

식물성 대체육 제품의 질감 특성에 대한 고수분 조직식물단백의 영향

문은석^{1,*} · 장채민^{1,*} · 이정애² · 이현우³ · 이채진³ · 김현석^{1,4,*}

¹경희대학교 일반대학원 식품생명공학과, ²경기대학교 일반대학원 식품생물공학과, ³(주)수지스링크, ⁴경희대학교 식품생명공학과

Impact of high-moisture textured vegetable protein on textural characteristics of plant-based alternative meat products

Eun Seok Moon^{1,*}, Chaemin Jang^{1,*}, Jungae Lee², Hyunwoo Lee³, Chaejin Lee³ and Hyun-Seok Kim^{1,4,*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Graduate School, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea

²Department of Food Science and Biotechnology, Graduate School, Kyonggi Univeristy, Suwon 16227, Korea

³Sujis Link, Paju, Gyeonggi 10945, Korea

⁴Department of Food Science and Biotechnology, Institute of Life Science and Resources, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea

Abstract

This study investigated the suitability of high-moisture textured vegetable protein (HM-TVP) as a plant-based alternative meat product by evaluating its textural properties. Model patties and sausages were prepared independently by mixing pork loin (PL), dry TVP, and the two HM-TVPs (HN and HS) with plant-based binders. The resultant model patties and sausages were frozen, stored, and cooked according to commercial production, distribution, and consumption methods. The highest texturization index was observed for the HN. Both HN and HS patties exhibited cooking losses similar to those of PL patties but had a harder texture, regardless of the cooking and storage methods. Both HN and HS sausages exhibited cooking losses similar to those of PL sausages. Compared to the PL sausage, the hardness was higher in the HN sausage but lower in the HS one. The HN and HS sausages had similar and lower cutting values, respectively. Overall, HM-TVP can be used as an ingredient in alternative sausage-type, plant-based meat products.

Keywords: Plant-based alternative meat product, Patty, Sausage, Texturization index, Textural property

서론

양질의 단백질 공급원인 반추동물과 조류 유래 고기는 전 세계적으로 중요한 식량자원이고 인류가 선호하는 식재료 중 하나이다 (Kwon & Kim, 2019; Lee & Jo, 2019). 인류에 의한 육류 선호 현상과 전 세계적인 인구증가로 인해 가축사육이 지속해서 확대되고 있다. 이는 과도한 온실가스 배출, 산림 파괴 등 환경 문제, 동물 복지 및 윤리 문제 및 가축전염병, 살충제/항생제 남용 등 식품안전 문제

를 야기해 최근 동물성 단백질 대체재 개발 및 이용을 통해 이런 문제 해결을 시도하고 있다(Kwon & Kim, 2019; Lee & Jo, 2019). 이에 북미와 유럽을 중심으로 대체식품 산업이 지속해서 성장하고 있고 국내 시장도 점차 확대되고 있다(Hoek et al., 2011; Lee & Jo, 2019; Malek et al., 2019). 특히 대체식품 중 식물성 대체육(plant-based meat) 시장이 국내외에서 급격히 성장하고 있다(Cho et al., 2022). 현재 식물성 대체육은 육류의 근육 조직과 상당한 구조적 차이를 보이고 이에 따른 질감 구현이 부족하여 소비자들의 기호를 충족시킬

Received: May 23, 2025 / Revised: May 29, 2025 / Accepted: Jun 05, 2025

Corresponding author: Hyun-Seok Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Institute of Life Science and Resources, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea

E-mail: khstone@khu.ac.kr

*These authors contributed equally to this work.

Copyright © 2025 Korean Society for Food Engineering.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수 없다. 그래서 많은 연구자들과 식품업체들은 육류의 근섬유 조직과 질감을 모사할 수 있는 식물단백질을 이용하여 육류의 근섬유 조직 모사구조 형성을 통한 대체육류 생산에 압출성형공정(extrusion process), 전단세포공정(shear cell process), 전기방사공정(electrospinning process)과 3D 프린팅이 이용되고 있다(Mattice & Marangoni, 2020; Lee et al., 2022; Köllmann et al., 2023; Qiu et al., 2023). 이 중 상업적 대량생산이 가능한 압출성형공정이 널리 이용되고 있고, 원료배합 및 압출물의 수분함량과 사출모듈(냉각사출모듈 유무)의 방식에 따라 열가소성(저수분) 및 고수분 압출성형공정으로 구분할 수 있다. 열가소성 압출성형공정은 스펀지 같은 다공성 구조를 가진 건조 조직식물단백(texture vegetable protein, TVP)을 생산하며, 이는 사용 전 재수화가 필수적이다. 반면 고수분 압출성형공정(high-moisture extrusion, HME)은 높은 수분함량(>55%)을 보유하며 치밀한 섬유상 및 계층(layered) 구조를 형성할 수 있어 실제 고기와 유사한 질감을 가지며, 재수화 없이 직접 사용가능한 고수분 조직식물단백(high-moisture textured vegetable protein, HM-TVP)을 생산한다(Dekkers et al., 2018; Lee et al., 2023). 그래서 최근 육류 근섬유 배열과 계층 구조를 좀 더 정밀하게 모방할 수 있는 HME에 관해 많은 연구가 수행되고 있다. 그럼에도 HME에 의한 HM-TVP는 상용화된 제품의 부족과 냉동 유통 방식으로 인해 대체육 산업에서 건식 TVP에 비해 이용성이 상대적으로 미진한 상황이다(You et al., 2020; Park, 2021). 한편 국내외에서 시판되는 다양한 식물성 대체육 제품들은 대부분 분쇄육가공품(떡갈비, 햄버거 패티, 소시지, 너겟 등)의 형태로 비조리 및 완전 조리 후 냉동/냉장 상태로 제공되며, 소비자들은 단순 재가열을 통해 섭취하는 방식이다(Kwon & Kim, 2019; You et al., 2020). 이처럼 육류의 근섬유 조직에 의한 질감이 최소화되는 분쇄육가공품의 형태로 가공되지만, 재수화한 건식 TVP를 주 원료로 이용하며 실제 육류를 이용할 때와 상이한 질감을 나타내어 소비자들의 선택 및 재구매율이 매우 제한적이다(Hoek et al., 2011; Kim, 2018; An, 2019; You et al., 2020; Park, 2021).

따라서 본 연구는 육류 질감에 상당하는 HM-TVP의 식물성 대체육 제품에 이용가능성을 평가하고자 모델 제품으로 햄버거패티와 소시지를 선정하여 HM-TVP를 이용하여 제조하고 질감 특성을 돼지고기 등심과 재수화 건식 TVP를 원료로 하여 제조한 것들과 비교분석하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

양산 규모의 고수분 압출성형기로부터 생산된 상업용 HM-TVP 2종(HN 및 HS)은 (주)수지스링크(Paju, Gyeonggi, Korea)로부터 냉동된 상태로 공급받아 -45℃의 냉동고에서 저장하며 사용하였다. 조직

완두단백 밀청크는 (주)케미넥스(Seongnam, Korea)에서, 농축잠두단백(faba bean protein concentrate)은 AGT Food and Ingredients (Regina, Saskatchewan, Canada)의 것을 (주)에이치엔아이(Seongnam, Korea)에서, 알긴산나트륨은 (주)ES식품원료(Gunpo, Korea)에서 구매하였다. 원료육(돼지고기 등심, PL)은 시중 정육점에서 구매하여 -45℃의 냉동고에 저장하며 사용하였다. 이외 본 연구에 사용한 용매 및 시약은 ACS 등급의 것을 사용하였다.

식물성 모델 패티 및 모델 소시지 제조

식물성 모델 패티 및 모델 소시지에 적합한 식물성 바인더는 Bae et al. (2024)의 방법에 따라 제조하였다. 농축잠두단백과 알긴산나트륨을 건량기준 80:20의 비율로 믹싱 볼에 넣고 시약 스푼을 이용하여 휘저어 혼합한 후 60 mesh 체를 5회 반복 통과시켜 식물성 바인더를 제조하였다. 건식조직식물단백(조직완두단백 밀청크, DT)은 과량의 탈이온수와 혼합하여 1시간 동안 상온에서 침지한 후 수동 착즙기로 탈수하여 수화조직식물단백(수분함량 70%)을 제조하였다(Bae et al., 2024). 냉동된 원료육과 HM-TVP를 15℃에서 약 18시간 동안 해동한 후 민찌기(0.5 hp, HANKOOKMC Co., Gwangju, Korea)를 이용하여 다진 후 사용하였다(수분함량 각각 68%와 69%). 준비된 원료(수화조직식물단백, 다진 고수분 대체육 및 다진 돼지고기 등심)를 믹싱 볼에 넣고 원료 중량의 20%에 해당하는 식물성 바인더를 가하여 비터(beater)가 장착된 반죽기(SP-800, SPAR Korea Co., Seoul, Korea)를 이용하여 저속(setting 1)에서 10분간 반죽하였다. 식물성 모델 패티는 제조된 반죽(150 g)을 hamburger press (07-0301, Weston Brands LLC., Cleveland, OH, USA)에 넣어 햄버거 패티 형태(지름 115 mm, 두께 15 mm)로 성형하여 제조하였다. 식물성 모델 패티 중 일부는 지퍼백에 넣어 -45℃에서 동결하여 비조리 식물성 모델 패티로, 나머지는 전기스팀쿠커(DG6210, X.J. Electrics (Shenzhen) Co., Ltd., Xuchang, China)에서 15분간 증자(스팀온도: 105~110℃)하고 상온으로 방랭하여 지퍼백에 넣고 -45℃에서 동결하여 부분 조리 식물성 모델 패티로 제조하였다. 식물성 모델 소시지는 같은 반죽을 KitchenAid 소시지 충전기(KSMSSA, KitchenAid Korea, Seoul, Korea)를 이용하여 수화된 셀룰로스 케이싱(지름 22 mm)에 충전하여 끓는 물에서 10분간(완전 조리) 및 7분간(부분 조리) 삶았고, 부분 조리한 모델 소시지 중 일부는 즉시 조리하여 질감 분석에, 나머지는 지퍼백에 넣어 -45℃에서 동결한 후 해동하여 조리법에 따른 질감 분석에 사용하였다.

식물성 모델 패티의 조리

냉동된 비조리 및 반조리 식물성 모델 패티는 상온(22℃)에서 16시간 동안 해동한 뒤 팬프라이(fan-frying)하였다. 비조리 식물성 모

텔 패티는 모델 패티당 10 g의 대두유를 전기그릴(SGP-H52WS, Shinil Industrial Co., Ltd., Seoul, Korea)에 두르고 setting 3에서 윗면과 아랫면을 각각 2분간 가열한 뒤 1분 간격으로 위아래로 뒤집으며 총 10분간 가열하여 조리하였다(Lee et al., 2005). 부분 조리 식물성 모델 패티는 패티당 10 g의 대두유를 전기그릴(SGP-H52WS, Shinil Industrial Co., Ltd., Seoul, Korea)에 두르고 setting 3에서 윗면과 아랫면을 각각 2분간 가열하여 조리하였다.

식물성 모델 소시지의 조리

부분 조리 식물성 모델 소시지의 케이싱을 제거한 후 모델 소시지 당 5 g의 대두유를 전기그릴에 두르고 setting 3에서 5분간 굽리며 조리하였다. 냉동된 부분 조리 식물성 모델 소시지는 상온(22℃)에서 16시간 동안 해동한 뒤 일부는 끓는 물에 3분간 삶았고, 나머지는 케이싱을 제거한 후 모델 소시지 당 5 g의 대두유를 전기그릴에 두르고 setting 3에서 5분간 굽리며 조리하였다.

조직화 지수(texturization index, TI)

원료육은 내부 중심온도가 75℃ 이상이 되도록 끓는 물에서 30분간 삶거나 전술한 조건처럼 팬프라이(fan-frying, 8 min)하여 조리하였다. HM-TVP은 전술한 조건에서 해동하였고, 추가적인 조리 없이 사용하였다. 원료육, 조리된 원료육 및 해동한 고수분 대체육은 정육면체 형태(1 cm×1 cm×1 cm)로 성형하여 0.03% (w/v) methylene blue 용액으로 염색하고 25℃로 조정하였다. Methylene blue 용액 염색은 분석시료들의 섬유상 구조의 배열 방향 확인을 목적으로 수행하였다. 준비된 분석시료는 Warner-Bratzler blade가 장착된 물성 측정기(Z0.5 TS, Zwick Roell AG, Ulm, Baden-Württemberg, Germany)를 이용하여 길이 방향(lengthwise) 또는 가로 방향(crosswise)으로 cross-head speed 3 mm/s의 속도에서 완전히 절단할 때의 최대 힘(N)을 측정하고 다음의 계산식에 따라 조직화 지수를 결정하였다.

$$\text{Texturization Index (TI)} = \frac{\text{Lengthwise cutting strength (N)}}{\text{Crosswise cutting strength (N)}}$$

질감 분석

식물성 모델 패티와 모델 소시지의 질감 특성은 TPA (texture profile analysis)와 cutting-shear test를 이용하여 분석하였다. 식물성 모델 패티는 직사각형 형태(50 mm×50 mm×15 mm)로, 식물성 모델 소시지는 원통형 형태(지름 22 mm, 높이 20 mm)로 성형하였고, 모든 분석시료의 온도는 25℃로 유지하였다. TPA 분석은 P/100 프로브(직경 100 mm)가 장착된 물성측정기(Z0.5 TS, Zwick Roell AG, Ulm, Baden-Württemberg, Germany)를 이용하여 cross-head speed 3 mm/s에서 변

형율 40%로 2회 반복하여 압착하여 얻은 force-time plot으로부터 TPA parameter를 도출하였다. Cutting-shear test는 Warner-Bratzler blade가 장착된 물성측정기를 이용하여 cross-head speed 3 mm/s에서 분석시료를 완전히 절단하였고, 이때의 최대 힘을 cutting strength (N)로 하였다.

조리손실

식물성 모델 패티와 모델 소시지의 조리 전후의 무게를 측정하여 다음의 계산식에 따라 조리손실을 결정하였다.

$$\text{Cooking loss (\%)} = \frac{\text{Sample weight after cooking} - \text{sample weight before cooking}}{\text{Sample weight before cooking}} \times 100$$

이수율

부분 조리 식물성 모델 패티의 냉·해동 과정에서 발생하는 수분 손실을 측정하기 위해 부분 조리된(15분 증자) 식물성 모델 패티를 -45℃에서 24시간 동결하고 -20℃ 냉동고로 옮겨 48시간 동안 냉동 저장한 후 상온(22℃)에서 18시간 동안 해동하였다. 해동된 시료의 표면 수분을 페이퍼 타올로 제거하고 무게를 측정하여 다음의 계산식에 따라 이수율을 결정하였다.

$$\text{Syneresis (\%)} = \frac{\text{Sample weight after thawing} - \text{sample weight after semi-cooking}}{\text{Sample weight after semi-cooking}} \times 100$$

통계처리

식물성 모델 패티 및 모델 소시지의 분석은 처리조건별 10~15회 반복 수행하였다. 측정된 특성치들은 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 수행하고 평균±표준편차로 나타내었다. 또한 처리군의 특성치 평균값들 사이의 통계적 유의성은 95% 신뢰수준에서 Tukey's HSD multiple range test를 이용하여 평가하였다. 모든 통계적 계산과 분석은 SPSS (version 23.0, Statistics Package for Social Sciences, IBM-SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

식물성 대체육 제품 원료의 조직화 지수

조직화 지수는 식물성 대체육에 있어 육류의 근섬유와 근섬유의 계층 구조와 유사한 구조적 특성을 보유하고 있는지를 평가하는 척도로 널리 이용되고 있다. 조직화 지수가 1 이상이며 증가할수록 식

물성 대체육에 있어 섬유상 및 섬유상 구조의 계층화가 빈번하며 잘 형성되어 있다고 판단한다(Choi et al., 2024a, b; Choi et al., 2025a, b, c). 돼지고기 등심 원육(RPL), 삶은 등심(BPL), 팬프라이 등심(FPL) 및 HM-TVP (HN 및 HS)의 조직화 지수는 Fig. 1에 나타내었다. 돼지고기 등심의 조직화 지수는 BPL (2.1)>RPL (1.5)=FPL (1.5)의 순서로 증가하였으나 유의적인 차이를 보이지 않아 조리 방법에 따른 차이가 없었다. 반면 HM-TVP에 있어 HN은 5.4, HS는 3.6을 나타내어 조리 전후의 돼지고기 등심(1.5~2.1)보다 유의적으

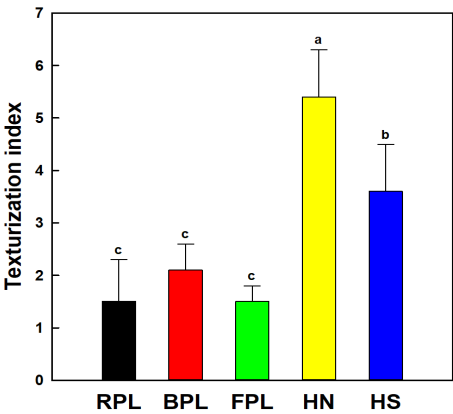


Fig. 1. Texturization index of raw (RPL), boiled (BPL), and fan-fried (FPL) pork loins and high moisture meat analogues (HN & HS).

로 높은 수준을 나타내었다. 이는 본 연구에 사용한 HM-TVP은 섬유상 구조가 잘 형성되어 있으며, HN이 HS보다 섬유상 구조가 더욱 계층화되어 있다는 것을 가리킨다(Choi et al., 2024b). Choi et al. (2024b)는 HM-TVP의 조직화 지수는 섬유상 구조 형성 정도보다 섬유상 구조의 계층화 정도에 더욱 큰 영향을 받는다고 하였다. 한편 HN과 HS의 조직화 지수의 차이는 같은 고수분 압출성형기와 압출성형 조건에 의해 생산된 점을 고려하면 사용된 식물단백질 원료와 원료배합의 차이 때문인 것 같다. HM-TVP 공급처에 따르면 HS는 변성농축대두단백, 분리대두단백 및 찌단백분말을, HN은 농축대두단백과 분리대두단백을 식물단백질 원료로 사용하였다. Choi et al. (2024b)와 Choi et al. (2025a, b)에 따르면 다양한 식물단백질의 블렌딩을 통해 HM-TVP의 섬유상 구조 형성 및 질감 특성을 조절할 수 있다고 하였다.

모델 패티 및 모델 소시지의 외관

유사한 수분함량(68~70%)의 원료육(돼지고기 등심, 수화조식 식물단백 및 HM-TVP)과 식물성 바인더만을 이용하여 패티형과 소시지형의 모델 패티와 모델 소시지를 제조하였고, 이들의 외관은 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 제시하였다. 모델 패티의 경우(Fig. 2), 제조 직후 햄버거 패티 프레스의 형태를 유지하였고, 취급에 따른 기계적 충격 등에 형태의 붕괴는 관찰되지 않았다. 제조된 모델 패티를

Source Patty	PL	DT	HN	HS
Preparation				
Preparation ↓ Freezing ↓ Thawing				
Preparation ↓ Semi-cooking ↓ Freezing ↓ Thawing				

Fig. 2. Appearance of model patties prepared using pork loin (PL), dry textured vegetable protein (DT), and high moisture meat analogues (HN & HS).

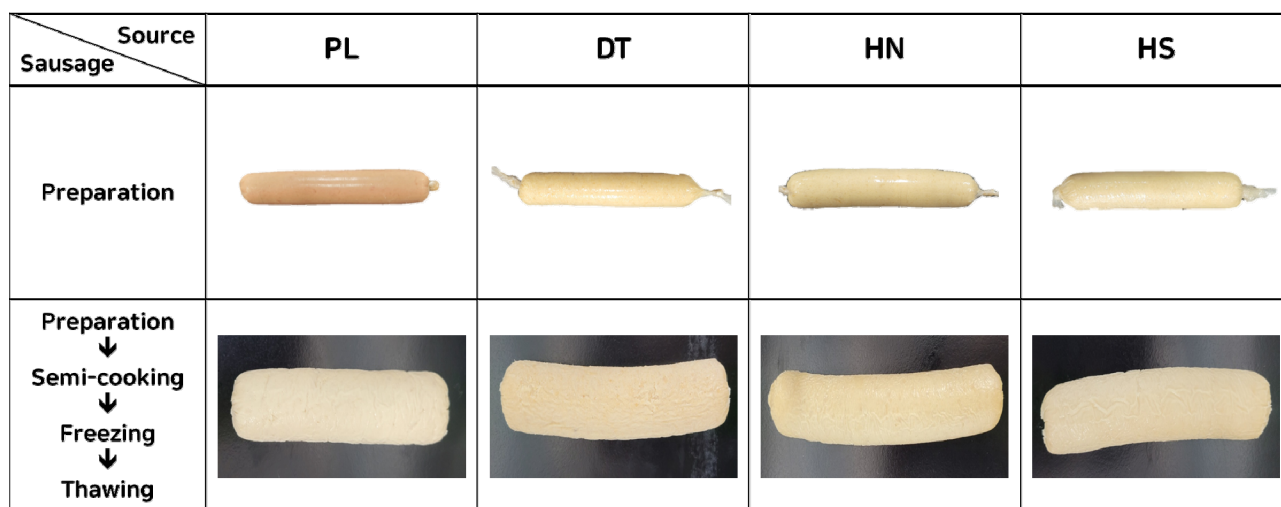


Fig. 3. Appearance of model sausages prepared using pork loin (PL), dry textured vegetable protein (DT), and high moisture meat analogues (HN & HS).

즉시 동결하여 냉동저장 및 부분 조리(semi-cooking)하여 동결하여 냉동저장한 후 해동한 때에도 모델 패티의 표면 갈라짐이나 원료육이 분리되는 등의 구조적 손상은 관찰되지 않았다. 모델 소시지의 경우(Fig. 3), 원료육과 식물성 바인더 혼합 배터(batter)는 소시지 충전기를 통해 소시지 케이싱에 균일하게 충전되었으며, 이를 부분 조리(삶기)하여 동결한 후 해동하여 케이싱을 제거한 때에도 케이싱이 원활히 벗겨졌으며 소시지 형태를 온전히 유지하였고 칼로 절단할 때에도 육류 소시지와 같이 매끈한 표면을 가지고 절단되었다. 따라서 본 연구에서 식물성 바인더를 이용하여 제조한 모델 패티와 모델 소시지는 취급 및 성형 시 수반될 수 있는 구조적 손상으로 인한 질감 특성의 왜곡에 대한 우려는 없는 것으로 판단된다.

모델 패티의 이수 및 조리손실

모델 패티는 제조 직후 즉시 동결하여 냉동저장하며 해동하여 조리하는 방식과 부분 조리하고 동결하여 냉동저장하며 해동하여 조리하는 상업적 햄버거 패티가 유통·소비되는 방식을 모방하였다. 모델 패티의 드립과 조리손실은 Table 1에 제시하였다. 냉동된 모델 패티의 드립은 해동에 따른 이수율로 나타내었다. 제조 직후 즉시 동결한 모델 패티는 해동 시 드립은 전혀 발생하지 않았다. 그러나 부분 조리하여 동결한 모델 패티는 0.3~0.6%의 이수율을 나타내었으나 미미한 수준이었다. 이러한 결과는 원료육 자체의 보수력보다 식물성 바인더의 높은 보수력으로 인한 것으로 생각된다(Bae et al., 2024). 본 연구에서 부분 조리 후 동결한 모델 패티는 해동하여 팬프라이(fan-frying)하여 완전히 조리하거나 찌기(steaming)를 이용해 부분 조리하고 동결한 후 팬프라이 하여 완전히 조리하였다. 햄버거 패티의 조리손실은 조리 시 육즙의 유출과

Table 1. Syneresis and cooking loss of model patties frozen without cooking and after semi-cooking

Source ¹⁾	Syneresis (%)		Cooking loss (%)	
	Frozen without cooking	Frozen after semi-cooking	Frozen without cooking	Frozen after semi-cooking
PL	–	0.3±0.1 ^b	7.1±0.8 ^a	3.3±1.2 ^a
DT	–	0.6±0.2 ^a	5.4±0.6 ^b	1.9±0.9 ^b
HN	–	0.5±0.1 ^a	6.9±0.9 ^a	2.8±0.4 ^a
HS	–	0.5±0.2 ^{ab}	7.3±0.8 ^a	2.7±0.8 ^{ab}

Mean values of 10–15 replicate measurements; values sharing the same lowercase letters within columns are not significantly different at $p < 0.05$.

¹⁾Model patties prepared using pork loin (PL), dry textured vegetable protein (DT), and high moisture meat analogues (HN & HS).

햄버거 패티에서 수분의 증발로 인한 감량 때문이다(Lee et al., 2005). 비조리 모델 패티의 경우 조리손실은 5.4~7.3%의 범위에 있었고, DT (5.4%) 모델 패티가 가장 적었고, PL (7.1%), HN (6.9%) 및 HS (7.3%) 모델 패티들은 유의적인 차이를 보이지 않았다. DT 모델 패티가 가장 적은 것은 DT의 다공성 구조로 인해 수분 보유력이 높았기 때문으로 생각된다. 한편 부분 조리 모델 패티의 경우 비조리 모델 패티의 조리손실과 같은 경향을 나타내었으나 전반적으로 낮은 수준이었다. 이는 부분 조리 모델 패티의 팬프라이 시간이 비조리 모델 패티의 것보다 적었기 때문으로 생각된다.

모델 패티의 질감 특성

해동하여 팬프라이한 비조리 및 부분 조리 모델 패티의 TPA 특성과 절단 경도를 Table 2에 나타내었다. 비조리 모델 패티의 경도와 gumminess는 HN>HS>PL>DT 순서로 높아졌고, springiness와

Table 2. Texture profile analysis (TPA) parameters and cutting strength of model patties frozen without cooking and after semi-cooking

Status	Source ¹⁾	TPA parameters					Cutting strength (N)
		Hardness (kN/m ²)	Springiness	Gumminess (N)	Chewiness (N)	Cohesiveness	
Frozen without cooking	PL	83.6±5.7 ^d	0.4±0.1 ^a	36.1±5.1 ^{bc}	13.4±3.4 ^{ab}	0.2±0.0 ^a	39.0±6.7 ^c
	DT	73.7±3.7 ^e	0.3±0.0 ^a	28.4±2.8 ^c	8.7±1.9 ^{bc}	0.2±0.0 ^a	60.2±4.5 ^b
	HN	165.1±8.0 ^a	0.3±0.1 ^a	55.0±9.0 ^a	17.2±4.8 ^a	0.1±0.0 ^a	79.9±5.0 ^a
	HS	121.2±9.7 ^b	0.2±0.0 ^{ab}	36.2±4.8 ^{bc}	8.7±1.4 ^{bc}	0.1±0.0 ^a	35.3±5.5 ^c
Frozen after semi-cooking	PL	56.5±3.1 ^f	0.4±0.0 ^a	30.9±3.6 ^c	10.9±1.5 ^b	0.2±0.0 ^a	12.9±1.4 ^e
	DT	65.3±3.6 ^{ef}	0.3±0.0 ^a	30.3±3.4 ^c	9.2±1.1 ^{bc}	0.2±0.0 ^a	21.5±3.1 ^d
	HN	121.9±7.7 ^b	0.3±0.0 ^a	41.7±3.8 ^b	11.2±2.0 ^b	0.1±0.0 ^a	17.9±1.5 ^d
	HS	99.1±3.5 ^c	0.3±0.1 ^a	38.6±4.0 ^{bc}	10.2±4.0 ^b	0.1±0.1 ^a	15.8±3.2 ^{de}

Mean values of 10-15 replicate measurements; values sharing the same lowercase letters within columns are not significantly different at $p < 0.05$.

¹⁾Model patties prepared using pork loin (PL), dry textured vegetable protein (DT), and high moisture meat analogues (HN & HS).

cohesiveness는 각각 0.2~0.4와 0.1~0.2의 범위로 모델 패티 사이에 유의적이지 않으며, chewiness는 HN>PL>HS=DT의 순서로 높아졌다. 부분 조리 모델 패티의 경도는 HN>HS>DT>PL 순서로 높아졌고, gumminess는 HN>HS>PL=DT 순서로 높아졌으나 HN, PL과 DT 사이에 유의적이지 않았으며, chewiness는 9.2~11.2 N의 범위로 모델 패티들 사이에 유의적이지 않았다. Springiness와 cohesiveness는 비조리 모델 패티와 유사한 수준으로 원료에 따른 유의성이 없었다. 전반적으로 경도와 gumminess는 부분 조리 모델 패티가 비조리한 것보다 낮은 수준이었다. 이는 부분 조리 모델 패티의 적은 팬프라이 시간으로 수용성 성분의 유출 및 수분의 증발이 적어(적은 조리 손실) 비조리한 것보다 부드러운 질감을 나타낸 것으로 생각된다. 게다가 비조리 및 부분 조리 모델 패티의 경도는 HN 및 HS가 PL 및 DT보다 높았다. Choi et al. (2024a, b)과 Choi et al. (2025a, b)는 HM-TVP의 조직화 지수는 경도와 명백하게 높은 양의 상관성을, gumminess와는 대체로 양의 상관성을 가진다고 보고하였다. 따라서 HN 및 HS의 모델 패티의 높은 경도는 이들 원료인 HM-TVP의 높은 조직화 특성, 즉 잘 발달한 섬유상 구조와 이의 계층 구조가 민찌기로 다진 후에도 여전히 유지되고 있기 때문으로 생각된다. 이러한 설명은 모델 패티의 절단 경도에 의해 확인될 수 있다. 섬유상 구조를 보유하지만 풍부한 다공성 구조로 인해 계층 구조가 존재하지 않는 DT를 제외하고, 비조리 및 부분 조리 모델 패티에 있어 HN이 HS보다 높은 절단 경도를 나타내었고, 이들 HM-TVP의 조직화 지수와 유사한 경향을 보였다. 결과적으로 원료육의 조직화 정도는 식물성 대체육 제품의 질감에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

모델 소시지의 이수를 및 조리손실

냉동된 부분 조리 모델 소시지의 해동에 따른 이수를을 결정할 수 없었다. 이는 모델 소시지가 팬프라이 전까지 셀룰로스 케이싱에

둘러싸여 있어 해동 시 발생할 수 있는 이수를 억제하였기 때문으로 생각된다. 냉동된 부분 조리 모델 소시지의 해동 후 조리에 따른 조리손실을 Table 3에 제시하였다. 해동한 부분 조리 모델 소시지를 3분간 추가로 끓는 물에 삶았을 때, 조리손실은 발생하지 않았다. 이러한 결과는 삶을 때 모델 소시지의 셀룰로스 케이싱을 제거하지 않았고 모델 소시지가 끓는 물에 담가져 있어 모델 소시지로부터 수용성 성분 및 수분이 셀룰로스 케이싱 밖으로 유출되지 않았기 때문인 것 같다. 그러나 팬프라이의 경우, 조리손실은 DT>HS>PL>HN의 순서로 증가하였고, DT와 HN의 유의적인 차이를 나타내었다. 이는 해동한 모델 소시지는 셀룰로스 케이싱을 제거한 후 조리하였기 때문에 조리 중 모델 소시지로부터 수용성 성분의 유출 및 수분의 증발로 인해 조리된 모델 소시지의 중량이 감소한 결과로 생각된다(Lee et al., 2005). 또한 DT가 가장 높은 조리손실을 보인 것은 다공성 구조로 인해 다른 원료들(PL, HN 및 HS)보다 가열에 따른 수분의 유출 및 증발이 쉬웠기 때문으로 보인다.

모델 소시지의 질감 특성

모델 소시지의 TPA 특성과 절단 경도는 Table 4와 5에 제시하였다. 원료육과 식물성 바인더의 혼합 반죽을 셀룰로스 케이싱에 충전

Table 3. Cooking loss of frozen model sausages cooked by boiling and fan-frying after thawing

Source ¹⁾	Boiling	Fan-frying
PL	–	6.0±0.7 ^{ab}
DT	–	7.0±0.2 ^a
HN	–	5.4±0.3 ^b
HS	–	6.5±0.2 ^{ab}

Mean values of 10-15 replicate measurements; values sharing the same lowercase letters within columns are not significantly different at $p < 0.05$.

¹⁾Model patties prepared using pork loin (PL), dry textured vegetable protein (DT), and high moisture meat analogues (HN & HS).

Table 4. Texture profile analysis (TPA) parameters and cutting strength of model sausages cooked by boiling for 10 min and by fan-frying for 3 min after partial boiling for 7 min

Cooking method	Source ¹⁾	TPA parameters					Cutting strength (N)
		Hardness (kN/m ²)	Springiness	Gumminess (N)	Chewiness (N)	Cohesiveness	
Boiling	PL	79.1±4.7 ^b	0.4±0.1 ^b	6.6±0.6 ^a	2.9±0.3 ^{bc}	0.2±0.0 ^a	11.0±1.1 ^b
	DT	54.2±2.6 ^d	0.4±0.1 ^b	3.2±0.2 ^b	1.2±0.4 ^{cd}	0.2±0.0 ^a	6.9±0.9 ^c
	HN	113.2±5.7 ^a	0.4±0.1 ^b	6.4±1.2 ^a	2.4±0.4 ^{bc}	0.1±0.0 ^a	12.9±1.6 ^b
	HS	66.6±3.4 ^c	0.4±0.1 ^b	3.8±0.4 ^b	1.4±0.2 ^{cd}	0.1±0.0 ^a	7.9±0.5 ^c
Fan-frying after partial boiling	PL	88.7±6.2 ^b	0.5±0.1 ^{ab}	7.2±0.8 ^a	3.9±0.8 ^b	0.2±0.0 ^a	23.2±3.6 ^a
	DT	63.1±6.2 ^c	0.8±0.3 ^a	3.5±0.5 ^b	2.8±1.2 ^{bc}	0.1±0.0 ^a	25.9±2.3 ^a
	HN	123.9±10.1 ^a	0.8±0.4 ^a	7.7±2.3 ^a	5.6±2.4 ^a	0.2±0.1 ^a	23.4±1.8 ^a
	HS	65.5±6.5 ^c	0.5±0.1 ^{ab}	3.4±0.4 ^b	1.9±0.2 ^{cd}	0.1±0.0 ^a	14.3±3.1 ^b

Mean values of 10-15 replicate measurements; values sharing the same lowercase letters within columns are not significantly different at $p < 0.05$.

¹⁾Model patties prepared using pork loin (PL), dry textured vegetable protein (DT), and high moisture meat analogues (HN & HS).

Table 5. Texture profile analysis (TPA) parameters and cutting strength of frozen model sausages cooked by boiling and fan-frying after thawing

Cooking method	Source ¹⁾	TPA parameters					Cutting strength (N)
		Hardness (kN/m ²)	Springiness	Gumminess (N)	Chewiness (N)	Cohesiveness	
Boiling	PL	75.0±4.3 ^c	0.4±0.0 ^b	7.1±0.7 ^a	3.0±0.6 ^b	0.2±0.0 ^a	11.6±1.5 ^c
	DT	42.0±5.3 ^e	0.3±0.0 ^{bc}	2.6±0.5 ^d	0.7±0.2 ^c	0.2±0.1 ^a	6.0±0.5 ^e
	HN	70.5±6.0 ^c	0.2±0.0 ^c	4.3±0.5 ^c	1.1±0.2 ^c	0.2±0.0 ^a	8.8±0.5 ^d
	HS	58.8±3.1 ^d	0.2±0.0 ^c	3.9±0.2 ^c	1.0±0.1 ^c	0.2±0.0 ^a	7.0±0.5 ^e
Fan-frying	PL	101.9±9.2 ^b	1.0±0.2 ^a	7.6±1.0 ^a	7.3±1.2 ^a	0.2±0.0 ^a	27.7±3.6 ^{ab}
	DT	88.4±3.1 ^{bc}	1.7±0.7 ^a	4.3±0.5 ^c	7.2±2.9 ^a	0.1±0.0 ^{ab}	35.2±4.1 ^a
	HN	129.0±12.0 ^a	1.5±0.3 ^a	5.8±0.8 ^b	8.5±1.9 ^a	0.1±0.0 ^{ab}	25.3±3.8 ^b
	HS	80.7±11.7 ^{bc}	1.3±0.7 ^a	3.7±0.5 ^c	5.0±3.1 ^{ab}	0.1±0.0 ^{ab}	33.4±2.7 ^a

Mean values of 10-15 replicate measurements; values sharing the same lowercase letters within columns are not significantly different at $p < 0.05$.

¹⁾Model patties prepared using pork loin (PL), dry textured vegetable protein (DT), and high moisture meat analogues (HN & HS).

직후 조리방법(삶기 및 삶아 부분조리 후 팬프라이)에 따라 완전 조리하여 TPA 특성과 절단경도를 분석하였다(Table 4). 삶은 모델 소시지의 경우, 경도와 절단경도는 HN>PL>HS>DT 순서로 증가하였다. Gumminess 및 chewiness는 PL>HN>HS>DT 순서로 증가하였으나, PL과 HN 및 HS와 DT는 각각 유의적인 차이를 보이지 않았다. Springiness는 원료육에 상관없이 0.4를, cohesiveness는 0.1~0.2의 범위로 유의적이지 않았다. 한편 삶기 방식으로 부분 조리 후 팬프라이하여 완성한 모델 소시지의 경우, 경도는 HN>PL>HS>DT 순서로, gumminess는 HN>PL>HS>DT 순서로, chewiness는 HN>PL>DT>HS 순서로, 절단경도는 DT>HN>PL>HS 순서로 증가하였고, springiness는 0.5~0.8의 범위로, cohesiveness는 0.1~0.2의 범위로 삶아 완전 조리한 것처럼 원료육에 따라 유의적이지 않았다. 전반적으로 삶아 부분 조리 후 냉동저장하다 해동하여 팬프라이로 완전 조리한 모델 소시지가 삶아서 완전 조리한 것보다 모든 TPA 특성 값과 절단 경도가 높은 수준이었다. 이는 팬프라이로 인해 수용성 성분의 유출과 수분의 증발로 인한 결과인 것으로 생각된다(Lee et

al., 2005). 또한 가장 높은 조직화 지수를 보유한 HN으로 제조한 모델 소시지의 경도는 PL보다 높은 수준을 보였으나, 절단 경도는 유사한 수준이었다.

한편 삶아서 부분 조리한 후 냉동저장하다 해동하여 삶기 및 팬프라이로 완전 조리한 모델 소시지의 TPA 특성과 절단 경도는 Table 5에 제시하였다. 삶아서 완전 조리한 경우, 경도는 PL>HN>HS>DT 순서로, springiness는 PL>DT>HN>HS 순서로, gumminess는 PL>HN>HS>DT 순서로, chewiness는 PL>HN>HS>DT 순서로, 절단 경도는 PL>HN>HS>DT 순서로 증가하였고, cohesiveness는 원료육에 관계없이 0.2로 일정하였다. 팬프라이로 완전 조리한 경우, 경도는 HN>PL>DT>HS 순서로, springiness는 DT>HN>HS>PL 순서로, gumminess는 PL>HN>DT>HS 순서로, chewiness는 HN>PL>DT>HS 순서로, 절단 경도는 DT>HS>PL>HN 순서로 증가하였고, cohesiveness는 0.1~0.2의 범위로 유의적이지 않았다. 전체적으로 팬프라이한 모델 소시지가 삶은 것보다 TPA 특성 값과 절단 경도에서 높은 수준이었다. 또한 완전 조리한 모델 소시지와 같이 HN을 이용한 모

텔 소시지가 PL의 것과 유사한 질감 특성을 나타내었다.

요약

본 연구는 HM-TVP가 식물성 대체육 제품의 질감에 미치는 영향을 조사하기 위하여 돼지고기 등심(PL), 건식조식식물단백(DT) 및 HM-TVP를 이용하여 모델 패티와 모델 소시지를 식물성 바인더와 혼합하여 제조하였고, 이의 TPA 특성과 절단경도를 조사하여 비교하였다. 본 연구에서는 식물단백질 원료가 다른 2종의 HM-TVP (HN 및 HS)를 사용하였다. 원료육의 조직화 지수는 $HN > HS > \text{삶은 PL} > \text{PL} = \text{팬프라이}$ 인 PL의 순서로 높았다. 모델 패티의 경우, 부분 조리한 후 냉동하였을 때 해동 시 미미한 수준으로 발생하였다. 그러나 부분 조리한 후 냉동한 모델 패티는 팬프라이 시 조리손실이 비조리 후 냉동한 모델 패티보다 낮은 수준을 나타내었다. HN과 HS를 이용한 모델 패티의 질감은 PL을 이용한 것보다 더욱 단단한 수준이었다. 한편 모델 소시지의 경우, 부분 조리 후 냉동한 모델 소시지를 삶아서 완전 조리할 때는 조리손실이 발생하지 않았으나, 팬프라이하여 완전 조리 시에는 유의미한 수준의 조리손실이 발생하였다. 그럼에도 모델 소시지의 질감은 HN을 이용할 때가 PL을 이용한 모델 소시지의 질감에 더욱 유사한 수준을 나타내었다. 전반적으로 HM-TVP는 햄버거 패티 형태의 식물성 대체육 제품보다는 소시지 형태의 것에 적용하는 것이 질감적인 측면에서 더욱 적합한 것 같다.

ORCID

Eun Seok Moon	http://orcid.org/0009-0006-6441-7392
Chaemin Jang	http://orcid.org/0009-0004-1034-8999
Jungae Lee	http://orcid.org/0009-0005-4919-5974
Hyunwoo Lee	http://orcid.org/0009-0002-6798-9362
Chaejin Lee	http://orcid.org/0009-0007-2414-4972
Hyun-Seok Kim	http://orcid.org/0000-0002-2188-4058

Conflict of interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

This work was supported by the Technology Development Program (Project No.: S3378405) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS), Korea. Also, this research was supported by Korea Basic Science Institute (National Research Facilities and Equipment Center) grant funded by the Ministry of Education (No. RS-2023-NF001356).

Data availability

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authorship contribution statement

Conceptualization: Kim HS.

Data curation: Lee H, Lee C, Kim HS.

Formal analysis: Lee C.

Methodology: Moon ES, Jang C, Lee C.

Validation: Lee H, Kim HS.

Investigation: Lee J, Lee H.

Writing - original draft: Kim HS.

Writing - review & editing: Moon ES, Jang C, Lee J, Lee H, Lee C, Kim HS.

Ethics approval

Not applicable.

References

- An DH. 2019. Development and change of alternative meat. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 24: 1-6.
- Bae SY, Yang SH, Kim HS. 2024. Impact of faba bean protein concentrate-anionic gum mixture on the binding of textured vegetable protein. Food Eng. Prog. 28: 243-254.
- Cho CJ, Lim HW, Kim BS, Jung HW, Park SK. 2022. Current status of research and market in alternative protein. Food Life. 2022: 9-18.
- Choi HW, Choi M, Hahn J, Choi YJ. 2024a. The technical potential of a sous-vide processing method for developing high-moisture textured soy protein. Food Chem. 430: 136978.
- Choi HW, Choi M, Ryoo C, Hahn J, Choi YJ. 2024b. Viscometry-based prediction of structural properties of high-moisture meat analogues using gelation properties of soy and pea isolate blends. Food Hydrocoll. 151: 109870.
- Choi HW, Hahn J, Kim HS, Choi YJ. 2025a. Thermorheological properties and structural characteristics of soy and pumpkin seed protein blends for high-moisture meat analogs. Food Chem. 464: 141768.
- Choi HW, Hahn J, Kim HS, Choi YJ. 2025b. Microstructural and textural characteristics of blend gels and high-moisture meat analogs of soy protein isolate and faba bean protein con-

- centrate. Food Chem. 467: 142184.
- Choi HW, Hahn J, Kim HS, Choi YJ. 2025c. The influence of cooling die temperature gradients on the texture of high-moisture meat analogs. Food Chem. 468: 142403.
- Dekkers BL, Boom RM, van der Goot AJ. 2018. Structuring processes for meat analogues. Trends Food Sci. Technol. 81: 25-36.
- Hoek AC, Luning PA, Weijzen P, Engels W, Kok FJ, De Graaf C. 2011. Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person- and product-related factors in consumer acceptance. Appetite. 56: 662-673.
- Kim H. 2018. Effect of Duduk (*Codonopsis lanceolata* Radix) on the quality of beef hamburger patties. Korean J. Community Living Sci. 29: 507-519.
- Köllmann N, Schreuders FK, Zhang L, van der Goot AJ. 2023. On the importance of cooling in structuring processes for meat analogues. J. Food Eng. 350: 111490.
- Kwon TE, Kim YH. 2019. Food technology trends with alternative proteins. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 24: 7-14.
- Lee CH, Ha JS, Jeong JY, Lee ES, Choi JH, Choi YS, Kim JM, Kim CJ. 2005. Effects of cooking method on physicochemical characteristics and qualities of hamburger patties. Korean J. Food Sci. Anim. Resour. 25: 149-155.
- Lee HJ, Jo CH. 2019. Trends in the development of alternative meat in the world. World Agric. 223: 51-67.
- Lee JS, Choi I, Han J. 2022. Construction of rice protein-based meat analogues by extruding process: Effect of substitution of soy protein with rice protein on dynamic energy, appearance, physicochemical, and textural properties of meat analogues. Food Res. Int. 161: 111840.
- Lee JS, Kim S, Jeong YJ, Choi I, Han J. 2023. Impact of interactions between soy and pea proteins on quality characteristics of high-moisture meat analogues prepared via extrusion cooking process. Food Hydrocoll. 139: 108567.
- Malek L, Umberger WJ, Goddard E. 2019. Committed vs. uncommitted meat eaters: Understanding willingness to change protein consumption. Appetite. 138: 115-126.
- Mattice KD, Marangoni AG. 2020. Comparing methods to produce fibrous material from zein. Food Res. Int. 128: 10884.
- Park SK. 2021. Current status of technologies for producing protein alternative foods. Food Sci. Anim. Resour. 10: 4-15.
- Qiu Y, McClements DJ, Chen J, Li C, Liu C, Dai T. 2023. Construction of 3D printed meat analogs from plant-based proteins: improving the printing performance of soy protein- and gluten-based pastes facilitated by rice protein. Food Res. Int. 167: 112635.
- You GY, Yong HI, Yu MH, Jeon KH. 2020. Development of meat analogues using vegetable protein: A review. Korean J. Food Sci Technol. 52: 167-171.
- Zhang Q, Jiang L, Sui X. 2023. Incorporating chitin nanocrystal yields stronger soy protein gel: Insights into linear and non-linear rheological behaviors by oscillatory shear tests. Food Hydrocoll. 135: 108177.