของเจลจากซูริมิ ได้แก่

2.1 อุณหภูมิของแหล่งเลี้ยง

ปลาจากแหล่งเลี้ยงในสภาพภูมิอากาศ และอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ส่งผลให้อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการหลอมละลายไมโอไฟบริลาร์โปรตีนของปลาแต่ละแหล่งแตกต่างกันไป เห็นได้จากปลาที่อาศัยในเขตร้อน จะใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการหลอมละลายไมโอไฟบริลาร์โปรตีนที่แตกต่างจากปลาที่อาศัยในเขตอบอุ่น ปลาสายพันธุ์เดียวกันแต่หากเลี้ยงในอุณหภูมิที่ต่างกันก็จะใช้อุณหภูมิในการหลอมละลายไมโอไฟบริลาร์โปรตีนที่แตกต่าง (Ramirez *et al.*, 2000; Luo *et al.*, 2001)

2.2 ฤดูกาล

Yuan และคณะ (2005) ทดลองค่าความแข็งแรงของเจลจากปลาจีนในฤดูกาลที่ต่างกัน พบว่า ในฤดูร้อน และฤดูใบไม้ร่วง ต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส ในการหลอมละลายไมโอไฟบริลาร์โปรตีน ในขณะที่ฤดูหนาว และฤดูใบไม้ผลิใช้อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส จึงจะได้ค่าความแข็งแรงของเจลที่ใกล้เคียงกัน

2.3 เกลือ

เกลือเป็นส่วนผสมที่สำคัญในการเกิดเจลของซูริมิ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบหลักของซูริมิ คือ ไมโอไฟบริลาร์โปรตีน โดยทั่วไปละลายได้ดีในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นประมาณ 0.6 M (ประมาณร้อยละ 3.5) นอกจากนี้เกลียยังทำหน้าที่ลดแรงดึงดูดทางประจุระหว่างโมเลกุลของไมโอไฟบริลาร์โปรตีนลง ทำให้โปรตีนแผ่ตัวออกบางส่วน เมื่อนำไปให้ความร้อนจึงเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นเจล (จิรวัดน์, 2541)

2.4 การแช่เยือกแข็ง

โดยปกติแล้ว คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจะมีแนวโน้มลดลงทั้งคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสรสชาติ สี และกลิ่น เนื่องจากคุณสมบัติทางชีวเคมีของซูริมิจะเปลี่ยนไป เช่น การเสื่อมสภาพของโปรตีน การทำงานของเอนไซม์ การเกิดออกซิเดชันของไขมัน และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งย่อยสลายพันธะทำให้สารโมเลกุลใหญ่แตกตัวทำให้อุณหภูมิเล็กน้อย ดังนั้น ซูริมิแช่แข็งที่เก็บรักษาที่ -20 องศาเซลเซียส ควรเก็บไว้ไม่เกิน 2 ปี และควรใช้ให้เร็วที่สุด เนื่องจากคุณภาพจะลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Park, 2005) การแช่เยือกแข็งทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ ลดลง ดังนี้ (Hall, 2011)

2.4.1 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส ระยะเวลาของการแช่เยือกแข็งมีผลต่อความแห้ง และความเหนียวของเนื้อสัมผัส (dryness and toughness) ส่งผลให้คุณสมบัติในการอุ้มน้ำลดลง เนื่องจากพันธะไดซัลไฟด์ถูกทำลาย นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งทั้งในและนอกเซลล์ยังส่งผลต่อผนังเซลล์ของโปรตีน ทำให้โปรตีนเสียสภาพ และการแช่เยือกแข็งยังส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันอีกด้วย

2.4.2 รสชาติและกลิ่นที่เปลี่ยนไป ซูริมิที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ไขมันที่เป็นองค์ประกอบจะเกิดการออกซิเดชัน ส่งผลให้มีความหืนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไขมันจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดการออกซิเดชันเกิดกลิ่นหืน ซึ่งปลาแต่ละชนิดจะมีปริมาณไขมันแตกต่างกัน ส่งผลให้ระยะเวลาในการเกิดการหืนแตกต่างกันออกไป อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับการจัดการสัตว์น้ำ หากปลาที่มีความสดมาก่อนนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์จะเกิดการหืนช้ากว่า

2.4.3 สี การเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์ เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างโปรตีนและการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

2.5 ลักษณะของวัตถุดิบก่อนการแปรรูปเป็นซูริมิ

ซูริมิที่ทำจากปลาแช่แข็ง จะสูญเสียการยึดเกาะกันภายในโครงสร้างของเนื้อปลา (cohesiveness) ในระหว่างการเก็บรักษาดีกว่าซูริมิที่ทำจากปลาสด เนื่องจากไมโอไฟบริลาร์โปรตีนจะเสียสภาพ และรวมตัวกันตกตะกอน การเก็บปลาแช่แข็งเป็นเวลานาน หรือการเก็บรักษาปลาไม่ดี ทำให้ปลาไม่สด ทำให้ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ ออกซิไดซ์เกิดฟอร์มาลดีไฮด์ และทำปฏิกิริยากับไมโอไฟบริลาร์โปรตีน ส่งผลให้ไมโอไฟบริลาร์โปรตีนเสียสภาพ ดังนั้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ๆ สามารถช่วยยืดระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิได้นานขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีการที่ช่วยลดการเกิดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ (Hamann and MacDonald, 1992; Martin-Sanchez *et al.*, 2009) จากการศึกษาของจิรวัดน์ (2547) พบว่าปลาที่บ่มสดที่มีค่า TVB 11 มิลลิกรัม/100 กรัม มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงกว่าปลาที่เก็บรักษาในน้ำแข็งเป็นเวลา 5 วัน ถึงแม้ว่าการแช่เยือกแข็งจะทำให้เกิดการสูญเสียการยึดเกาะกันภายในโครงสร้างของเนื้อปลา (cohesiveness) ในระหว่างการเก็บรักษา แต่การสูญเสียดังกล่าวไม่ได้เกิดทันที จากงานวิจัยของ Kobayashi and Park (2017) ระบุว่า การเก็บรักษาปลานิลด้วยการแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 3 เดือน ซูริมียังคงให้คุณภาพของเจลแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับซูริมิที่ทำจากปลาสด

2.6 สารในกลุ่มโปรตีน (Protein additives)

เช่น ไข่ขาว โปรตีนถั่วเหลือง

2.6.1 ไข่ขาวผง การใส่ไข่ขาวผงลงไป ช่วยทำให้เจลมีความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น แต่ไข่ขาวผงยังไม่สามารถประสานระหว่างโปรตีนที่ได้จากพืชและโปรตีนจากสัตว์ได้ ซึ่งอาจทำให้ไมโอไฟบริลาร์โปรตีนเกิดเจลได้ไม่สมบูรณ์ (Sun and Holley, 2011)

2.6.2 โปรตีนถั่วเหลืองมีส่วนประกอบของโปรตีนมากกว่าร้อยละ 90 เป็นโปรตีนที่สกัดเอาสารโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ โอลิโกแซคคาไรด์ และสารที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็กออกจากถั่วเหลือง ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารหลายชนิดเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการนอกจากนี้ โปรตีนถั่วเหลืองยังมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่น่าสนใจ คือ มีโครงสร้างโปรตีนจากถั่วเหลืองกลุ่มลิโปฟิลิก (กลุ่มที่ยึดเกาะกับไขมัน) และไฮโดรฟิลิก (กลุ่มที่ยึดเกาะกับน้ำ) จึงมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ช่วยให้อิมัลชัน (Emulsion) คงตัว นอกจากนี้ยังสามารถสร้างเจลเป็นโครงสร้างคล้ายร่างแหที่สามารถห่อหุ้มเม็ดไขมันทำให้ผลิตภัณฑ์คงตัวได้ดีขึ้น (Elizalde *et al.*, 1996; Akesowan, 2008) อุณหภูมิได้ดีทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น เช่น เพิ่มการจับกันของเนื้อสัตว์ที่ผ่านการบดละเอียด ได้แก่ ไส้กรอกซูริมิ และลูกชิ้น เป็นต้น (Singh *et al.*, 2008)

2.7 สารในกลุ่มที่ไม่ใช่โปรตีน (Nonprotein additives)

เช่น โพลีฟอสเฟต โพลีแซคคาไรด์

2.7.1 โพลีฟอสเฟต ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตซูริมิ ซึ่งปริมาณและชนิดของฟอสเฟตจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อสัตว์ ปริมาณของไตรโพลีฟอสเฟตที่นิยมใช้คือ 0.3-0.4 M NaCl หรือเกลือร้อยละ 2-3 ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้ไมโอไฟบริลาร์โปรตีนกลายเป็นเจลได้ดีที่สุด (Sun and Holley, 2011)

2.7.2 โพลีแซคคาไรด์ ได้แก่ แป้งประเภทต่าง ๆ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง เม็ดแป้งจะเกิดการบวมหลังจากการเกิดเจล การบวมของเม็ดแป้งสามารถเกิดขึ้นในระดับปานกลางที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และจะบวมอย่างมากที่ 90 องศาเซลเซียส แป้งจะแทรกตัวตามโครงข่ายไมโอไฟบริลาร์โปรตีน โดยไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ (passive filler) กับโปรตีน (สันตกิจ และอัมพวัน, 2549) เมื่อแป้งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ลูกชิ้นมีความนุ่มมากขึ้น (Kim and Lee, 1987)

เอกสารอ้างอิง

- จิรัชย เลขาวิจิตร. 2547. ผลของภาวะในการเกิดเจล ความสดของปลา และระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิแช่แข็งต่อสมบัติของเจลซูริมิจากปลาทับทิม *Oreochromis niloticus* X *O. placidus*. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 84 หน้า
- จิรวัดน์ ยงสวัสดิกุล. 2541. การเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองปลา. *อาหาร*. 28(4): 245-254.
- วุฒิพงษ์ ศุภวิริยากร. 2553. คู่มือปฏิบัติการ วิชาเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมง. <http://www.fishtech.mju.ac.th/e-learning/FA/451PDF/คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมง.pdf>. เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2562.
- สันตกิจ นิลอุดมศักดิ์ และอัมพวัน ต้นสกุล. 2549. ผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังตัดแปรและไข่ขาวผงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสลูกชิ้นปลา. *วารสารวิจัย มจร*. 29(1):17-36.
- Akesowan, A. 2008. Effect of Soy Protein Isolate on Quality of Light Pork Sausage Containing Konjac Flour. *Afr. J. Biotechnol.* 7: 4586-4590.
- Atkinson, A., V. Siegel, E. A. Pakhomov, M. J. Jessopp, and V. Loeb. 2009. A Re-Appraisal of the Total Biomass and Annual Production of Antarctic Krill. *Deep-Sea Res Part I: Oceanographic Research Papers*. 56(5): 727-740.
- Asghar, A. K. Samejima and T. Yasui. 1985. Functionality of Muscle Proteins in Gelation Mechanisms of Structured Meat Products. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 22(1): 27-106.
- Barbut, S. 1997. Microstructure of White and Dark Turkey Meat Batters as Affected by pH. *Br. Poul. Sci.* 38: 175-82.
- Benjakul, S., W. Visessanguan, and K. Leelapongwattana. 2002. Characteristics of Muscle from Two Species of Bigeye Snapper, *Priacanthus tayenus* and *Priacanthus macracanthus*. *J. Food Biochem.* 26(4): 307-26.
- Campo-Deano, L., C. A. Tovar, M. J. Pombo, M. T. Solas and A. J. Borderias. 2009. Rheological Study of Giant Squid Surimi (*Dosidicus gigas*) Made by Two Methods with Different Cryoprotectants Added. *J. Food Eng.* 94 (1): 26-33.
- Chae, Y., E. Choi, Y. Lee, B. Chun and S. Kim. 2014. Effects of Additives on the Physical Properties of Antarctic Krill *Euphausia superbasurimi*. *Kor. J. Fish Aquat. Sci.* 47(4): 347-355.
- Elizalde, B. E., G. B. Bartholomai and A. M. R. Pilosof. 1996. The Effect of pH on the Relationship between Hydrophilic/Lipophilic Characteristics and Emulsification Properties of Soy Proteins. *LWT-Food Sci. and Technol.* 29(4): 334-339.
- FAO. 2007. World Surimi Market. Vol. 89. FAO, Rome. 128 pp.
- Hall, G. M. 2011. Lesson 4: Freezing and Chilling of Fish and Fish Products In: *Fish Processing-Sustainability and New Opportunities*. pp. 98-111. Wiley Online Library (9781444328585).
- Kobayashi, Y. and J. W. Park. 2017. Biochemical and Physical Characterizations of Fish Protein Isolate and Surimi Prepared from Fresh and Frozen Whole Fish. *LWT*. 77: 200-207.

- Hamann, D. D. and G. A. MacDonald. 1992. Rheology and Texture Properties of Surimi and Surimi Based Foods. In: Lanier T. C. and C. M. Lee, editors. *Surimi Technology*. New York: Marcel Dekker Inc. p. 429–500.
- Hultin, H. O., H. G. Kristinsson, T. C. Lanier and J. W. Park. 2005. Process for Recovery of Functional Proteins by pH Shifts. In: Park J. W. *Surimi and Surimi Seafood*. 2nd ed. Boca Raton, Fla: Taylor & Francis Group. p. 107–39.
- Kano, I. 1992. The Situation of Global Surimi with Special Emphasis on the Japanese Market In : Pacific Whiting Harvesting, Processing, Marketing and Quality Assurance: A Workshop. New Port, USA. pp. 73-79.
- Kawaguchi, S. and S. Nicol. 2015. *Euphausia superba*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T64239743A64239951. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T64239743A64239951.en>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2562.
- Kim, B. and Y. Choi. 2011. Formulation of Surimi and Surimi-Based Products with Acceptable Gelling Ability from Squid Muscle. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 44(1): 37-44.
- Kim, J. M. and C. M. Lee. 1987. Effect of Starch of Textural Properties of Surimi Gel. *J. Food Sci.* 52: 722-725.
- Kuraishi, C., J. Sakamoto, K. Yamazaki, Y. Sosa, C. Kuhara and T. Soeda. 1997. Production of Restructured Meat Using Microbial Transglutaminase without Salt or Cooking. *J. Food Sci.* 62: 88–90, 515.
- Lee, C. M. 1984. Surimi Process Technology. *Food Technol.* 38 (11): 69-80. Lee, H. G., T. C. Lanier, D. D. Hamann and J. A. Knopp. 1997. Transglutaminase Effects on Low-Temperature Gelation of Fish Proteins Sols. *J. Food Sci.* 62:20–23.
- Lesiow, T. and Y. L. Xiong. 2003. Chicken Muscle Homogenate Gelation Properties: Effect of pH and Muscle Fiber Type. *Meat Sci.* 64:399–403.
- Luo, Y. K., R. Kuwahara, M. Kaneviwa, Y. Murata, and M. Yokoyama. 2001. Comparison of Gel Properties of Surimi from Alaska Pollock and Three Freshwater Fish Species: Effects of Thermal Processing and Protein Concentration. *J. Food Sci.* 66(3): 548-554.
- Maruyama, K. 1985. Myofibrillar Cytoskeletal Proteins of Vertebrate Striated Muscle. In: Lawrie R, (Ed.) *Devel. in Meat Sci.* 3: 25–50.
- Martin-Sanchez, A. M., C. Navarro, J. A. Perez-Alvarez and V. Kuri. 2009. Alternatives for Efficient and Sustainable Production of Surimi: A review. *CRFSFS.* 8: 359-374.
- Matsumoto, J.J. and S. F. Noguchi. 1992. Cryostabilization of Protein in Surimi. In: *Surimi Technology*, Lanier, T. C. and C. M. Lee (eds.). Marcel Dekker Inc, New York, pp. 357–388.
- Nopiant, R., N. Huda and N. Ismail. 2011. A Review on the Loss of the Functional Properties of Proteins During Frozen Storage and the Improvement of Gel-Forming Properties of Surimi. *Am. J. Food technol.* 6(1): 19-30.
- Okada, M. 1992. History of Surimi Technology in Japan. In: *Surimi Technology*, Tyre C. L. and M. L. Chong (eds.). Marcle Dekker, Inc., New York, ISBN: 0-8247-8470-7. pp. 3-21.
- Park, J. W. 2005. *Surimi and Surimi Seafood*. CRC Press, USA, ISBN: 9780824726492. 923 pp.
- Park, J. W. and M. T. Morrissey. 2000. Manufacturing of Surimi from Light Muscle Fish. In: *Surimi and Surimi Seafood*, Park J. W. (ed.). In: *Food Sci. Technol.* 101: 23-58.
- Pattaravivat, J., K. Morioka, M. Shirosaki and Y. Itoh. 2008. Effect of Washing Conditions on the Removal of Lipid from the Fatty Fish Escolar (*Lepidocybium flavobrunneum*). *Meat. J. Biol. Sci.* 8(1): 34-42.
- Ramirez, J. A., R. Rodriguez-Sosa, O. G. Morales and M. Vazquez. 2000. Surimi Gels from Striped Mullet (*Mugil cephalus*) Employing Microbial Transglutaminase. *Food Chem.* 70(4): 443–9.
- Ramirez-Suarez, J. C., Y. L. Xiong and B. Wang. 2001. Transglutaminase Cross-Linking of Bovine Cardiac Myofibrillar Proteins and Its Effect on Protein Gelation. *J. Muscle Foods.* 12:85–96.
- Robson, A.M. 1995. Myofibrillar and Cytoskeletal Structures and Proteins in Mature Skeletal Muscle Cells. In: Quali, A., D. I. Demeyer and F. J. Smulders. Expression of Tissue Proteinase and Regulation of Protein Degradation as Related to Meat Quality. Utrecht, Netherlands: ECCEAMST. p. 267–88.
- Sakamoto, H., Y. Kumazawa and M. Motoki. 1994. Strength of Protein Gels Prepared with Microbial Transglutaminase as Related to Reaction Conditions. *J. Food Sci.* 59: 866–71.
- Satam, S. B., S. T. Sharangdhar, M. T. Sharangdhar, S. I. Khan and U. D. Sonawane. 2004. Surimi: The "High-Tech" Raw Material from Minced Fish Meat 24(8): 49-55.
- Shimizu, Y., H. Toyohara and T. C. Lanier. 1992. Surimi Production from Fatty and Dark-Flesh Species. In: Lanier, T. C. and C. M. Lee. *Surimi Technology*. New York: Marcel Dekker Inc. p. 181–207.
- Singh, P., R. Kuma, S. N. Sabapathy and A. S. Bawa. 2008. Functional and Edible Uses of Soy Protein Products. *Compr. Rev. Food Sci. F.7:* 14-28.
- Sun, X. D. and R. A. Holley. 2011. Factors Influencing Gel Formation by Myofibrillar Proteins in Muscle Foods. *Compr. Rev. Food Sci. F.* 10:33-51.
- Toyoda, K., I. Kimura, T. Fujita, S.F. Noguchi and C. M. Lee. 1992. The Surimi Manufacturing Process In: Lanier, T. C. and C. M. Lee. *Surimi Technology*. New York: Marcel Dekker Inc. p 79–112.
- Wang, X. C., Y. Fukuda, S. Chen, M. Yokoyama, Y. Cheng, C. Yuan, Y. Qu, and M. Sakaguchi. 2005. Development of Intermediate Foodstuff Derived from Freshwater Fish in China. *J. Ocean U. China.* 4(3): 229-233.
- Yasui, T., M. Ishioroshi, and K. Samejima. 1980. Heat-Induced Gelation of Myosin in the Presence of Actin. *J. Food Biochem.* 4: 61-78.
- Yuan, C., Y. Fukuda, M. Kaneniwa, S. Chen, Y. Cheng, X. Wang and K. Konno. 2005. Comparison of Gel-Forming Properties of Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Surimi Prepared in Different Seasons. *J. Food Sci.* 70(5): C326–31.