

식물성 버거 패티의 제조를 위한 압출성형 건식과 습식 대체육의 품질 특성 비교

조선영 · 류기형*

공주대학교 식품공학과, 식품 및 사료 압출성형 센터

Quality Comparison of Low- and High-Moisture Meat Analog Used in Plant-Based Burger Patty

Sun Young Cho and Gi-Hyung Ryu*

Department of Food Science and Technology, Food and Feed Extrusion Research Center, Kongju National University

Abstract

This study aims to investigate the physicochemical properties of meat analogs by using high and low moisture extrusion processes to create a plant-based analog burger patty material. The isolated soy protein blends of low- and high-meat analogs (LMMA and HMMA) were texturized using the twin-screw extruder equipped with a cooling die. The highest hardness, cohesiveness, chewiness, and cutting strength were observed in beef, but the highest stringiness was indicated in HMMA. The highest integrity index was seen in beef, while LMMA had the highest nitrogen solubility index (NSI). LMMA also had the highest water holding capacity (WHC) and water absorption capacity (WAC), whereas beef had the highest oil absorption capacity (OAC). LMMA had the highest emulsifying activity (EA) and emulsion stability (ES) in emulsifying properties. Further, the highest protein digestibility was revealed in LMMA. This study suggested that extrusion process types influence the quality of meat analog, which could be the elementary source for manufacturing the analog burger patty.

Keywords: high moisture extrusion, low moisture extrusion, meat analog, burger patty, isolated soy protein

서 론

높은 선호도를 지닌 대표적 패스트푸드인 햄버거의 구매 평가 기준은 맛과 가격, 크기 및 영양가 등으로, 이는 사용된 원료육의 품질에 크게 좌우된다(Lee et al., 2005). 햄버거 패티의 원료는 주로, 소고기 살코기를 다짐육 형태로 사용하며, 20% 내외의 지방을 원료육에 별도로 첨가한다(Koo et al., 2009). 이러한 원료의 선택과 구성은 조리 후 패티의 풍미뿐만 아니라, 조직감 및 다즙성과 관련된 가공적성에 영향을 주게 된다. 또한, 이와 함께 최근에는 육고기 패티에 첨가된 과도한 지방 및 식이섬유의 부족 등, 영양상 불균형의 개선 방안도 함께 고려되고 있다(Choi & Kim, 2014).

이에 미국의 거대 패스트푸드 체인인 맥도날드사의 저지방 패티를 사용한 햄버거 출시를 시작으로, 임파서블 버거나 비온드 미트의 대두와 완두 단백을 사용한 순식물성 버거 패티의

개발과 시장 확대를 위한 노력 등, 건강 기능적이면서 기존 햄버거의 풍미와 식감이 충족되는 제품에 대한 연구가 진행되어 왔다(Berry, 1993; Bohrer, 2019). 식물성 단백질을 원료로 한 비육단백질 제품인 대체육은 필수아미노산을 풍부하게 함유하고 있으며, 콜레스테롤이 낮고 동물성에는 없는 식이섬유 및 각종 생리활성 물질이 함유되어 있으며 동물성 단백질과 비교하여 가격이 저렴하다.

특히, 압출성형은 식물성 단백질에 기계적 열, 압력, 전단력을 가하여 고기와 같은 결을 가진 섬유상 조직으로 단시간에 사출이 가능한 고온단시간 공정기술로써, 압출성형 공정으로 제조된 대체육은 육고기에 비하여 보수력이 높고, 대두 특유의 이미취인 콩비린내가 최소화되는 장점을 지닌다(Samard et al., 2019). 압출성형 대체육의 주된 식물성 단백질 원료는 분리대두단백(isolated soy protein)으로 대두에 포함된 수용성 다당류와 올리고당이 모두 제거되어 90% 이상의 높은 단백질 함량을 지니고 있다. 이는 다른 식물성 단백질에 비하여 안정된 조직화와 높은 저장성으로 인하여 햄버거 패티 제조에 적합하다(Cho, 2021).

길이가 짧은 사출구를 사용하여 수분함량 30% 이하로 압출성형하는 건식의 경우, 일반 슬릿다이 slit-die를 사용하여 팽화로 인한 다공성의 조직을 지닌 대체육이 된다. Samard et al. (2021)은 압출성형 건식 공정으로 사출된 대체육 소재 순식물성 버거 패티는 소고기 패티보다 가열감량이 낮고, 수분 유지력이

*Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Food and Feed Extrusion Research Center, Kongju National University, Yesan, Choongnam 32439, Korea.
Tel: +82-10-8880-0906
E-mail: ghryu@kongju.ac.kr
Received May 14, 2022; revised June 29, 2022; accepted June 30, 2022

높아 패티로서의 가공적성이 우수하였다고 보고하였다. 또한, 길이가 긴 냉각 사출구를 사용하여 수분함량 50% 이상으로 압출성형하는 습식은 팽화를 억제하는 메커니즘으로 인하여, 고기와 유사하게 높은 수분함량을 지닌 섬유상 조직을 구현해 낼 수 있어 대체육의 생산에 주로 적용된다(Cho & Ryu, 2021a). 습식을 이용한 느타리버섯 첨가 대체육으로 제조된 버거 패티의 경우, 비온드 미트나 육고기 버거 패티 같은 상업용 패티보다 높은 가열수율 및 낮은 가열감량을 나타내어 햄버거 패티의 대체재로서의 가능성을 나타내었다(Cho, 2021).

현재, 압출성형 공정변수에 따른 대체육 버거 패티의 이화학적 특성(Samard et al., 2021), 압출성형 공정을 이용한 대체육 버거 패티의 느타리버섯 첨가함량에 따른 품질 특성(Cho, 2021)에서 순식물성 버거 패티의 원료로 사용된 압출성형 대체육의 이화학적 특성에 대한 연구가 부분 진행되었으나, 패티의 소재가 되는 대체육의 조직화 공정인 건식과 습식에 대한 상이한 영향과 그 품질 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 고품질의 순식물성 버거 패티 제조를 위한 기초 연구로서, 패티의 소재가 되는 압출성형 건식과 습식 공정을 이용한 대체육의 이화학적 특성을 비교, 분석하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험은 원료로 분리대두단백(Pingdingshan Tianjing Plant Albumen Co., Ltd. Zhengzhou, China), 밀 글루텐(Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분(Samyang Co., Seoul, Korea)을 사용하였다. 대조군으로 사용한 소고기는 국내산 우육으로 우둔 부위를 마트에서 구입하여 사용하였다.

압출성형 공정

본 실험에 사용된 압출성형기는 실험용 동방향 쌍축압출성형

기(THK31T, Incheon Machinery Co. Incheon, Korea)로 스크루 직경은 30.0 mm, 길이와 직경의 비(L/D ratio)는 23:1이었다. 건식에 사용된 사출구는 길이가 약 4.97 cm, 높이가 0.45 cm 인 슬릿다이(slit die)로 단면은 Fig. 1(A)와 같다. 습식에는 가로 50 cm, 세로 7 cm의 크기를 지닌 직사각형 형태의 냉각다이(cooling die)를 사용하였으며 단면은 Fig. 1(B)에 나타내었다. 대체육의 원료는 분리대두단백 50%, 글루텐 40%, 옥수수 전분 10%를 실온에서 수작업으로 배합하여 건식과 습식 공정의 시료로 동일하게 사용하였다. 건식의 경우, 수분함량 35%, 스크루 속도 250 rpm, 사출구 온도 140°C로 하였으며, 습식은 수분함량 65%, 스크루 속도 150 rpm, 바렐 온도를 160°C로 하여 냉각다이를 통해 20°C로 사출하였다. 건식과 습식의 용융물의 온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였으며, 원료 사입량은 100 g/min로 고정하였다. 습식과 건식으로 사출된 시료는 지퍼백으로 밀봉하여 -20°C의 냉동고(FR-S690FXB, Klasse Auto Co., Ltd., Seoul, Korea)와 실온에서 각각 보관하였으며, 1.5 × 1.0 × 1.5 cm (W × H × D)의 크기로 잘라 물리적 특성을 측정하였다. 또한, 동결건조한 습식과 건식 대체육을 가정용 그라인더(FM-909T, Hanil, Seoul, Korea)로 분쇄한 50-70 mesh의 분말을 시료로 하여 화학적 특성을 측정하였다.

조직감

대체육의 조직감 분석(texture profile analysis)을 위한 건식 대체육은 90°C의 water bath에서 30분간 수화하였으며, 냉동된 습식 대체육은 실온에서 약 4시간 해동한 후 시료로 사용하였다. Sun Rheo-meter (Compac-100II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 Breene (1975)의 분석 방법에 따라, 모든 시료의 경도(hardness), 응집성(cohesiveness), 탄성(springiness), 씹힘성(chewiness)을 각 10회씩 측정하여 그 평균값을 산출하였다. 측정조건은 probe angle type (65°), 최대응력 10 kg, 지지대 이동 속도 100 mm/min, 지지대간의 거리 1.5 cm였다.

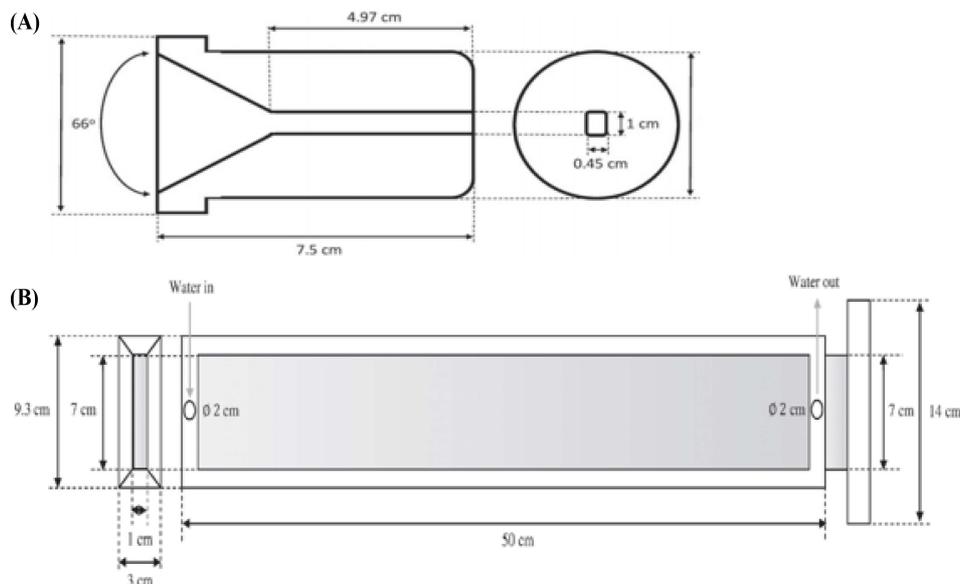


Fig. 1. Schematic diagram of short-slit die (A) and long-cooling die (B).

조직잔사지수

대체육의 조직화 정도를 평가하기 위해서 조직잔사지수(integrity index)를 Samard et al. (2019)의 방법을 응용하여 다음과 같이 측정하였다. 시료 5 g에 100 mL의 증류수를 섞은 후 80°C의 water bath에서 30분간 침지, 복원시킨 후 121°C로 15분간 가압 및 가열하여 흐르는 물에 냉각시켰다. 냉각된 시료에 증류수를 부어 100 mL로 정용하고 homogenizer로 14,450 rpm으로 1분간 균질화시킨 후 20 mesh의 체로 걸러내었다. 잔사는 흐르는 물로 30초간 씻어낸 후 105°C에서 3시간 건조 후, 건물량의 무게를 시료의 무게로 나눠주어 다음 식 (1)에 따라 산출하였다.

$$\text{Integrity index (\%)} = \frac{\text{dry residue weight}}{\text{sample weight}} \quad (1)$$

수용성질소지수

대체육 시료의 수용성질소지수(nitrogen solubility index, NSI)의 실험은 Daun & DeClercq (1994)의 방법을 사용하였다. 시료 1.5 g을 0.5%의 KOH 용액 75 mL에 넣고 30°C의 shaker (SI-300R, Jeiotech, Seoul, Korea)에 120 rpm으로 교반하였다. 그 중 50 mL를 취하여 3,000 rpm에서 20분 동안 원심분리한 후 0.5 mL의 상등액을 최종적으로 취하여 Ninhydrin 방법(Starcher, 2001)으로 수용성질소함량(soluble nitrogen content)을 측정하였다. 총 질소함량 값은 시료 1.5 g을 6 N의 염산 100°C에 24시간 동안 완전히 가수분해하여 75 mL의 증류수에 녹인 후 상등액 0.5 mL를 취하여 Ninhydrin 방법으로 측정하여 다음 식 (2)에 대입하였다.

$$\text{NSI (\%)} = \frac{\text{soluble nitrogen content}}{\text{total nitrogen content}} \times 100 \quad (2)$$

보수력

대체육의 보수력(water holding capacity)은 Lin et al. (2002)의 방법을 사용하였다. 시료 5 g에 100 mL의 증류수를 섞은 후, 50°C의 water bath에 12시간 동안 침지, 복원시키고 20 mesh체에 걸러서 5분 동안 수분을 배출하여 무게를 측정하고, 다음 식 (3)에 따라 산출하였다.

$$\text{Water holding capacity (\%)} = \frac{\text{wet sample weight} - \text{dry sample weight}}{\text{dry sample weight}} \quad (3)$$

수분흡수력과 유지흡수력

대체육 시료의 수분흡수력(water absorption capacity, WAC)과 유지흡수력(oil absorption capacity, OAC)은 Cha et al. (2020)의 방법을 이용하여 측정하였다. 수분흡수력 측정을 위해 시료 2 g에 증류수 20 mL를 혼합한 후, 30초 동안 voltex mixer (KMC-1300V, BioNex Solutions, Inc., San Jose, CA, USA)를 이용하여 교반하고 10분간 정지시키는 과정을 5번 반복하고, 4,000 rpm에서 20분간 원심분리하였다. 최종적으로, 상등액을 따라낸

상태에서 10분간 정지시킨 침전물의 증량을 측정하였으며, 또한, 식용유를 사용한 동일한 방법으로 침전물의 무게에서 시료의 무게를 나누어 수분흡수율 및 유지흡수율 값을 다음 식 (4), (5)와 같이 계산하여 평균값을 측정하였으며, 모든 실험의 횟수는 총 3회로 하였다.

$$\text{WAC (\%)} = \frac{\text{sample weight after water absorbing (g)}}{\text{sample weight (g)}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{OAC (\%)} = \frac{\text{sample weight after oil absorbing (g)}}{\text{sample weight (g)}} \times 100 \quad (5)$$

유화활성과 유화안정성

대체육 시료의 유화활성(emulsifying activity, EA)과 유화안정성(emulsifying stability, ES)은 Kim & Park (1995)의 방법에 따라 측정하였다. 시료 0.5 g에 증류수 5 mL를 가하여 균질기(IKA Co., Ltd., Staufen, Germany)를 사용하여 5,000 rpm에서 1분간 분산시킨 후, 식용유 5 mL를 다시 첨가하여 동일한 방법으로 분산시켜 혼합하였으며, 이때 형성된 혼합액을 이용하여 유화활성과 유화안정성을 측정하였다. 유화 활성은 1,600 rpm에서 5분간 원심분리하였으며, 유화안정성은 유화액을 80°C에서 30분간 가온한 후 냉각하여 1,600 rpm에서 5분간 원심분리하였다. 시험관 내 시료의 유화활성과 유화안정성은 Cha et al. (2020)의 공식을 따라 다음 식 (6), (7)와 같이 계산하여 평균값을 측정하였으며 모든 실험의 횟수는 총 3회로 하였다.

$$\text{Emulsifying activity (\%)} = \frac{\text{volume in emulsified layer (mL)}}{\text{sample volume (mL)}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Emulsion stability (\%)} = \frac{\text{volume in emulsified layer after boiling (mL)}}{\text{sample volume (mL)}} \times 100 \quad (7)$$

단백질 소화율

대체육 시료의 단백질 소화율(protein digestion index)은 Mertz et al. (1984)의 방법을 응용하여 사용하였으며, 총 단백질 함량은 시료 0.2 g을 취하여 가수분해 한 후, Ninhydrin 방법으로 측정하였다. 소화되지 않은 단백질 함량은 시료 0.2 g을 0.084 N의 염산을 가한 pepsin 용액에 넣고 37°C의 온도에서 120 rpm으로 교반한 후, 2 M의 NaOH 용액 2 mL를 가하여 3000 rpm으로 원심 분리된 상등액을 제거하고 그 잔사에 0.1 M의 potassium phosphate buffer를 넣어 다시, 원심분리하는 작업을 두 번 반복하였다. 남은 잔사는 30°C의 드라이 오븐에 넣고 완전히 건조시킨 후, Ninhydrin 방법으로 측정하여 다음 식 (8)에 대입하였다.

Protein digestibility (%)

$$= \frac{\text{total protein} - \text{undigested protein}}{\text{total protein}} \times 100 \quad (8)$$

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS (version 23.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 후 유의적 차이가 있는 항목에 대해서 $p < 0.05$ 수준에서 그 결과를 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결과 및 고찰

조직감

압출성형 건식과 습식공정을 이용한 대체육과 소고기의 조직감은 Table 1에 나타내었다. 소고기가 조직감 요인들인 경도, 응집성, 씹힘성과 절단 강도에서 가장 높은 값을 나타내었으며 (2628.03 ± 0.81 g, $89.28 \pm 0.98\%$, 3278.50 ± 0.85 g, 908.02 ± 1.95 g/cm²), 이는 소고기의 근육 단백질과 콜라겐, 함유된 지방질의 결합으로 인한 강한 전단력 때문인 것으로 생각된다(Samard & Ryu, 2019). 반면, 탄성에서는 HMMA가 $94.26 \pm 0.65\%$ 로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 HMMA 내부 조직화된 섬유질 층의 강한 복원력 때문인 것으로 생각되며, 압출성형 대체육 시료가 탄성에서 육고기 시료들보다 높은 값을 나타내었다는 Samard & Ryu (2019)의 보고와도 일치하였다. 또한, HMMA가

모든 조직감 요인들에서 LMMA보다 소고기와 근소한 수치를 나타내어, 보통, 원료육의 품질과 유사한 관계를 갖는 버거 패티로 제조 시에 LMMA보다 높은 조직감을 나타낼 것으로 생각된다(Cho, 2021).

압출성형 건식과 습식 대체육의 조직감과 관련된 내부 조직 구조를 살펴보기 위한 횡단면과 종단면 사진은 Fig. 2에 나타내었다. 건식 대체육의 횡단면에서 공기층(air cell)이 많은 다공성의 조직을 나타내었으며, 종단면 전체에 기공들이 넓고 고르게 분포된 것을 확인할 수 있다. 이는 건식의 경우, 냉각기능이 없는 길이가 짧은 사출구(short slit-die)를 사용하여 조직에 팽화가 일어나 밀도가 감소하였기 때문으로 생각된다. 반면, 습식 대체육의 종단면에서 섬유상 조직과 층구조가 나타났다. 습식은 수분함량의 증가로 인하여 발생하는 단백질 간의 상호작용이 증가되어 disulfide 결합, 수소 결합에 의한 가교결합이 강화되기 때문에 섬유상 조직화가 가능하다. 따라서, 건식에 비하여 실제 고기와 유사한 결조직을 지닌 습식 대체육이 소고기와 유사한 조직감을 나타내었다.

조직잔사지수와 수용성질소지수

압출성형 건식과 습식공정을 이용한 대체육과 소고기의 조직잔사지수는 Fig 3에 나타내었다. 조직잔사지수는 소고기가 $80.68 \pm 2.83\%$ 로 가장 높은 값을 나타내었으며, HMMA는 $63.79 \pm 1.83\%$, LMMA가 $35.61 \pm 0.93\%$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 압출성형 건식과 습식 공정으로 사출된 대체육 간 비교에서, HMMA가 LMMA보다 높은 조직잔사지수를 나타내

Table 1. Texture profile analysis and cutting strength of meat analogs and beef

Sample	Hardness (g)	Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting strength (g/cm ²)
LMMA	670.83 ± 2.14^c	60.26 ± 0.73^c	59.58 ± 1.25^c	747.07 ± 0.43^c	480.00 ± 0.13^c
HMMA	$2,057.40 \pm 0.43^b$	94.26 ± 0.65^a	78.49 ± 0.08^b	$2,258.05 \pm 1.85^b$	541.73 ± 0.94^b
Beef	$2,628.03 \pm 0.81^a$	72.80 ± 0.42^b	89.28 ± 0.93^a	$3,278.50 \pm 0.85^a$	908.02 ± 1.95^a

All values are mean \pm standard deviations of three replicates.

Means followed by the same letter in the same column are not significantly different at $p < 0.05$

HMMA: high moisture meat analog; LMMA: low moisture meat analog.

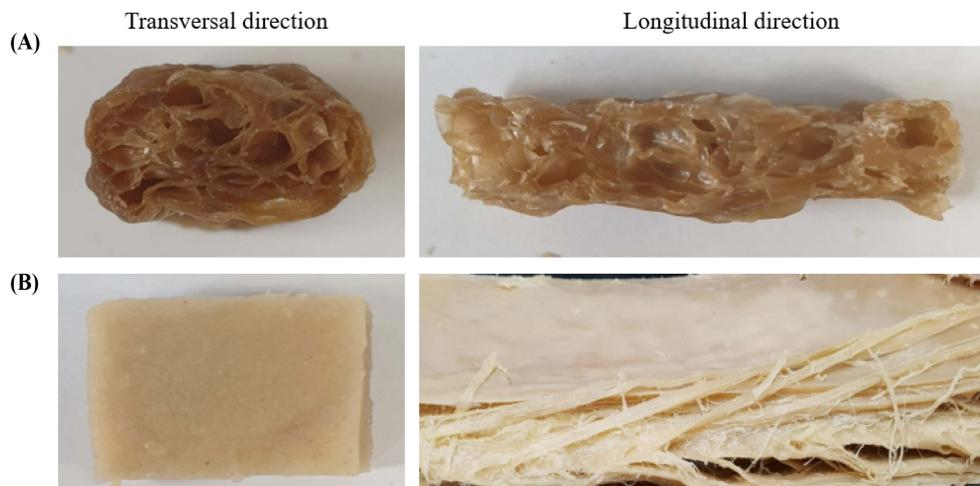


Fig. 2. Photographs of low moisture meat analog (A) and high moisture meat analog (B).

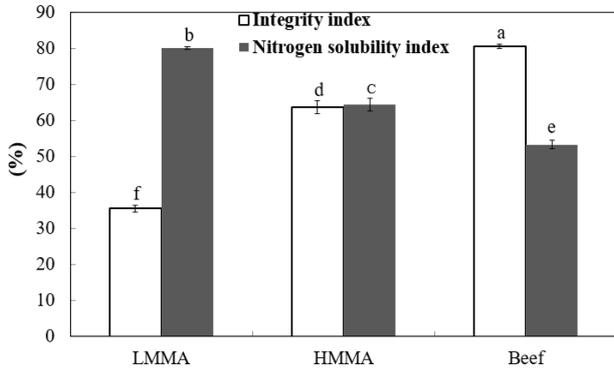


Fig. 3. Comparison on Integrity index and nitrogen solubility index of meat analogs and beef. LMMA: low moisture meat analog; HMMA: high moisture meat analog. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

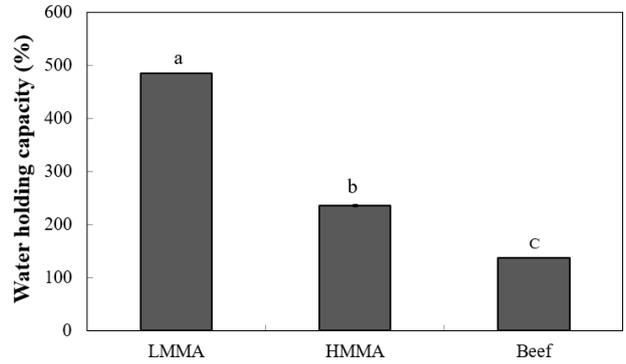


Fig. 4. Water holding capacity of meat analogs and beef. LMMA: low moisture meat analog; HMMA: high moisture meat analog. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

었다는 Samard et al. (2019)의 보고와도 일치하였다. 또한, 소고기의 조직잔사지수가 가장 높은 것은, 응집성과 절단강도가 상대적으로 높은 소고기의 내부 조직의 결착 정도가 대체육에 비하여 견고하기 때문인 것으로 생각된다. 반면, 수용성질수지수에서는 LMMA가 $80.22 \pm 1.28\%$ 로 가장 값이 높았고, 소고기가 $53.42 \pm 0.46\%$ 로 가장 값이 낮아 조직잔사지수와 반비례하였다. 이는 전단력과 응집성이 낮은 LMMA의 조직 분산 정도가 상대적으로 높아, 물에 용해되는 단백질의 농도도 높기 때문인 것으로 생각되며, 대체육과 육고기 시료들의 경우, 조직잔사지수와 수용성질수지수 사이에 역상관계가 성립한다는 Samard & Ryu (2019)의 보고와도 일치하였다. 조직잔사지수에서 LMMA보다 높은 값을 나타낸 HMMA로 제조된 패티는 팬에서의 강한 조리 후, 형태와 조직감 유지면에서 소고기 패티와 좀 더 유사할 것으로 생각된다.

보수력

보수력은 조직잔사지수와 함께 수화시킨 압출성형 시료의 조직화 특성을 나타내주는 인자 중 하나로, 유입되는 수분이 육단백질에 결합되는 정도에 따라 그 품질이 결정된다(Cho, 2021).

대체육과 소고기의 보수력은 $458.03 \pm 1.10\%$ 로 LMMA가 가장 높은 값을 나타내었고, 소고기가 $137.48 \pm 1.15\%$ 로 가장 낮은 값을 나타내어 응집성(Table 1), 조직잔사지수(Fig. 3)와 상반된 패턴을 나타내었다(Fig. 4). 또한, 조직감에서 LMMA보다 높은 수치를 나타낸 HMMA가 LMMA보다 보수력이 낮아 소고기와 근소한 값을 나타내었다. 보수력은 주로 내부 섬유 조직층의 조밀성에 영향을 받는데, 소고기의 경우, 근원섬유와 연결 조직 간의 강한 전단력으로 인해 응집성과 견고성이 높아 수분의 보유공간이 대체육보다 비교적 작기 때문에 보수력 값이 낮게 나타난 것으로 생각된다(Lin et al., 2002; Köhn et al., 2015). 또한, 가공공정에서 원료의 보수력이 높을수록 패티의 가열수율이 향상되어 육즙이 증가하기 때문에, 대체육으로 제조된 버거 패티는 다즙성면에서 우수할 것으로 생각된다(Cho, 2021).

수분흡수력과 유지흡수력

수분흡수력은 단백질 분자의 구조적 특성, 단백질 분자 내 아

미노산의 친수성 및 소수성의 균형 이외에 다양한 매개변수에 영향을 받으며, 유지흡수력은 농축단백 내에 소수성, 비공유결합과 같은 단백질 분자와 지질의 상호작용에 영향을 받는다(Cha et al., 2020).

건식과 습식 공정을 이용한 대체육과 소고기의 수분흡수력과 유지흡수력은 Fig. 5에 나타내었다. 수분흡수력은 LMMA가 $426.75 \pm 0.08\%$ 로 가장 높은 값을 나타내었고, 소고기가 $229.97 \pm 1.29\%$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 LMMA의 수분 용해도가 높고, 팽화로 인한 단백질 분자 간 밀도의 감소로 인하여 수분 보유공간이 상대적으로 크기 때문에 높은 수분흡수력을 나타낸 것으로 생각된다. 반면, 유지흡수력과 수분흡수력 값은 반대의 패턴을 나타내어, 소고기의 유지흡수력이 $172.59 \pm 1.68\%$ 로 가장 값이 높았으며, LMMA가 $108.63 \pm 0.08\%$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 지방 함량이 높은 소고기의 단백질 분자 간 지질과의 상호작용이 강하기 때문인 것으로 생각되며, 소고기는 친유성 아미노산 함량이 높고, 식물성 대체육인 LMMA와 HMMA 경우, 친수성 아미노산 함량이 상대적으로 높아, 버거 패티로 제조 시에 향미 증진을 위해 첨가되는 소스의 흡수율이 더 높을 것으로 생각된다(Samard & Ryu, 2019).

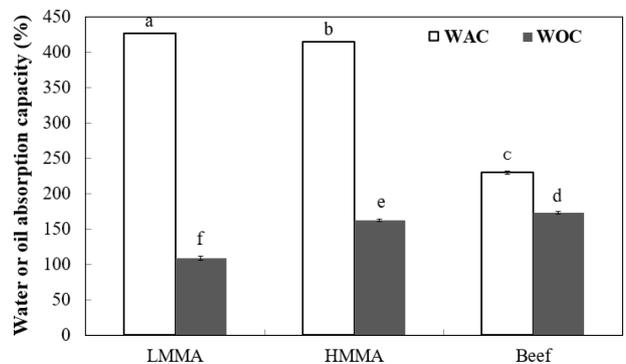


Fig. 5. Comparison on water absorption capacity and oil absorption capacity of meat analogs and beef. LMMA: low moisture meat analog; HMMA: high moisture meat analog. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

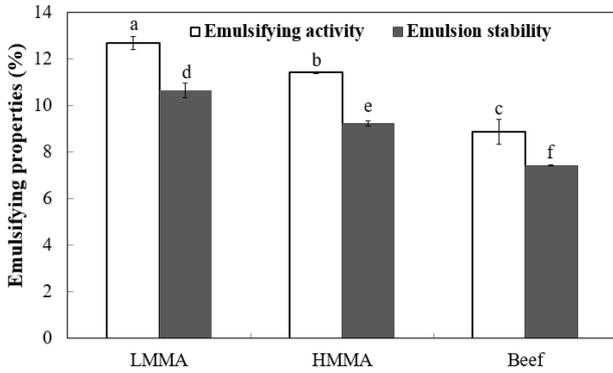


Fig. 6. Comparison on emulsifying activity and emulsion stability of meat analogs and beef. LMMA: low moisture meat analog; HMMA: high moisture meat analog. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

유화활성과 유화안정성

단백질은 천연계에 존재하는 천연유화제로서 유화과정에서 물과 기름의 계면 장력을 낮추어 유화액 형성을 용이하게 하고, 형성된 유화액을 안정화시키는 역할을 한다(Cha et al., 2020).

건식 및 습식 대체육과 소고기 시료의 유화 특성을 측정하기 위한 두 가지 지표인 유화활성과 유화안정성 값은 Fig. 6에 나타내었다. 유화활성과 유화안정성 모두, LMMA가 각각, $12.69 \pm 0.27\%$, $10.65 \pm 0.31\%$ 로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 뒤를 HMMA가 $11.42 \pm 0.05\%$, $9.23 \pm 0.10\%$, 소고기가 $8.88 \pm 0.54\%$, $7.43 \pm 0.01\%$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 소고기가 정제 단백질 소재로 제조된 대체육에 비하여 상대적으로 단백질 함량 적기 때문에 유화 점도가 떨어져 낮은 유화활성과 안정성을 나타낸 것으로 생각되며, 이는 대두단백의 단백질 농도가 증가할수록 유지의 입도가 감소하고 유화점도가 증가하여 유화안정성이 증가하였다는 Hwang et al. (1992)의 보고와도 일치하였다. 또한, 유화활성과 안정성에서 높은 값을 나타낸 LMMA의 경우, 단백질 분자가 유지와의 강한 상호작용을 통해 단백질 막을 견고하게 형성하여 응고나 침전이 적기 때문에 셀러드 드레싱 및 식물성 소시지나 패티의 제조에 적합한 소재로 생각된다(Samard & Ryu, 2019).

단백질 소화율

단백질 소화율은 인체에서 배설되지 않고 흡수되는 단백질의 양을 측정하는 실험으로 원료의 영양학적 가치를 결정하는 필수적인 자료로 활용된다(Cho & Ryu, 2021b).

건식과 습식 공정을 이용한 대체육 시료와, 소고기의 단백질 소화율은 LMMA가 $89.75 \pm 0.28\%$ 로 가장 값이 높았고, 소고기가 $59.01 \pm 0.98\%$ 로 가장 낮은 값을 나타내어 수용성질소지수와 비례하였으며(Fig. 7), 이는 LMMA의 조직잔사지수가 낮고 분산성이 높아 펩신에 용해되는 단백질의 농도도 증가하였기 때문으로 생각된다. 또한, LMMA의 단백질 소화율이 HMMA보다 높은 것은, 고수분 압출성형으로 구조가 섬유상 조직화된 HMMA보다 기공이 많은 조직으로 물에서의 해리 정도가 크기 때문으로 생각된다. 이는 체외 실험(in vitro)으로 실시된 대체육의 단백질 소화율은 보통, 조직감과 반의 상관관계를 가진다는 Cho (2021)의 보고와도 일치하였다. 또한, LMMA와 HMMA의 단백

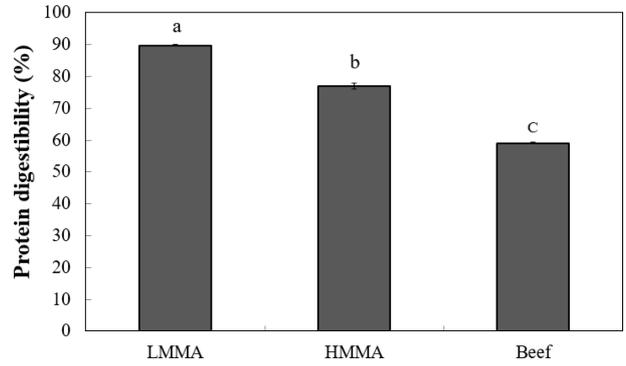


Fig. 7. Protein digestibility of meat analogs and beef. LMMA: low moisture meat analog; HMMA: high moisture meat analog. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

질 소화율이 소고기보다 높은 것으로 보아, 식물성 대체육으로 제조된 버거 패티는 단백질 영양성면에서 가공 우육보다 우수한 것으로 생각된다.

요 약

우수한 가공적성과 영양성을 지닌 버거 패티의 제조를 위한 소재로 사용되는, 압출성형 건식과 습식 공정을 이용한 대체육의 이화학적 특성에 대하여 살펴보았다. 경도, 응집성, 씹힘성과 절단강도에서 소고기가 가장 높은 값을 나타내었으며, 탄성에서는 HMMA가 가장 높은 값을 나타내었다. 조직잔사지수에서는 LMMA가 가장 값이 낮았고, 수용성질소지수에서는 가장 값이 높아, 두 지수는 반비례 하였다. 보수력과 수분흡수력에서도 LMMA가 가장 높은 값을 나타내었으며, 유분흡수력에서는 소고기가 가장 높은 값을 나타내었다. 유화활성 및 유화안정성, 단백질 소화율에서 모두 LMMA가 HMMA와 소고기보다 높은 값을 나타내었다. 따라서, 압출성형공정을 이용한 건식과 습식 대체육은 그 이화학적 품질에 차이가 있으며, 이는 순식물성 버거 패티의 제조를 위한 대체육 소재 연구의 기초 자료가 될 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치 식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(321021031HD020).

References

- Berry BW. 1993. Fat level and freezing temperature affect sensory, shear, cooking and compositional properties of ground beef patties. *J. Food Sci.* 58: 34-37.
- Bohrer BM. 2019. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Sci. Hum. Wellness.* 8: 320-329.
- Breene WM. 1975. Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. *J. Texture Studies.* 6:53-82.

- Cha SH, Shin KO, Han KS. 2020. Studies on the characteristics of concentrated soy protein. *Korean J. Food Sci. Technol.* 52: 459-466.
- Cho SY. Quality comparison of full fat soy and isolated soy protein-based extruded meat analogs with oyster mushroom and its burger patty. Doctor's Thesis, Kongju National University, Yesan, Chungnam, Korea. 2021.
- Cho SY, Ryu GH. 2021a. Perspective and manufacturing characteristics of meat analog using extrusion cooking process. *Food Sci. Anim. Resour.* 10: 22-30.
- Cho SY, Ryu GH. 2021b. Effects of mealworm larva composition and selected process parameters on the physicochemical properties of extruded meat analog. *Food Sci. Nutri.* 9: 4408-4419.
- Choi DS, Kim SH. 2014. Quality characteristics of hamburger patties adding with tofu powder. *Korean J. Culinary Res.* 20: 28-40.
- Daun JK, DeClercq DR. 1994. Comparison of combustion and Kjeldahl methods for determination of nitrogen in oilseeds. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 71: 1069-1072.
- Hwang JK, Kim YS, Pyun YR. 1992. Effect of protein and oil concentration on the emulsion stability of soy protein isolate. *Appl. Biol. Chem.* 35: 457-461.
- Koo BK, Kim JM, La IJ, Choi JH, Choi YS, Han DJ, Kim HY, An KI, Kim CJ. 2009. Effects of replacing tallow with canola, olive, corn, and sunflower oils on the quality properties of hamburger patties. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 29: 466-474.
- Kim EJ, Park JR. 1995. The effect of protein extraction pH on the functional properties of sesame protein concentrates. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 24: 619-624.
- Köhn CR, Fontoura AM, Kempka AP, Demiate IM, Kubota EH and Prestes RC. 2015. Assessment of different methods for determining the capacity of water absorption of ingredients and additives used in the meat industry. *Int. Food Res.* 22:356-362.
- 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. *Food Sci. Ani. Resour.* 25: 149-155.
- Lin S, Huff HE, Hsieh F. 2002. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *J. Food Sci.* 67: 1066-1072.
- Mertz ET, Hassen MM, Cairns-Whitern C, Kirleis AW, Tu L, Axtell JD. 1984. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 81: 1-2.
- Samard S, Gu BY, Ryu GH. 2019. Effects of extrusion types, screw speed and wheat gluten addition on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues. *J. Sci. Food Agric.* 99: 4922-4931.
- Samard S, Ryu GH. 2019. A comparison of physicochemical characteristics, texture, and structure of meat analogue and meats. *J. Sci. Food Agric.* 99: 2708-2715.
- Samard S, Gu BY, Kim MH, Ryu GH. 2021. Influences of extrusion parameters on physicochemical properties of textured vegetable proteins and its meatless burger patty. *Food Sci. Biotechnol.* 30: 395-403.
- Starcher, 2001. BA ninhydrin-based assay to quantitate the total protein content of tissue samples. *Anal. Biochem.* 292:125-129.

Author Information

조선영: 공주대학교 산학협력단 연구원

류기형: 공주대학교 식품공학과 교수