

쌀보리 전분의 첨가가 수리미 혼합물의 3D 프린팅 적합성에 미치는 영향

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

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

Effects of Naked Barley Starch on Properties of Fish Surimi Mixture for 3D Printing

Ha-Young Lee, Hyeon-Ji Yu, Sang-Min Lee, Hyun-Sik Na, Dong-Hyeon Kim, 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

This study investigated the effects of various naked barley starch contents (0, 0.67, 1.34, 2.0, and 2.67 wt%) in surimi mixtures for 3D printing. Adding starch to surimi altered its texture, potentially reducing production costs. Unheated surimi became less firm with higher starch content. After heating, there was an increase in hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness, and resilience, peaking at 1.34 wt% starch. Compared to the negative control, starch-added heated surimi had a tougher texture. The color values (L*, a*, and b*) decreased after heating, with no significant change in shearing force with increasing starch content. Sensory evaluation indicated improved smell, texture, hardness, elasticity, and preference over the negative control. Higher starch content increased hardness for 3D printing suitability with no significant difference above 1.34 wt% starch indicating this is the most appropriate content. Naked barley starch enhanced surimi strength without affecting smell and preference, suggesting it as a potential surimi additive.

Keywords: Naked barley starch, Physical properties, Sensory evaluation, Surimi, 3D printing

서론

냉동 수리미란 어류에서 뼈와 내장을 제거하고 마쇄와 수세공정을 통해 근장단백질, 지질, 비단백태 질소화합물 등을 제거하여 근원섬유단백질만을 농축한 후 냉동 변성방지제를 혼합한 염용성 어육단백질이다(Park and Morrissey, 2000). 냉동 수리미는 북양 명태 자원의 이용을 위한 연구결과의 산물로, 1970년 이후로 다양한 수산식품 가공 산업에 소재로써 사용되고 있다. 수리미의 품질은 수분, 단백질 함량, 백색도, 겔 강도 등에 의

해 결정되기 때문에 주로 백색육 어류가 사용되었다(Kim et al., 2021). Yang and Park (1998)은 수리미 식품에서 두번째로 가장 중요한 재료는 전분이라고 밝혔다. 전분을 수리미에 첨가하면 질감이 변형되고 제품비용 절감 효과를 얻을 수 있으며, 변형 전분을 사용했을 시 동결 및 해동 안정성이 향상되기 때문이다.

보리는 4대 곡물 중 하나로, 전분이 64% 정도를 차지하고 11%의 단백질과 5% 내외의 수용성 식이섬유인 β-glucan, 그 외 섬유질, 수분 등의 기타성분 20%로 이루어져 있다. 쌀과 현미보다 탄수화물, 식이섬유, 단백질, 비타민이 풍부하며

*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.2024.0109>

Korean J Fish Aquat Sci 57(2), 109-115, April 2024

Received 9 January 2024; Revised 19 February 2024; Accepted 28 February 2024

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

β -glucan을 함유해 항당뇨, 면역 증강, 콜레스테롤 농도 감소, 항비만 등의 생리활성이 우수하고 식후의 혈당 상승을 억제하는데 효과적이다. 보리의 생산량은 전 세계적으로 많지만 대부분 사료와 같이 별도의 가공처리 없이 소비되며, 극히 소량이 식품용으로 소비된다. 보리의 주요 성분인 전분은 식품 가공 및 기타 가공 적성에 관여할 것으로 여겨지고 있으며, 쌀보리 전분의 이화학적 특성 및 호화 특성에 대한 여러 연구가 보고되었다 (Song and Shin, 1991). 보리는 성숙 후 껍질이 종실에 밀착된 겉보리와 잘 분리되는 쌀보리로 나뉘고 배유 전분의 amylose와 amylopectin 함량 비율에 따라 성질이 메성과 찰성으로 나뉜다 (Kwon, 2015; Baek et al., 2021). 주로 맥아, 양조 산업에 사용되는 겉보리에 비해 쌀보리는 식품에 물리적 성질을 부여하고 단백질, β -glucan 등의 유용성분을 많이 함유해 식품 가공용으로 유리하다 (Jeong et al., 2013). Cheigh et al. (1975)에 따르면 일정한 제분 조건 하에서 겉보리에 비해 쌀보리의 제분 수율이 약 10% 높고, 회분 함량이 낮다. 또한 amylogram 특성 측정 결과, 쌀보리가 더 높은 점성을 보였으며 제빵비교 시험에서 겉보리보다 안전성이 높고, 탄력이 좋으며 조직이 단단하게 하는 결과를 나타냈다.

3D 프린팅 기술은 생체, 스마트 재료, 폴리머, 복합재, 금속 및 세라믹과 같은 광범위한 원료를 사용하여 고품질 완제품 생산을 목적으로 다양한 제조 산업에서 이용하고 있다 (Shahrubudin et al., 2019). 3D 식품 프린팅의 경우, 일반적으로 미세 노즐을 통해 녹은 필라멘트 또는 페이스트의 압출을 통해 진행된다 (Lille et al., 2018). 3D 프린팅 과정에서 식품 원료는 액체 또는 고체 분말 등 유동성이 있는 상태로 공급되어야 하고, 유동성 유지를 위해 열에 의한 가소화나 용융 상태로 냉각하여 형상을 유지시킨다. 따라서 프린팅이 가능한 식품 원료를 선정하는 것과 그 원료에 대한 특성을 파악하는 것이 필수적이다. 분쇄, 분리 단백질, 변성 전분과 같이 예비 처리된 원료가 열 안전성을 증진시켜 3D 프린팅 식품 원료로 적절한데 (Seo et al., 2021), 수리미도 이에 포함된다. 특히 식품 소재를 3D 프린팅 카트리지로 사용하기 위해서는 소재의 겔화가 중요하다. 이는 전분, 검류, 카라기난, 펙틴 및 한천 등을 첨가하여 전처리하는 방법으로 식품의 겔화를 생성할 수 있다 (Nachal et al., 2019).

따라서 본 연구에서는 실크리듬을 원료로 선정하여, 3D 프린터용 혼합물에 적합한 품질을 나타내기 위해 식품의 질감 변화 및 겔화가 가능한 쌀보리 전분(0, 0.67, 1.34, 2.0, 2.67 wt%)을 첨가하였고 그에 따른 pH, 색차, 물성 등을 측정하고 관능평가를 실시하였다. 그리고 결과를 통해 3D 프린팅 카트리지로 최적화된 조건을 찾고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에서 사용한 실크리듬(golden threadfin bream *Ne-*

mipterus virgatus) 수리미는 영하 30°C 이하의 냉동고(Togliere Tensione Prima; Larp S.R.L. Co., Genova, Italy)에 저장하여 사용하였고, 품질은 SA급으로 Korean Seafood (Busan, Korea)에서 구입하였다.

시료 준비

냉동 실크리듬 수리미를 4°C에서 냉장 해동한 후, silent cutter (ST11; ADE Co., Hamburg, Germany)에 넣고 분쇄하였다. 분쇄한 수리미에 차례로 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%, isolated soy protein (MSC Co. Ltd) 3 wt%와 구아검(Shree Vijaylaxmi International, Rajasthan, India) 0.67 wt%를 첨가하였다.

고기같이하며 재료들을 잘 혼합한 후 냉수(40 wt%)를 첨가하여 다시 혼합하였다. 이후 반죽을 동일한 무게로 5개 소분하여 쌀보리 전분(Wooriga Corp., Yangju, Korea)을 함량별(0, 0.67, 1.34, 2.0, 2.67 wt%)로 각 시료에 첨가해 약 15분간 혼합하였다. 혼합 후 물리적인 강한 충격을 주며 충전기(DICK 15LB; Dick Co., Metten, Germany)에 충전하여 혼합물의 기포를 제거하고 124 mesh의 여과기로 여과하면서 PVDC casing에 충전하여 sealing machine (PACKNER HRPS2; MAX Co., Tokyo, Japan)에서 결찰하였다.

충진한 수리미 중 일부는 가열을 진행하지 않고 비가열 수리미로 실험을 진행하였다. 가열 수리미의 경우 3D cartridge에 충전 후 3D 프린터(Biztech Korea Inc., Daejeon, Korea)를 이용해 가로×세로×두께 2 cm의 큐브로 3D 프린팅 한 후, microwave (MW-272LB; LG, Seoul, Korea)에서 400 W로 1분 20초 간 가열하였다. 프린팅은 노즐 직경이 1.55 mm, 부피는 10 mL인 실린저를 사용해 토출비 1.2, 프린팅 속도 800 mm/sec로 프린팅 하였다.

pH 측정

비가열 수리미의 pH를 측정하기 위해 10% 시료 수용액을 제조하였다. 비가열 시료 3g과 증류수 30 mL를 10,000 rpm의 속도로 1분 간 균질기(Nissei ACE homogenizer; Nihonseiki Kaisha LTD., Nissei, Japan)를 사용해 균질화하였다. 균질화된 시료를 pH계(TOADKK pH meter HM-42X; TOADKK, Tokyo, Japan)로 pH를 5회 이상 측정하고 평균값으로 계산하였다.

색도 측정

쌀보리 전분 함량별(0, 0.67, 1.34, 2.0, 2.67 wt%) 비가열, 가열 시료의 단면을 절단한 후 분광색도계(Colorimeter, 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*를 값으로 나타내었다. 표준백판 값은 X=92.35, Y=83.92, Z=96.98이었다. 색차

(color difference)는 ΔE^* 값으로 아래의 식을 이용하여 나타내었다.

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

물성 측정

Texture meter (TA-XT plus; Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK)를 사용하여 비가열, 가열 수리미의 물성을 측정하였다. 비가열 수리미 혼합 반죽의 경우, 지름 6 cm의 원통 전용 용기인 A/BE (back extrusion probe)를 이용해 시료를 60%만큼 담아 test speed 1.0 mm/s, strain 40.0%, trigger force 5.0 g의 조건에서 5회 이상 후방 압출 테스트를 진행하고 경도(firmness)와 접착성(adhesiveness)의 평균값을 계산하였다. 가열 수리미의 경우, 출력물을 그대로 사용하여 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.

관능 평가

평가대상인 수리미 출력물의 색(color), 냄새(smell), 비린내(fishy smell), 맛(taste), 이미(abnormal taste), 조직감(texture), 경도(hardness), 탄력성 (springiness) 및 종합적 기호도(preference)의 9가지 항목에 대해 panel이 직접 섭취하여 평가해보는 관능 평가를 진행하였다(부경대학교 기관생명윤리위원회 승인 번호, 1041386-202005-HR-30-02). 평가는 9점 척도로 실시하였다. 9점 척도 중 1점은 매우 나쁘거나 낮음(extremely bad or slight), 9점은 매우 좋거나 강함(extremely good or much)으로 표시하게하여 관능 평가를 실시하였다. 이 때 panel은 평가항목에 대해 이해되었으며, 평가방법이 숙지된 사람으로 10명(부경대학교 식품공학과 남 6명, 여 4명, 23-26세)으로 선별하였다.

주사전자현미경(Scanning electron microscopy) 관찰

쌀보리 전분 첨가량(0, 1.34, 2.67 wt%)에 따른 조직의 구조를 보기 위해 3D 프린팅 후 microwave에서 가열한 수리미를 동결 건조기(EYELAFDV-2100; Rikakikai Co. Ltd., Tokyo, Japan)에 의해 48시간동안 동결건조한 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.

통계 분석

모든 측정 결과 및 관능평가 결과는 통계 분석을 통해 유의적인 차이를 검정하였다. 프로그램의 경우 SAS program (ver. 9.3; SAS Institute, Inc., NC, USA)을 사용하였고, 실험 처리된

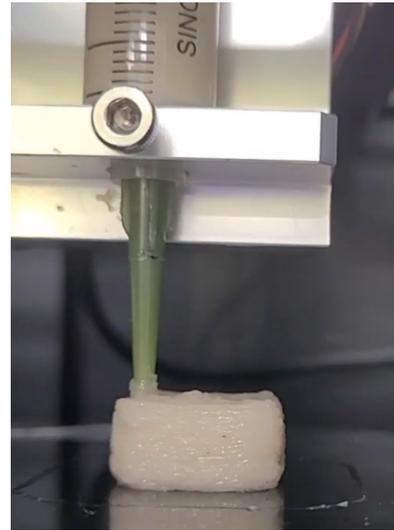


Fig. 1. 3D printing process of unheated surimi.

값의 평균값을 분산분석 한 후 Duncan's multiple range test 법을 이용해 P<0.05 수준으로 진행하였다.

결과 및 고찰

3D 프린팅 출력

3D 프린팅은 적층 제조(additive manufacturing) 방법으로 자유로운 형태의 제작을 목적으로 컴퓨터 모델 프로그램을 활용하여 재료를 한층 한층 겹쳐 입체적 구조물을 제조하는 기술이다(Kim et al., 2017). 쌀보리 전분을 함량별(0, 0.67, 1.34, 2.0, 2.67 wt%)로 첨가한 비가열 싹꼬리돔 수리미를 3D프린팅하는 과정과 그 결과는 Fig. 1과 Fig. 2이다. 쌀보리 전분 0 wt%일 때 아랫면의 길이가 2 cm, 0.67, 1.34, 2.0 wt%에서 2.16 cm이며 2.67 wt%일 때 2.24 cm로 대조군에 비해 12% 증가해 퍼지는 것을 확인하였다. 이는 쌀보리 전분이 높은 물 결합력과 팽윤력을 가지기 때문에(Jun et al., 2011), 쌀보리 전분이 포함된 수리미 겹이 팽윤으로 약해지는 것으로 사료된다.

pH 측정

쌀보리 전분 함량(0, 0.67, 1.34, 2.0, 2.67 wt%)에 따른 비가열 수리미 혼합물의 pH 측정 결과는 Table 1와 같다. 쌀보리 전분 함량이 증가할수록 pH가 감소하였다. Baek et al. (2021)의 결과에 따르면 찰쌀보리 분말의 pH는 6.11로, 쌀보리 전분 함량 0 wt%의 pH인 7.63보다 1.52 낮은 값이다. 따라서 쌀보리로 인해 첨가량이 증가함에 따라 쌀보리 전분 함량 0 wt%에서의 pH 7.63에서 2.67 wt%의 pH 7.43으로 pH가 0.2만큼 유의적으로 (P<0.05) 감소한다는 것을 알 수 있다. Kim and Cheigh (1989)의 연구에 따르면 대부분의 전분 지방질은 전분입자의 아밀로스와 함께 형성된 복합체로 존재한다. 쌀보리 전분의 중성지방

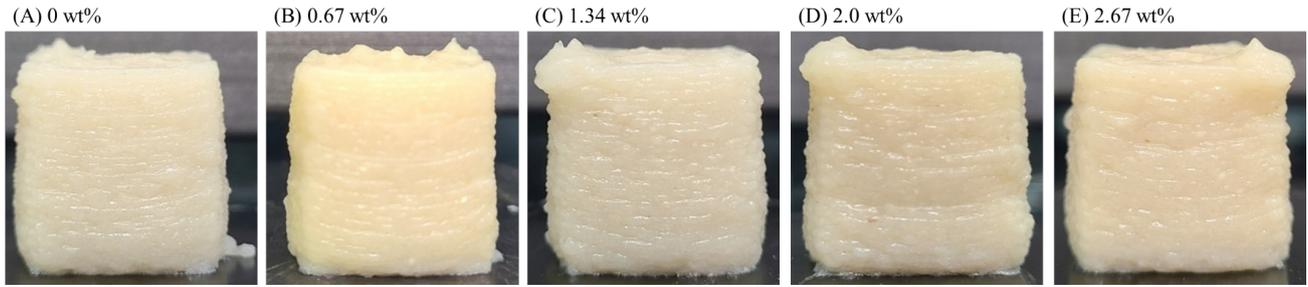


Fig. 2. 3D printing structure of unheated surimi with (A) 0 wt%, (B) 0.67 wt%, (C) 1.34 wt%, (D) 2.0 wt%, and (E) 2.67 wt% of naked barley starch.

Table 1. pH of unheated surimi with different contents of naked barley starch

Treatment contents (wt%)	pH
0	7.63±0.03 ^a
0.67	7.59±0.01 ^b
1.34	7.56±0.02 ^c
2.0	7.47±0.02 ^d
2.67	7.43±0.01 ^e

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

질과 당지방질, 인지지방질에는 대부분 팔미트산과 리놀레산으로 구성되어있다. 따라서 쌀보리 전분의 함량이 증가할수록 전분지방질에 있는 팔미트산과 리놀레산의 함량도 증가하여 pH가 감소한 것으로 판단된다.

색도 측정

전분의 형태와 함량은 수리미 겔의 색과 조직에 큰 영향을 미친다(Park et al., 2003). 쌀보리 전분 함량(0, 0.67, 1.34, 2.0, 2.67 wt%)에 따른 비가열, 가열 수리미 혼합물의 색도 측정 결과는 Table 2, Table 3에 나타났다. 비가열 수리미의 명도(L*), 적색도(a*), 황색도(b*)에서는 쌀보리 전분 첨가 함량에 따른 변화 경향이 나타나지 않았다. 설정한 타겟에 비해 색이 주는 시각적 차이를 표시한 값인 색차지수 ΔE* 역시 첨가량에 따른 변화가 나타나지 않았다.

반면 가열 수리미에서는 적색도에서는 유의적인(P<0.05) 차이가 나타나지 않았다. 명도가 쌀보리 전분 함량 0 wt%일 때 69.50으로 가장 낮았고 함량이 증가할수록 명도가 유의적으로 (P<0.05) 증가해 2.67 wt%에서 72.32로 가장 높았다. Jun et al. (2011)의 새찰쌀보리로 지은 밥이 전반적으로 색이 밝다는 결과가 본 실험의 결과와 유사하며, 전분의 호화 시 유백색을 띄

Table 2. Color indexes of unheated surimi with different contents of naked barley starch

Treatment contents (wt%)	L*	a*	b*	ΔE*
0	76.62±0.84 ^c	-0.43±0.1 ^a	16.86±0.69 ^a	25.56±0.56 ^b
0.67	78.44±1.08 ^a	-0.61±0.23 ^b	15.98±1.11 ^b	23.51±0.32 ^c
1.34	74.46±0.2 ^d	-0.74±0.06 ^c	14.72±0.05 ^c	26.38±0.19 ^a
2.0	77.65±0.34 ^b	-0.98±0.07 ^e	14.75±0.3 ^c	23.53±0.37 ^c
2.67	78.09±0.34 ^{ba}	-0.86±0.07 ^d	15.03±0.3 ^c	23.29±0.37 ^c

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

Table 3. Color indexes of heated surimi with different contents of naked barley starch

Treatment contents (wt%)	L*	a*	b*	ΔE*
0	69.50±0.89 ^d	-1.38±1.14 ^a	13.46±0.34 ^a	30.54±0.73 ^a
0.67	70.97±0.40 ^c	-1.56±0.02 ^a	12.96±0.15 ^b	28.97±0.33 ^b
1.34	71.71±0.35 ^b	-1.57±0.02 ^a	12.55±0.10 ^c	28.13±0.32 ^c
2.0	72.03±0.45 ^{ab}	-1.21±0.63 ^a	12.39±0.26 ^d	27.79±0.34 ^d
2.67	72.32±0.45 ^a	-1.30±0.63 ^a	11.97±0.26 ^e	27.37±0.34 ^e

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

는 것과 관련이 있는 것으로 사료된다. 황색도에서는 0 wt%일 때 13.46으로 가장 높았고, 전분 함량이 증가할수록 황색도가 유의적으로($P<0.05$) 감소해 2.67 wt%일 때 11.97로 가장 낮았다. 전분의 첨가 농도가 증가할수록 겔의 백색도를 개선하고 황색도가 감소한다는 선행연구와 동일한 결과이며, 이는 첨가한 전분이 육 및 혈색소에 의한 황색도를 완화시켜주기 때문이다(Park et al., 2003). 표준백판을 타겟으로 설정하여 시각적 차이를 나타낸 ΔE^* 에서도 대조군인 0 wt%에서 30.54로 가장 높았고 쌀보리 전분의 함량이 증가함에 따라 유의적으로 ($P<0.05$) 감소하여 2.67 wt%에서 가장 낮은 값인 27.37를 나타냈다. 백색도는 수리미의 품질을 결정하는 요소 중 하나이며 (Kim et al., 2021), 쌀보리 전분의 첨가로 인해 색차지수가 감소하여 표준백판과의 시각적 차이가 줄었다. 따라서 쌀보리 전분의 추가가 수리미 제품의 품질을 향상시키는데 도움이 된 것으로 판단 가능하다.

물성 측정

쌀보리 전분 함량(0, 0.67, 1.34, 2.0, 2.67 wt%)에 따른 비가열, 가열 수리미의 물성 측정결과를 Table 4, Table 5에 나타냈다. 비가열 수리미의 경우, 경도(firmness)이 전분 함량이 증가할 때 유의적으로($P<0.05$) 감소하여 2.67 wt%에서 가장 낮은 값을 확인할 수 있었다. Yun et al. (1988)의 연구에 따르면 쌀보리 전분이 수분 흡수로 부피 증가를 야기하므로, 쌀보리 전분의 첨가로 수리미 겔의 부피가 증가하여 경도가 감소한 것으로 사료된다. 이는 3D 프린팅 출력물에서 쌀보리 전분 함량이 증

가할수록 아랫면의 길이가 길어져 퍼지는 결과와 동일하다. 반면 부착성(adhesiveness)은 유의적인($P<0.05$) 경향이 측정되지 않았다. 3D 프린팅 카트리지로써 적합하기 위해서는 적절한 유동성, 점착성, 빠른 복원력 및 적절한 기계적 강도를 가져야 노즐 끝에서 쉽게 흘러나올 수 있고 인쇄 후 모양을 유지할 수 있는데, 토출 시 경도가 약하고 점성이 있는 것이 적합하다(Seo et al., 2021). 따라서 쌀보리 전분의 첨가가 3D 프린트용 혼합물에 적합하도록 한다고 사료된다.

가열 수리미의 물성 측정결과에서 쌀보리 전분 첨가함으로써 경도(hardness)와 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness), 복원성(resilience)가 증가하고 부착성(adhesiveness)이 감소하였다. 경도, 탄력성, 응집성, 검성, 씹힘성, 복원성에서는 1.34 wt%에서 가장 높은 수치를 보였으며 특히 경도, 응집성, 복원성의 경우 1.34 wt% 이상의 함량 항목에서는 유의적인($P<0.05$) 차이를 나타내지 않았다. 이는 전분의 첨가는 물과 결합하여 팽창하면서 겔 구조 및 강도를 강하게 한다는 Yang and Park (1998)의 연구와 유사하다. 또한 전분의 물 결합력과 점도가 증가할수록 수리미 겔의 경도와 응집성을 증가시키기 때문에(Kim and Lee, 1987) 물 결합력이 높은 쌀보리 전분을 사용하였을 때, 경도와 응집성이 전분 첨가에 의해 증가한다는 것을 알 수 있었다.

3D 프린팅은 토출로 종료되는 것이 아닌 가열을 통해 응고되어 고정되는 것이 제품의 완성이기때문에, 최상의 상태의 3D 프린팅 제품으로 완성가능한 3D 프린트용 혼합물로 쌀보리 전분 함량 1.34 wt%이 가장 적합한 조건이라 판단한다.

관능 평가

쌀보리 전분이 함량별(0, 0.67, 1.34, 2.0, 2.67 wt%)로 첨가된 수리미 3D 프린팅 출력물의 가열 후 제품을 관능 평가하여 Table 6에 나타냈다. 색, 맛, 이미와 종합적 기호도 항목에서 1.34 wt%이 가장 높게 평가되었다. 질감, 경도, 탄력성의 경우 쌀보리 전분 함량이 증가하면 높게 평가되는 경향이 나타났다. You (1996)에 따르면 감자전분 첨가량에 따라 관능평가에서 유의적인 영향을 미치는 물성 인자는 응집성, 탄력성, 부착성이다. 이와 유사하게 쌀보리 전분 함량 1.34 wt%에서 가장 강한 응집성, 탄력성이 관능평가에 영향을 미쳤다고 사료된다. 반

Table 4. Texture profile of unheated surimi with different contents of naked barley starch

Treatment contents (wt%)	Firmness (g)	Adhesiveness (N)
0	2,557.24±154.65 ^a	-2,668.15±189.02 ^{ab}
0.67	2,585.03±116.01 ^a	-2,947.61±256.31 ^b
1.34	2,517.58±27.05 ^a	-2,868.03±150.30 ^b
2.0	2,380.06±39.11 ^b	-2,796.80±214.06 ^{ab}
2.67	2,135.11±101.55 ^c	-2,552.52±195.69 ^a

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

Table 5. Texture profile of heated surimi with different contents of naked barley starch

Treatment contents (wt%)	Hardness (N/cm ²)	Adhesiveness (N)	Springiness (cm ²)	Cohesiveness	Gumminess (N/cm ²)	Chewiness (J/cm ⁴)	Resilience
0	1,033.83±179.62 ^b	-236.95±38.66 ^b	0.91±0.03 ^c	0.84±0.06 ^a	864.36±98.89 ^c	788.74±84.63 ^c	0.42±0.04 ^b
0.67	1,532.26±100.43 ^a	-31.31±5.56 ^a	0.94±0.02 ^{abc}	0.86±0.06 ^a	1,309.83±73.34 ^{ab}	1,228.87±91.53 ^{ab}	0.50±0.05 ^a
1.34	1,566.19±106.63 ^a	-52.90±21.66 ^a	0.96±0.01 ^a	0.86±0.07 ^a	1,348.96±69.07 ^a	1,288.20±69.05 ^a	0.50±0.05 ^a
2.0	1,424.91±157.66 ^a	-37.29±1.48 ^a	0.93±0.02 ^{bc}	0.86±0.06 ^a	1,222.57±125.31 ^b	1,133.85±137.80 ^b	0.49±0.05 ^a
2.67	1,402.84±71.56 ^a	-39.57±5.30 ^a	0.95±0.01 ^{ab}	0.86±0.07 ^a	1,201.35±66.45 ^b	1,140.86±74.13 ^b	0.49±0.05 ^a

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

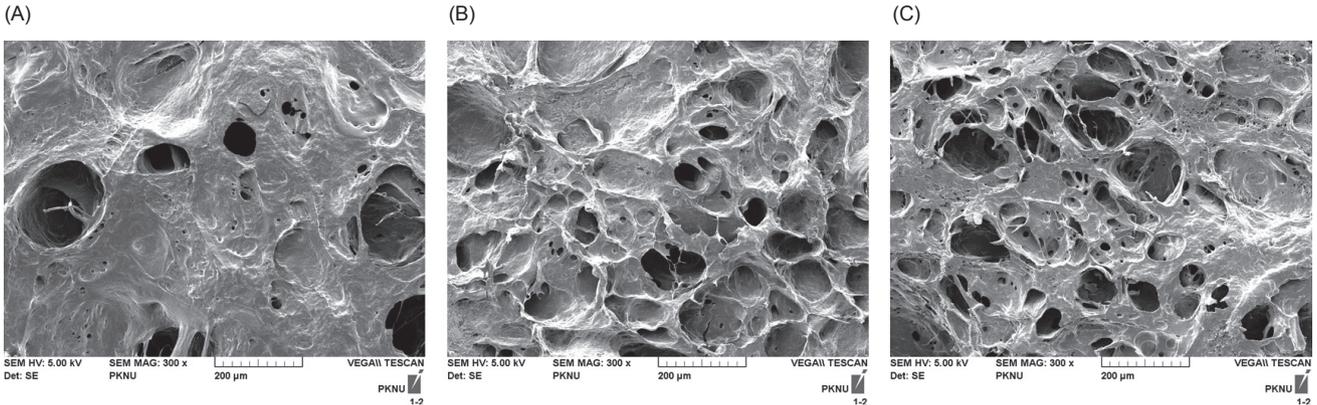


Fig. 3. Cross-sectional views of freeze-dried heated surimi with (A) 0 wt%, (B) 1.34 wt%, and (C) 2.67 wt% of naked barley starch at magnification 100x.

Table 6. Sensory evaluation results of heated surimi with different contents of naked barley starch

Treatment contents (wt%)	Color	Smell	Fishy smell	Taste	Abnormal	Texture	Hardness	Elasticity	Preference
0	6.22±1.30 ^a	5.00±1.66 ^a	6.11±1.69 ^a	6.11±1.76 ^a	6.67±1.94 ^a	4.89±1.96 ^b	4.56±1.51 ^b	5.78±1.86 ^b	5.33±1.32 ^b
0.67	5.78±1.39 ^a	5.89±1.36 ^a	5.67±1.58 ^a	6.00±1.50 ^a	6.78±1.39 ^a	5.89±1.62 ^{ba}	7.22±1.48 ^a	6.22±1.30 ^{ba}	5.78±1.39 ^{ba}
1.34	6.44±1.59 ^a	6.11±1.45 ^a	6.00±1.66 ^a	6.89±1.05 ^a	7.22±0.97 ^a	6.44±1.59 ^{ba}	6.67±1.12 ^a	6.11±1.17 ^b	7.11±1.05 ^a
2.0	6.11±1.45 ^a	5.78±1.48 ^a	5.44±1.42 ^a	6.22±1.72 ^a	6.56±1.67 ^a	6.89±1.17 ^a	7.11±0.93 ^a	6.89±0.93 ^{ba}	6.22±1.09 ^{ba}
2.67	5.33±1.25 ^a	6.44±1.17 ^a	6.56±1.17 ^a	6.22±1.62 ^a	6.56±1.57 ^a	5.78±1.40 ^{ba}	6.67±0.94 ^a	7.44±0.68 ^a	5.89±1.37 ^{ba}

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

면 향, 비린내 항목에서는 유의적인(P<0.05) 차이나 함량에 따른 경향이 나타나지 않기 때문에 쌀보리 전분이 향과 관련하여 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 따라서 3D 프린팅 제품으로서의, 그리고 관능적인 영향에서 물성이 적합하면서, 기호적 조건 역시 갖춰진 1.34 wt%의 쌀보리 전분 함량이 가장 적절한 조건임을 알 수 있었다.

조직 특성

Fig. 3는 쌀보리 전분 첨가 함량(0, 1.34, 2.67 wt%)에 따른 가열 수리미를 동결건조 시킨 후 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다. 단백질 내 미오신이 가열되면 생화학적 활성의 상실을 일으키는 변성으로 인해 light chain이 해리되어 열응집 반응이 일어나고, heavy chain의 집합에 의해 미오신 꼬리의 2차 구조 변화가 일어나 3차원적인 망상구조를 형성한다(Yasui et al., 1979). 쌀보리 전분을 첨가하지 않은 수리미에 비해 1.34% 첨가 시 조직이 치밀해지고 공간이 작아지는 경향을 확인하였다. 이는 1.34 wt%에서 가장 경도, 탄력성, 응집성, 검성, 씹힘성, 복원성이 높았던 물성 측정 결과를 뒷받침해주며, 전분 중 아밀로펙틴의 영향으로 더 많은 물이 흡수되고 전분입자가 커진다는 연구와 유사하다(Yang and Park, 1998). 반면 2.67% 첨가 시 조직이 거칠어지고 공간들이 크고 많아지는 경향을 확인

하였다. 이는 물성 측정결과에서 2.0 wt% 이상 항목들의 탄력성, 검성, 씹힘성이 유의적으로(P<0.05) 감소한다는 결과를 뒷받침해준다.

따라서 쌀보리 전분 1.34 wt%의 조건에서 가장 조직이 치밀하여 경도, 탄력성, 응집성 등 물성 결과가 뛰어나 3D 프린팅 식품 원료로 적합하다는 것을 알 수 있었다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2023년)에 의하여 연구되었음.

References

Baek CW, Lee AY and Lee JH. 2021. Quality evaluation of pan bread supplemented with immature chalsalbori powder. J Korean Soc Food Sci Nutr 50, 1108-1116. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2021.50.10.1108>.

Cheigh HS, Harry E, Snyder and Kwon TW. 1975. Rheological and milling characteristics of naked and covered barley varieties. Korean J Food Sci Technol 7, 85-90.

Jeong YS, Kim JW, Lee ES, Han YY, Gil NY, Lee MJ, Lee GH and Hong ST. 2013. Studies on physico-chemical charac-

- terization of starch extracted from domestic barley cultivars. *Food Eng Prog* 17, 203-211. <https://doi.org/10.13050/foodengprog.2013.17.3.203>.
- Jun HI, Cha MN, Song GS, Yoo CS, Kim YT and Kim YS. 2011. Physicochemical properties and cooking quality of naked waxy barley (*Saechalssal bori*). *Korean J Food Preserv* 18, 165-170. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2011.18.2.165>.
- Kim CT, Maeng JS, Shin WS, Shim IC, Oh SI, Jo YH, Kim JH and Kim CJ. 2017. Food 3D-printing technology and its application in the food industry. *Food Eng Prog* 21, 12-21. <https://doi.org/10.13050/foodengprog.2017.21.1.12>.
- Kim HG and Cheigh HS. 1989. Lipid class and fatty acid composition of starch-lipid in naked barley. *Korean J Food Sci Technol* 21, 515-520.
- 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 JM and Lee CM. 1987. Effect of starch of textural properties of surimi gel. *J Food Sci* 52, 722-725. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06711.x>.
- Kwon OH. 2015. Optimization of coffee replacement beverage prepared with roasted small black bean, barley and brown rice using RSM. M.S. Thesis, Kyonggi University, Suwon, Korea.
- 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>.
- 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 JD, Kim JS, Cho YJ, Choi JD and Choi YJ. 2003. Optimum 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.2003.32.7.1032>.
- Park JW and Morrissey MT. 2000. Manufacturing of surimi from light muscle fish. In: *Surimi and Surimi Seafood*. Park JW, ed. Marcel Dekker Inc., New York, NY, U.S.A., 23-58.
- 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 E and Shin MS. 1991. Physicochemical properties of naked barley starches. *J Korean Agric Chem Soc* 34, 94-101.
- Yang H and Park JW. 1998. Effects of starch properties and thermal processing conditions on surimi-starch gels. *Food Sci Technol* 31, 344-353. <https://doi.org/10.1006/fstl.1997.0366>.
- Yasui T, Ishioroshi M, Nakano H and Samejima K. 1979. Changes in shear modulus, ultrastructure and spin-spin relaxation times of water associated with heat-induced gelation of myosin. *J Food Sci* 44, 1201-1204. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb03481.x>.
- You BJ. 1996. Effects of subsidiary ingredients on the texture of steamed salmon kamaboko. *J East Coast Res* 6, 1-16.
- Yun YJ, Kim K, Kim SK, Kim DY and Park YK. 1988. Hydration rates and changes of hardness during soaking of polished naked barleys. *J Korean Agric Chem Soc* 31, 21-25.