บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ซูริมิ (surimi)

ซูริมิ หมายถึง ผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดที่ได้จากการนำเนื้อปลาบดนำไปผ่านเข้าเครื่องแยกเพื่อกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออก ส่วนเนื้อปลาบดที่ได้นำไปผ่านการล้างด้วยน้ำ และน้ำเกลือเจือจางเพื่อกำจัดไขมัน และองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ ซาร์โคพลาสมิกโปรตีน เลือด และเอนไซม์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อสมบัติในการเกิดเจลของซูริมิ จากนั้นบีบเอาน้ำส่วนเกินออก แล้วนำไปผสมสารป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็ง (cryoprotectant) และนำไปแช่เยือกแข็ง ซูริมิมีลักษณะที่สำคัญ คือ มีสีขาว ไม่มีกลิ่นคาวปลา และสามารถเกิดเจลได้ดี (จักรี ทองเรือง, 2544) ซูริมินิยมนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น คามาโบโกะ ชิกูวะ เนื้อปูเทียม เป็นต้น (อุดม สุนทรวิภาต และคณะ, 2530; Park และคณะ, 1997)

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 935/2533) เนื้อปลาบด (ซูริมิ) เยือกแข็งหรือเนื้อปลาบดเยือกแข็ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาสดที่ผ่านการตัดหัว ควักไส้ มาผ่านกรรมวิธีแยกเนื้อปลา และบดจนได้เนื้อปลา จากนั้นนำเนื้อปลามาล้างน้ำ ผ่านกรรมวิธีบีบน้ำออก แล้วผสมกับวัตถุเจือปนอาหาร นวดให้เข้ากันจนเหนียว ทำเป็นรูปก้อนสี่เหลี่ยม หรือรูปอื่น ๆ นำไปผ่านกรรมวิธีแช่เยือกแข็งโดยให้มีระยะเวลาการเกิดผลึกน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว ลดอุณหภูมิที่บริเวณกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่า -18 °C จากนั้นนำไปเก็บรักษาโดยควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ไว้ที่ -18 °C หรือต่ำกว่าให้สม่ำเสมอตลอดเวลาการผลิต ซูริมิที่ผลิตได้ต้องมีจุลินทรีย์ไม่เกินที่กำหนด ดังนี้ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1 x 10^7 CFU ต่อตัวอย่าง 1 กรัม เชื้อเอสเชอริเชีย โคไล (*E. coli*) และสตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ไม่เกิน 100 CFU ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปราศจากเชื้อซาโมเนลลา (*Salmonella*) และเชื้อวิบริโอ โคลีรา (*Vibrio cholerae*) นอกจากนี้จะต้องมีค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์ และค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นไปตามมาตรฐานด้วย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533)

2.2 วัตถุดิบในการผลิตซูริมิ

ปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการใช้ผลิตซูริมินั้นต้องมีลักษณะที่สำคัญ คือ มีไขมันต่ำ มีโปรตีนสูง และเมื่อผ่านการล้างแล้วต้องมีลักษณะปรากฏที่เป็นสีขาว ดังนั้นในการผลิตซูริมิในระยะแรกจะนิยมใช้ปลาอยู่ไม่กี่ประเภท ได้แก่ ปลาอลาสกาพอลลอค (Alaska pollock : *Theragra chalcogramma*) ปลาไวต์ครอกเกอร์ (white croaker : *Argyrosomus argentatus*) ปลาแปซิฟิกไวต์ทิง

(Pacific whiting : *Merluccius productus*) ปลาโฮกิ (hoki : *Macruronus novaezealandiae*) และปลาบลูไวต์ทิง (blue whiting : *Sillago parvisquamis*) (Lee, 1994) สำหรับวัตถุผลิตหลักของอุตสาหกรรมการผลิตซูริมิในประเทศไทย ได้แก่ ปลาทรายแดง (threadfin bream : *Nemipterus tambuloides*) ปลาตาโต (bigeye snapper : *Priacanthus tayenus*) และปลาทะเลอื่น ๆ (Holmes และคณะ, 1992) แต่เนื่องจากปัจจุบันปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบส่วนใหญ่มีปริมาณลดลง และต้องนำมาจากแหล่งจับปลาที่ไกลออกไปซึ่งมีผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบ จึงมีความพยายามหาแหล่งวัตถุดิบใหม่มาใช้ทดแทนปลาทะเล โดยได้มีการศึกษาการผลิตซูริมิจากปลาน้ำจืดที่เป็นแหล่งวัตถุดิบขนาดใหญ่ และหาได้ง่าย เช่น ปลาดุกลูกผสม (hybrid clarias catfish) และปลานิล (Nile tilapia) (อรวรรณ คงพันธุ์, 2539; สุวรรณ วิรัชกุล และคณะ, 2543) สำหรับปลาทับทิมเป็นปลาที่ได้การปรับปรุงสายพันธุ์มาจากปลานิลแต่มีข้อดีกว่าปลานิล คือ เนื้อมีคุณภาพสูง มีปริมาณมาก เนื้อสีขาว แต่ปัจจุบันข้อมูลของซูริมิจากปลาทับทิมยังมีอยู่จำกัด จึงมีความจำเป็นในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำปลาทับทิมมาผลิตเป็นซูริมิต่อไป

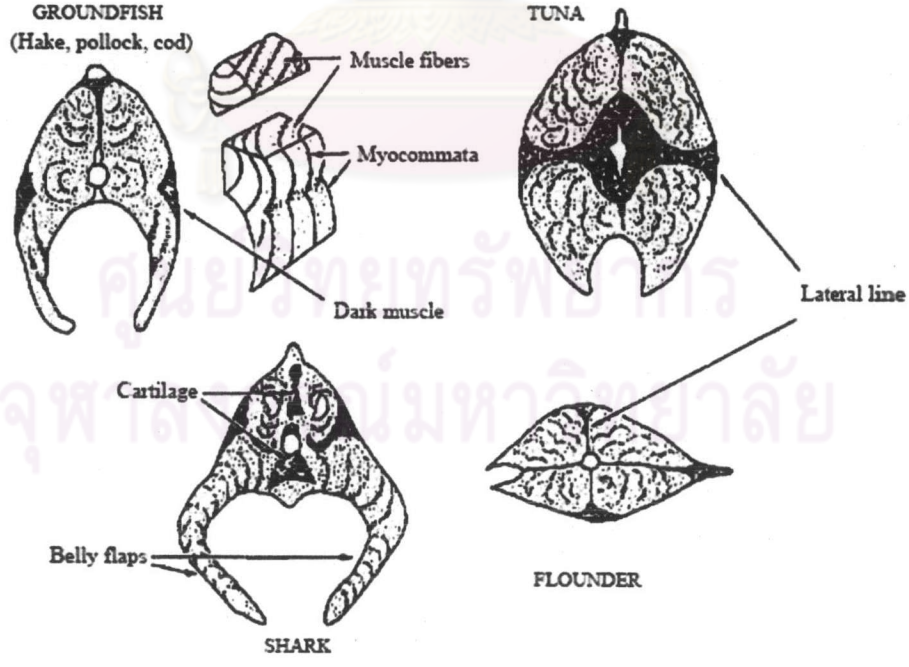
ปลาทับทิม (*Oreochromis niloticus* x *O. placidus*)

ปลาทับทิม (ruby tilapia) เป็นปลาสายพันธุ์ใหม่ที่ทาง บริษัท เจริญโภคภัณฑ์ จำกัด ได้พัฒนาสายพันธุ์ขึ้นมา และพยายามส่งเสริมให้มีการเลี้ยงมากขึ้น โดยกลุ่มธุรกิจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของบริษัทเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด ได้พัฒนาสายพันธุ์ขึ้นมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 โดยการนำปลานิลสายพันธุ์ "จิตรลดา" ซึ่งมีสมบัติที่ดี คือทนต่อสภาพแวดล้อม เจริญเติบโต และขยายพันธุ์ได้ดี (ทรงพรรณ ล้ำเลิศเดชา และคณะ, 2530) มาผสมข้ามสายพันธุ์ กับปลาในตระกูลเดียวกันจากทั่วโลกที่มีลักษณะเด่นในด้านต่าง ๆ ซึ่งมีสายพันธุ์หลัก คือ สายพันธุ์จากอเมริกา สายพันธุ์จากอิสราเอล และสายพันธุ์จากไต้หวัน แล้วนำมาคัดเลือกสายพันธุ์โดยเลือกปลาที่มีลักษณะเด่นตามที่ต้องการจนกระทั่งได้ปลาสายพันธุ์ใหม่ ซึ่งได้รับพระราชทานนามจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ว่า "ปลาทับทิม" มีลักษณะเด่น คือ เป็นปลาที่เลี้ยงง่าย อัตราการเจริญเติบโตเร็ว เพาะขยายพันธุ์ได้ง่าย สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีความต้านทานโรคต่าง ๆ ได้ดี เลี้ยงได้ทั้งน้ำจืด และน้ำกร่อย สำหรับลักษณะของปลาทับทิมจะมีผิวหนัง และเกล็ดสีแดงอมชมพู ส่วนหัวเล็ก โครงกระดูกเล็ก มีสันข้างหนา ก้างน้อย มีส่วนเนื้อสีขาวมาก เส้นใยกล้ามเนื้อละเอียดแน่น มีรสชาติดี และปราศจากกลิ่นโคลน ปริมาณกล้ามเนื้อบริโภคได้ต่อน้ำหนักตัวของปลาทับทิมสูงถึง 40 % และมีไขมันต่ำ จึงปราศจากกลิ่นหืนที่เกิดจากไขมันในตัวปลา (อดิศร์ กฤษณวงศ์, 2542) ปลาทับทิมแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 ปลาทับทิม (*Oreochrois niloticus* x *O. placidus*)

2.3 โปรตีนในกล้ามเนื้อปลา

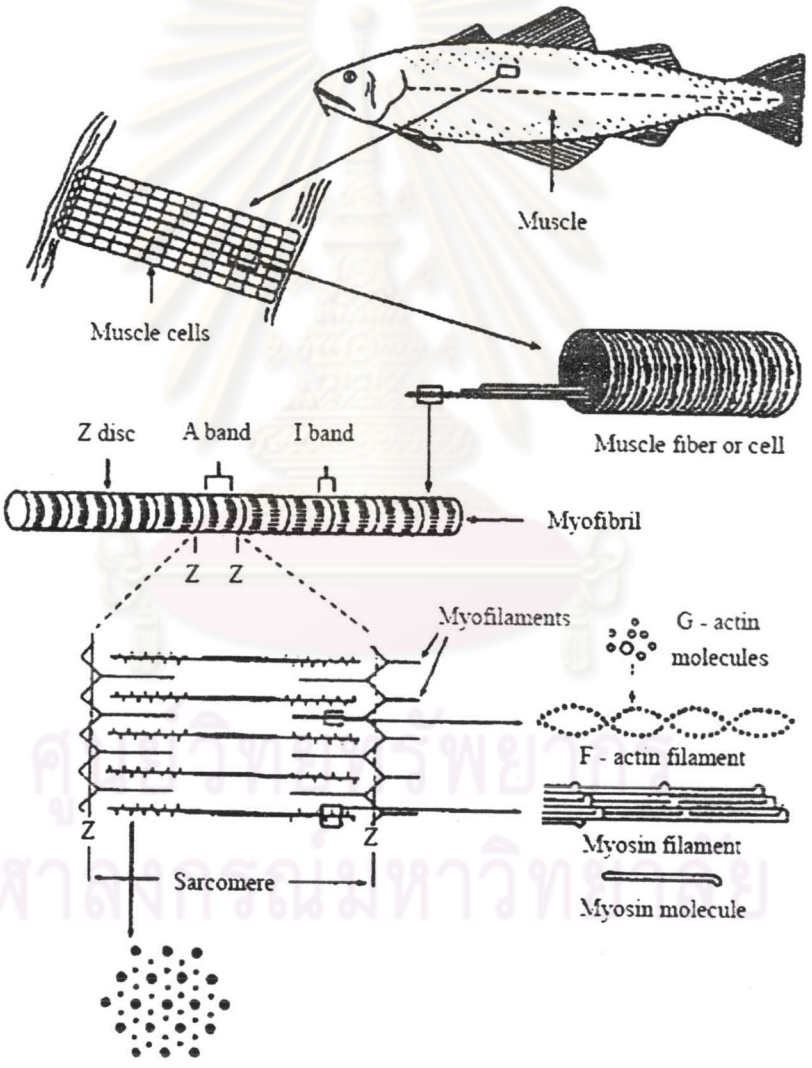
ปลาประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 ชนิด คือกล้ามเนื้อแดง และกล้ามเนื้อขาว กล้ามเนื้อแดงจะพบในบริเวณแนวข้างลำตัว และตำแหน่งติดกระดูกกลางลำตัว แสดงในรูปที่ 2.2 ปริมาณของกล้ามเนื้อแดงจะแตกต่างกันในปลาแต่ละชนิด เช่น ปลาไวต์ทิง (whiting) ปลาพอลแลก (pollack) และปลาคอด (cod) จะมีกล้ามเนื้อแดง 1-2 % ส่วนปลาแมคเคอเรล จะมีปริมาณเนื้อแดงมากกว่า 10 % (Spinnelli และ Dassow, 1982; Huidobro และ Tejada, 1993)



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของกล้ามเนื้อแดงในตัวปลาชนิดต่าง ๆ

ที่มา : Spinelli และDassow (1982)

โครงสร้างของเซลล์กล้ามเนื้อปลามีลักษณะดังรูปที่ 2.3 เส้นใยกล้ามเนื้อหรือเซลล์กล้ามเนื้อ (muscle fiber or muscle cell) แต่ละเส้นประกอบด้วยหน่วยย่อย คือไมโอไฟบริลล์ (myofibril) จำนวนมากเรียงตัวเป็นเส้นขนาน โดยไมโอไฟบริลล์นี้ถูกล้อมรอบด้วยไซโตพลาสซึม เรียกซาร์โคพลาสซึม (sarcoplasm) ลายของกล้ามเนื้อ (banded or striated pattern) เกิดจากการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของ anisotropic segment และ isotropic segment ของไมโอไฟบริลล์ เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็น anisotropic segment เป็นสีเข้มกว่า isotropic segment ดังนั้นจึงเรียกแถบสีเข้มว่า แถบ A (A band) และแถบสีอ่อนว่า แถบ I (I band) เส้น Z (Z line) เป็นเส้นสีเข้มที่แบ่งครึ่งแถบ I ระยะห่างระหว่างเส้น Z ที่อยู่ติดกันเท่ากับหนึ่งซาร์โคเมียร์ (sarcomere)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลล์กล้ามเนื้อปลา

ที่มา : Mackie (1994)

ไมโอไฟบริลล์ประกอบด้วยไมโอฟิลาเมนต์ (myofilament) 2 ชนิดที่มีความหนาต่างกัน คือฟิลาเมนต์หนา (thick filament) และฟิลาเมนต์บาง (thin filament) ฟิลาเมนต์หนาประกอบด้วยไมโอซินประมาณ 40 โมเลกุล ฟิลาเมนต์บางประกอบด้วยโมเลกุลแอกตินแบบเส้น (F-actin) จำนวน 2 เส้นพันเป็นเกลียว นอกจากนี้ยังมีโทรโปไมโอซิน (tropomyosin) และโทรโปนิน (troponin) ซึ่งมีบทบาทในการจับกับอิออนแคลเซียม (Ca^{2+}) ในการยืด และคลายตัวของกล้ามเนื้อ (Cassens, 1987; Mackie, 1994)

โปรตีนในกล้ามเนื้อปลาสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือโปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic protein) โปรตีนสโตรมา (stroma protein) และโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibrillar protein)

2.3.1 โปรตีนซาร์โคพลาสมิก

โปรตีนในกลุ่มนี้ ได้แก่ โปรตีนฮีม (heme protein), เอนไซม์ และอัลบูมิน (albumin) ชนิดต่าง ๆ มีประมาณ 18-20 % ของโปรตีนกล้ามเนื้อทั้งหมด สมบัติที่สำคัญ คือ สามารถละลายได้ดีในน้ำ การกำจัดโปรตีนชนิดนี้ออกจากเนื้อปลาบดจึงทำได้โดยการล้างในน้ำ หรือในสารละลายเกลือที่มีความแรงอิออนต่ำกว่า 0.15 Debye (Lanier, 2000)

2.3.1.1 โปรตีนฮีม

โปรตีนฮีมเป็นรงควัตถุที่มีอยู่ในเนื้อปลา โดยพบอยู่ในเลือด และเซลล์กล้ามเนื้อแดง ในขั้นตอนการล้างเนื้อปลาบดถ้ากำจัดโปรตีนฮีมไม่หมด จะทำให้ซูริมิมีสีคล้ำ และโปรตีนฮีมยังเป็นตัวเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันที่มีอยู่ในเนื้อปลา ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เสียสภาพ

2.3.1.2 เอนไซม์

ปลาส่วนใหญ่มีเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ทนความร้อน โดยเอนไซม์โปรติเอสมีบทบาททำให้โครงร่างตาข่ายของเจลโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์แตกออก ส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของเจลนิ่มลง เอนไซม์โปรติเอสส่วนใหญ่จะทำงานได้ในระหว่างการให้ความร้อนแก่ซูริมิ หรือในช่วงอุณหภูมิ 50-70 ℃ โดยเอนไซม์โปรติเอสบางชนิดทนความร้อน และทำงานได้ดีที่ pH สูง (alkaline protease) เช่น เอนไซม์โปรติเอสจากปลาไวท์ครอกเกอร์ (*Argyrosomus argentatus*) ทำงานได้ดีที่ pH 8.0 อุณหภูมิ 60 ℃ เอนไซม์จากปลาแอตแลนติกเมนฮาเดน (*Brevoortia tyrannus*) ทำงานได้ดีที่ pH 7.5-8.0 อุณหภูมิ 60 ℃ เป็นต้น (Makinodan และคณะ, 1985; Boye และ Lanier, 1988) จากการวิเคราะห์โปรตีนในซูริมิที่ผ่านการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นระหว่าง 20-60 ℃ พบว่าปริมาณของโปรตีน myosin heavy chain (MHC) ในเจลซูริมิลดลงอย่างต่อเนื่องพร้อม ๆ กับการเพิ่มขึ้นของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 150,000 ดาลตัน และ 90,000 ดาลตัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนไมโอซินดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการลดลงของคุณภาพเนื้อสัมผัสของเจล (Saeki และ

คณะ, 1995) เอนไซม์โปรติเอสส่วนใหญ่มีอยู่ที่เนื้อเยื่อลำไส้ ไต และช่วงท้องของปลา ถึงแม้ว่าเอนไซม์โปรติเอสจะละลายในน้ำได้ดี แต่ขั้นตอนการล้างซูริมิไม่สามารถที่จะกำจัดเอนไซม์นี้ออกได้ทั้งหมด เอนไซม์จึงมีโอกาสไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ได้ ดังนั้นอาจควบคุมหรือลดปัญหาจากการทำงานของโปรติเอสได้โดยการแยกเอาส่วนของเนื้อปลาออกจากส่วนของเครื่องในของปลา และล้างเนื้อปลาบดอย่างรวดเร็ว

2.3.1.3 อัลบูมิน

อัลบูมินเป็นโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ อัลบูมินที่พบในเนื้อปลาบด คือ ซีรัมอัลบูมิน (serum albumin) โดยพบอยู่ในเลือด โปรตีนชนิดนี้จะเสียสภาพธรรมชาติได้ง่ายด้วยความร้อน

2.3.2 โปรตีนสโตรมา

โปรตีนสโตรมาเป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่พบมากคือ คอลลาเจน (collagen) และอิลาสติน (elastin) ปริมาณของโปรตีนสโตรมาขึ้นอยู่กับชนิดของปลา อาหารที่ปลากิน และระยะการเจริญเติบโตของปลา โดยทั่วไปปลาจะประกอบด้วยคอลลาเจน 0.2-2.2 % โปรตีนชนิดนี้ไม่ละลายน้ำ น้ำเกลือ และไม่มีส่วนร่วมในการเกิดเจลซูริมิ ถ้ากำจัดคอลลาเจนออกไม่หมดเมื่อนำซูริมิไปให้ความร้อนในการทำให้เกิดเจล คอลลาเจนจะเปลี่ยนเป็นเจลาติน และส่งผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Lanier, 2000)

2.3.3 โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์

โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบในปลา ได้แก่ ไมโอซิน (myosin), แอกติน (actin), โทรโปไมโอซิน (tropomyosin) และโทรโปรนิน (troponin) ชนิด C, I และ T (Suzuki, 1981) สมบัติที่สำคัญของโปรตีนชนิดนี้ คือ สามารถละลายได้ดีในสารละลายเกลือที่มีความเป็นกลาง และมีความแรงอิออนอยู่ในช่วง 0.3-1.0 Debye โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบในปริมาณมากที่สุด คือ ไมโอซิน มีอยู่ประมาณ 50-58 % ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ทั้งหมด และแอกตินจะพบในปริมาณที่รองลงมาด้วยปริมาณ 15-20 % ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ของกล้ามเนื้อปลา

โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เป็นโปรตีนในเนื้อปลาที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจล โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่เป็นตัวกำหนดสมบัติ และคุณภาพของเจล คือ ไมโอซิน และแอกติน ในขณะที่โทรโปไมโอซิน และโทรโปนินไม่มีผลอย่างเด่นชัดต่อการเกิดเจล (Sano และคณะ, 1990)

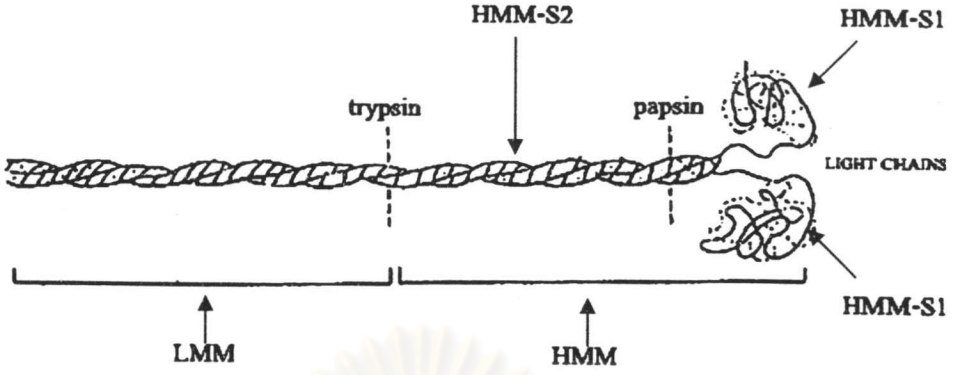
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ของกล้ามเนื้อปลา

Protein or subfragment	muscular proteins (g/100 g sample)	molecular weight (kDa)
myosin	50-58	500
actin	15-20	42
tropomyosin	4-6	70
troponin	4-6	
C-troponin		18
I-troponin		20
T-troponin		30
C protein	2.5-3	140
M protein (myomesin)	3-5	160
α - actinin	2-3	206
β - actinin	< 1	70
paramyosin	2-3	220

ที่มา : ดัดแปลงจาก Asghar และคณะ (1985)

2.3.3.1 ไมโอซิน

ไมโอซินเป็นโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่พบในปริมาณมากที่สุดคิดเป็น 50-58 % ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ทั้งหมด (Asghar และคณะ, 1985) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 ดาลตัน สายโมเลกุลยาวประมาณ 160 นาโนเมตร (Margossian และLowey, 1982) ในโมเลกุลประกอบด้วยโปรตีน 2 หน่วยย่อย คือ myosin heavy chain (MHC) และ myosin light chain (MLC) MHC แบ่งออกเป็นส่วนหัวซึ่งมีรูปร่างเป็นก้อนกลม เรียกว่า globular head ซึ่งมีเอนไซม์ ATPase อยู่ และเป็นส่วนที่เกิดการจับกันกับแอกติน และส่วนหางซึ่งเป็นสายโพลีเปปไทด์สายยาว 2 สายพันรอบเกี่ยวกันเป็นโครงสร้างแอลฟา-ฮีลิกซ์ (α-helix) แต่ละสายของ MHC มีขนาดประมาณ 200,000 ดาลตัน สำหรับ MLC ประกอบด้วย 4 หน่วยย่อย (Okawa และคณะ, 1993) ซึ่งจะมีขนาดระหว่าง 16,000-27,500 ดาลตัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ เมื่อนำไมโอซินมาย่อยด้วยเอนไซม์ trypsin จะสามารถแยกสายโมเลกุลออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของ heavy meromyosin (HMM) ซึ่งถ้านำมาย่อยต่อด้วยเอนไซม์ papain จะได้ส่วนของ globular head (S-1) และส่วนต้นของสายแอลฟา-ฮิลิกซ์ (S-2) ส่วนที่ 2 คือ light meromyosin (LMM) ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือของสายแอลฟา-ฮิลิกซ์ (Ishioroshi และคณะ, 1981) รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของไมโอซิน

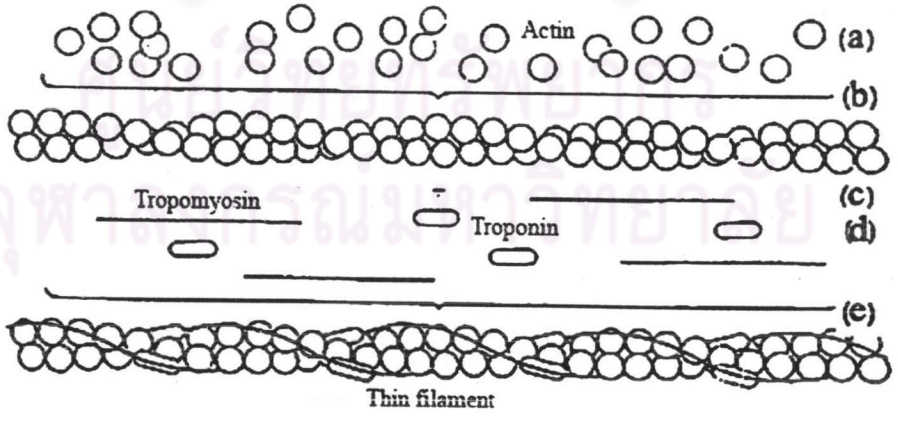


รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของไมโอซิน และจุดที่แยกออกเมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์

ที่มา : รัชนี ตันฑะพานิช (2536)

2.3.3.2 แอกติน

แอกตินมีอยู่ประมาณ 15-20 % ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ทั้งหมด และเป็นโปรตีนที่ติดแน่นกับโครงสร้างของกล้ามเนื้อมากกว่าไมโอซิน แอกตินประกอบด้วยกรดอะมิโนโพรลีน (proline) เป็นจำนวนมากซึ่งหมู่อิมิโน (imino group, N-H) ของกรดอะมิโนโพรลีนช่วยให้เกิดการขดพันกันของโซ่โพลีเปปไทด์เกิดเป็นโมเลกุลรูปทรงกลม ที่เรียกว่า จี-แอกติน (G-actin) โดยสายแอกตินประกอบด้วยเส้นใยที่เกิดจาก จี-แอกตินมาเชื่อมต่อกันตามความยาวเกิดเป็น เอฟ-แอกติน (F-actin) การเชื่อมต่อกันของ จี-แอกตินคล้ายกับไข่มุกที่ร้อยเป็นพวงยาว เอฟ-แอกติน 2 เส้นซึ่งขดเป็นเกลียวจะพันกันไปมาเกิดเป็นสายของแอกตินฟิลาเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแอกตินฟิลาเมนต์

a : G-actin, b : F-actin, c : Tropomyosin, d : Troponin, e : Thin filament

ที่มา : รัชนี ตันฑะพานิช (2536)

2.3.3.3 แอกโตไมโอซิน

แอกโตไมโอซินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุลของไมโอซิน และแอกตินในกล้ามเนื้อ โดยการเชื่อมข้ามระหว่างไมโอซิน และแอกตินนี้มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริลเกี่ยวข้องอยู่ด้วย

2.3.3.4 โทรโพไมโอซิน

โทรโพไมโอซินมีอยู่ประมาณ 4-6 % ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ทั้งหมด เป็นโมเลกุลที่มีประจุบวกจำนวนมาก โดยมีกรดอะมิโนที่เป็นกรด และเบสเป็นจำนวนมาก โมเลกุลของโทรโพไมโอซินมีปริมาณโพรลีนต่ำ ทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็นสายยาว ซึ่งประกอบด้วยโซ่โพลีเปปไทด์ 2 สายมาต่อกันด้วยปลายต่อปลาย เกิดเป็นเส้นใยบางยาวในแอกตินฟิลาเมนต์จะมีเส้นของโมเลกุลโทรโพไมโอซินพันไปตามผิวของสายโซ่คู่ที่ขดเป็นเกลียวของ เอฟ-แอกติน ความยาว 1 โมเลกุล ของโทรโพไมโอซินจะเท่ากับ จี-แอกติน 7 โมเลกุล

2.3.3.5 โทรโพนิน

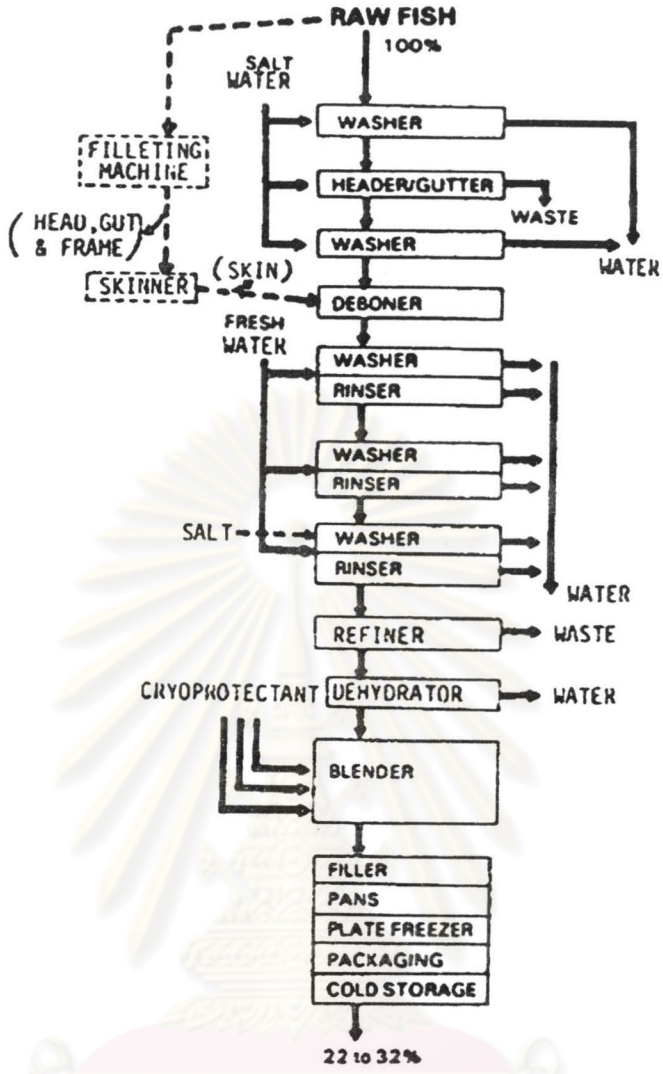
โทรโพนินเป็นโกลบูลาร์โปรตีนที่มีปริมาณโพรลีนค่อนข้างสูง มีอยู่ประมาณ 4-6 % ของปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ทั้งหมด โทรโพนินจะวางตัวตามร่องของสายโซ่คู่ของเอฟ-แอกติน และคร่อมอยู่บนเส้นโทรโพไมโอซิน หรืออยู่ใกล้ส่วนปลายของโมเลกุลโทรโพไมโอซิน โดยจะอยู่เป็นระยะ ๆ ตามความยาวของสายแอกตินฟิลาเมนต์ โทรโพนินสามารถที่จะจับกับ Ca^{2+} และมีบทบาทสำคัญต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ

2.3.3.6 แอลฟา และเบต้า-แอกตินิน

โปรตีนทั้ง 2 ชนิดนี้รวมตัวอยู่กับแอกตินฟิลาเมนต์ แอลฟา-แอกตินินเป็นโปรตีนโกลบูลาร์มีอยู่ประมาณ 2-3 % ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ทั้งหมด อยู่ในเส้น Z ทำหน้าที่เป็นสารยึดอยู่ในสายไมโอฟิลาเมนต์ ส่วนเบต้า-แอกตินินจะมีอยู่ที่ปลายของแอกติน-ฟิลาเมนต์ ทำหน้าที่เป็นสารควบคุมความยาวของแอกติน-ฟิลาเมนต์ โดยรักษาความยาวของแอกติน-ฟิลาเมนต์ให้อยู่ประมาณ 1 ไมโครเมตร ในแต่ละครึ่งของซาร์โคเมียร์

2.4 กระบวนการผลิตซูริมิ

ขั้นตอนการผลิตซูริมิ แสดงในรูปที่ 2.6 ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ การตัดหัว และควักไส้ปลา การแยกเนื้อปลาออก การล้างเนื้อปลาบด การคัดแยกสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากเนื้อปลาบด การบีบน้ำส่วนเกินออก การผสมสาร cryoprotectant การแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษา



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการผลิตซูริมิ

ที่มา : Lee (1986)

2.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

คุณภาพของปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีความสำคัญต่อคุณภาพของเจลซูริมิ ปลาที่ใช้ควรมีความสดสม่ำเสมอ และเก็บไว้ในน้ำแข็งเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโปรตีน โดย Onibala และคณะ (1997) รายงานว่า ซูริมิที่ผลิตจากปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่เก็บรักษาในน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 ℃ เป็นเวลา 6 วัน จะให้เจลที่มีคุณภาพที่ดี มีความยืดหยุ่นที่ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด และยังพบอีกว่าคุณภาพของเจล และปริมาณของ MHC จะลดลงเมื่อความสดของปลาลดลง สำหรับการเตรียมปลาทำโดยนำปลามาตัดแยกเอาส่วนหัว และเครื่องในออก เพื่อลดการปนเปื้อนของเอนไซม์จากอวัยวะภายในของปลา เอนไซม์ที่สำคัญ คือ อัลคาไลน์โปรติเอส (alkaline protease) การปนเปื้อนของเอนไซม์นี้จะทำให้คุณภาพของซูริมิลดลง (จักรี ทองเรือง,

2544) ขั้นตอนต่อไป คือการนำปลาเข้าเครื่องแยก (deboner) เพื่อแยกเนื้อปลาออกจากส่วนก้าง และเกล็ดปลา

2.4.2 การล้างเนื้อปลา

เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของซูริมิ โดยทั่วไปนิยมล้างเนื้อปลาบดโดยใช้น้ำในอัตราส่วน 5-10 เท่าของน้ำหนักปลา ล้าง 3-5 ครั้ง ควรล้างเนื้อปลาบดในน้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5-10 ℃ โดยการล้างแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 10 นาที พร้อมทั้งกวนอย่างสม่ำเสมอ น้ำที่ใช้ล้างควรเป็นน้ำอ่อนที่มีปริมาณเกลือแคลเซียม หรือแมกนีเซียมต่ำ เนื่องจากน้ำกระด้างจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส และสีของผลิตภัณฑ์ (Huang และคณะ, 1998) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำล้างควรอยู่ในช่วง 6.5-7.0 และมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในช่วง 0.1-0.2 % (Saeki และ Hirata, 1994) โดย Lopez และคณะ (1996) รายงายผลของการใช้น้ำล้างเนื้อปลาบด ต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของซูริมิจากปลานิล (*Oreochromis niloticus*) โดยแบ่งการล้างเป็น 3 ครั้ง คือ ล้างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ด้วยน้ำที่ระดับ pH เท่ากับ 7.0 และ 10.0 ตามลำดับ เป็นเวลา 10 นาที และล้างครั้งที่ 3 ด้วยน้ำที่ระดับ pH เท่ากับ 5.0, 6.0 และ 7.0 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเนื้อปลาบดที่ล้างด้วยน้ำที่ระดับ pH เท่ากับ 7.0 ทั้ง 3 ครั้ง พบว่าเนื้อปลาบดที่ล้างน้ำครั้งที่ 3 ที่ระดับ pH เท่ากับ 6.0 จะให้ซูริมิที่มีค่าความแข็งแรง (gel strength) ค่าความสว่าง (lighness) และการละลายของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์สูงกว่าภาวะการล้างน้ำอื่น ๆ

ในระดับอุตสาหกรรมการล้างน้ำจะเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่อง การล้างเนื้อปลาบดมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกเอาองค์ประกอบที่ไม่มีสมบัติในการเกิดเจลออก เช่น ไขมัน โปรตีนที่สามารถละลายได้ในน้ำ ได้แก่ ซาร์โคพลาสมิกโปรตีน รวมทั้งกำจัดโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนซึ่งเป็นโปรตีนที่มีสมบัติในการเกิดเจลด้วยความร้อน (Lin และคณะ, 1995; Park และคณะ, 1997) นอกจากนี้การล้างยังเป็นการแยกเอาเอนไซม์โปรติเอสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อปลาธรรมชาติออกไป (An และคณะ, 1994a) ทั้งยังช่วยปรับปรุงสี และกลิ่นรสของซูริมิให้ดีขึ้นด้วย

2.4.3 การแยกเนื้อปลา

ขั้นตอนนี้เป็นการแยกเอากล้ามเนื้อขาวออกจากกล้ามเนื้อแดง และพวกเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน หนัง เกล็ด และสิ่งเจือปนอื่นๆ โดยการแยกผ่านตะแกรง (strainer) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ซูริมิที่มีคุณภาพดี ขนาดของรูตะแกรงไม่ควรใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร เพื่อให้มีการสูญเสียเนื้อปลาบดน้อยที่สุด ในขณะที่สามารถแยกเอาสิ่งเจือปนออกได้มากที่สุด (Lee, 1986)

2.4.4 การแยกน้ำจากเนื้อปลา

อาจใช้เครื่องแยกน้ำระบบสกรูที่เป็นแบบต่อเนื่อง โดยส่งเนื้อปลาไปตามแรงอัดของสกรู (screw press) ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ หรือนำเนื้อปลาบดใส่ในถุงไนล่อนแล้วบีบน้ำออกด้วยเครื่องบีบระบบไฮดรอลิค (hydraulic press) ขั้นตอนนี้ทำให้ปริมาณน้ำในเนื้อปลาบดลดลงเหลือประมาณ 80-84 % (Toyoda และคณะ, 1992)

2.4.5 การนวด และการผสมสารป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน

ในระหว่างการนวดเนื้อปลาบดจะมีการเติมสารป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการแช่แข็ง (cryoprotectant) ซึ่ง cryoprotectant ที่นิยมใช้คือ ซอร์บิทอล 4 % ซูโครส 4 % และสารประกอบฟอสเฟส 0.3 %

2.4.6 การแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษา

นำซูริมิที่ได้บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน และนำไปแช่เยือกแข็งทันทีโดยใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบแผ่นความเย็นสัมผัส หรือแบบเป่าพ่นด้วยลมเย็น เป็นต้น โดยควบคุมให้อุณหภูมิต่ำกว่า -20 ℃

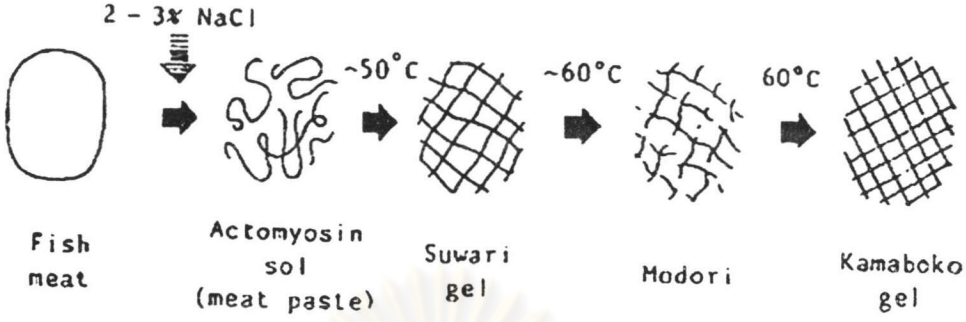
2.5 กลไกการเกิดเจลของซูริมิ

การเกิดเจลจัดเป็นสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของซูริมิ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค สำหรับสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีของซูริมิ คือ ความสามารถในการเกิดเจลที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ปริมาณสูง และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่น สมบัติดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ของวัตถุดิบที่นำมาใช้ และการเปลี่ยนแปลงโครงร่างโมเลกุลโปรตีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโปรตีนไมโอซินในระหว่างการให้ความร้อน (Nishimoto และคณะ, 1987) โดยเมื่อให้ความร้อนแก่โปรตีนแอกโตไมโอซิน โมเลกุลโปรตีนจะเริ่มคลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 30 ℃ ซึ่งทำให้หมู่ที่ไม่ชอบน้ำ และหมู่ซัลฟ์ไฮดริลที่อยู่ด้านในโมเลกุลปรากฏขึ้นมาบนผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน ระหว่างนี้โมเลกุลของโปรตีนระหว่างสายจะเริ่มจับตัวกันด้วยพันธะระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ และพันธะไดซัลไฟด์ โดยการรวมตัวกันของโปรตีนจะเกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิ 40-60 ℃ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 ℃ โมเลกุลไมโอซินบางส่วนจะแยกตัวออกจากสายของแอกติน โดยโมเลกุลไมโอซินที่หลุดออกมาบางส่วนจะจับตัวกันเอง และบางส่วนจะการจับกับส่วนของสายแอกติน เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 ℃ โมเลกุลไมโอซินจะจับกันเกิดเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยพันธะไดซัลไฟด์เป็นพันธะที่มีบทบาทมากที่สุด ในขณะที่การจับกันด้วยพันธะระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำจะมีบทบาทรองลงมา ในการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในทั้งสองขั้นตอนนั้นต้องเกิดในระดับที่เหมาะสม หากอัตราการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเกิดเร็วกว่าการจับตัวกันของโปรตีนมากกว่าจะทำให้เจลที่ได้มีโครงร่างตาข่ายที่ไม่

สม่ำเสมอ เจลมีความแข็งแรงสูงแต่ความยืดหยุ่นต่ำ (Sano และคณะ, 1994) โครงสร้างการเกิดเจลของโปรตีนเกิดจากโมเลกุลของโปรตีนจับเรียงตัวประสานกันด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ อย่างมีแบบแผนเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ที่สามารถเก็บกักน้ำ หรือสารละลายอื่นไว้ภายในโครงร่างทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น โดยพันธะที่ทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย ได้แก่ อันตรกิริยาระหว่างหมู่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) ของกรดอะมิโนที่มีหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของโมเลกุลไมโอซินจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Howe และคณะ, 1994) และพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ที่เกิดจากการจับกันระหว่างกรดอะมิโนซีสติอีน (cysteine) ในโมเลกุลโปรตีนซึ่งมีพลังงานพันธะ 330-380 kJ/mol ทำให้โครงสร้างเจลแข็งแรงขึ้น (Damodaran, 1996) Kamath และคณะ (1992) รายงานว่าพันธะโควาเลนท์ที่เกิดจากการเชื่อมระหว่างกลุ่มแกมมา-คาร์บอกซีเอไมด์ (γ-carboxyamide) ของกรดอะมิโนกลูทามีน (glutamine) และหมู่เอพซิลอน-อะมิโน (ε-amino) ของกรดอะมิโนไลซีน (lysine) มีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิ

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโซลของซูริมิจนกลายเป็นเจลเมื่อให้ความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะคือ ระยะซูวาริ (Suwari) ระยะโมโดริ (Modori) และระยะคามาโบโกะ (Kamaboko) (Suzuki, 1981) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของเจลในระยะซูวาริเริ่มจากการสับผสมซูริมิกับเกลือปริมาณ 2-3 % เพื่อละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Shahidi, 1994) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำโมเลกุลโปรตีนจะค่อย ๆ คลายตัวออกทำให้หมู่ที่ไม่ชอบน้ำของกรดอะมิโนปรากฏออกมาที่บริเวณผิวโมเลกุลด้านนอก และเกิดพันธะระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำระหว่างโมเลกุลโปรตีน (Lanier, 2000) นอกจากนี้กลไกการเกิดเจลซูวาริอาจเกิดการทำงานของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TGase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อปลาตามธรรมชาติทำให้เกิดการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลโปรตีน ทั้งนี้ความสามารถในการเกิดเจลซูวาริ และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลซูวาริจะแตกต่างไปตามชนิดของปลา (Hasting และคณะ, 1990; An และคณะ, 1996) จากนั้นถ้านำเจลซูวาริมาให้ความร้อนจนอุณหภูมิของเจลสูงกว่า 45-50 °C โครงร่าง ตาข่ายสามมิติของเจลซูวาริที่จับกันอย่างหลวม ๆ จะถูกทำลายไปบางส่วน เรียกเจลในระยะนี้ว่า เจลโมโดริ การเปลี่ยนแปลงของเจลในช่วงนี้เป็นผลจากกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอส (alkaline protease) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบอยู่ในเนื้อปลา ซึ่งโดยทั่วไปมีกิจกรรมที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C ทำให้โมเลกุลไมโอซินแตกตัว (Lanier และคณะ, 1981) และเมื่อให้ความร้อนแก่เจลโมโดริต่อไปจนเจลมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างหมู่ซัลฟ์ไฮดริล ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนลดลง ทำให้สายโปรตีนที่อยู่ในรูปเกลียวแอลฟาคลายตัว ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของกรดอะมิโนปรากฏออกมามากขึ้น จึงเกิดพันธะระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ มีผลให้โครงสร้างตาข่ายจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น ลักษณะปรากฏของเจลจะไม่ใสเหมือนเจลซูวาริ หรือเจลโมโดริแต่จะมีลักษณะทึบแสง เรียกเจลในระยะนี้ว่าเจลคามาโบโกะ (Suzuki, 1981) ซึ่งสมบัติที่

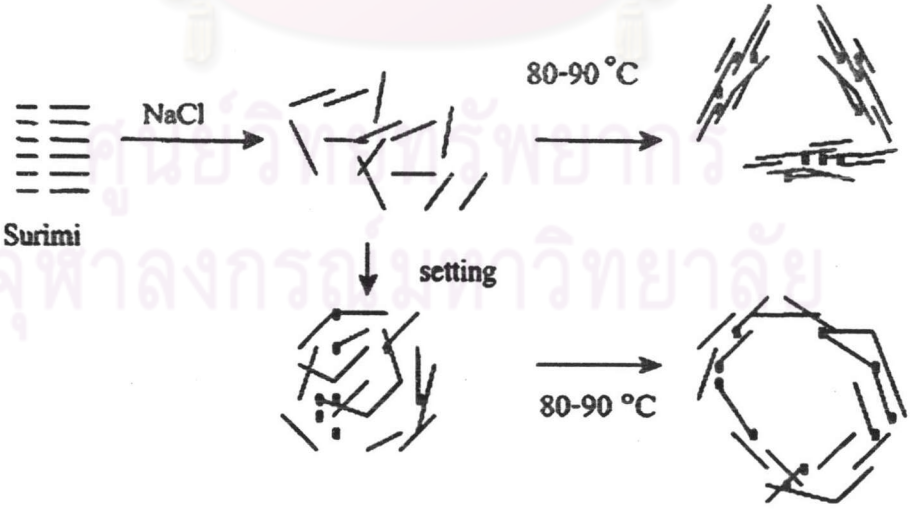
สำคัญของเจลคามาโบโกะ คือมีความยืดเกาะ และความยืดหยุ่นที่ดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ในปริมาณสูง



รูปที่ 2.7 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลของซูริมิในขณะให้ความร้อน

ที่มา : Suzuki (1981)

อย่างไรก็ตามการเตรียมเจลซูริมิโดยการให้อุณหภูมิสูงแก่ซูริมิที่บดผสมกับเกลือเพียงขั้นตอนเดียว อาจทำให้ได้เจลคามาโบโกะที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากโปรตีนจะคลายตัวอย่างรวดเร็วและจับตัวกันอย่างไม่สม่ำเสมอ น้ำจึงถูกปลดปล่อยออกจากโครงร่างตาข่ายของเจล ลักษณะปรากฏของเจลที่ได้มีลักษณะทึบแสง และมีสีขาว แต่เจลจะมีความยืดหยุ่นต่ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนแก่โซลซูริมิที่อุณหภูมิต่ำก่อนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงอีกครั้ง (Niwa, 1985; Foegeding และคณะ, 1986) รูปที่ 2.8 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของเจลซูริมิที่ผ่าน และไม่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเป็นเจลซูวาริ



รูปที่ 2.8 แบบจำลองโครงสร้างเจลที่ผ่าน และไม่ผ่านการเตรียมเจลซูวาริ

ที่มา : Niwa (1985)

2.6 ผลของภาวะการให้ความร้อนต่อคุณภาพของเจลซูริมิ

ขั้นตอนการให้ความร้อนในการเตรียมเจลซูริมิเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของเจลอย่างมาก การเตรียมเจลซูริมิอาจทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเพียงครั้งเดียว (ประมาณ 80-100 ℃) การให้ความร้อนแบบนี้ พบว่าโมเลกุลไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนมีอัตราการรวมตัวกัน (aggregation) เร็วกว่าการเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) ส่งผลให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลโปรตีนที่ไม่เป็นระเบียบ ทำให้ได้เจลที่มีคุณภาพต่ำ ขาดความยืดหยุ่น มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ (water holding capacity) (Lou และคณะ, 2000) ส่วนการให้ความร้อนสองครั้งนั้น การให้ความร้อนครั้งแรกที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 25-50 ℃) เป็นการให้ความร้อนในอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเกิดเจลโปรตีนทำให้ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนคลายตัวเริ่มคลายตัวออก และจะคลายตัวอย่างสมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ทำให้หมู่ที่ไม่ชอบน้ำที่อยู่ด้านในโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีนปรากฏขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีน เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) และพันธะไดซัลไฟด์ (disulphide bond) ทำให้เกิดการสร้างโครงร่างตาข่ายสามมิติอย่างมีระเบียบ (Nakai และ Li-Chan, 1989) Gill และ Conway (1989) รายงานว่าที่อุณหภูมิ 40-50 ℃ โมเลกุลไมโอซินส่วนหางที่สกัดจากปลา cod จะคลายตัวออก ทำให้กรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำปรากฏที่ผิวหน้าโมเลกุล และเกิดแรง hydrophobic interaction ระหว่างสายไมโอซิน นอกจากนี้ Chan และคณะ (1993) พบว่าการจับตัวของไมโอซินจากปลาคอด และปลาเฮอร์ริง เกิดขึ้นที่ส่วน HMM-S2 ที่อุณหภูมิ 30-40 ℃ และส่วนของ LMM จะเริ่มจับตัวเป็นร่างแหที่อุณหภูมิ 40-50 ℃ จากนั้นนำเจลซูริมิไปให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้โปรตีนเกิดการรวมตัวกัน (aggregation) เป็นการเพิ่มความแน่นเนื้อให้แก่เจล แล้วตกตะกอนเกิดเจลที่มีความคงตัว เจลที่ได้มีคุณภาพที่ดีทั้งด้านความแข็งแรง และความยืดหยุ่น (Luo และคณะ, 2001) ดังรายงานของ Suwansakornkul และคณะ (1999) พบว่าการให้ความร้อนในการเกิดเจลซูริมิจากปลาทรายแดงโดยการให้ความร้อน 2 ครั้ง คือที่ 40 ℃ 30 นาที ตามด้วย 90 ℃ 30 นาที จะให้ค่า breaking force และค่า deformation สูงกว่าการให้ความร้อนเพียงครั้งเดียว คือที่ 40 ℃ 30 นาที หรือที่ 90 ℃ 30 นาที

อย่างไรก็ตาม ภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมจะแตกต่างกันในปลาแต่ละชนิด และอุณหภูมิของแหล่งน้ำที่ปลาอาศัยอยู่ โดยปลาที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำโปรตีนในเนื้อปลาจะมีความคงตัวต่ออุณหภูมิสูงได้น้อยกว่าปลาที่อาศัยในเขตร้อน (Rodgers และคณะ, 1987; Hastings และคณะ, 1990) เช่น ปลานิล ที่อาศัยในเขตร้อนมีอุณหภูมิในการเตรียมเจลที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 40 ℃ นาน 60 นาที ตามด้วย 90 ℃ นาน 40 นาที (สุวรรณ วิรัชกุล และคณะ, 2543) ส่วนปลาที่อาศัยในเขตหนาว เช่น ปลาโฮกิ และปลาเซาเทิร์นบลูไวต์ทิง มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมเจลที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 4 ℃ นาน 24 ชั่วโมง ตามด้วย 90 ℃ นาน 15 นาที และ 25 ℃ นาน 4 ชั่วโมง ตามด้วย 90 ℃ นาน 20 นาที (Montejano และคณะ, 1984; MacDonald และคณะ, 1994)

2.7 ผลของความสดของปลาต่อคุณภาพของเจลซูริมิ

ความสดของปลามีผลต่อความสามารถในการเกิดเป็นเจลของซูริมิ และคุณภาพของเจลซูริมิสุดท้ายโดยทั่วไป พบว่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) ลดลงเมื่อความสดของปลาลดลง (Lee, 1986) ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างในกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา ระยะเวลาการเก็บรักษา และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในกล้ามเนื้อปลาโดยกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส (Kim และPark, 2000) โดยหลังจากปลาตายลงเนื้อปลาจะยังคงนิ่มอยู่ระยะหนึ่ง แต่หลังจากนั้นจะแข็งขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะการเกร็งตัว (rigor mortis) และจะนิ่มอีกครั้งหลังระยะการเกร็งตัว เนื่องจากปลาเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในตัวปลาเอง หรือจากแบคทีเรียภายนอกทำให้โปรตีนในเนื้อปลาเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งหลังจากปลาตายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ adenosine triphosphate (ATP) ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อปลา ซึ่งสลายตัวกลายเป็น adenosine diphosphate (ADP), adenosine monophosphate (AMP), inosine monophosphate (IMP), inosine หรือ hypoxanthine riboside (HxR) และ hypoxanthine (HX) ตามลำดับ (Somboonyanithi, 1990) นอกจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อปลาจะมีการเปลี่ยนแปลงในระยะแรกจะลดลงต่ำกว่า 7.0 แต่หลังจากผ่านระยะการเกร็งตัวแล้วค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงขึ้น โดยถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7.0 จะมีผลทำให้ความสามารถในการเกิดเจลลดลง เนื่องจากความสามารถในการละลายของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในสารละลายเกลือลดลง ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต้องการของซูริมิ คือ ความแข็งแรง (gel strength) ความยืดหยุ่น (elasticity) และการยึดเกาะ (cohesiveness) ที่ดีสูญเสียไป (MacDonald และคณะ, 1990) Park และคณะ (1990) ศึกษาความสัมพันธ์ของค่า pH กับการเกิดการเกร็งตัว (rigor-mortis) ของปลานิลสีน้ำเงิน (blue tilapia : *Oreochromis aureus*) พบว่า pH ของกล้ามเนื้อปลาจะลดลงตามระยะการเกิดการเกร็งตัว โดยปลาสดที่อยู่ในระยะ pre-rigor มี pH เท่ากับ 6.89 ส่วนในระยะ in-rigor และ post-rigor มี pH เท่ากับ 6.21 และ 6.23 ตามลำดับ และค่าความแข็งแรงของเจลจะลดลงตามระยะการเกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ

เมื่อความสดของวัตถุดิบลดลง มีผลให้ความแข็งแรงของเจลซูริมิที่ได้ลดลงด้วย เนื่องจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในเนื้อปลา ดังรายงานวิจัยของ Benjakul และคณะ (2002) ซึ่งศึกษาสมบัติการเกิดเจลของซูริมิจากปลาตาโต *Pricanthus tayenus* และ *P. macracanthus* ที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง หลังจากเก็บรักษาปลาในน้ำแข็งเป็นเวลา 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 วัน แล้วนำมาผลิตซูริมิ พบว่า breaking force และ deformation ของเจลซูริมิมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บปลานานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเสียสภาพตามธรรมชาติ และการเสื่อมสภาพของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์จากเอนไซม์โปรติเอส และการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวปลา สำหรับการสูญเสียความสามารถในการเกิดเจลของซูริมิจากปลาที่เก็บรักษาไว้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา เช่น Kurokawa (1979) รายงานว่าความแข็งแรงของเจลซูริมิจากปลาปากคม (Lizard fish) จะลดลง 50 % เมื่อปลา

เมื่อปลาผ่านการเก็บรักษาไว้ในน้ำแข็งเป็นเวลา 3 วัน ในขณะที่ MacDonald และคณะ (1990) รายงานว่า ซูริมิที่ผลิตจากปลาโฮกิที่เก็บรักษาไว้ในน้ำแข็งนานถึง 10 วัน ยังคงให้ผลิตซูริมิที่มีคุณภาพสูงได้ Lee (1986) รายงานว่าปลาอลาสกาพอลลอคที่ผ่านการเก็บรักษาในน้ำแข็งนาน 3-4 วัน จะให้เจล ซูริมิที่มีคุณภาพระดับ A เมื่อทดสอบด้วยวิธี folding test ในขณะที่ Yongsawatdigul และPark (2003) พบว่าซูริมิที่ผลิตจากปลาทรายแดงที่ผ่านการเก็บรักษา 6 วัน ค่าความแข็งแรงของเจลจะลดลง 50 % Somboonyarithi (1990) พบว่าซูริมิที่ผลิตจากปลานิลที่เก็บรักษาไว้ในน้ำแข็ง 1 วัน ให้เจลที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 231.24 g.cm และค่าจะลดลงเหลือ 189.96 g.cm เมื่อปลานิลผ่านการเก็บรักษาไว้ในน้ำแข็ง 4 วัน แต่ซูริมิที่ผลิตได้ยังคงมีคุณภาพที่ดีในระดับ AA เมื่อทดสอบด้วยวิธี folding test และยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.8 ผลของกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยโปรตีน

เอนไซม์ย่อยโปรตีน (protease) ที่พบในปลามาจาก 3 แหล่งที่สำคัญ คือ เอนไซม์ที่มีในตัวปลาตามธรรมชาติ เอนไซม์ที่มาจากปรสิตที่อาศัยอยู่ในตัวปลา และเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับปลา (An และคณะ, 1996) เอนไซม์เหล่านี้มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของปลาภายหลังการตาย แอกติวิตีของเอนไซม์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิด วงจรชีวิต และอาหารของสัตว์น้ำ สามารถจำแนกชนิดของเอนไซม์โปรติเอสได้โดยพิจารณาจากหมู่ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา (catalytic group) ใน active site ตารางที่ 2.2 แสดงเอนไซม์โปรติเอสชนิดต่าง ๆ ที่พบในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำ

เอนไซม์โปรติเอสมีบทบาทต่อการย่อยสลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียโครงร่างตาข่ายของเจล และผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่ต่ำลง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "โมโดริ" (modori) โดยทั่วไปปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นขณะที่ให้ความร้อนกับซูริมิที่อุณหภูมิ 50-70 °C (Toyohara และคณะ, 1990) การจำแนกชนิดของเอนไซม์โปรติเอสสามารถจำแนกได้โดยพิจารณาหมู่ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาใน active site ของเอนไซม์ได้ 4 ประเภท คือ โปรติเอสชนิดซีสเตอีน (cysteine protease) โปรติเอสชนิดเซรีน (serine protease) โปรติเอสชนิดเมททัลโล (metallo protease) และโปรติเอสชนิดแอสปาร์ติก (aspartic protease) (Bond และ Butler, 1987) เอนไซม์ โปรติเอสที่สำคัญในซูริมิมีอยู่ด้วยกัน 2 กลุ่มคือ

ตารางที่ 2.2 เอนไซม์โปรติเอสที่พบในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำ

Enzyme		Optimum pH	Optimum temperature (°C)	Effect on muscle proteins
Cysteine protease	Calcium-activated protease	6.9-7.5	30	Cleavage of myofibrillar protein to trichloroacetic acid soluble fragments, degradation of cytoskeletal proteins
	Cathepsin L	5.0-6.0	40-50	Hydrolysis of most myofibrillar proteins
	Cathepsin B	5.7-6.0		Slight Hydrolysis of myosin actin nebulin and troponin T
	Cathepsin C	6.0-6.5		
	Heat-activated cysteine protease	6.0-6.5	55-65	Hydrolysis of myosin
Serine protease	Heat-activated trypsin -like protease	6.2-8.0	50-60	Hydrolysis of myosin
	Multicatalytic proteases	6.0-10.0	60-65	Hydrolysis of myosin
	Other trypsin-like proteases	8.0-9.0	37-40	Hydrolysis of isolated myosin, disintegration of the cytiskeletal and contractile elements of intact myofibril
Metallo protease	Neutral protease	7.2	40	
	Heat -stable alkaline protease	7.0-8.0	50	Hydrolysis of type I collagen, gelatin and other cytoskeletal matrix proteins
	Myosinase I and II	7.0	40	Hydrolysis of myosin

ที่มา : Kolodziejska และ Sikorski (1996)

2.8.1 โปรติเอสชนิดซิสเตอีน แยกเป็น 2 ประเภท

2.8.1.1 อัลคาไลน์โปรติเอส (alkaline protease)

เอนไซม์กลุ่มนี้ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 60-65 °C และที่ระดับ pH เท่ากับ 7.5-8.0 เอนไซม์เหล่านี้อาจปนเปื้อนจากส่วนของหนัง อวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต เป็นต้น (Lanier และคณะ, 1981; Makinodan และคณะ, 1985) Lin และ Lanier (1980) ศึกษาเอนไซม์โปรติเอสชนิดซิสเตอีนจากปลาแอตแลนติกครอกเกอร์ (Atlantic croaker : *Micropogon undulatus*) พบว่าเอนไซม์

มีน้ำหนักโมเลกุล 80,000 ดาลตัน ค่า pI เท่ากับ 6.0 และสามารถย่อยแอกโตไมโอซินได้ดีที่อุณภูมิ 50-60 °C

2.8.1.2 คาเธปซิน (cathepsin)

เอนไซม์กลุ่มนี้พบมากในส่วนของไลโซโซม ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาภายหลังการตายของสัตว์มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อในช่วงอุณหภูมิ 50-60 °C (Asghar และ Bhatti, 1987) โดยในปลาแปซิฟิกไวต์ทิง พบว่าคาเธปซิน-แอล มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 28,000 ดาลตัน มีแอกติวิตีสูงสุดที่อุณหภูมิ 55 °C และ pH เท่ากับ 5.5 ในปลา arrowtooth flounder เอนไซม์มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 32,000 ดาลตัน มีแอกติวิตีสูงสุดที่อุณหภูมิ 55 °C และ pH เท่ากับ 6.0-7.0 (Wasson และคณะ, 1992; Seymour และคณะ, 1994)

2.8.2 โปรติเอสชนิดเซรีน

โปรติเอสชนิดเซรีนจะทำงานได้ดีเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน เป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดโมโดริ โดยเอนไซม์ที่พบในปลาทรายแดง (threadfin bream) สามารถทนต่อความร้อนได้ดี มีแอกติวิตีสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C และ pH เท่ากับ 7.0 ในภาวะที่มีโซเดียมคลอไรด์ 2-4 % (Kinoshita และคณะ, 1991) ในขณะที่ Onibala และคณะ (1997) พบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่โปรตีนปลานิลที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 120 นาที จะทำให้ myosin heavy chain (MHC) เกิดการย่อยสลายเป็นผลให้ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิลดลง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในเจลซูริมิขณะให้ความร้อน กับการลดลงของคุณภาพของเจล และปริมาณของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์โดยเฉพาะโปรตีนไมโอซินซึ่งเป็นโปรตีนที่มีความสำคัญต่อการเกิดเจลซูริมิ (Nishimoto และคณะ, 1987) จากการวิเคราะห์โปรตีนในซูริมิที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 20-60 °C ด้วยวิธี sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) พบว่าแถบของโปรตีน MHC ในเจลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มสูงขึ้น โดยมีการเพิ่มขึ้นของแถบโปรตีนชนิดใหม่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 150,000 และ 90,000 ดาลตัน ในขณะที่แถบของโปรตีนแอกตินไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Saeki และคณะ, 1995) Morrissey และคณะ (1993) รายงานว่าเมื่อให้ความร้อนแก่ซูริมิจากปลาแปซิฟิกไวต์ทิง (Pacific whiting : *Merluccius productus*) ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ปริมาณของ MHC ลดลง และพบแถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 40,000 ดาลตัน เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม การเกิดกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสจะแตกต่างในปลาแต่ละชนิด เช่น เอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสที่สกัดจากปลาแอตแลนติกเมนฮาเดน (Atlantic menhaden : *Brevooti tyrannus*) มีภาวะที่เหมาะสมในการมีกิจกรรมสูงสุดที่ pH 7.5-8.0 และอุณหภูมิ 60 °C (Boye และ Lanier, 1988) สำหรับปลาแปซิฟิกไวต์ทิงเอนไซม์โปรติเอสมีกิจกรรมสูงสุดที่ pH 5.5 และอุณหภูมิ

55 ºC (An และคณะ, 1994b) และเอนไซม์โปรติเอสในปลานิลมีกิจกรรมสูงสุดที่อุณหภูมิ 65 ºC (Yongsawatdigul และคณะ, 2000) เป็นต้น

2.9 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาซูริมิแช่แข็งต่อการเกิดเจลของซูริมิ

การแช่แข็งซูริมิมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้นแต่พบว่าเมื่อเก็บรักษาซูริมิไว้นานขึ้นจะมีผลทำให้คุณภาพของเจลซูริมิลดลง พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า -25 ºC จะสามารถเก็บรักษาซูริมิไว้ได้เป็นเวลาประมาณ 1 ปี โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิไม่เปลี่ยนแปลง (Lee, 1984) แต่ทั้งนี้อายุการเก็บรักษาของซูริมิแช่แข็งขึ้นกับคุณภาพของปลาที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตซูริมิด้วย คือ ปลาต้องสด จึงสามารถเก็บได้นาน (Shaban และคณะ, 1985)

การเก็บรักษาซูริมิที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรือเท่ากับ -20 ºC มีผลทำให้น้ำในระบบของกล้ามเนื้อปลาเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง สารละลายที่ยังไม่แข็งตัวในกล้ามเนื้อปลาจึงมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาแช่เยือกแข็งที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ภาวะแวดล้อมของโปรตีนเปลี่ยนไปจากสภาพปกติ การเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่ยังไม่แข็งตัวจะเพิ่มความเป็นกรดของสารละลายที่ยังไม่แข็งตัว (Fennema, 1993) ส่งผลให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่มีความสำคัญในการเกิดเจลเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติทำให้โปรตีนสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการเกิดเจล (จักรี ทองเรือง, 2544) นอกจากนี้การที่โมเลกุลโปรตีนสูญเสียน้ำที่บริเวณผิว และการเกิดผลึกน้ำแข็งในเนื้อเยื่อ ทำให้โมเลกุลของโปรตีนอยู่ใกล้กันมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเชื่อมข้ามกันจากพันธะไดซัลไฟด์ และพันธะโควาเลนต์อื่น ๆ มีผลต่อเนื่องให้โปรตีนจับตัวกัน และสูญเสียสภาพธรรมชาติในที่สุด (Shenouda, 1980) Chan และคณะ (1995) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาซูริมิที่ผลิตได้จากปลาเฮอร์ริง (herring : *Clupea arengus*) ไว้ที่อุณหภูมิ -20 ºC กิจกรรมของเอนไซม์ ATPase ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ความสมบูรณ์ตามธรรมชาติของโปรตีนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามอายุการเก็บรักษา และเมื่อเก็บไว้นานกว่า 10 สัปดาห์ ระดับกิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงประมาณ 100 เท่า เมื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ myosin heavy chain (MHC) พบว่าปริมาณ MHC ลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในซูริมิแช่เยือกแข็ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shaban และคณะ (1985) รายงานว่าการเก็บรักษาซูริมิจากปลาอลาสกาพอลลอคที่อุณหภูมิ -20 ºC เป็นเวลา 1 ปี ปริมาณไมโอไฟบริลลาร์โปรตีนจะลดลงจาก 76 % เหลือเพียง 30 % ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลงจาก 700 g.cm เมื่อเตรียมจากซูริมิก่อนการแช่เยือกแข็ง เหลือเพียง 460 g.cm หลังจากแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 1 ปี

2.10 การผลิตซูริมิจากปลาน้ำจืด

ซูริมิสามารถผลิตจากวัตถุดิบต่าง ๆ ได้แก่ ปลาที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำที่ถูกจับมาพร้อมกับปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ปลาที่มีขนาดหรือลักษณะที่ไม่เหมาะสมในการผลิต และจากเศษวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตอื่น ๆ (Regenstein, 1986) ปัจจุบันปลาทะเลที่เป็นวัตถุดิบส่วนใหญ่มีปริมาณลดลง และต้องนำมาจากแหล่งจับปลาที่ไกลออกไปซึ่งมีผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบ จึงมีความพยายามหาแหล่งวัตถุดิบใหม่มาใช้ทดแทนปลาทะเล โดยได้มีการศึกษาการผลิตซูริมิจากปลาน้ำจืดที่เป็นแหล่งวัตถุดิบขนาดใหญ่ จัดหาได้ง่าย และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์จากปลาน้ำจืด

วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ (2531) ศึกษาคุณภาพเนื้อปลาบดแบบซูริมิจากปลานิลเขตร้อน (Nile tilapia : *Oreochromis niloticus*) สดและแช่เยือกแข็ง พบว่าซูริมิจากปลานิลที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง 0 วัน มีค่าความแข็งแรงสูงสุด คือ 291.52 g.cm แต่ค่าความแข็งแรงของเจลซูริมิจะลดลงเหลือเพียง 231.24 และ 189.96 g.cm เมื่อผลิตจากปลาที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง 1 และ 4 วัน ตามลำดับ และซูริมิที่ผลิตจากปลาสดจะให้คุณภาพดีกว่าปลาที่แช่เยือกแข็งเป็นเวลา 3 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สุวรรณ วิรัชกุล และคณะ (2543) ศึกษาการผลิตซูริมิจากปลานิลเขตร้อน พบว่าซูริมิที่ผลิตจากปลานิลที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง (0 ± 2 ℃) นาน 48 ชั่วโมง ให้เจลที่มีคุณภาพทางด้านความแข็งแรงสูงกว่าซูริมิที่ผลิตจากปลานิลที่เก็บรักษาในน้ำแข็งนาน 6 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากปลาที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง 6 ชั่วโมง ยังอยู่ในระยะกล้ามเนื้อเกิดการเกร็งตัว (in-rigor) กล้ามเนื้อจึงมีระดับ pH ต่ำกว่าของปลาที่เก็บรักษาในน้ำแข็ง 48 ชั่วโมง ซึ่งผ่านระยะหลังกล้ามเนื้อเกิดการเกร็งตัว (post-rigor) ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของโปรตีน และปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ลดลง เป็นผลให้คุณภาพของเจลซูริมิลดลงด้วย (Park และคณะ, 1990) ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลซูริมิจากปลานิล คือการให้ความร้อนที่ 40 ℃ นาน 60 นาที ตามด้วยที่ 90 ℃ นาน 40 นาที จะให้เจลที่มีความแข็งแรงสูงสุด และซูริมิที่ผลิตได้มีคุณภาพเทียบเท่ากับซูริมิจากปลาอลาสกาพอลลอคและปลาทรายแดง ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตซูริมิทั่วไปในท้องตลาด

Lou และคณะ (2000) ศึกษาผลการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่มีต่อคุณภาพของเจลจากปลาอลาสกาพอลลอคเปรียบเทียบกับปลาน้ำจืด 3 ชนิด ได้แก่ common carp, grass carp และ silver carp พบว่าเจลซูริมิจากปลาอลาสกาพอลลอคให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30-35 ℃ นาน 30-60 นาที ส่วนปลาน้ำจืดทั้ง 3 ชนิด มีภาวะในการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่ 35 ℃ นาน 60-120 นาที, 40 ℃ นาน 30 นาที และ 35-40 ℃ นาน 60 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากปริมาณของโปรตีนที่แตกต่างกันของปลาแต่ละชนิด และโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ของปลาน้ำจืดมีความคงตัวต่อความร้อนมากกว่าปลาอลาสกาพอลลอค

Sankar และ Ramachandran (2002) ศึกษาลักษณะการเกิดปรากฏการณ์การเกิดเจลโมโดริและเจลคามาโบโกะของปลาคาร์ปสายพันธุ์อินเดีย ได้แก่ rohu carp (*Labeo robhia*), catla carp (*Catla catla*) และ mrigal carp (*Cirrhinus mrigala*) พบว่าเจลซูริมิที่เตรียมปลาจากปลาทั้ง 3 ชนิด ไม่สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิ 25 ℃ ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลของปลา rohu carp คือที่อุณหภูมิ 50 ℃ ส่วนปลา catla carp และปลา mrigal carp คือที่อุณหภูมิ 60 ℃ เป็นเวลา 30 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย