

압출성형공정을 이용한 대체육 제조의 특성과 전망

Perspective and Manufacturing Characteristics of Meat Analog Using Extrusion Cooking Process

조선영, 류기형*(Sun Young Cho, Gi-Hyung Ryu*)

공주대학교 식품공학과, 식품 및 사료 압출성형 연구센터

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

현대인의 삶의 질이 높아지면서 식육, 육가공품 등 육식 위주의 식단에서 발생할 수 있는 각종 질병에 대한 인식이 강화되고, 가축 사육, 도축, 가공과정에서 수반되는 환경오염이나 동물 윤리 등의 이유로 육식을 하지 않는 인구가 증가함에 따라, 육류의 대안으로서의 식물성 대체육에 관한 관심이 증가하고 있다. 이에 기존의 육류의 맛과 기능을 지니고 있으면서 고단백, 저지방에 비교적 저렴한 식물 단백질 대체육은 주로 조직대두단백, 밀 글루텐, 소량의 전분, 채소 등으로 만든 순식물성 식품이며, 생리활성 기능성이 우수하여 시장 수요가 해마다 증가하는 것은 세계적인 추세이다(Cho와 Ryu, 2017).

식량농업기구(FAO)는 2030년에 이르면 산업화된 국가의 대부분은 육류소비가 일인당 100kg/년으로 증가할 것으로 추정하였다. 또한, 2050년까지 세계인구가 97억여 명에 이르면, 식량난과 육고기의 부족 현상이 예상되면서, 글로벌 대체육 시장의 규모는 수억 달러 규모로 증가할 것으로 전망하였다(Boherer, 2019). 또한, 식물성 대체육은 재수화를 거쳐 직접 조리해 먹는 형태에서 비온드 미트나 임파서블 버거가 주도하는 버거 패티, 소시지, 햄 등의 다양한 제품으로 개발되어 시장을 확대하고 있다.

대체육은 식물성 대두 단백질을 육류의 조직감과 유사하게 물리화학적 변화를 유도하여 조직감을 부여한 것으로 ‘대두조직단백(textured soy protein)’ 또는 ‘식물성 조직단백(textured vegetable protein)’, ‘인조육’이라고 지칭하다가, 최근에는 기존의 고기와 거의 흡사한 맛과 조직감을 구현해 내어 ‘식물 단백질 대체육(plant protein-based meat analog)’이라는 용어를 사용한다.

또한, 대체육의 제조 기술로서 압출성형공정은 식물성 단백질을 압출성형기 배럴 내부로 투입하여 열, 압력, 전단력을 가하여 고기와 같은 결을 가진 섬유상 조직으로 단시간에 사출이 가능한 고온 단시간 공정기술이다. 대체육은 사출구의 구조와 제품의 수분함량에 따라 고수분과 저수분으로 나눌 수 있다.

대체육 제조의 주된 원료는 보수력, 겔화 유도, 유화 안정성 등의 장점이 있어 조직화에 적합한 대두 단백질을 사용한다. 또한, 일반적으로 정제된 형태의 분리대두단백(isolated soy protein)이나 농축대두단백(soy protein concentrate), 탈지대두분(defatted soy flour)이 압출성형 대체육의 원료이다. 그 외에도 전지방대두단백(full fat

*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: ***-****-****

Email: ghryu@kongju.ac.kr

soy), 팥콩단백, 완두콩 단백질 등의 다양한 식물 단백질이 대체육의 원료로 사용되고 있다(Kyriakopoulou 등, 2019). 또한, 압출성형 대체육의 조직감 및 영양적, 관능적 특성을 개선하기 위해, 기본 원료에 영양과 관능적 특성을 개선하기 위한 동물성과 식물성 소재를 첨가하기도 한다.

주원료뿐만 아니라, 부원료의 연구는 친환경적이면서 실제 고기에 가까운 식물성 대체육에 대한 소비자의 기호와 기대에 부합하는 개발로 이어질 것으로 전망된다. 또한, 이러한 식물성 대체육의 관능적인 기호도 등은 육류나 배양육과 비교해 부족하여 이를 개선할 수 있는 가공 기술의 지속적인 개발과 발전이 요구된다.

따라서, 압출성형공정을 이용한 대체육의 제조 특성과 전망에 대한 고찰을 통해 전 세계적인 수요증대가 예상되는 대체육 제품의 개발과 생산에 대비하고, 이에 따른 개선 방향을 모색하고자 한다.

식물성 대체육의 유래

과거, 서아시아, 우리나라를 포함한 중국, 일본, 몽골과 같은 동아시아 지역은 육식을 금하는 종교적 특성이나 주식으로 주로 곡류를 섭취하는 식생활 및 문화적 영향으로 육고기의 소비가 서양에 비해 크게 낮았다(International Monetary Fund, 2018). 그러나, 글로벌 지구촌의 영향 아래, 기존의 폐쇄적인 문화권에서의 이민족의 유입과 이동으로 인해 문화, 종교적 개방이 이루어지고, 경제적 성장과 맞물려 육고기의 공급과 수요가 증가하기 시작하였다. 특히, 아시아와 아프리카 지역에서는 고기와 달걀에 대한 수요가 급격하게 증가하기 시작하였다(Nam 등, 2010).

이러한 육류, 육가공식품의 소비 증가와 더불어 높아진 ‘참살이(well-being)’ 바람으로 육류의 섭취로 인한 심혈관계 질환 등, 육식과 건강 간의 해로운 상관관계에 대해 우려하는 소비자들의 인식이 강화되었다. 또한, 육식을 제한하는 이슬람교의 세계적 증가 추세와 맞물려 기존 이슬람교에서 고수하고 있는 소위 ‘할랄’ 음식에 관

한 관심이 높아지고, 가축의 사육, 도축 가공 및 보관 과정에서 연료와 전력 소모로 인한 에너지 자원문제, 온실가스 배출과 산업 폐기물로 인한 지구온난화 등의 환경문제는 단순히 채식주의자들을 위한 것이 아닌 육식인한 대안으로서 식물성 대체육에 대한 소비자들의 요구를 증가시켰다(Asgar 등, 2010).

식물성 대체육은 식물에서 추출한 단백질을 이용하여 육고기의 조직감과 색, 맛 등의 관능적 특성이 유사하도록 제조한 제품을 말한다. 주된 원료는 콩류 및 대두단백이며, 이외에 캐놀라, 해바라기 씨와 같은 씨앗류나 팥콩, 쌀 단백질, 최근에는 우유나 달걀의 단백질 등이 사용되고 있다. 이는 환경적인 유익뿐만 아니라, 가축이나 그 사육 비용을 절감하고, 동시에 대량 생산이 쉬워 가격도 저렴한 장점을 지닌다.

대체육의 시초라고 볼 수 있는 식물성 단백질 제품으로 대표적인 것이 콩 단백질의 글리시닌을 응고시켜 만든 두부(tofu), 발효시킨 콩을 기름에 튀겨 먹는 템페(tempeh), 밀 글루텐을 응고시켜 고기의 식감을 살린 세이탄(seitan)이며, 이는 동양권에서 즐겨 먹던 주요 식물 단백질 공급원이었다(You 등, 2020).

2000년대 초, 서양에서 출발한 웰빙의 영향으로, 기존의 육고기와 차별되는 건강과 관련된 이점과 동시에 맛과 향미를 추구하는 소비자들이 증가하면서 본격적으로 식물성 대체육에 관한 관심이 고조되어 이들을 목표로 삼은 기업 간 R&D가 활발해지게 되었다. 이에 2010년에 글로벌마켓 점유율이 전체 1~2% 정도에 불과하였던 식물성 대체육 시장은 약 10년 후인 2019년에는 8.4%로 상승하였다(Kyriakopoulou 등, 2019).

압출성형 대체육

1960년대 이후, 식물성 단백질이 동물성 단백질을 대체할 수 있다는 인식 아래 주목받기 시작한 압출성형 기술은 탈지대두분과 대두농축단백을 원료로 하여 다양한 조직화 단백질(textured soy protein)의 제조, 즉, 다양한 대체육의 상품화를 위해 사용되기 시작하였다.

압출성형은 고온 단시간(HTST) 공정이므로 전분이나 단백질의 조리를 통한 소화율의 향상과 예비 조리를 통한 즉석식품화, 갈변의 최소화, 가공과정 동안 이미(異味)나 이취(異臭)의 최소화 등의 다른 열처리 공정과 비교하여 이점이 많다. 또한, 압출성형기는 다양한 제품의 생산, 높은 열역학적 효율, 생산단가의 절감, 적은 노동력과 장소를 요구하기 때문에 효율적인 공정이며, 미생물로부터의 오염도 최소화할 수 있다.

대체육 제조를 위한 압출성형기는 쌍축 압출성형기로 배럴과 두 개의 맞물린 스크루에서 발생하는 열과 압력, 기계적 전단력의 작용을 이용하는데, 압출성형은 이 스크루의 회전속도에 따른 압력, 온도 및 물질의 흐름 기작과 원재료의 수분함량의 상관관계가 상호 긴밀하게 작용한다.

쌍축 압출성형기는 크게 스크루 앞부분이 원료로 차도록 보장하는 역할을 하는 사입부(feeding section), 원료를 압축, 전진시키는 압축부(compressing section), 원료의 용융과 혼합하는 계량부(metering section)로 나뉘며, 사입된 원료는 압축부에서 가장 높은 온도로 용융되었다가 계량부를 거쳐 감소하면서 성형이 이루어진다.

압출성형 조직화 기술은 크게 고수분(습식)과 저수분(건식)으로 나눌 수 있다. 수분은 압출성형공정에서 중요한 요인 중 하나이며, 일반적으로 습식의 범위는 수분함량 50~70%, 건식의 범위는 10~30% 정도이다. 길

이가 짧은 사출구를 사용하여 수분함량 30% 이하로 압출성형이라는 건식의 경우, 일반적인 메커니즘에 의하여 다공성의 조직으로 팽화가 일어나는 반면, 수분함량 50% 이상에서는 길이가 긴 냉각 사출구를 사용하여 압출기의 기계적 에너지와 투입되는 열에너지에 의해 냉각되어 팽화가 억제되기 때문에, 고기와 유사하게 높은 수분함량을 지닌 섬유상 조직을 구현해 낼 수 있어 대체육의 생산에 주로 적용된다(Fig. 1). Fig. 1(B)는 수분함량 50~70% 범위에서 가공되는 습식 압출성형 시스템으로, 길이가 긴 냉각 사출구를 통하여 고기와 유사한 조직감을 가지는 식물성 대체육이 사출되고 있는 모습이다. 즉, 습식은 수분함량의 증가로 인하여 발생하는 단백질 간의 상호작용이 증가하여, disulfide 결합, 수소결합에 의한 가교결합이 강화되기 때문에, 건식과 비교해 실제고기와 유사한 결조직인 섬유상 조직화가 가능하다 (Cho와 Ryu, 2018). 또한, 압출성형 습식공정은 수분의 증가로 인해 비기계적 에너지 투입량이 감소하므로 건식보다 경제적이며 효율적인 면을 지니고 있다.

압출성형을 통한 대체육 제조를 위해 일정한 수분함량을 지닌 식물 단백질 원료를 압출성형기에 사입하면, 최저 온도가 130°C인 압출성형기의 배럴 내부에서 스크루 회전에 의한 전단력, 수분과 열의 영향으로 변성이 일어나고, 단백질의 3차 구조가 파괴되어 펩타이드 결합으로 연결된 아미노산 사슬이 풀리게 된다. 이때 변성된 단

Fig. 1. Comparison of low-moisture and high-moisture meat analog via short die (A), and cooling die (B).

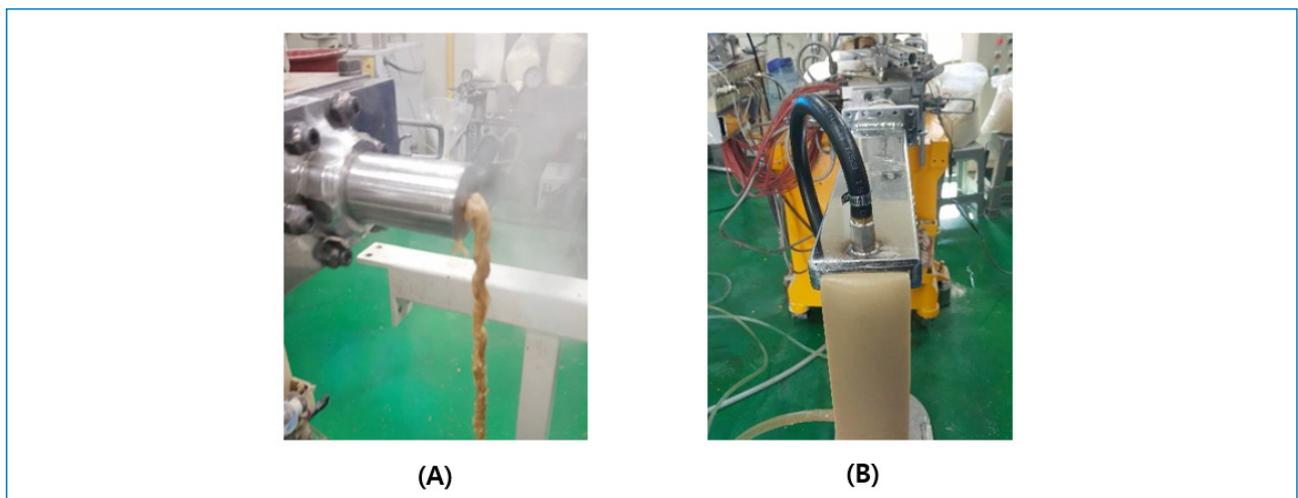
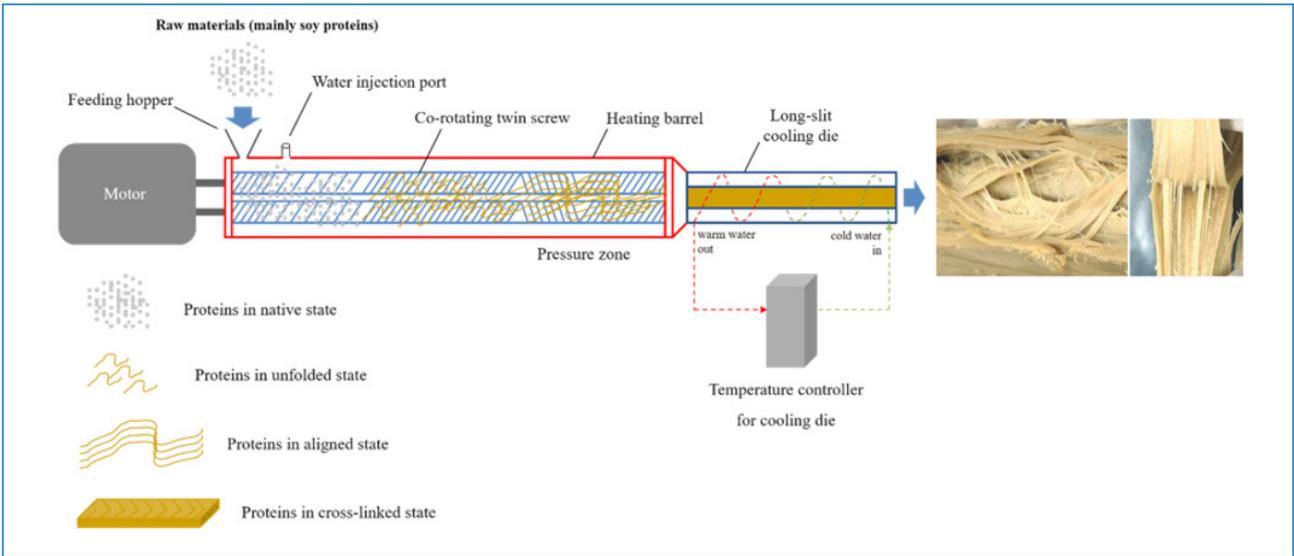


Fig. 2. Schematic diagram of a co-rotating intermeshing twin-screw extruder with cooling die and protein texturization mechanism in a high moisture extrusion process (Adapted Maung, 2020).



백질 사슬 간의 amide 결합, disulfide 결합, 수소결합에 의한 가교결합의 형성이 사출구 부위 방향의 배럴에서 시작된다. 가교결합(cross-link)이 형성된 단백질 용융물은 사출구를 통과하면서 사출구의 길이 방향으로 단백질 매트릭스와 층류의 흐름이 형성되고, 조직화로 인한 성형이 이루어진다. 특히, 사출구 부분의 구조에 따라 다양한 제품들이 제조되는데, 팽화에 영향을 받는 길이가 짧은 사출구는 냉각기능이 없으므로 팽화가 일어나

공기층(air cell)이 생성되지만, 사출구 부위를 냉각하는 습식의 경우, 팽화가 억제되어 밀도가 높은 섬유상 조직화를 촉진한다(Fig. 3).

고수분 압출성형을 이용한 대체육은 일반적으로 건식과 비교하여 좀 더 고기와 유사한 조직감을 가지며 주로, 돼지고기와 닭고기의 섬유상 구조를 나타낸다(Fig. 4). 습식 대체육 제조 시 70%의 수분함량, 배럴 온도 160°C, 200rpm의 스크루 속도 조건에서 고수분 압출

Fig. 3. Mechanism of protein denaturation and texturization of extruded meat analog (Adapted from Samard et al., 2019).

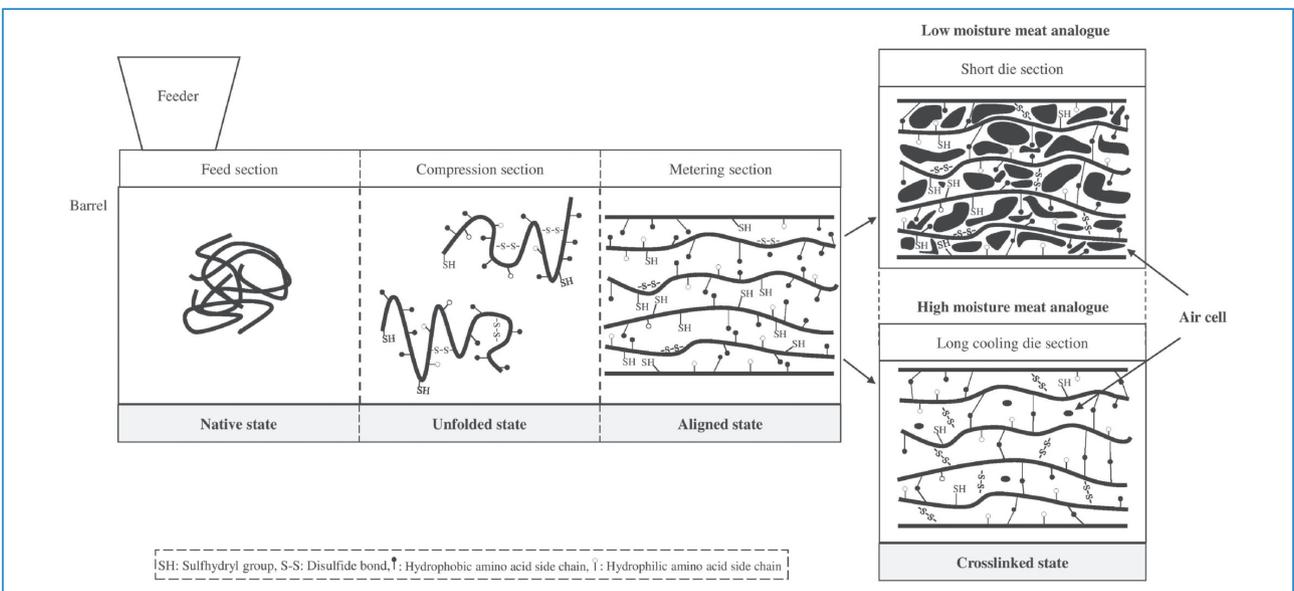
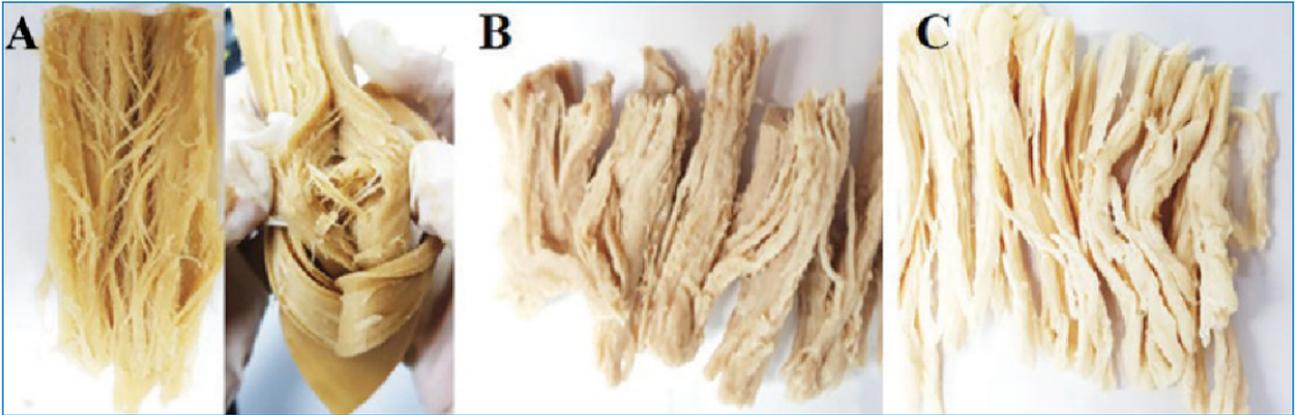


Fig. 4. Digital photographs of high-moisture meat analog (A), pork (B), chicken (C) (Adapted Samard, 2019)



성형하였을 때, 절단강도(cutting strength)와 경도(hardness) 면에서 삶은 닭고기의 조직감과 유사하였다는 보고가 있다(Samard와 Ryu, 2019).

특히, 압출성형 대체육은 동일한 원료를 사용하였을 때, 원료의 특성 외에도 압출성형 공정 변수에 따라 품질 특성이 변화된다. 압출성형공정 변수는 품질을 좌우하는 독립변수인 가공변수, 종속변수인 시스템 변수와 목적 변수로 구분할 수 있다. 시스템 변수는 원료의 배합비와 압출성형공정변수에 따라 결정되는 종속변수로서 비기계적 에너지 투입량, 배럴 내부압력분포, 체류시간, 용융물의 점도 등이 이에 포함된다. 압출성형 대체육의 최종 품질 분석과 연관이 있는 목적변수에는 제품의 외관과 조직화 정도, 수분흡습성, 영양가 등이 있다.

이처럼 식물성 대체육의 품질은 원료 단백질뿐만 아니라, 사출구나 스크루의 구조, 배럴 온도, 수분함량 및 스크루 회전속도와 같은 압출성형공정 변수들의 조절로 제어할 수 있다. 압출성형 공정변수는 대체육의 조직감을 비롯한 이화학적 특성에 영향을 미치므로, 대체육 제조를 위한 최적의 조건을 선별해 내는 중요한 인자들이다.

결론적으로, 고수분 압출성형을 활용한 압출성형 대체육의 원료와 공정변수의 조절을 통해 식물성 대체육은 기존의 채식주의자(vegetarian)뿐만 아니라, 육식을 즐기는 일반 소비자들의 기호성도 만족시킬 수 있는 수준으로 발전하며, 대체육 시장에 출시되고 있다.

압출성형 대체육의 원료

일반 대체육뿐만 아니라, 압출성형 대체육의 주된 원료로 사용되고 있는 콩은 고단백 저열량에 식이섬유와 아이소플라본 등이 함유되어 영양적으로 우수할 뿐만 아니라, 대체육으로 조직화 시에 겔화 작용, 유화 안정성, 보수력을 부여하는 등의 조직감 형성에 쉬운 소재이다(Kyriakopoulou 등, 2019).

압출성형 대체육에서 주로 사용되고 있는 정제 단백질 원료는 분리대두단백(isolated soy protein)으로 대두에 포함된 수용성 다당류와 올리고당이 모두 제거되어 90% 이상의 높은 단백질 함량을 지니고 있다. 이는 다른 정제단백질에 비하여 지방과 수분의 결합력을 강화하는 작용이 뛰어나고, 전분과 혼합하여 압출성형 시에 S-S 결합과 수소 결합 등을 유도하여 내구성과 점탄성이 강한 구조를 갖는다. 보통 소시지나 햄버거의 식육가공품 제조 시에 결합제로도 이용된다(Choi 등, 2015). 농축대두단백(soy protein concentrate)은 약 70% 정도의 단백질 함량을 지니고 있으며, 압출성형 대체육과 햄버거 패티의 원료로 주로 사용되었다(Chiang 등, 2020).

탈지대두단백은 단백질 함량이 50% 정도로 다른 정제 단백질 소재들에 비하여 낮은 편이며, 참치토막이나 식용곤충 갈색거저리와 같은 동물성 부원료와 함께 압출성형 했을 때 대체육의 조직감이 떨어지는 특징이 있어 최근 압출성형 연구들에서는 사용되지 않았다(Cho와

Ryu, 2017).

그러나, 분리대두단백만 단독으로 사용 시에 조직감 면에서 안정된 품질 유지가 어려워 보통 밀 글루텐을 함께 혼합하는데, 글루테닌과 글리아딘의 이중구조로 이루어진 밀 글루텐이 조직에 이황화 결합(disulfide networking)을 촉진하여 섬유상 조직화를 강화한다(Samard 등, 2019). 또한, 대두 단백질과 밀 글루텐의 혼합물에 10%의 전분을 첨가하면 단백질 매트릭스와 망목구조가 형성되어 조직감이 개선되기 때문에 보통, 분리대두단백에 밀 글루텐과 옥수수 전분을 50:40:10의 비율로 하여 기본 원료를 제작한다(Samard 등, 2019; Ma와 Ryu, 2019; Cho와 Ryu, 2018).

전지방대두단백(full fat soy)의 경우, 낮은 단백질 함량 때문에 대체육 소재로 사용되지 않다가 최근 Maung (2020)의 연구에서 분리대두단백 대신에 전지방대두단백과 밀 글루텐, 옥수수전분을 50:40:10(%)로 압출성형하였을 시에 단순히 영양적인 면뿐만 아니라, 기존의 분리대두단백을 사용한 대체육보다 더 높은 조직잔사수와 절단강도를 보였다고 보고된 바, 조직감 면에서 대체육 제조 원료로서의 가능성을 보였다.

또한, 땅콩 유지 추출 공정 시 발생하는 부산물로 으로나 빵의 원료로 사용되던 탈지대두단백(defatted peanut protein)도 압출성형 대체육의 원료로 사용되었다. Rehrh 등(2009)의 연구에 따르면 탈지 땅콩단백을 사용하여 압출성형 대체육을 제조하였을 시에 이화학적, 관능적 특성이 다른 콩단백들과 비교하여 비슷하거나 높았다고 보고하였다. 반면, Samard와 Ryu(2019)의 연구에서 사용된 압출성형 분리 땅콩단백(isolated peanut protein)의 경우, 분리대두단백과 밀 글루텐, 완두 단백질과 같은 다른 대두 소재들에 비하여 낮은 조직감을 나타내었다.

고수분 압출성형은 고기와 흡사한 결조직인 섬유상과 층조직을 구현해 낼 수 있지만, 그 향미나 조직감 부분에서는 소비자의 기호도를 만족하지 못하는 한계점을 지니고 있다. 원료에 첨가하여 압출성형 대체육의 향미, 색감, 질감과 같은 관능적인 특성과 영양적, 기능적 측면까지 개선하여 과도한 조미, 착향, 착색 등의 과정을

간소화하는 데 도움을 줄 수 있는 부원료 개발에 관한 연구가 이루어져 왔다.

압출성형 대체육의 부원료는 크게 동물성과 식물성 소재로 나눌 수 있는데, 동물성 소재에는 소고기 가공과정에서의 부산물인 소뼈를 가수분해한 것(Chiang 등, 2020)과 식용곤충인 갈색거저리(Cho, 2018), 참치 통조림 가공과정 중 생기는 부산물인 참치 톱밥(Cho와 Ryu, 2017)이 있다. 특히, 소뼈나 참치 톱밥과 같은 동물성 부원료들은 가공과정에서 버려지는 부산물의 재활용 차원에서 환경적, 비용적인 면에서 유익한 데다가 영양적으로도 우수하며, 갈색거저리의 경우, 낮은 비용으로 지속적 생산이 가능해 고기 파동이 예상되는 미래의 대체 식품소재로 주목받고 있다.

이들 소재를 사용하여 압출성형 대체육을 제조했을 시의 이화학적 특성들에 관한 연구를 살펴보면, Chiang 등(2020)의 연구에서 가수분해된 소뼈를 농축대두단백 원료에 10, 20, 30, 40%의 비율로 첨가하여 고수분 압출하였을 때, 20%에서 가장 높은 관능적 기호도를 보이고, 40%에서 섬유상 구조가 나타났지만, 부원료를 첨가하지 않은 대조군보다 낮은 조직감을 나타내었다. 또한, 참치 톱밥을 탈지대두단백 원료에 0, 15, 30% 첨가한 저수분 압출성형 대체육의 경우, 항산화 특성과 단백질 소화율은 증가하였으나, 모든 조직감 특성들은 감소하는 경향을 나타내었다(Cho와 Ryu, 2017). 같은 원료를 사용하여 식용곤충인 갈색거저리를 0, 15, 30% 첨가한 저수분 압출성형 대체육 역시, 첨가함량의 증가와 함께 항산화 특성 및 단백질 소화율은 증가하였으나, 조직감은 감소하는 경향을 나타내었다(Cho, 2018). 그러나 이러한 조직감의 감소는 향후, 저수분 압출성형공정에서 고수분으로, 고수분일 때 일정 비율만 첨가한다든지 또는, 압출성형 공정 변수 등을 적용하여 개선할 수 있다고 사료된다.

또한, 식물성 부원료에는 녹차와 버섯이 있다. 이들 식물성 원료들에는 동물성에는 존재하지 않는 폴리페놀이나 식이섬유가 함유된 특징이 있다(Ma와 Ryu, 2019; Cho와 Ryu, 2020). Ma와 Ryu(2019)는 분리대두단백

원료에 녹차 함량을 달리하여 첨가하였을 시에, 동물성 부원료 첨가 시와 달리 압출성형 대체육의 향산화 특성 뿐만 아니라, 경도, 씹힘성 및 절단 강도와 같은 조직감이 강화되었다고 보고하였다.

또한, 느타리버섯을 첨가한 고수분 압출성형의 경우, 느타리버섯의 함량이 증가할수록 압출성형 대체육의 경도, 씹힘성뿐만 아니라 응집성, 탄성까지도 증가하여 전체적인 조직감의 개선이 이루어졌다. 이는 버섯이나 느타리버섯 안에 함유된 폴리페놀과 대체육 단백질 간 상호작용에 의한 교차결합(cross-link)의 형성으로 인해 섬유상 구조가 촉진되었기 때문으로 사료된다(Fig. 5). 조직감 개선에 긍정적인 영향을 주는 이러한 식물성 소재들도 앞으로 압출성형 공정 변수와 다른 원료 소재들과의 적용을 통해 다양한 연구가 시도될 것으로 전망된다.

압출성형 대체육의 적용과 전망

기존의 대체육은 가공형태에 따라 불고기, 육포 등의 비분쇄형과 만두, 동그랑땡과 같은 분쇄형으로 크게 나눌 수 있다. 최근, 대체육 시장의 추세는 햄버거 패티나 소시지와 같은 분쇄육 가공으로 임파서블 푸드(Impossible Foods), 비욘드 미트(Beyond Meat), 에이미 키친(Amy's kitchen) 등의 회사들이 주도하고 있다.

대두 단백질의 레그헤모글로빈과 완두 단백을 사용하여 햄버거 패티와 소시지 등을 제조하는 임파서블 푸드나 비욘드 미트 시장점유율의 증가는 기존의 육고기와 유사한 관능적 특성을 구현해 내고자 한 노력의 결과라고 볼 수 있다(Bohrer, 2019).

압출성형 대체육 역시, 기존의 돼지고기나 가금류와 비교해 취약한 조직감을 지니고 있어 그 특성에 적합한 분쇄형 제조에 관한 연구가 이루어지고 있다(Samard와 Ryu, 2019). 이에 Samard 등(2021)은 분리대두단백과 밀 글루텐, 옥수 수전분을 50:40:10(%)로 구성한 기본 원료에 공정변수를 적용하여 고수분 압출성형한 대체육으로 햄버거 패티를 제조하여 이화학적 특성을 연구하였으며, 압출성형 대체육 패티는 수분함량과 배럴온도의 조절을 통하여 좀 더 기존의 고기 패티와 가까운 가공 적성을 가질 수 있음이 확인되었다.

또한, 전지방대두단백에 바실러스 균을 이용한 Maung (2020)의 대체육 연구는 동양권 음식의 주된 특성이라고 할 수 있는 발효가 대체육에도 적용될 수 있음을 보여주어 발효 대체육 식품 개발의 가능성을 보여주었다(Fig. 6). 게다가 습식의 경우, 대체육의 발효시간 (48시간)에 따른 외관의 변화에도 불구하고, 대체육이 가지는 조직감이 유지되는 특징을 보였다.

이렇게 압출성형을 통한 대체육의 제조는 분쇄육 가공

Fig. 5. Digital photographs of extruded meat meat analog with different oyster mushroom contents (A) 0%, (B) 4%, (C) 8%, (D) 12%.

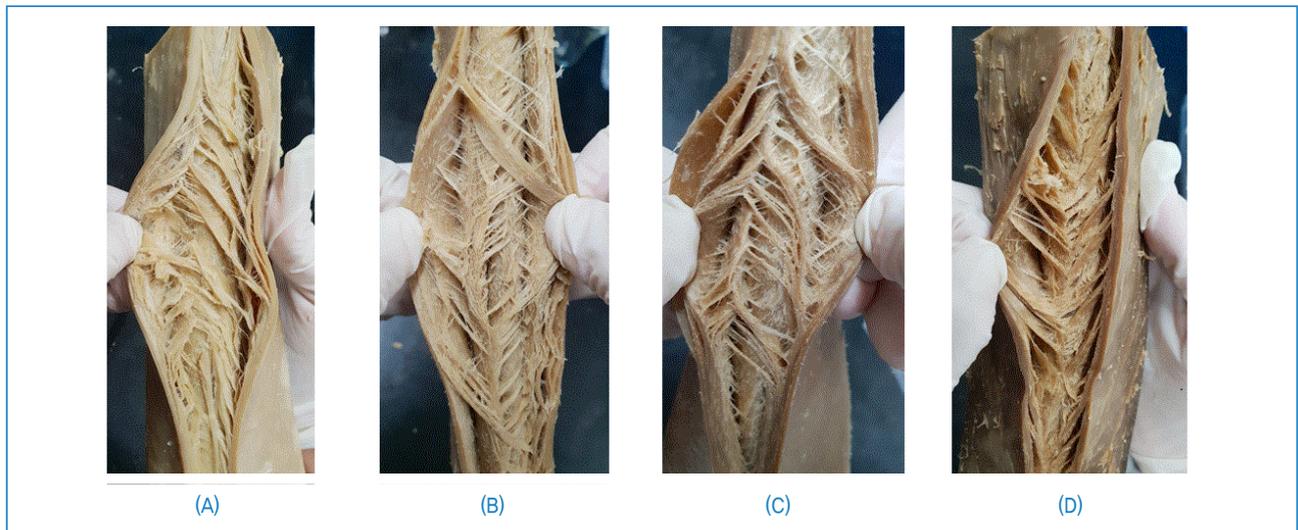


Fig. 6. Digital photographs of high-moisture extruded from different formulations and fermented with *B. subtilis* for different times (0–48 h) (Adapted Maung, 2020).



과 발효 등, 다양한 방면의 적용이 가능하며, 원료와 부원료 등 소재의 개발과 고수분, 공정변수의 적용을 통해 압출성형만의 특수한 장점을 살릴 수 있다.

대체육 시장은 큰 잠재력을 지니고 있는데 비하여 식감, 맛, 육즙과 같은 관능적 기호도 면에서 고기보다 소비자 기호성이 떨어지는 단점을 지니고 있다. 이러한 부정적인 면을 개선하기 위한 노력으로 고온 단시간의 압출성형을 이용한 대체육의 제조는 하나의 대안이 될 수 있다. 다양한 원료와 부원료의 선정과 이미, 이취의 제거, 공정 변수 조절을 통해 최적의 조직감을 개발하여 기존의 육류 대비 장점들을 더 강화할 수 있다.

현재의 시점에서 압출성형 대체육이 기존의 고기를 완전히 대체할 수는 없더라도 건강상 유익과 안정성 및 생산단가의 절감을 통한 소비자 비용의 합리성 등을 부각시켜 소비자의 폭을 확대하고, 더 나아가 식량안보와 환경보호의 효과까지 기대해본다.

또한, 나아가 식물 단백질 대체육의 적용이 주로 햄버거 패티를 비롯한 서구형 분쇄가공식품인 점을 고려할 때, 앞으로 국내 대체육 시장의 확대와 차별화를 위해 전통식품, 국산 농산품 등의 동양권 식문화와 관련된 소재들의 다양한 활용을 통한 폭넓은 시도와 연구가 필요하다고 하겠다.

참고문헌

1. Asgar M, Fazilah A, Huda N, Bhat R, Karim AA. 2010. Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. *Comp Rev Food Sci F* 9: 513-529.
2. Bohrer BM. 2019. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Sci Hum Wellness* 8: 320-329.
3. Cho SY, Ryu GH. 2017. Effects on quality characteristics of extruded meat analog by addition of tuna sawdust. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46: 465-472.
4. Cho SY. 2018. Effects of die temperature and moisture content on physicochemical properties of extruded texturized vegetable protein with mealworm. Master's Thesis, Kongju National University, Yesan, Chungnam 32439, Korea.
5. Choi YS, Jeon KH, Park JD, Sung JM, Seo DH, Ku SK, Oh NS, Kim YB. 2015. Comparison of pork patty quality characteristics with various binding agents. *Korean J Food Cookery Sci* 31: 588-595.

6. Cho SY, Ryu GH. 2018. Quality characteristics and manufacturing process of extruded texturized vegetable protein. *Food Ind Nutr* 23: 25-32.
7. Chiang JH, Hardacre AK, Parker ME. 2020. Effects of Maillard-reacted beef bone hydrolysate on the physicochemical properties of extruded meat alternatives. *J Food Sci* 85: 567-575.
8. Kyriakopoulou K, Dekkers B, van der Goot AJ. 2019. Plant-based meat analogues. In *Sustainable Meat Production and Processing* (pp. 103-126). Academic Press.
9. Ma X, Ryu GH. 2019. Effects of green tea contents on the quality and antioxidant properties of textured vegetable protein by extrusion-cooking. *Food Sci Biotechnol* 28: 67-74.
10. Maung TT 2020. Effects of extrusion parameters on characteristics of fermented meat analog. Ph.D. Thesis, Kongju National University, Yesan, Korea.
11. Nam KC, Jo C, Lee M. 2010. Meat products and consumption culture in the East. *Meat Sci* 86: 95.
12. Rehrah D, Ahmedna M, Goktepe I, Yu J. 2009. Extrusion parameters and consumer acceptability of a peanut-based meat analogue. *J Food Sci Technol* 44: 2075-2084.
13. 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.
14. 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.
15. 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* 1-9.
16. 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.