

실꼬리돔(*Nemipterus virgatus*) 수리미 기반 가리비(*Patinopecten yessoensis*) 관자 대체 제품의 개발 및 품질 평가

박선우¹ · 이지양¹ · 성윤¹ · 김나정¹ · 노경섭¹ · 오예준¹ · 안동현^{1,2*}

¹국립부경대학교 식품공학과, ²국립부경대학교 식품연구소

Development and Quality Evaluation of Scallop *Patinopecten yessoensis* Analogs Based on Golden Threadfin Bream *Nemipterus virgatus* Surimi

Seon-Woo Park¹, Ji-Yang Lee¹, Yun Seong¹, Na-Jeong Kim¹, Kyung-Seop No¹, Ye-Jun Oh¹ and Dong-Hyun Ahn^{1,2*}

¹Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

²Institute of Food Science, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

In the present study, we developed a surimi-based alternative scallop *Patinopecten yessoensis* adductor muscle product by using tapioca starch, strong flour, and textured soy protein (TSP). Surimi gels with alginate showed markedly poorer textural properties than the scallop adductor muscle controls owing to the absence of divalent cations. Strong flour improved the gel strength but resulted in a tough texture, whereas tapioca starch improved the softness of the gel and helped achieve shear force levels comparable to those of the control at 3.0 wt%. Based on these findings, we developed an optimized formulation of tapioca starch (3.0 wt%), strong flour (3.0 wt%), and TSP (1.0 wt%). The optimized product showed no significant differences from the scallop adductor muscle in terms of springiness, gumminess, and chewiness ($P>0.05$); this finding was attributed to the synergistic interactions among these three ingredients. The paste pH (7.72) was suitable for stable gel network formation. Although the color values differed significantly between the two products ($P<0.05$), sensory evaluation revealed no significant differences in 8 of 9 attributes ($P>0.05$). Thus, the developed surimi-based product may serve as a sustainable alternative to scallop adductor muscle, demonstrating comparable textural and sensory characteristics.

Keywords: Surimi, Optimization, Analogue, Scallop, Textural properties

서론

전 세계적으로 수산물 소비량은 급격히 증가하여 1인당 소비량이 1961년 9.1 kg에서 2022년 20.7 kg으로 두 배 이상 증가하였다(FAO, 2024). 이러한 수요 증가는 수산 자원의 남획과 고갈 문제를 야기하고 있으며 이를 해결하기 위한 양식업 또한 기후 위기에 직면해 있다(Teixeira and Silva, 2023). 특히 가리비 관자는 독특한 풍미와 식감으로 소비자 선호도가 높은 식재료로 꼽히지만, 최근 지구 온난화에 따른 고수온 현상은 양식 가리비의 대량 폐사를 유발하여 심각한 공급 불안정성을 초래하고 있다(Liu et al., 2020). 또한 연안 해역의 미세 플라스틱 및 중금

속 오염은 가리비의 체내 축적 위험성을 높여 식품 안전성을 위협하는 요인이 될 수 있다(Lin et al., 2021; Magesh and Ajith, 2024). 수리미는 어류의 뼈와 내장을 제거하고 마쇄 및 수세 공정을 거쳐 불순물을 제거한 후, 근원섬유단백질을 농축시킨 냉동 연육으로 가공 적성이 뛰어난 식재료이다(Park, 2013). 수리미는 수분 함량, 백색도 및 겔 강도 등에 따라 SSA, SA, FA, A, KA, RA 및 B 등급으로 분류할 수 있으며(Ahn et al., 2019), 불순물 제거 과정을 거치므로 가리비가 가진 중금속 오염 등의 위해 요소로부터 상대적으로 안전하다는 장점이 있다(Moreno et al., 2016). 특히 수리미에 전분을 첨가하면 전분 입자의 수분 흡수 및 팽윤 작용으로 겔 강도가 상승하고 텍스처가 변화하

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5831 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: dhahn@pknu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2026.0181>

Korean J Fish Aquat Sci 59(3), 181-189, June 2026

Received 30 April 2026; Revised 4 June 2026; Accepted 9 June 2026

저자 직위: 박선우(대학원생), 이지양(대학생), 성윤(대학생), 김나정(대학생), 노경섭(대학생), 오예준(대학생), 안동현(교수)

며(Yang and Park, 1998), 적절한 열처리를 통해 치밀한 단백질 네트워크 구조를 형성함으로써 높은 겔 강도를 가질 수 있다(Xiong et al., 2024). 최근 명태 수리미를 활용하여 새우와 유사한 물성을 구현한 연구(Park et al., 2025)가 보고되는 등, 수리미 기반 대체 수산물 제품 개발은 해양 자원 고갈, 기후변화로 인한 공급망 불안정성 등의 문제를 해결할 수 있는 지속가능한 대안으로 제시되고 있다(Nugroho et al., 2025). 그러나 수리미의 주요 원료로 사용되어 온 명태는 어획량 변동, 자원의 과다 이용 문제로 인해 안정적인 원료 수급에 한계가 지적되고 있으며 이를 대체할 수 있는 새로운 어종에 대한 필요성이 증가하고 있다(Yingchutrakul et al., 2022; Jung et al., 2024). 이에 따라 열대 및 아열대 해역에서 주로 어획되는 실꼬리돔이 수리미 원료의 대체 자원으로 활용 가능성이 보고되고 있다(Jaziri et al., 2021). 다만 실꼬리돔은 근육 내에 존재하는 내인성 단백질 분해효소의 활성이 상대적으로 높아 가열 중 겔이 약화되는 현상이 발생할 수 있으나(Nakamizo et al., 2025), 전분 및 단백질과의 상호작용을 통해 치밀하고 안정적인 단백질 네트워크를 형성할 수 있어 높은 활용 가치를 지닌다(Wasinnitiwong et al., 2022; Huang et al., 2024; Zhao et al., 2024).

강력분은 13%의 높은 단백질 함량을 함유하고 있는 밀가루로 주성분인 글루텐(gluten)은 탄성을 부여하는 글루테닌(gliutenin)과 점성을 부여하는 글리아딘(gliadin)으로 구성된다. 이들은 이화화결합 및 소수성 상호작용을 통해 3차원 망상 구조를 형성한다(Shewry and Halford, 2002; Zang et al., 2022). 수리미 제조 시 강력분을 첨가하면 냉동-해동 후 수분 유출을 감소시키며 수분 분배를 조절하여 수분 유지력을 향상시킬 수 있다(Chung and Lee, 1996). 카사바 뿌리에서 추출된 타피오카 전분은 동남아시아에서 주로 재배되며(Ahn, 2005), 팽윤력이 강하여 가열 시 팽윤된 전분 입자가 수리미 단백질과 수소결합 및 소수성 상호작용을 강화하고 가열 손실률을 낮추며 겔 네트워크를 안정화시킨다(Huang et al., 2024). 식물성 단백질원인 조직대두단백(textured soy protein)은 대두 단백질을 압출 성형하여 다공성의 섬유상 구조를 갖도록 가공한 소재로 대체육 제품의 텍스처 구현에 핵심적인 역할을 할 수 있다(Ishaq et al., 2022). 또한 조직대두단백은 수분 및 향미 유지력이 뛰어나고 조리 시 수분 손실을 막아 다즙성을 향상시킬 수 있고 전반적인 식감을 향상시키는 장점이 있다(Riaz, 2004).

따라서 본 연구에서는 타피오카 전분, 강력분 및 조직대두단백을 첨가한 수리미 기반 대체 가리비 관자 제품을 개발하고 최적 조건 선정을 위해 제품의 pH, 색도, 물리적 특성 및 관능특성을 평가하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에서 사용된 수리미는 Korean Seafood사(Busan, Ko-

rea)에서 SA 급 실꼬리돔(golden threadfin bream *Nemipterus virgatus*) 수리미를 구입하여 영하 30°C 이하의 냉동고(Togliere Tensione Prima; Larp S.R.L., Genova, Italy)에서 저장하여 사용하였다. 본 연구는 실제 가리비 관자의 물성 및 관능 특성을 모사하고자 하였으므로, 실험의 대조군으로 가리비 관자를 사용하였다. 대조군으로 사용된 가리비 관자는 오션스글로벌(Seoul, Korea)에서 냉동 가리비 관자살을 구매하여 12-14 g 인 것을 사용하였다.

시료 준비

냉동 실꼬리돔 수리미를 12시간 동안 4°C에서 냉장 해동하여 Silent cutter (ST11; ADE Co., Hamburg, Germany)에 넣고 분쇄하였다(Kim et al., 2022). 분쇄한 수리미에 전체 총량 기준 소금(Hanju Salt Co. Ltd., Ansan, Korea) 1.0 wt%, 설탕(CJ CheilJedang Co., Seoul, Korea) 1.5 wt%, 인산염 혼합제제(MSC Co. Ltd., Yangsan, Korea) 0.5 wt%를 첨가하였다. 고기 갈이를 하며 재료를 혼합한 후 4°C의 냉수 33.0 wt%, 조개 다시다(CJ CheilJedang Co.) 0.4 wt%, 조미액(MSC) 0.7 wt%를 첨가하여 수리미 혼합물을 제조하였다. 각 첨가물 배합 농도 및 제조 공정은 선행연구(Na et al., 2023; Kim et al., 2024; Lee et al., 2024; Park et al., 2025)를 참고하여 설정하였다. 기본 수리미 혼합물에 다당류의 종류 및 함량을 달리하여 실험군을 구성하였다. 먼저 알긴산과 강력분을 각각 0, 0.5, 1.0 wt% 농도로 첨가하였고 타피오카 전분은 1.5, 2.0, 3.0 wt% 농도로 첨가하여 물성 변화를 비교하였다. 실험 결과를 바탕으로 선정된 최종 품질 최적화 단계에서는 타피오카 전분 3.0 wt%, 강력분 3.0 wt% 및 조직대두단백 1.0 wt%로 조정하여 첨가하였다. 이후 강한 물리적인 충격을 주어 충전기(DICK 15LB; F. Dick, Metten, Germany)에 충전하여 혼합물의 기포를 제거하고 PVDC casing에 충전하여 sealing machine (PACKNER HRPS2; MAX Co., Tokyo, Japan)에서 결찰하였다. 충전된 수리미는 열수탱크(DDW-WBT110; Dongwon Scientific System, Seoul, Korea)에서 setting (45°C, 1 h) 과정을 거친 후 80°C에서 30분간 가열하였다. 이후 4°C 이하로 냉각한 후 직경 4 cm, 두께 1.5 cm로 절단하여 실험에 사용하였다. 대조군으로 사용한 가리비 관자는 끓는 물에서 2분간 가열하여 4°C 이하에서 10분간 냉각한 후 사용하였다.

물성 측정

시료의 물성은 Texture meter (TA-XT plus; Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK)를 사용하여 측정하였다. 수리미 혼합물은 지름 6 cm의 전용 용기인 A/BE (back extrusion probe)를 이용해 시료를 60% 담아 test speed 1.0 mm/s, strain 40.0%, trigger force 5.0 g의 조건에서 5회 이상 후방 압출 테스트를 진행하여 견고성(firmness)과 점착성(adhesiveness)의 평균값을 계산하였다. 가열 수리미는 P/45 (45 mm diameter aluminum cylinder probe)를 이용하여 test speed 1.0 mm/s, strain

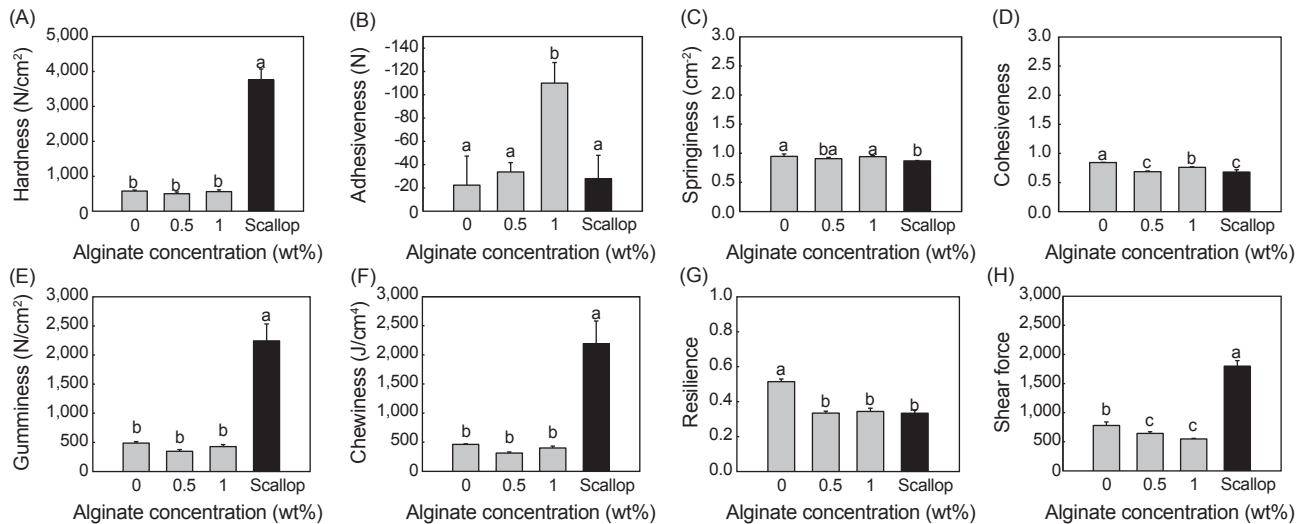


Fig. 1. Comparison of texture profile analysis (TPA) and shear force between surimi gels with different alginate concentrations and natural scallop *Patinopecten yessoensis*. Each panel represents: A, Hardness; B, Adhesiveness; C, Springiness; D, Cohesiveness; E, Gumminess; F, Chewiness; G, Resilience; H, Shear force. Means in the same column (a-c) bearing different superscript in sample are significantly different ($P < 0.05$).

50.0%, trigger force 5.0 g의 조건에서 5회 이상 압축 테스트를 진행하여 경도(hardness), 접착성(adhesiveness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness), 복원성(resilience)의 평균값을 계산하였다. 전단력(shear force)은 test speed 0.17 mm/s의 조건으로 시료를 전단하여 전단력(shear force)의 평균값을 이용하였다.

pH 측정

pH는 시료 3 g에 증류수 27 mL를 가하여 균질기(Nissei ACE homogenizer; Nihonseiki Kaisha Ltd., Nissei, Japan)를 이용하여 10,000 rpm의 속도로 1분 간 균질화한 10% 현탁액을 사용하였다. 시료 현탁액을 pH계(TOADKK pH meter HM-42X; TOADKK, Tokyo, Japan)로 3회 이상 측정하고 평균값으로 계산하였다.

색도 측정

시료의 색도는 분광색도계(Colorimeter, JC 801; Color Techno System Co. Ltd., Nagoya, Japan)로 측정하였다. 측정값은 L^* (명도), a^* (적색도), b^* (황색도)를 값으로 나타내었다. Whiteness (백색도)는 $L^* - 3b^*$ 를 이용하여 계산하였다. 표준백판 값은 $X=92.35$, $Y=83.92$, $Z=96.98$ 이었다. ΔE^* (색차)는 아래의 식을 이용하여 나타내었다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

관능 평가

최적 조건으로 제조된 수리미와 실제 가리비 관자의 색(col-

or), 냄새(smell), 비린내(fishy smell), 맛(taste), 이미(abnormal taste), 조직감(texture), 경도(hardness), 탄력성(springiness) 및 종합적 기호도(preference)의 9가지 항목에 9점 척도로 패널(panel)이 직접 섭취하여 평가하는 관능평가를 진행하였다(부경대학교 기관생명윤리위원회 승인번호, 1041386-202005-HR-30-02). 냄새(smell) 항목은 시료의 전반적인 향에 대한 기호도를 평가하였으며, 비린내(fishy smell)는 수산물 특유의 비린 향에 대한 기호도를 평가하였다. 9점 척도 중 1점은 매우 나쁘거나 낮음(extremely bad or slight), 9점은 매우 좋거나 강함(extremely good or much)으로 표시하여 관능 평가를 실시하였다. 이때 패널은 평가 항목에 대한 이해도가 높고, 평가 방법 숙지에 훈련된 10명을 선별하였다.

통계 분석

모든 실험은 3회 이상 반복 수행하였으며, 실험 결과 및 관능 평가 결과는 SAS program (SAS ver. 9.3; SAS Institute, Inc., NC, USA)을 이용하여 실험 처리된 값의 평균값을 분산분석한 후 Duncan's multiple range test 법을 이용해 $P < 0.05$ 수준으로 유의차를 검정하였다.

결과 및 고찰

대체 가리비 관자 베이스 선정을 위한 첨가물 종류에 따른 물성 특성

알긴산 첨가 농도에 따른 수리미 겔의 물성을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 알긴산 첨가구는 대조군인 가리비 관자에 비해

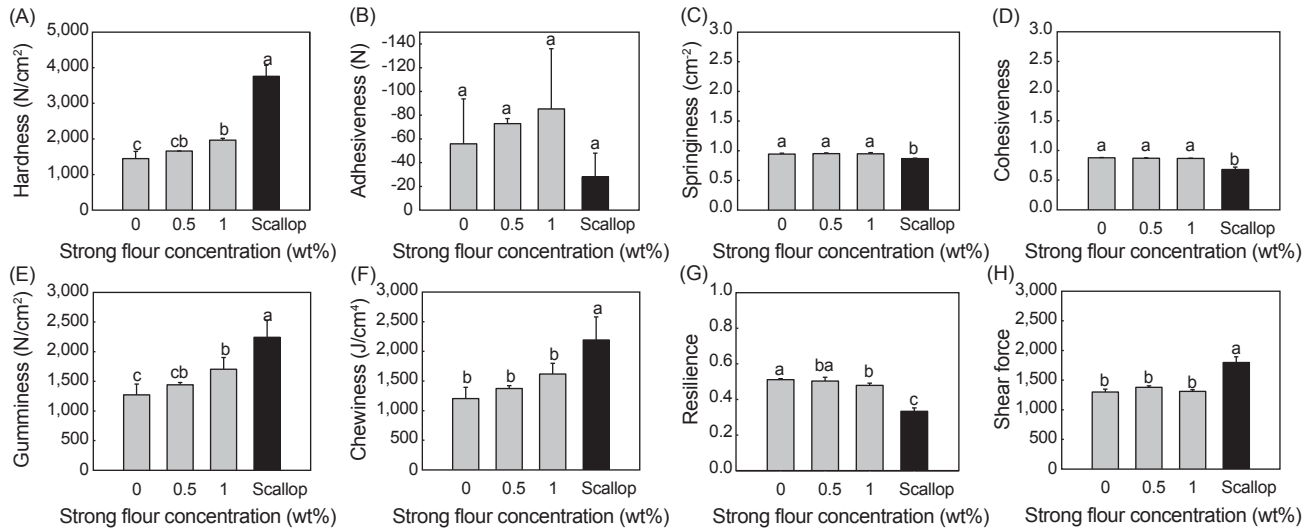


Fig. 2. Comparison of texture profile analysis (TPA) and shear force between surimi gels with different strong flour concentrations and natural scallop *Patinopecten yessoensis*. Each panel represents: A, Hardness; B, Adhesiveness; C, Springiness; D, Cohesiveness; E, Gumminess; F, Chewiness; G, Resilience; H, Shear force. Means in the same column (a-c) bearing different superscript in sample are significantly different ($P < 0.05$).

경도, 감성, 씹힘성, 전단력의 물성 지표가 현저히 낮게 나타났다. 이러한 결과는 알긴산의 겔화에 필요한 egg-box 구조 형성을 위한 2가 양이온의 부재에 기인한 것으로 사료된다. 알긴산은 갈조류에 풍부한 다당류로, Ca^{2+} 과 같은 금속 이온과 결합할 때 카르복실기(-COOH) 간의 가교결합을 통해 견고한 망목구조를 형성한다(Lee, 2008; Kim and You, 2017). 선행 연구에 따르면 알긴산을 첨가한 수리미를 염화칼슘(CaCl_2) 또는 탄산칼슘(CaCO_3) 용액에 침지 처리하였을 때 칼슘 미처리 대조구에 비해 경도와 감성이 증가하였다(Kim et al., 2021). 본 실험에서는 칼슘 처리 시 발생할 수 있는 쓴맛 등의 관능적 품질 저하를 고려하여 별도의 칼슘 반응 공정을 적용하지 않았으며(Lawless et al., 2003), 이로 인해 수리미 겔 네트워크에서 견고한 결합을 형성하지 못하고 대체 가리비 관자 제품의 식감을 구현하기 위한 한계가 있는 것으로 판단되었다. 따라서 이후 실험에서는 단백질 네트워크 보강과 전분 입자의 팽윤 효과를 기대할 수 있는 강력분 및 타피오카 전분을 중심으로 최적 베이스를 탐색하였다(Zhang et al., 2015; Mi et al., 2021).

강력분 첨가 농도에 따른 수리미 겔의 물성 변화는 Fig. 2와 같다. 강력분의 첨가 농도가 증가할수록 경도, 감성, 씹힘성이 증가하는 경향을 보였으나 경도, 감성, 씹힘성 및 전단력 항목에서 대조군인 가리비 관자보다 유의적으로 낮은 수준이었다($P < 0.05$). 이는 강력분 내 글루텐 단백질이 수리미의 근원섬유 단백질과 강화된 구조를 형성함으로써 겔 강도가 강해진 것으로 사료된다(Zhang et al., 2015; Mi et al., 2021). 또한 글루텐은 수분 보유 능력이 뛰어나 가열 시 발생하는 수분 유출을 억제하는 효과도 기대할 수 있다(Chung and Lee, 1996). 강력분에 존

재하는 전분은 수분을 흡수하고 가열 시 호화하여 수리미 겔 네트워크에 존재하는 공극을 채워주는 역할을 한다(Wang et al., 2014). 그러나 대조군인 가리비 관자에 비해 다소 질긴 질감이 나타나는 한계가 있다(Park et al., 2025). 이러한 한계를 보완하기 위하여 부드러운 식감과 수분 흡수 및 팽윤 능력이 우수한 타피오카 전분을 첨가하여 물성 변화를 검토하였다(Huang et al., 2024; Park et al., 2025).

타피오카 전분 첨가 농도에 따른 수리미 겔의 물성 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 타피오카 전분 첨가 농도가 증가함에 따라 경도, 감성, 전단력은 증가하였다. 경도, 감성, 씹힘성은 대조군인 관자와 유의적인 차이가 나타났지만($P < 0.05$) 식품을 씹어 절단하는 데 필요한 힘인 전단력 항목에서 타피오카 전분 3.0 wt% 첨가구는 대조군인 가리비 관자와 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 이는 타피오카 전분이 수분을 흡수하여 팽윤함으로써 겔 네트워크를 촘촘하고 치밀하게 만드는 것으로 판단된다. 이러한 상호작용이 겔 내부의 유리수를 효과적으로 포집하여 보수력을 향상시킬 수 있고 앞서 강력분에 의해 형성된 질긴 질감을 완화시키는 효과를 가져올 수 있다(Yang and Park, 1998; Huang et al., 2024). 이와 같이 타피오카 전분 3.0 wt% 첨가구가 전단력에서 대조군인 가리비 관자와 유사한 수준에 도달하였으나 감성, 씹힘성 등에서는 여전히 유의적인 차이가 존재하였다($P < 0.05$). 강력분은 겔 강도를 효과적으로 증진시키는 반면 질긴 질감이 나타나는 한계가 있고, 타피오카 전분은 부드러운 식감을 부여하지만 감성, 씹힘성이 관자 수준에 미치지 못하는 한계가 있다. 따라서 두 소재를 혼합하면 각각의 한계를 상호 보완할 수 있을 것으로 판단하였으며,

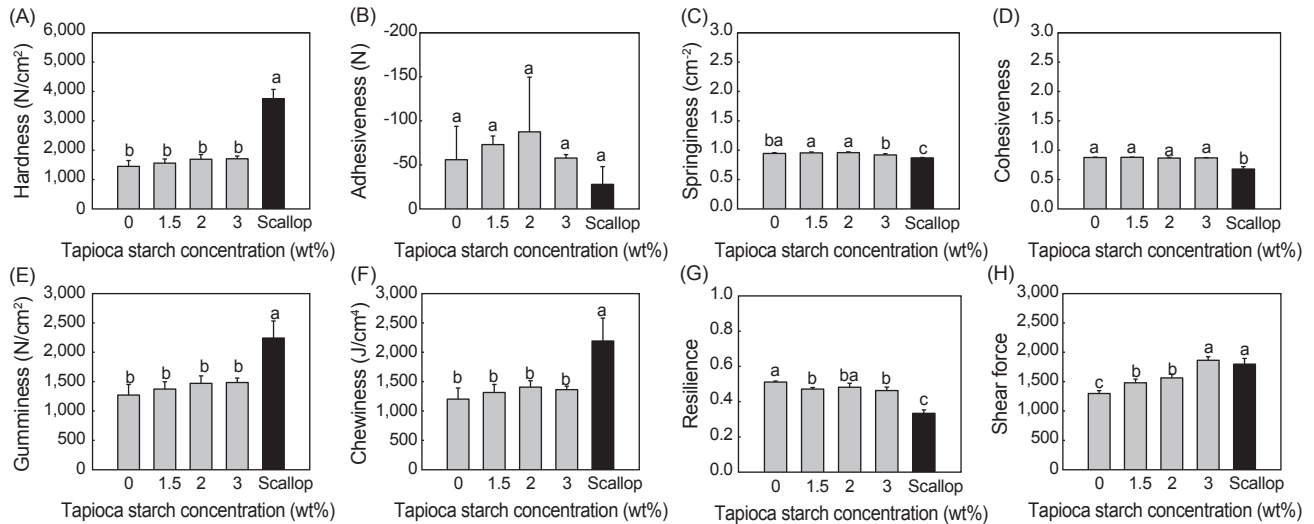


Fig. 3. Comparison of texture profile analysis (TPA) and shear force between surimi gels with different tapioca starch concentrations and natural scallop *Patinopecten yessoensis*. Each panel represents: A, Hardness; B, Adhesiveness; C, Springiness; D, Cohesiveness; E, Gumminess; F, Chewiness; G, Resilience; H, Shear force. Means in the same column (a-c) bearing different superscript in sample are significantly different ($P<0.05$).

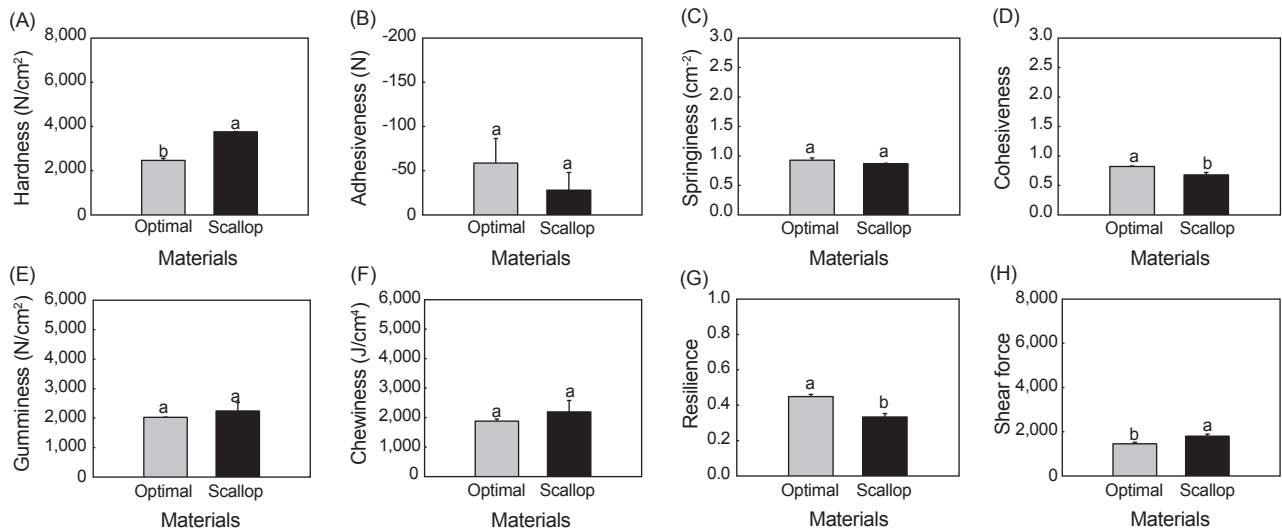


Fig. 4. Texture profile analysis (TPA) and shear force of surimi gels containing the optimized mixture (optimal, formulated with 3.0 wt% tapioca starch, 3.0 wt% strong flour, and 1.0 wt% textured soy protein) compared to natural scallop *Patinopecten yessoensis*. Each panel represents: A, Hardness; B, Adhesiveness; C, Springiness; D, Cohesiveness; E, Gumminess; F, Chewiness; G, Resilience; H, Shear force. Means in the same column (a-c) bearing different superscript in sample are significantly different ($P<0.05$).

여기에 근육의 섬유상 텍스처를 모사할 수 있는 조직대두단백을 추가하여 대체 가리비 관자 제품의 물성 최적화를 진행하였다(Samard and Ryu, 2019; Zhang et al., 2022).

대체 가리비 관자 제품의 물성 최적화

앞선 실험들을 통해 강력분과 타피오카 전분이 각각 겔 강도

증진과 부드러운 식감 부여에 효과적이거나 단독 첨가만으로는 한계가 있음을 확인하였다. 실제 가리비 관자는 다수의 근원섬유가 평행하게 배열된 다발 형태의 섬유상 구조를 지니고 있다(Nunzi and Franzini-Armstrong, 1981). 조직대두단백은 섬유상 구조를 갖도록 가공한 소재로 고기 근육의 섬유상 텍스처를 모사하는 연구에서 사용되고 있다(Zhang et al., 2022). 따라

서 본 연구에서는 관자의 질감을 모사하기 위하여 타피오카 전분(3.0 wt%)에 강력분(3.0 wt%)을 혼합한 베이스를 제조하고 이에 조직대두단백(1.0 wt%)을 추가하여 관자와 비교 분석하였다(Fig. 4). 분석 결과, 경도와 전단력은 수리미 제품이 관자에 비해 유의적으로 낮게 나타났으나($P<0.05$) 탄력성, 점성, 씹힘성에서 관자와 유의적인 차이가 나타나지 않았으며($P>0.05$), 이는 각 소재를 단독으로 첨가하였을 때는 관찰되지 않았던 결과로, 세 가지 부재료의 복합적인 상호작용에 의한 효과가 나타난 것으로 판단된다. 이러한 결과는 조직대두단백의 다공성 및 섬유상 구조가 수리미 겔 내에서 물리적 지지체 역할을 하여 실제 관자의 근원섬유 다발이 씹힐 때와 유사한 저작감을 부여하여 나타난 것으로 사료된다(Ishaq et al., 2022). 또한 타피오카 전분 및 강력분에 의해 형성된 겔 매트릭스가 상호보완적으로 작용한 결과로 판단된다(Zhang et al., 2015; Huang et al., 2024). 반면, 경도와 전단력이 대조군인 관자보다 낮게 측정된 것은 천연 근육 조직과 가공 겔 사이의 차이인 것으로 사료된다. 실제 가리비의 관자는 패각을 빠르게 닫기 위해 매우 치밀하고 규칙적으로 배열된 횡문근 섬유로 구성되어 있어 강한 저항을 나타낸다(Dong et al., 2018). 그러나 식품의 종합적인 식감을 나타내는 탄력성, 점성 및 씹힘성 항목에서 실제 가리비 관자와 매우 유사하였다. 따라서 물성 측면에서 가리비 관자와 유사한 결과를 구현한 본 배합비를 적용하여 이후 대체 가리비 관자 제품의 품질을 평가하기 위해 수리미 혼합물 특성, pH, 색도 및 관능평가를 진행하였다.

가열 전 수리미 혼합물의 특성

본 연구에서 최적 조건(타피오카 3.0 wt%, 강력분 3.0 wt% 및 조직대두단백 1.0 wt%)으로 제조된 수리미 혼합물의 특성을 평가하였으며 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 최적 조건 혼합물의 pH는 7.72로 나타났다. 수리미의 겔 강도는 pH의 영향을 받으며 특히 pH 7.5–8.0에서 겔 강도가 높은 것으로 알려져 있다

(Lee et al., 2017). 따라서 본 시료의 pH는 대체 가리비 관자 제품의 안정적인 겔 네트워크를 형성하는데 적합한 환경을 제공하는 것으로 판단된다. 수리미 혼합물의 색도는 최종 제품의 외관 품질에 영향을 미칠 수 있다. 수리미 등급이 낮아질수록 적색도, 황색도 및 색차값이 증가하고 백색도가 낮아지게 되며 명도는 수리미 제조 공정 중 수세 단계에서 수용성 단백질인 근장단백질이 제거될수록 높아지게 된다(Jin et al., 2007; Ahn et al., 2019). 본 연구에서 제조한 최적 조건 혼합물은 높은 명도와 백색도, 낮은 적색도, 황색도를 나타내었으며 이는 품질이 뛰어난 수리미 색상 특성과 유사하고 최종 제품의 관능적 특성에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 가열 전 상태에서의 견고성(firmness)과 접착성(adhesiveness)은 반죽의 가공 적성, 특히 케이싱 충전 공정에서의 작업성과 형태 유지력을 결정짓는 주요 물리적 지표이다(Park, 2013). 최적 조건 혼합물의 견고성은 1,201.77 g, 접착성은 -1,295.65 N으로 나타났다. 접착성의 음의 부호(-)는 시료가 probe 표면에 부착되어 떨어지지 않으려는 저항력을 의미하며 절댓값이 클수록 시료의 접착성이 강한 것을 의미한다. 본 연구에서 제조한 수리미 혼합물의 견고성 및 접착성은 유사한 수리미 기반 제품을 다룬 선행 연구들과 비교하여 동등하거나 높은 수준이었다(Seo et al., 2021; Kang et al., 2023; Na et al., 2023). 가열 전 수리미 혼합물의 적절한 견고성과 접착성은 단백질 매트릭스 내부의 수분 및 부재료를 안정적으로 보유할 수 있고 제품의 형태 유지가 가능하게 한다(Somjid et al., 2022; Tanislav et al., 2024). 따라서 본 연구에서 측정된 혼합물의 물성은 작업성과 형태 유지에 적합한 수준임을 확인하였으며 이후 가열 공정을 통한 안정적인 겔 네트워크 형성이 가능할 것으로 판단된다.

가열 후 수리미 색도

Fig. 4의 물성 평가에 사용된 최적 조건의 가열 수리미 제품을 대상으로 실제 가리비 관자와의 색도 비교를 수행하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 모든 색도 지표에서 두 시료 간에 유의적인 차이가 나타났다($P<0.05$). 명도와 백색도는 실제 관자보다 수리미 제품에서 높게 나타났다. 선행 연구에서 최상급 실꼬리돔 수리미의 백색도는 70.3이었으며 본 연구에서 제조된 수리미 제품의 백색도(72.21)가 더 높게 나타났다(Ahn et al., 2019). 수리미를 기반으로 한 제품에서는 높은 명도와 백색도 값이 중요한 품질 지표로 여겨진다(Ahn et al., 2019). 반면 적색도와 황색도 값은 수리미 제품이 실제 관자보다 유의적으로 낮게 나타났다($P<0.05$). 실제 가리비 관자의 경우 고유의 근장단백질과 색소로 인하여 가열 시 황색도가 증가하는 특성을 지니는 반면(Yi et al., 2013), 수리미는 제조 과정에서 수세 공정을 거치는데 이때 색소 단백질을 포함한 근장단백질을 제거하여 이러한 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 또한 근육 내 잔존하는 미오글로빈 또는 헴 색소의 영향을 받을 수 있으며 전분 첨가에 의해 황색도가 희석되고 백색도가 증가할 수 있다(Park

Table 1. Physicochemical properties of surimi paste prepared with the optimized formulation

	Optimized sample
pH	7.72±0.02
L*	76.38±0.08
a*	-2.43±0.08
b*	4.71±0.07
Whiteness	62.26±0.25
ΔE*	13.22±0.24
Firmness (g)	1,201.77±63.28
Adhesiveness (N)	-1,295.65±34.79

L*, Lightness; a*, Redness; b*, Yellowness. Optimized sample: 3.0 wt% tapioca starch, 3.0 wt% strong flour, and 1.0 wt% textured soy protein.

Table 2. Comparison of color values between natural scallop *Patinopecten yessoensis* and the surimi-based scallop analogue prepared with the optimized formulation

	L*	a*	b*	Whiteness	ΔE^*
Scallop	86.67±0.16 ^b	-1.65±0.15 ^a	6.70±0.21 ^a	66.58±0.67 ^b	14.30±0.22 ^a
Optimized sample	87.67±0.16 ^a	-2.49±0.08 ^b	5.15±0.14 ^b	72.21±0.53 ^a	12.79±0.17 ^b

L*, Lightness; a*, Redness; b*, Yellowness. Optimized sample: 3.0 wt% tapioca starch, 3.0 wt% strong flour, and 1.0 wt% textured soy protein. ^{a,b} Means in the same column (a-b) bearing different superscript in sample are significantly different ($P<0.05$).

Table 3. Sensory evaluation scores of the surimi-based scallop *Patinopecten yessoensis* analogue compared to natural scallop

	Color	Smell	Fishy smell	Taste	Abnormal	Texture	Hardness	Elasticity	Preference
Scallop	6.20±2.30 ^a	6.50±2.01 ^a	5.90±1.91 ^b	6.80±1.81 ^a	7.50±1.65 ^a	6.40±2.01 ^a	5.60±2.07 ^a	5.80±2.20 ^a	7.00±1.49 ^a
Optimized sample	7.60±1.35 ^a	6.80±1.75 ^a	7.50±1.27 ^a	6.70±1.70 ^a	7.00±1.94 ^a	6.70±1.83 ^a	5.80±1.23 ^a	6.90±1.37 ^a	6.70±1.64 ^a

^{a,b} Means in the same column (a-b) bearing different superscript in sample are significantly different ($P<0.05$). Optimized sample: 3.0 wt% tapioca starch, 3.0 wt% strong flour, and 1.0 wt% textured soy protein.

et al., 2003; Jin et al., 2007). 이와 같이 본 연구에서 제조한 수리미 제품은 모든 색도 항목에서 실제 관자와 유의적 차이가 나타났다($P<0.05$) 시각적 재현성은 다소 부족한 것으로 나타났다. 따라서 향후 연구에서는 실제 관자의 색 특성을 구현하기 위하여 천연 색소 소재의 활용, 부재료 조성의 최적화 및 가열 공정 조건의 조절 등을 통해 색도 특성을 개선하고 시각적 기호성을 향상시키기 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

관능 평가

최적 조건으로 제조한 대체 가리비 관자 제품의 관능적 유사도 및 전반적 기호도를 평가하기 위하여 실제 가리비 관자와 함께 관능평가를 진행하였으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 9개의 항목 중 비린내를 제외한 모든 항목에서 수리미 제품과 관자 간의 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 특히 식감을 느끼는 것과 관련된 지표인 조직감, 경도 및 탄력성 항목에서 유의차가 없었는데($P>0.05$) 이는 앞서 측정된 물성 결과(Fig. 4) 탄력성, 검성 및 씹힘성 항목에서 최적 조건으로 제조한 수리미 제품과 실제 관자가 유사하게 나타난 것과 관련이 있다. 또한 수리미 제품의 비린내 점수가 실제 관자보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$), 본 평가에서 높은 점수는 비린 향에 대한 거부감이 적음을 의미하므로 수리미 제품이 실제 관자보다 비린 향이 적은 것으로 평가되었다. 이는 수리미 제조 과정에서 거치는 수세 공정을 통해 어취를 유발하는 성분들이 제거된 반면 실제 관자는 고유의 수산물 향을 그대로 보유하고 있는 것이 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 제조한 대체 가리비 관자 제품은 실제 관자와 유사한 관능 특성 및 높은 전반적 기호도를 지닌 것으로 판단된다. 다만 본 연구의 관능평가는 패널 10명을 대상으로 수행되었으므로 결과의 일반화에는 한계가 있다. 향후 다양한 연령대와 소비자군을 포함한 대규모 소비자 기호도 조사를 통해 제품의 시장 수용성을 폭넓게 검증할 필요가 있다. 본 연구에서 개발된 대체 가리비 관자 제품은 균일한 품질과 안정적인 원료 공급이 가능하여 HMR (home meal

replacement) 및 외식 산업에서의 활용 가능성이 높을 것으로 기대되며, 향후 천연 색소 소재 적용 등을 통한 외관 품질 개선이 이루어진다면 대체 수산물 시장에서의 경쟁력 향상에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 국립부경대학교 자율창의학술연구비(2025)에 의하여 연구되었음.

References

- Ahn BS, Kim BG, Jeon EB, Lee IS and Oh KS. 2019. Quality characteristics by grade of commercial frozen surimi. Korean J Fish Aquat Sci 52, 555-561. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0555>.
- Ahn GJ. 2005. Quality characteristics of the Chol-Pyon added tapioca powder. Korean J Culinary Res 11, 179-189.
- Chung KH and Lee CM. 1996. Evaluation of wheat gluten and modified starches for their texture-modifying and freeze-thaw stabilizing effects on surimi based-products. Prev Nutr Food Sci 1, 190-195.
- Dong X, Fu H, Chang S, Zhang X, Sun H, He B, Jiang D, Yu C and Qi H. 2018. Textural and biochemical changes of scallop *Patinopecten yessoensis* adductor muscle during low-temperature long-time (LTLT) processing. Int J Food Prop 20, S2495-S2507. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1373123>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Retrieved from <https://doi.org/10.4060/cd0683en> on Jan 27, 2025.
- Huang X, Liu Q, Wang P, Song C, Ma H, Hong P and Zhou C. 2024. Tapioca starch improves the quality of *Virgatus nemipterus* surimi gel by enhancing molecular interaction

- in the gel system. *Foods* 13, 169. <https://doi.org/10.3390/foods13010169>.
- Ishaq A, Irfan S, Sameen A and Khalid N. 2022. Plant-based meat analogs: A review with reference to formulation and gastrointestinal fate. *Curr Res Food Sci* 5, 973-983. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.06.001>.
- Jaziri AA, Shapawi R, Mokhtar RAM, Md Noordin WN and Huda N. 2021. Tropical marine fish surimi by-products: Utilisation and potential as functional food application. *Food Rev Int* 39, 3455-3480. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2012794>.
- Jin SK, Kim IS, Yang HS, Choi YJ and Kim BG. 2007. Quality characteristics of surimi manufactured by Alaska pollock, barren hen breast meat and mechanically deboned chicken meat. *J Anim Sci Technol* 49, 395-404. <https://doi.org/10.5187/JAST.2007.49.3.395>.
- Jung HK, Park JW, Yang JH, Park JM, Han IS and Lee CI. 2024. The long-term dynamics of walleye pollock stocks in relation to oceanographic changes in the East Sea. *Water* 16, 955. <https://doi.org/10.3390/w16070955>.
- Kang YS, Hwang HJ, Park YL, Han HS, Park JC, Seo HS, Choi YH, Kim SH, Woo KE, Jeong SM, Lee GH and Ahn DH. 2023. Effect of adding milk on compatibility with 3D printing in the preparation of a surimi mixture. *J Life Sci* 33, 391-396. <https://doi.org/10.5352/JLS.2023.33.5.391>.
- Kim DH, Na HS, Lee HY, Yu HJ, Lee SM, Seo GW, Ko CH, Park SW, Choi YJ, Jo MJ, Kim DW and Ahn DH. 2024. Coagulation characteristics by calcium lactate with addition concentration of alginic acid in 3D printing mixtures of fish surimi. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 53, 755-761. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2024.53.7.755>.
- Kim JY and You SS. 2017. Development of a commercial process for micro-encapsulation of lactic acid bacteria using sodium alginate. *Korean Chem Eng Res* 55, 313-321. <https://doi.org/10.9713/kcer.2017.55.3.313>.
- Kim SH, Kang YS, Ahn DH, Jeong SM, Choi YH, Park YL, Park JC, Han HS, Seo HS, Lee GH, Woo GE and Hwang HJ. 2022. Changes in properties of polysaccharide iota carrageenan-added surimi mixture during cold storage. *Korean J Fish Aquat Sci* 55, 655-661. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0655>.
- Kim SR, Han HS, Park YL, Kang YS, Park JC, Seo HS, Choi YH, Kim SH, Jeong SM, Kang WS, Kim HH, Ryu SH, Lee JE, Xu X, Lee GH and Ahn DH. 2021. Effect of calcium type on coagulation of surimi mixture with alginic acid. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 218-223. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0218>.
- Lawless HT, Rapacki F, Horne J and Hayes A. 2003. The taste of calcium and magnesium salts and anionic modifications. *Food Qual Prefer* 14, 319-325. [https://doi.org/10.1016/s0950-3293\(02\)00128-3](https://doi.org/10.1016/s0950-3293(02)00128-3).
- Lee HY, Yu HJ, Lee SM, Na HS, Kim DH, Seo GW, Ko CH, Park SW, Choi HW, Choi YJ, Jo MJ, Kim DW and Ahn DH. 2024. Effects of naked barley starch on properties of fish surimi mixture for 3D printing. *Korean J Fish Aquat Sci* 57, 109-115. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0109>.
- Lee JS. 2008. Chemistry and Utilization of Algae. Hyoil Publishing, Seoul, Korea.
- Lee MG, Yoon WB and Park JW. 2017. Combined effect of pH and heating conditions on the physical properties of Alaska pollock surimi gels. *J Texture Stud* 48, 215-220. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12230>.
- Lin Y, Lu J and Wu J. 2021. Heavy metals pollution and health risk assessment in farmed scallops: Low level of Cd in coastal water could lead to high risk of seafood. *Ecotoxicol Environ Saf* 208, 111768. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111768>.
- Liu Y, Tian Y, Saitoh S, Alabia ID and Mochizuki K. 2020. Impact of climate extremes on suitability dynamics for Japanese scallop aquaculture in Shandong, China and Funka Bay, Japan. *Sustainability* 12, 833. <https://doi.org/10.3390/su12030833>.
- Magesh NS and Ajith KV. 2024. Microplastics contamination and risk assessment in bivalves of economic importance from Beypore estuary, Southern India. *Environ Res* 261, 119711. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119711>.
- Mi H, Li Y, Wang C, Yi S, Li X and Li J. 2021. The interaction of starch-gums and their effect on gel properties and protein conformation of silver carp surimi. *Food Hydrocoll* 112, 106290. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106290>.
- Moreno HM, Herranz B, Perez-Mateos M, Sanchez-Alonso I and Borderias JA. 2016. New alternatives in seafood restructured products. *Crit Rev Food Sci Nutr* 56, 237-248. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.719942>.
- Na HS, Kim DH, Lee HY, Lee SM, Yu HJ, Seo GW, Ko CH, Park SW, Choi HW, Choi YJ, Jo MJ, Kim DW and Ahn DH. 2023. Effects of guar gum addition on optimal properties of fish surimi mixture for 3D printing. *Korean J Fish Aquat Sci* 56, 790-797. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0790>.
- Nakamizo R, Hayashi T, Kominami Y and Ushio H. 2025. A mathematical model of myosin heavy chain dynamics in the disintegration of golden threadfin bream *Nemipterus virgatus* surimi gel. *Gels* 11, 348. <https://doi.org/10.3390/gels11050348>.
- Nugroho KC, Zulfainarni N, Budijanto S, Marimin M and Asikin Z. 2025. Transforming the future of surimi as the next frontier in sustainable raw materials: A systematic review of Nile tilapia. *Environ Sustain Indi* 27, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100699>.
- Nunzi MG and Franzini-Armstrong C. 1981. The structure of smooth and striated portions of the adductor muscle of the valves in a scallop. *J Ultrastruct Res* 76, 134-148. [https://doi.org/10.1016/S0022-5320\(81\)80012-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5320(81)80012-3).
- Park JD, Kim JS, Cho YJ, Choi YD and Choi YJ. 2003. Op-

- timum formulation of starch and non-muscle protein for alkali surimi gel from frozen white croaker. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32, 1026-1031. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2003.32.7.1026>.
- Park JW. 2013. *Surimi and Surimi Seafood*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, U.S.A.
- Park SW, Lee SM, Lee YS and Ahn DH. 2025. Development and quality optimization of 3D-printed shrimp alternative based on Alaska pollock *Gadus chalcogrammus* surimi. *Korean J Fish Aquat Sci* 58, 666-674. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0666>.
- Riaz MN. 2004. Texturized soy protein as an ingredient. In: *Proteins in Food Processing*, Yada RY, ed. Woodhead Publishing, Cambridge, U.K., 517-558.
- Samard S and Ryu GH. 2019. A comparison of physicochemical characteristics, texture, and structure of meat analogue and meats. *J Sci Food Agric* 99, 2708-2715. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9438>.
- Seo HS, Park YL, Park JC, Han HS, Kang YS, Choi YH, Kim SH, Kim HH, Jeong SM, Kang WS, Kim SR, Ryu SH, Lee JE, Xu X, Lee GH and Ahn DH. 2021. Effect of potato starch on suitability for 3D printing in golden threadfin bream (*Nemipterus virgatus*) surimi mixture preparation. *J Appl Biol Chem* 64, 413-419. <https://doi.org/10.3839/jabc.2021.056>.
- Shewry PR and Halford NG. 2002. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *J Exp Bot* 53, 947-958. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.370.947>.
- Somjid P, Panpipat W, Cheong LZ and Chaijan M. 2022. Comparative effect of cricket protein powder and soy protein isolate on gel properties of Indian mackerel Surimi. *Foods* 11, 3445. <https://doi.org/10.3390/foods11213445>.
- Tanislav AE, Țibulcă D, Mureșan V and Mudura E. 2024. Rheological and textural analysis of Vienna sausage production: The effects of substituting animal fat with sunflower oil. *Acta Sci Pol Technol Aliment* 23, 245-256. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.001220>.
- Teixeira CM and Silva PM. 2023. The huge dilemma: How to increase seafood consumption for health benefits without impacting fisheries' sustainability?. *Int J Food Sci Technol* 59, 661-672. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16841>.
- Wang X, Xu Y, Jiang Q, Yu P and Xia W. 2014. Effect of incorporated surimi on the wheat dough rheological properties and noodle quality. *Food Sci Technol Res* 20, 1191-1197. <https://doi.org/10.3136/fstr.20.1191>.
- Wasinnitwong N, Tavakoli S, Benjakul S and Hong H. 2022. Improving the gel quality of threadfin bream (*Nemipterus* spp.) surimi using salted duck egg white powder. *Foods* 11, 3350. <https://doi.org/10.3390/foods11213350>.
- Xiong Z, Shi T, Jin W, Bao Y, Monto AR, Yuan L and Gao R. 2024. Gel performance of surimi induced by various thermal technologies: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 64, 3075-3090. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2130154>.
- Yang H and Park JW. 1998. Effects of starch properties and thermal-processing conditions on surimi-starch gels. *LWT* 31, 344-353. <https://doi.org/10.1006/fstl.1997.036.6>.
- Yi J, Xu Q, Hu X, Dong P, Liao X and Zhang Y. 2013. Shucking of bay scallop (*Argopecten irradians*) using high hydrostatic pressure and its effect on microbiological and physical quality of adductor muscle. *Innov Food Sci Emerg Technol* 18, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.02.010>.
- Yingchutrakul M, Wasinnitwong N, Benjakul S, Singh A, Zheng Y, Mubango E, Luo Y, Tan Y and Hong H. 2022. Asian carp, an alternative material for surimi production: Progress and future. *Foods* 11, 1318. <https://doi.org/10.3390/foods11091318>.
- Zang P, Gao Y, Chen P, Lv C and Zhao G. 2022. Recent advances in the study of wheat protein and other food components affecting the gluten network and the properties of noodles. *Foods* 11, 3824. <https://doi.org/10.3390/foods11233824>.
- Zhang L, Zhang F and Wang X. 2015. Effects of hydrolyzed wheat gluten on the properties of high-temperature ($\geq 100^{\circ}\text{C}$) treated surimi gels. *Food Hydrocoll* 45, 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.016>.
- Zhang Y, Zhang J, Chen Q, He N and Wang Q. 2022. High-moisture extrusion of mixed proteins from soy and surimi: Effect of protein gelling properties on the product quality. *Foods* 11, 1397. <https://doi.org/10.3390/foods11101397>.
- Zhao Y, Wei K, Chen J, Wei G, Li J, Zheng B, Song Y, Gao P and Zhou R. 2024. Enhancement of myofibrillar protein gelation by plant proteins for improved surimi gel characteristics: Mechanisms and performance. *LWT* 198, 116045. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116045>.