

구아검 첨가가 3D 프린팅을 위한 수리미 혼합물의 특성에 미치는 영향

나현식 · 김동현 · 이하영 · 이상민 · 유현지 · 서고운 · 고창현 · 박선우 · 최형욱 · 최예진 · 조미정¹ · 김동우² · 안동현^{3*}

부경대학교 식품공학과, ¹부경대학교 미생물학과/산학협력단, ²부경대학교 공동실험실습관, ³부경대학교 식품공학과/식품연구소

Effects of Guar Gum Addition on Optimal Properties of Fish Surimi Mixture for 3D Printing

Hyun-Sik Na, Dong-Hyeon Kim, Ha-Young Lee, Sang-Min Lee, Hyeon-Ji Yu, Go-wun Seo, Chang-Hyeon Ko, Seon-Woo Park, Hyung-Wook Choi, Ye-Jin Choi, Mi Jeong Jo¹, Dong-Woo Kim² and Dong-Hyun Ahn^{3*}

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

¹Department of Microbiology/Industry-University Cooperation Foundation, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

²Center for Research Facilities, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

³Department of Food Science and Technology/Institute of Food Science, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

Guar gum is an edible starch extracted from *Cyamopsis tetragonolobus* and used as an auxiliary ingredient to enhance the viscosity and adhesiveness of food and improve its emulsification stability. Here, characteristics of fish surimi mixture with various added amounts (0, 0.23, 0.45, 0.67, and 0.89 wt%) of guar gum were analyzed. In unheated surimi with guar gum, the pH decreased as the content increased. In the color values analysis, only the b* (yellowness) increased depending on the amount of added guar gum. The firmness increased with increasing guar gum content, and no significant difference in adhesiveness was observed. In heated surimi, a* (redness) and b* decreased in a content-dependent manner, and L* (lightness) was higher than that of unheated surimi. Regarding physical properties, the highest values of hardness, gumminess, and chewiness were observed in the heated surimi with 0.67 wt% of guar gum. However, no significant change was observed in springiness and cohesiveness. Results of sensory evaluation indicated that with higher guar gum content, only the hardness increased slightly, and significant differences were absent in the remaining parameters. Thus, surimi with 0.67 wt% of guar gum is considered to be optimal for 3D printing.

Keywords: Guar gum, Physical properties, Surimi, 3D printing

서론

최근 3D 프린팅 기술을 이용하여 생체재료, 폴리머, 금속, 세라믹, 복합재와 같은 광범위한 원료를 이용한 고품질 완제품 생산을 위한 다양한 제조 산업에서 이용하고 있다(Shahrubudin et al., 2019). 압출 기반 3D 프린팅은 3D 식품 프린팅 기술 중 가장 일반적으로 이용되고 있는 기술로, 압출 기반 3D 프린팅 기술에서 원하는 모양을 만들기 위해서 연속적 압출과 층별 증

착이 중요하게 고려된다(Li et al., 2023). 따라서 압출 기반 3D 식품 프린팅에 있어 식품 원료의 선정과 원료의 유연학적 특성에 대한 정보는 가장 중요한 요소이다. 식품 원료의 겔화가 유연학적 특성에 큰 영향을 미치는데 전분, 구아검, 아라비아검, 카라기난, 한천, 잔탄검, 펙틴 등을 첨가하여 겔화능을 증가시킬 수 있다(Nachal et al., 2019). 최근 수리미를 3D 프린터의 카트리지 소재로 이용하는 3D 프린팅 기술이 식품산업분야에서 연구되고 있다(Yoon et al., 2016; Lille et al., 2018; Nachal et al.,

*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.2023.0790>

Korean J Fish Aquat Sci 56(6), 790-797, December 2023

Received 21 November 2023; Revised 11 December 2023; Accepted 19 December 2023

저자 직위: 나현식(대학원생), 김동현(대학원생), 이하영(대학원생), 이상민(대학생), 유현지(대학생), 서고운(대학생), 고창현(대학생), 박선우(대학생), 최형욱(대학생), 최예진(대학생), 조미정(연구교수), 김동우(조교), 안동현(교수)

2019). 수리미는 주로 명태, 실꼬리돔과 같은 백색육 어류에서 내장과 뼈를 제거하고 겔 형성에 방해가 되는 근형질 단백질, 지질, 육색소 등을 제거하고 근원섬유단백질만을 농축한 후 냉동 변성방지제를 첨가하여 품질을 향상시킨 염용성 어육단백질이다(Park and Morrissey, 2000). 수리미의 품질은 겔강도, 백색도, 단백질 함량, 수분 함량, 육안으로 확인 가능한 이물의 개수 등에 의해 등급이 나뉘게 되며, 등급은 SSA, SA, FA, A, KA, RA 및 B 등급으로 나뉘어져 있다(Ahn et al., 2019).

수리미는 등급이 높을수록 겔 형성도와 백색도가 증가하고, 수리미의 원료로써 명태, 실꼬리돔 외에 적색육어류, 심해어류, 상어 등을 이용한 연구도 활발히 진행중이지만 겔 형성능이 약하다는 문제가 있다(Lee et al., 1999; Kim et al., 2011). 수리미의 겔화와 관련된 연구는 저급 수리미의 겔 강도 증강을 위한 첨가물의 최적화(Suh et al., 1999), 산 및 알칼리 공정으로 조제한 수리미 가열 겔의 물성 특성(Choi et al., 2002), 전갱이의 알칼리수리미 겔 제조를 위한 전분 및 비근육 단백질의 최적화(Choi and Choi, 2003), 산과 알칼리 공정으로 제조한 어육 수리미의 가열겔에 미치는 근형질단백질과 NaCl의 영향(Park et al., 2003a), 냉동 백조기의 알칼리 수리미 겔 제조를 위한 전분 및 비근육단백질의 최적화(Park et al., 2003b) 등이 있다.

구아검은 Indian cluster bean의 배유를 갈아 추출한 갈락토만난으로 비전분 수용성 다당류로서 식품 내에서 친수성 콜로이드(hydrocolloid)로 작용한다. Guar gum, locust bean gum, xanthan gum 등 다양한 hydrocolloid가 식품가공에서 겔을 형

성하거나 점도를 증가시켜 질감과 점도를 개선하기 위한 목적으로 사용되고 있다(Mudgil and Barak, 2013). 또한 다당류 사슬에 붙은 단백질 잔기가 발견되면서 유화제로서의 역할을 할 수 있다는 것이 알려졌으며 guar gum, arabic gum, pectin 등이 다양한 식물 유래 친수성 고분자 다당류들이 유화제로 많이 사용되고 있다(Akhtar et al., 2002). 다양한 hydrocolloid첨가와 관련된 연구는 Song et al. (2006)의 non-waxy쌀과 hydrocolloid 혼합물의 유변학적 특성에 관한 연구, Rosell et al. (2011)의 다양한 hydrocolloid와 쌀 전분 혼합물의 가열-냉각 주기의 유변학적 특성에 관한 연구, Yu et al. (2023)의 구아검과 잔탄검을 이용해 분리대두단백의 예멸전 겔 잉크의 3D프린팅에서 성능 개선에 관한 연구, Indurkar et al. (2020)의 3D 프린팅을 위한 구아검, 젤라틴의 바이오 잉크의 최적화 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 3D 프린팅을 위한 실꼬리돔 수리미의 물성 조절을 위해 구아검(0, 0.23, 0.45, 0.67, 0.89 wt%)을 첨가하였고 그에 따른 조건 별 물성과 색차 등을 측정하고, 관능 평가를 실시하여 3D 프린팅 용 구아검 첨가 수리미 제조 조건을 최적화하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에서 사용된 수리미는 SA급 실꼬리돔(golden threadfin bream *Nemipterus virgatus*) 수리미로 Korean Seafood사 (Busan, Korea)에서 구입하였다. 실꼬리돔 수리미는 영하30°C 이하의 냉동고(Togliere Tensione Prima, Larp S.R.L. Co., Genova, Italy)에 저장하며 실험에 사용하였다. 사용된 구아검은 Shree Vijaylaxmi International사 (Rajasthan, India)에서 구입하였다.

시료 준비

영하 30°C 이하에서 보관중인 냉동 실꼬리돔 수리미를 4°C에서 냉장 해동한 후, Silent cutter (ST11; ADE Co., Hamburg, Germany)에 넣고 분쇄하고, 소금(Hanju Salt Co., Ahnsan, Korea) 1.3 wt%, 설탕(CJ Cheiljedang Co., Seoul, Korea) 1.5 wt%, 인산염 혼합제제(MSC Co. Ltd., Yangsan, Korea) 0.5 wt%, ISP (MSC Co. Ltd.) 3 wt%와 쌀보리전분 2 wt%를 첨가하여 고기 같이 한 후 냉수(40 wt%)를 첨가하고 혼합하였다. 이후 구아검을 0, 0.23, 0.45, 0.67, 0.89 wt% 함량 별로 각 시료에 첨가해 약 15분간 혼합하였다(Na et al., 2023). 혼합물은 충전기(DICK 15LB; Dick Co., Metten, Germany)에 물리적인 강한 충격을 주며 넣어 기포를 빼고, 124 mesh의 여과기로 여과하며 PVDC casing에 충전하여 sealing machine (PACKNER HRPS2; MAX Co., Tokyo, Japan)에서 결찰하였다. 충전한 수리미 중 일부는 가열을 진행하지 않고 비가열 수리미로 실험을 진행하였다. 가열 수리미의 경우 3D cartridge에 충전 후 3D

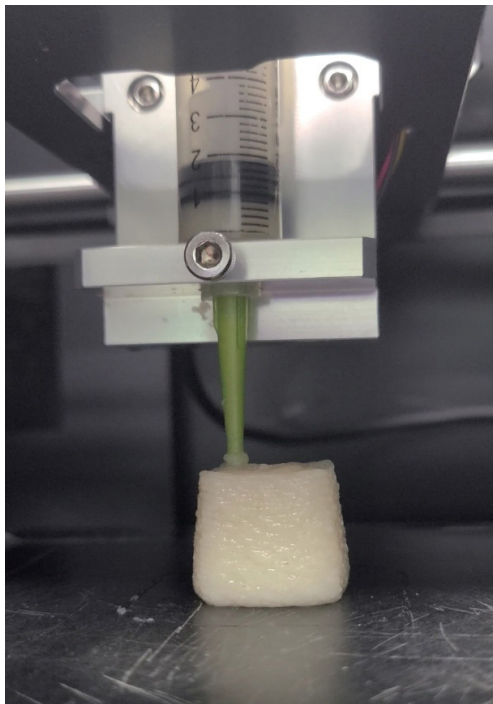


Fig. 1. 3D printing process of unheated surimi.

프린터(Vistech Korea Inc., Daejeon, Korea)를 이용해 가로 × 세로 × 두께 2 cm의 큐브로 3D 프린팅하였다(Fig. 1). 그 다음 microwave (MW-272LB; LG, Seoul, Korea)에서 1분 20초 가열하였다. 프린팅은 노즐 직경이 1.55 mm, 부피는 10 mL인 실린더를 사용해 토출비 1.2, 프린팅 속도 800 mm/sec으로 프린팅하였다.

pH 측정

비가열 시료를 3 g 칭량한 후 증류수 30 mL와 함께 균질기(Nissei ACE homogenizer; Nihonseiki Kaisha Ltd., Nissei, Japan)로 10,000 rpm의 속도로 1분간 균질화하였다. 균질화된 시료를 pH계(TOADKK pH meter HM-42X; TOADKK, Tokyo, Japan)로 pH를 5회 이상 측정하고 평균값으로 계산하였다.

색도 측정

구아검 함량 별(0, 0.23, 0.45, 0.67, 0.89 wt%) 비가열, 가열 시료의 단면을 절단한 후 분광색도계(JC 801; Color Technosystem Co., Nagoya, Japan)로 측정하였다. 측정값은 명도(lightness)를 나타내는 L*, 적색도(redness)를 나타내는 a*, 황색도(yellowness)를 나타내는 b* 값으로 나타내었다. 표준백판 값은 X=92.35, Y=83.92, Z=96.98이었다. 가열 수리미의 경우, 시료의 밑면을 비가열 수리미와 동일한 조건으로 측정하였다.

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

물성 측정

물성 측정은 texture meter (TA-XT plus; Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK)를 이용하여 측정하였다. 비가열 수리미 혼합 반죽의 경우, 지름 6 cm의 원통 전용 용기에 60%만큼 담아 A/BE (back extrusion probe)를 이용하여 test speed 1.0 mm/s, strain 40.0%, trigger force 5.0 g의 조건에서 5회 이상 후방 압출 테스트를 진행하고 견고성(firmness)과 접착성(adhesiveness)의 평균값을 계산하였다. 가열 수리미의 경우, 시료를 자르지 않고 P/45 (45 mm diameter aluminum cylinder probe)를 이용하여 test speed 1.0 mm/s, strain 50.0%, trigger force 5.0 g의 조건에서 5회 이상 압축 테스트를 진행하고 경도(hardness), 접착성(adhesiveness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness), 복원성(resilience)의 평균값을 계산하였다. 전단테스트(shear force)의 경우 test speed 0.17 mm/s의 조건으로 시료를 전단하여 전단력(work of shear)의 평균값을 취하였다.

주사전자현미경(Scanning electron microscopy)관찰

구아검 첨가량에 따른 조직의 구조를 보기 위해 3D 프린팅 후 microwave에서 가열한 수리미를 동결건조기(EYELA FDV-2100, Rikakikai Co. Ltd, Tokyo, Japan)에 의해 48 h 동안 동결

건조한 시료를 20 mA 두께로 백금도금(platinum coating)한 후 주사전자현미경(VEGA 2 LSU, TESCAN Ltd, Czech Republic)으로 5.00 kV에서 100 X 배율로 관찰하였다.

관능 평가

관능 평가는 선행연구에서 제시된 방법에 따라, 평가 항목에 대한 이해와 평가 방법이 숙지된 10명의 panel (남 6명, 여 4명; 21–25세)를 선정하였다(Kim et al., 2021; Seo et al., 2021; Han et al., 2022; Park et al., 2022; Kang et al., 2023). 항목은 색(color), 냄새(smell), 비린내(fishy smell), 맛(taste), 이 미(abnormal taste), 조직감(texture), 경도(hardness), 탄력성(springiness) 및 종합적 기호도(preference) 등 9가지를 평가하였다(부경대학교 기관생명윤리위원회 승인번호, 1041386-202005-HR-30-02). 9점 척도 중 1점은 매우 나쁘거나 낮음(extremely bad or slight), 9점은 매우 좋거나 강함(extremely good or much)으로 표시하게 하여 관능 평가를 실시하였다.

통계 처리

실험에서 얻어진 결과에 대한 통계 분석은 SAS program (ver. 9.3, SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 실험 처리된 값의 평균값을 분산분석 한 후, Duncan's multiple range test 법으로 P<0.05 수준에서 항목 간의 유의적인 차이를 검정하였다.

결과 및 고찰

3D 프린팅 출력

각 함량별 구아검(0, 0.23, 0.45, 0.67, 0.89 wt%)을 첨가한 비가열 실꼬리돔 수리미를 3D프린팅한 결과물을 Fig. 2에 나타냈다. 구아검 함량이 증가할수록 출력물의 퍼짐의 정도가 적었고, 형태변형이 적었다. 구아검 0.89 %을 첨가한 Fig. 2E는 아랫면의 길이가 2 cm로 퍼짐의 정도가 없었고, 구아검을 첨가하지 않은 Fig. 2A의 아랫면의 길이는 2.25 cm로 Fig. 2E에 비해 12.5 %증가한 수치를 보였다. 구아검은 수용성 다당류로써 수산기 복합체와 가교결합을 하여 고점도 겔을 형성하는 특성이 있다(Qiu et al., 2018). 따라서 본 연구에서 구아검 미 첨가 대비 구아검 첨가 수리미가 육안으로 관찰하였을 때 무너짐없이 반듯한 것은 구아검의 첨가량 차이에 의한 것으로 생각되며, 단단한 질감의 수리미를 생산하기 위해서 0.67 wt%의 구아검 첨가가 적절한 것으로 사료된다.

pH 측정

Lee et al. (2017)에 따르면 pH는 어육 근원섬유 단백질 마이오신(myosin)의 형태, 용해도 및 겔 강도에 영향을 미친다고 알려져 있다. 구아검(0, 0.23, 0.45, 0.67, 0.89 wt%) 첨가에 따른 비가열 수리미 혼합물의 pH 측정 결과를 Table 1에 나타냈다. 구아검 함량이 증가할수록 pH가 감소하였으며, 이는 gluten-

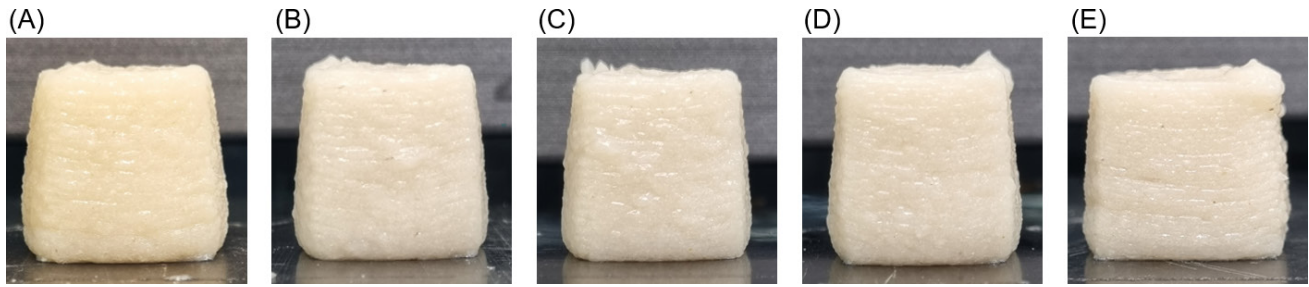


Fig. 2. 3D printing structure of unheated surimi with (A) 0 wt%, (B) 0.23 wt%, (C) 0.45 wt%, (D) 0.67 wt%, and (E) 0.89 wt% of guar gum.

free 생면 제조 시 구아검의 첨가량이 증가할수록 pH가 감소한 결과와 같은 양상을 나타냈다(Song et al., 2017). 구아검 함량이 증가할수록 pH가 감소하였으며, 구아검 함량 0.89 wt%의 경우 7.30으로 가장 낮게 나타났다.

색도 측정

각 함량별 구아검(0, 0.23, 0.45, 0.67, 0.89 wt%)을 첨가한 비가열 실꼬리돔 수리미의 색도 측정 결과를 Table 2, 구아검을 첨가하여 가열공정을 거친 실꼬리돔 수리미의 색도 측정 결과를 Table 3에 나타냈다. 비가열 수리미의 경우 L* 값은 구아검 함량 0.45 wt%의 경우 63.74로 가장 높은 값을 보였고, 구아검 함량 0.89%에서 62.79로 가장 낮았다. a* 값은 구아검을 첨가하였을 때 첨가하지 않은 것 보다 높은 값을 나타냈다. b* 값은 구

아검 함량이 증가할수록 유의하게(P<0.05) 증가하였으며, 구아검 함량 0.67 wt%에서 9.93으로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 Kim et al. (2021)의 수리미에 알긴산 첨가 시 황색도가 증가한 결과와 유사하며 이러한 결과는 구아검이 가지는 약간의 노란빛 때문인 것으로 여겨진다. 가열 수리미의 경우 L* 값은 비가열 수리미보다 모두 높게 나타났으며, 구아검 함량 0.23 wt%의 경우 78.44로 가장 높은 값을 보였고, 구아검 함량 0.45 wt%에서 74.46으로 가장 낮았다. 구아검 함량이 증가할수록 a*, b* 값이 유의하게 감소하였으며, a* 값은 구아검 함량 0.67 wt%에서, b* 값은 구아검 0.45 wt%에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 색차 값인 ΔE 값은 비가열 수리미에서는 0.89 wt%에서 36.16으로 가장 높았고, 0.45 wt%에서 35.20으로 가장 낮았다. 가열 수리미의 경우, 0.45 wt%에서 26.38로 가장 높게 나타났으며 0.89 wt%에서 23.30으로 가장 낮은 결과를 나타냈다. 색차는 타겟인 표준백판과의 L*, a*, b* 값 차이를 수치적으로 나타낸 지수로 값이 0에 가까울수록 백색에 가까워지는 것이다.

물성 측정

각 함량별 구아검(0, 0.23, 0.45, 0.67, 0.89 wt%)을 첨가한 실꼬리돔 수리미의 물성 측정 결과를 Table 4, 구아검을 첨가하여 가열공정을 거친 실꼬리돔 수리미의 물성 측정 결과를 Table 5에 나타냈다. 비가열 수리미의 경우 구아검을 첨가한 수리미가 구아검을 첨가하지 않은 수리미보다 견고성이 높았으며, 구

Table 1. pH of unheated surimi with different contents of guar gum

Treatment contents (wt%)	pH
0	7.55±0.03 ^a
0.23	7.38±0.02 ^b
0.45	7.37±0.01 ^b
0.67	7.36±0.02 ^b
0.89	7.30±0.03 ^c

Means in the same column (a-c) bearing different superscript in sample are significantly different (P<0.05).

Table 2. Color indexes of unheated surimi with different contents of guar gum

Treatment contents (wt%)	L*	a*	b*	ΔE
0	63.21±0.38 ^b	-0.65±0.12 ^c	9.36±0.42 ^c	35.66±0.31 ^b
0.23	62.97±0.06 ^{bc}	-0.35±0.03 ^a	9.75±0.04 ^b	35.96±0.06 ^a
0.45	63.74±0.26 ^a	-0.32±0.03 ^a	9.77±0.11 ^{ab}	35.20±0.25 ^c
0.67	63.03±0.35 ^{bc}	-0.35±0.03 ^a	9.93±0.14 ^a	35.94±0.33 ^a
0.89	62.79±0.35 ^c	-0.46±0.03 ^b	9.88±0.14 ^{ab}	36.16±0.33 ^a

¹Means in the same column (a-c) bearing different superscript in sample are significantly different (P<0.05).

Table 3. Color indexes of heated surimi with different contents of guar gum

Treatment contents (wt%)	L*	a*	b*	ΔE
0	76.62±0.84 ^c	-0.43±0.10 ^a	16.86±0.69 ^a	25.57±0.56 ^b
0.23	78.44±1.08 ^a	-0.61±0.23 ^b	15.98±1.11 ^b	23.51±0.32 ^c
0.45	74.46±0.20 ^d	-0.74±0.06 ^c	14.72±0.05 ^c	26.38±0.19 ^a
0.67	77.65±0.34 ^b	-0.98±0.07 ^e	14.75±0.30 ^c	25.53±0.37 ^c
0.89	78.09±0.34 ^{ba}	-0.86±0.07 ^d	15.03±0.30 ^c	23.30±0.37 ^c

¹Means in the same column (a-e) bearing different superscript in sample are significantly different (P<0.05).

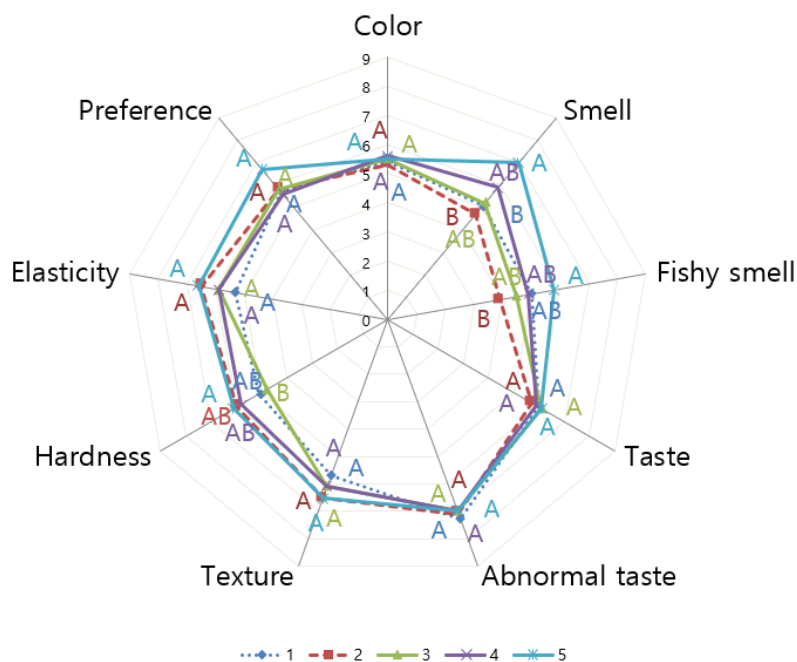


Fig. 3. Sensory evaluation results of heated surimi with 0 wt% (1), 0.23 wt% (2), 0.45 wt% (3), 0.67 wt% (4), and 0.89 wt% (5) of guar gum. Values with different superscript within products are significantly different at $P < 0.05$.

아검 함량이 높을수록 값이 증가하였다. 또한 접착성은 구아검 함량에 따른 유의미한 차이는 없었다. 3D 프린팅 카트리지로 서 적합한 식품 원료는 출력 시 노즐 끝에서 쉽게 압출될 수 있

Table 4. Texture profile of unheated surimi with different contents of guar gum

Treatment contents (wt%)	Firmness	Adhesiveness
0	1,483.18±114.98 ^c	-247.40±6.81 ^a
0.23	1,730.53±40.96 ^b	-241.87±8.43 ^a
0.45	1,497.25±77.93 ^c	-246.67±24.78 ^a
0.67	1,788.96±80.07 ^b	-240.50±5.43 ^a
0.89	1,912.62±104.89 ^a	-249.85±4.54 ^a

¹Means in the same column (a-c) bearing different superscript in sample are significantly different ($P < 0.05$)

고 인쇄 후 형태를 유지할 수 있도록 적절한 기계적 강도와 유동성, 점착성, 빠른 복원력을 가져야한다(He et al., 2020). 따라서 Table 4와 Fig. 2의 결과를 볼 때 견고성이 높을수록 출력물의 형태가 무너짐없이 온전한 것을 알 수 있었다. Table 5에서 가열 수리미의 경우 가열 수리미의 경우 구아검을 첨가한 수리미의 경도, 검성, 씹힘성이 유의하게($P < 0.05$) 증가하여 구아검 함량 0.67 wt% 수리미의 경우, 1,492.48, 1,348.04, 1,293.78으로 가장 높은 값을 보였다. 탄력성과 복원성 역시 구아검을 첨가하였을 때 유의적으로 증가하였다. 반면, 응집성은 유의적인 차이가 없었으며 구아검 함량 0.67 wt%일 때 부착성 -176.49로 가장 높은 값을 나타내었다. 또한 구아검 함량이 증가할수록 전단력이 증가하였다. 이는 알긴산, 로커스트 콩 검, HPMC를 제외한 대부분의 hydrocolloids와 같이 첨가량이 증가할수록 경도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 특히, 구아검 첨가

Table 5. Texture profile of heated surimi with different contents of guar gum

Treatment contents (wt%)	Hardness (N/cm ²)	Adhesiveness (N)	Springiness (cm ²)	Cohesiveness	Gumminess (N/cm ²)	Chewiness (J/cm ⁴)	Resilience	Work of shear
0	1,266.73±87.88 ^c	-4.17±1.95 ^a	0.94±0.02 ^c	0.85±0.08 ^a	1,066.71±45.44 ^c	1,003.58±59.37 ^c	0.46±0.04 ^b	304.26±12.60 ^d
0.23	1,403.78±104.65 ^{ab}	-12.55±5.42 ^a	0.98±0.02 ^a	0.87±0.06 ^a	1,213.92±108.15 ^b	1,192.69±121.13 ^{ab}	0.51±0.05 ^a	368.56±14.46 ^c
0.45	1,302.76±91.76 ^{bc}	-135.12±5.48 ^c	0.97±0.00 ^{ab}	0.90±0.01 ^a	1,171.63±71.47 ^b	1,131.11±72.26 ^b	0.50±0.01 ^a	390.16±11.33 ^c
0.67	1,492.48±97.12 ^a	-176.49±9.34 ^d	0.96±0.01 ^b	0.90±0.02 ^a	1,348.04±76.67 ^a	1,293.78±79.85 ^a	0.51±0.01 ^a	500.02±13.13 ^b
0.89	1,457.35±91.32 ^a	-92.25±12.20 ^b	0.98±0.01 ^a	0.91±0.02 ^a	1,320.52±50.82 ^a	1,291.99±52.92 ^a	0.52±0.01 ^a	551.94±16.25 ^a

¹Means in the same column (a-d) bearing different superscript in sample are significantly different ($P < 0.05$).

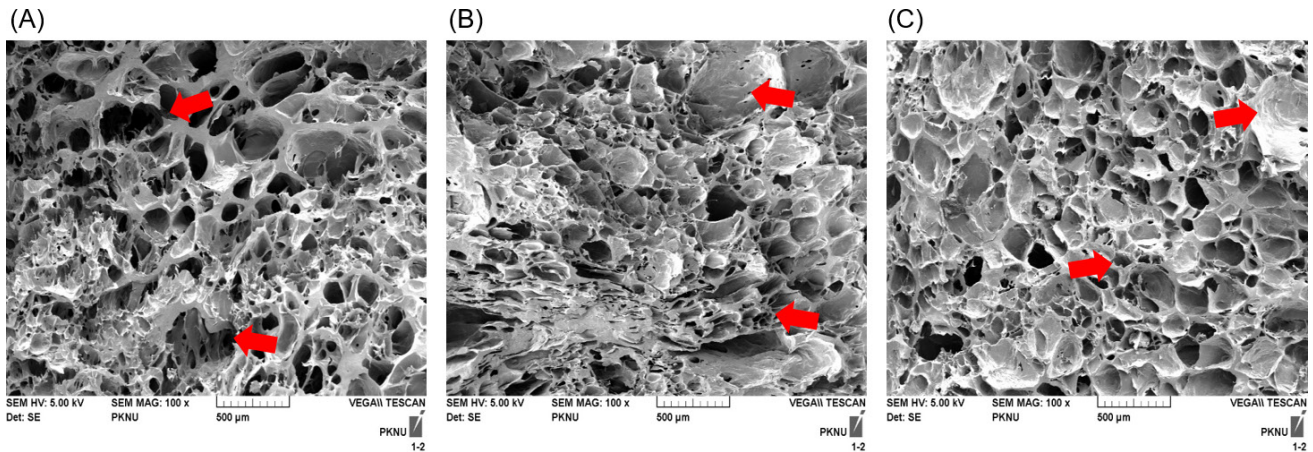


Fig. 4. Cross-sectional views of freeze-dried heated surimi with (A) 0 wt%, (B) 0.67 wt%, and (C) 0.89 wt% of guar gum at magnification 100 X.

시 대조군과 비교하여 경도가 140%까지 증가하였고 또한 검성과 씹힘성도 증가했다는 보고가 있어 대조군에 비해 구아검 첨가군의 경도 및 검성, 씹힘성이 높게 나타난 결과와 일치하였다 (Gomez et al., 2007).

관능 평가

각 함량별 구아검(0, 0.23, 0.45, 0.67, 0.89 wt%)을 첨가하여 가열공정을 거친 실꼬리돔 수리미의 관능평가 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 색, 맛, 이미 및 종합적 기호도는 유의적인(P<0.05) 차이가 없었으나, 향의 경우 구아검 첨가군이 높은 평가를 나타냈다. 질감과 경도, 탄력성의 경우 구아검 첨가군이 더 높게 나타났고, 이는 물성 측정 결과와 유사한 결과를 나타냈다. 따라서 구아검 첨가량이 늘어날수록 질감 및 경도, 탄력성이 조절될 수 있다는 것을 확인하였으며, 종합적기호도 면에서 살펴볼 때 구아검 0.89 wt% 첨가 시 호감도가 높다고 평가하였다. 구아검 첨가는 맛과 향 등의 감각에는 영향이 미미하고 물리적 특성과 관련이 있는 질감, 경도, 탄력성에 큰 영향을 준 것으로 보여진다. 압출 방식 식품 3D 프린팅 기술은 반죽이 노즐로부터 토출 후 형태가 유지되기 위해서는 적절한 견고성을 가져야하고(Pérez et al., 2019), 적층이 원활하게 되기 위해서는 적절한 부착성을 가져야한다(Godoi et al., 2016). 또한 가열하여 응고시킨 출력물을 3D프린팅 제품으로써 품질이 적합한지 알아보기 위해 텍스처 분석과 색도측정, 관능평가를 진행하였다. 구아검 첨가군은 구아검 미첨가군과 동일하게 끈김없이 매끄럽게 토출이 되었으며, 혼합물의 구아검 함량이 증가할수록 비가열 반죽의 견고성이 증가한 결과를 비롯해 육안으로 형태유지가 잘 되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 출력물을 가열처리하였을 때 명도가 향상되어 수리미의 등급 기준인 백색도가 미첨가군보다 높은 등급에 부합하는 결과를 나타냈다. 또한 0.67 wt% 첨가군의 경우 경도, 검성, 씹힘성이 가장 높은 값을 나타내었다. 이러한 결

과를 종합해볼 때 구아검을 0.67 wt% 첨가하였을 때 3D 프린팅용 혼합물로서 가장 적합하다고 사료된다.

주사전자현미경

구아검(0, 0.67, 0.89 wt%) 첨가에 따른 가열수리미를 동결건조시킨 후 주사전자현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 4A와 같이, 구아검을 첨가하지 않은 수리미는 기공 크기 및 단백질 응집체가 고르지 못한 모양으로 나타났다. 부분적으로 조밀한 구조도 관찰되었으나 전체적으로 뚜렷한 3차원 겔 네트워크를 형성하지는 않았다. 구아검을 첨가한 수리미의 경우 기공이 촘촘하고 균일한 구조를 형성한 것을 알 수 있었다 (Fig. 4B, 4C). 이는 Qiu et al. (2018)에 의하면 구아검 하이드로겔이 가교결합에 의해 규칙적인 라멜라 구조를 형성하고 점도가 증가한다는 결과가 본 연구결과를 뒷받침하고 있다. 수리미 겔의 미세 구조는 3D 프린팅 공정에서 중요한 역할을 한다. 정밀한 네트워크 형성은 우수한 형태 유지 특성을 갖고 있어 인쇄 후 출력물의 형태를 안정화하는 데 도움이 될 것이다.

사 사

이 논문은 2023년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(과제명: 미래수산식품 연구센터, 201803932).

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>.
 Akhtar M, Dickinson E, Mazoyer J and Langendorff V. 2002.

- Emulsion stabilizing properties of depolymerized pectin. *Food Hydrocoll* 16, 249-256. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00095-9](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00095-9).
- Choi JD and Choi YJ. 2003. Optimum formulation of starch and non-muscle protein for alkali surimi gel from jack mackerel. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 32, 1032-1038. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2003.32.7.1032>.
- Choi YJ, Park JD, Kim JS, Cho YJ and Park JW. 2002. Rheological properties of heat-induced gels of surimi from acid and alkali process. *Korean J Fish Aquat Sci* 35, 309-314. <https://doi.org/10.5657/kfas.2002.35.4.309>.
- Rosell CM, Yokoyama W and Shoemaker C. 2011. Rheology of different hydrocolloids-rice starch blends. Effect of successive heating-cooling cycles. *Carbohydr Polym* 84, 373-382. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.11.047>.
- Godoi FC, Prakash S and Bhandari BR. 2016. 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *J Food Eng* 179, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>.
- Gómez M, Ronda F, Caballero PA, Blanco CA and Rosell CM. 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocoll* 21, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.012>.
- Han HS, Woo GE, Kim SH, Park YL, Kang YS, Park JC, Seo HS, Choi YH, Jeong SM, Hwang HJ, Lee GH and Ahn DH. 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>.
- He C, Zhang M and Fang Z. 2020. 3D printing of food: Pre-treatment and post-treatment of materials. *Crit Rev Food Sci Nutr* 60, 2379-2392. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1641065>.
- Indurkar A, Bangde P, Gore M, Reddy P, Jain R and Dandekar P. 2020. Optimization of guar gum-gelatin bioink for 3D printing of mammalian cells. *Bioprinting* 20, e00101. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2020.e00101>.
- 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 HH, Choi YH, Park YL, Park JC, Han HS, Kang YS, Kim SH, Seo HS, Kang WS, Kim SR, Ryu SH, Lee JE, Xu X, Lee GH, Jeong SM and Ahn DH. 2021. Change of physical property of Alaska pollack *Gadus chalcogrammus* surimi with addition of polysaccharide alginic acid for applying to 3D printing. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 145-151. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0145>.
- Kim JK, Kim JS, OG KS and Choi JD. 2011. Fisheries production engineering. In: *Sea Food Processing Engineer*. Hyoil, Tongyeong, Korea, 127-195.
- Lee NG, Yoo SG and Cho YJ. 1999. Optimum rheological mixed ratio of jumbo squid and Alaska pollock surimi for gel product process. *Korean J Fish Aquat Sci* 32, 718-724.
- 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>.
- Li X, Fan L and Li J. 2023. Extrusion-based 3D printing of high internal phase emulsions stabilized by co-assembled β -cyclodextrin and chitosan. *Food Hydrocoll* 134, 108036. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108036>.
- Lille M, Nurmela A, Nordlund E, Metsä-Kortelainen S and Sozer N. 2018. Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *J Food Eng* 220, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>.
- Mudgil D and Barak S. 2013. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *Int J Biol Macromol* 61, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044>.
- Na HS, Kim DH, Lee HY, Lee SM, Yu HJ, Seo GW, Ko CH, Park SW, Choi HW, Choi YJ, Jo MJ and Ahn DH. 2023. Abstr KOFFST Int Con 297.
- Nachal N, Moses JA, Karthik P and Anandharamakrishnan C. 2019. Applications of 3D printing in food processing. *Food Eng Rev* 11, 123-141. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09199-8>.
- Park JW and Morrissey MT. 2000. Manufacturing of surimi from light muscle fish. In: *Surimi and Surimi Seafood*. Park JW, ed. New York, NY, U.S.A., 23-58.
- Park JD, Jung CH, Kim JS, Cho DM, Cho MS and Choi YJ. 2003a. Surimi processing using acid alkali solubilization of fish muscle protein. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 32, 400-405.
- Park JD, Kim JS, Cho YJ, Choi JD and Choi YJ. 2003b. Optimum formulation of starch and non-muscle protein for alkali surimi gel from frozen white croaker. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 32, 1026-1031. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2003.32.7.1026>.
- Park YL, Han SH, Kang YS, Park JC, Seo HS, Choi YH, Kim SH, Woo GE, Lee GH and Ahn DH. 2022. Properties of a fish surimi mixture for using pigments from Laver *Pyropia yezoensis*. *Korean J Fish Aquat Sci* 55, 802-807. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0802>.
- Pérez B, Nykvist H, Brøgger AF, Larsen MB and Falkeborg MF. 2019. Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A review. *Food Chem* 287, 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.090>.
- Qiu L, Shen Y, Wang C and Yang X. 2018. Scanning electron microscopy analysis of guar gum in the dissolution, gelation and gel-breaking process. *Polym Test* 68, 95-99. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.04.001>.
- 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. *Appl Biol Chem* 64, 413-419. <https://doi.org/10.3839/jabc.2021.056>.
- Shahrubudin N, Lee TC and Ramlan R. 2019. An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manuf* 35, 1286-1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.
- Song JY, Kwon JY, Choi JD, Kim YC and Shin MS. 2006. Pasting properties of non-waxy rice starch-hydrocolloid mixtures. *Starch Stärke* 58, 223-230. <https://doi.org/10.1002/star.200500459>.
- Song KY, O HB, Joung KY, Shin SY and Kim YS. 2017. A comparison of the manufacturing and quality characteristics of gluten-free noodles using guar gum and basil (*Ocimum basilicum* L.) seed gum. *Culin Sci Hosp Res* 23, 116-124. <https://doi.org/10.20878/cshr.2017.23.4.012>.
- Suh SB, Kim TJ, Lee DS and Min JG. 1999. Processing, quality stability and utilization of approved sardine surimi for surimi-based products. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 28, 403-408.
- Yoon HS, Lee MH, Jin XY, Kim SJ, Lee SY, Kim YB, You YS and Rhee JK. 2016. 3D printing technology and its applications in the future food industry: A review. *Food Sci Indust* 49, 64-69. <https://doi.org/10.23093/FSI.2016.49.4.64>.
- Yu J, Li D, Wang L and Wang W. 2023. Improving freeze-thaw stability and 3D printing performance of soy protein isolate emulsion gel inks by guar & xanthan gums. *Food Hydrocoll* 136, 108293. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108293>.