

산 · 학 · 연 논문

압출성형 인조육의 제조공정과 품질특성

조선영 · 류기형[†]

공주대학교 식품공학과

Quality Characteristics and Manufacturing Process of Extruded Texturized Vegetable Protein

Sung Young Cho and Gi Hyung Ryu[†]

Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Chungnam 32439, Korea

ABSTRACT The demand for texturized vegetable protein (TVP) as an alternative meat is increasing, compared with meat consumption. Extrusion cooking is the principle processing method used to fabricate meat like texture and a fibrous structure for soy protein products. There are some advantages in terms of cost and the capability for mass production. The additive materials to TVP improve the nutritional aspects, functionality and the sensory characteristics which produced at low cost without polluting the environment. Extrusion process variables such as moisture content, die temperature and screw speed are important factors for texturization of TVP. Wet TVP has a similarities of tissue of meat, compared with dry TVP. Promising perspective of TVP needs to improve analogy as stock and texture of real meat for much higher levels of TVP than traditional TVP.

서론

삶의 질이 높아지면서 건강에 대한 인식이 증가하여 대체식품으로서 식물성 인조육에 대한 수요가 증가하고 있다. 육류에 비해 비교적 저렴한 인조육은 주로 조직대두단백과 소량의 밀 글루텐, 채소 등으로 만든 순식물성 제품이다(1,2). 대두 단백질에 함유된 아미노산 중 arginine과 glycine은 인슐린과 콜레스테롤을 낮추고 항암 및 골다공증을 예방하는 효과가 있다(3). 또한, phytoestrogen으로 분리되는 isoflavon은 대두의 대표적인 항산화 물질로 골다공증, 유방암 및 전립선암, 심혈관계 질환을 예방하는 효과가 있다(4). 이런 영양학적으로 우수하며 생리활성 기능성이 뛰어난 식물성 인조육 제품에 대한 세계적인 시장수요는 해마다 증가 추세로, 인조육 시장 규모는 2012년에 약 30억 달러에서 2020년에는 약 1.6 배 정도 증가할 것으로 추정된다(Fig. 1). 특히 약리학적인 측면에서도 우수한 대두 소재 식물성 인조육 시장의 성장은 주목할만하다.

일반적으로 인조육은 ‘meat alternative, meat substitute, meat replacement, mock meat, faux meat, imitation meat, vegetarian meat, vegan meat’라는 다양한 명칭을 가지며, 학술지에서는 보통 ‘meat analog(ue)’라는 용어로 통용된다. 이는 식물성 대두 단백질을

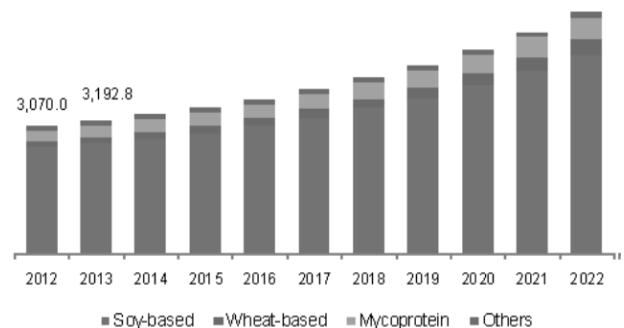


Fig. 1. Prospect of global meat substitutes market (2012~2022).

육류의 조직감과 유사하게 물리화학적 변화를 유도하여 조직감을 부여하므로 대두조직단백(textured soy protein) 또는 식물성조직단백(textured vegetable protein)이라고도 부른다.

압출성형공정은 식물성 인조육의 다른 조직화 공정에 비하여 공정, 경제적인 면에서 많은 장점이 있지만, 산업체에 적용되지 않다가 1960년대부터 식물성 단백질이 동물성 단백질을 대체할 수 있다는 인식 속에서 탈지대두, 대두농축단백을 원료로 하여 다양한 조직화 단백질제품(textured soybean protein), 즉 인조육의 상품화를 위해 사용되기 시작하였다. 또한, 압출성형 인조육의 특성은 원료의 특성뿐만 아니라 동일한 원료를 사용하였을 때 수분함량이나 사출구 온도 스크루 회전속도 등과 같은

[†]Corresponding author

E-mail: ghryu@kongju.ac.kr, Phone: 041-330-1484

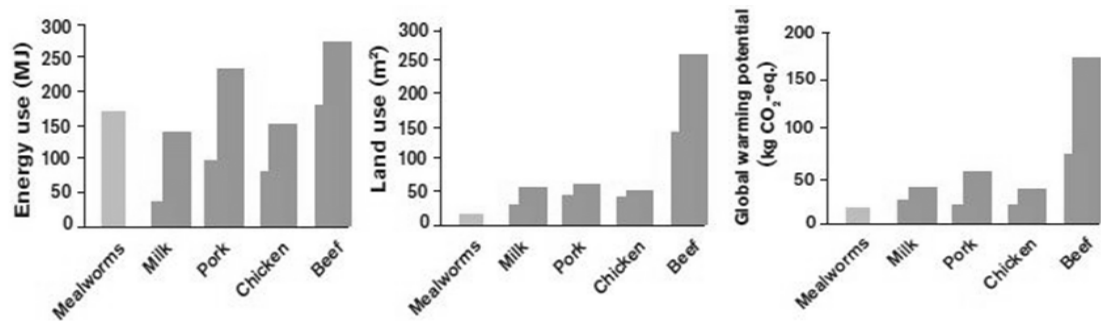


Fig. 2. Environmental impact of mealworm production on one farm in the Netherlands compared with that of other animal products (7).

압출성형공정 변수에 따라 그 특성이 변화된다.

인조육의 원료인 대두 단백질을 압출성형공정을 통해 조직화시킬 때 단백질의 함량을 증가시키거나 탄수화물을 첨가하면 압출성형 인조육의 조직화를 촉진하며 분리대두단백과 활성글루텐을 혼합하면 섬유형태의 결 생성을 촉진하고 글루텐에 부족한 필수아미노산을 분리대두단백의 필수아미노산으로 채울 수 있다(5).

현재 압출성형 인조육의 관능적 특성과 영양적인 측면을 개선하기 위하여 쇠고기와 닭고기, 돼지고기, 참치 톱밥, 식용곤충과 같은 동물성 단백질을 첨가한 연구가 진행되어 있다. 특히 미래 식량으로 각광받고 있는 식용곤충 중 ‘갈색거저리(mealworm)’는 고단백, 저칼로리에 필수 지방산을 생선만큼 많이 함유하고 있다(6). 현재 네덜란드 농장에서 사육되고 있는 갈색거저리는 돼지, 젓소, 닭, 소와 같은 다른 육고기들과 비교하여 볼 때 에너지 사용량이나 사료비, 사육을 위한 농토의 면적, 지구온난화에 영향을 주는 CO₂ 가스의 발생량이 현저히 낮아 가격 대비 우수한 식품 소재인 동시에 환경보호 차원에서도 매우 유익하다(Fig. 2). 이러한 동물성 소재의 첨가는 식물성 인조육에 대한 소비자의 수요 증대가 예상되는 현재와 미래 인조육 시장의 필요 요구와 맞물려 매우 가치 있는 연구가 될 것이다.

따라서 이러한 인조육의 실용성과 학문적 우수성에 대하여 더 심도있는 연구가 이루어지고 좀 더 다양한 인조육 제품의 개발·생산에 대비하여, 압출성형 인조육의 제조공정의 장점, 원료, 기능성 첨가소재, 조직화 기작, 고수분 압출성형(습식)과 저수분 압출성형(건식)의 비교와 앞으로의 개선과제에 대하여 살펴보았다.

압출성형공정

압출성형은 고온단시간 공정이므로 전분과 단백질의 조리를 통한 소화율의 향상과 예비조리를 통한 인스턴트화, 갈변의 최소화, 비타민과 가열로 인한 필수아미노산의 손실률 최소화, 가공공정 동안 이취의 최소화 등의 다른 열처리 공정과 비교하여 이점이 많다.

또한, 압출성형기는 다양한 제품의 생산, 높은 열역학

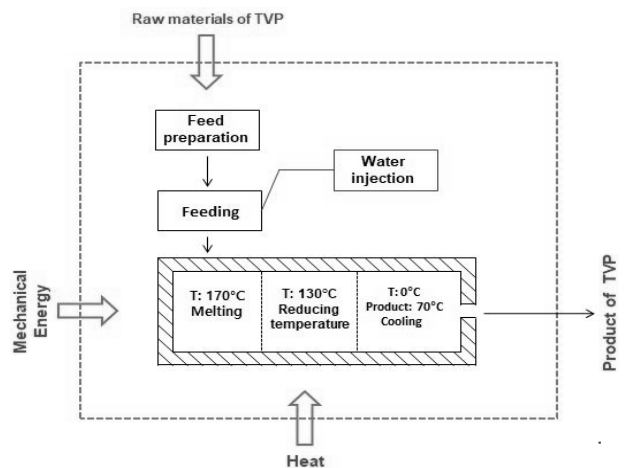


Fig. 3. Schematic of generalized extrusion process of textured vegetable protein.

적 효율, 생산단가의 절감, 적은 노동력과 장소를 요구하기 때문에 효율적인 공정이며, 미생물로부터의 오염도 최소화할 수 있다. 사입한 인조육 원료에 열과 압력을 가하여 보통 170°C에서 용융된 후 온도가 130°C로 감소하면서 성형이 이루어지고, 냉각과 사출 단계를 거쳐 다공성의 저밀도 제품이 형성된다(Fig. 3). 열처리와 동시에 압출성형물의 수분이동을 보면 사출구를 통과할 때 수분의 상변화에 의한 수분의 증발과 함께 압출성형물이 팽화되어 기공을 형성함으로써 조직감이 부여된다. 압출성형을 통해 제조한 제품은 새로운 소비자의 욕구와 시장을 확대하는 수단으로써 다양한 적용이 가능하다.

Song 등(8)에 의하면 압출성형기를 이용한 식물성 단백질의 조직화는 1960년대 초 미국에서 처음 시도된 후, 식물성 단백질 구조를 고온, 고압으로 재구성하여 물리적으로 조직화하는 방법으로써 단백질의 공급 대체수단으로 발전하고 있다고 보고하였다.

원료(base)

지금까지의 인조육 제품의 개념은 주로 탈지대두분을 사용한 것으로 식품 소재 중 육류를 부분적으로 대체하는

용도로 많이 사용됐으나 대두취가 항상 남아 있어 풍미에 문제점을 주고, 조직감에서도 안정된 품질유지가 어렵다고 평가되고 있다(9). 이에 대두 단백질을 압출성형공정을 통해 조직화시킬 때 단백질의 함량을 증가시키면 압출 조직에 높은 전단력을 부여하여(10) 조직이 치밀하고 단단해지며, 대두 단백질에 탄수화물을 첨가하면 대두 단백질 압출성형물 구조의 조직화를 촉진한다고 알려졌다(11). Cho와 Ryu(12)의 연구는 분리대두단백뿐만 아니라 밀가루 전분 10%를 첨가하여 식물성 인조육의 조직 결합력을 향상시켰다고 보고하였다.

Han 등(9)은 공정변수를 고정시킨 상태에서 분리대두 단백질에 쌀가루를 각각 10, 20, 30, 40 및 50%까지 혼합하여 쌀 첨가함량이 인조육의 조직감에 미치는 영향에 대한 연구를 하였다. 미세구조 관찰에서 분리대두단백 100% 원료에는 무수한 기공이 일정한 방향의 결을 형성하고 있었으며 쌀 혼합량이 증가할수록 기공의 크기가 증대되었다. 특히 쌀 혼합량 10%와 20%에서 고기의 조직결과 같은 무늬가 형성되어 단백질 소재에 탄수화물 첨가함량이 10% 정도일 때 인조육으로서의 최적의 조직감을 나타내었다. 이는 불용성 탄수화물이 고온하에서 용융에 의하여 단백질과 망목구조를 형성하여 망목의 강도를 높여주기 때문인 것으로 알려져 있다.

인조육의 배합 소재로서 활성글루텐은 밀전분 생산 시 발생하는 부산물로 불용성 단백질이며 주로 gliadin과 glutenin으로 구성되어 있다. 생산량이 많고 가격이 저렴하여 시리얼, 육가공 식품이나 사료 등으로 널리 사용되고 있다(12,13). 분리대두단백과 활성글루텐을 혼합하면 섬유형태의 결 생성을 촉진하며, 글루텐에 부족한 필수아미노산을 분리대두단백의 필수아미노산으로 채울 수 있다(14).

분리대두단백에 글루텐 첨가량을 20%, 40%, 60%로 달리한 Park 등(14)의 연구에서, 글루텐 첨가 함량이 증가할수록 조직화 정도를 측정하는 조직잔사지수와 탄성력, 응집력, 절단 강도가 모두 비례하여 높은 값을 나타내었다. 수화시킨 세 가지 인조육을 절단하여 비교하였을 때 글루텐 함량이 증가할수록 섬유상 구조의 형성이 선명하게 나타남을 확인하였다(Fig. 4).

현재 연구 중인 압출성형 인조육과 기존의 육고기와 미세구조 비교에서도 분리대두단백 40%에 글루텐 첨가

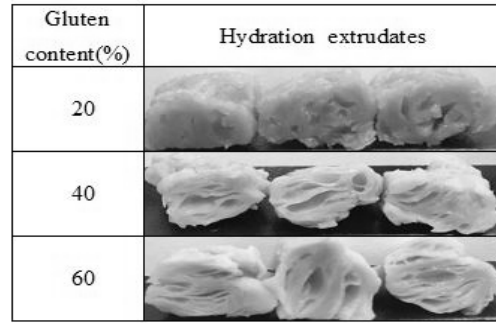


Fig. 4. Comparison of extruded texturized vegetable protein with gluten (20%, 40%, 60%) (14).

함량이 60%로 가장 높은 인조육이 닭고기와 유사한 결조직을 보였다(Fig. 5). 이는 글루텐이 조직화를 촉진하는 주요 요인이며 고기와 유사한 식감을 가질 수 있음을 시사한다.

부원료

압출성형 인조육에 동물성 단백질을 첨가하면 인조육의 색감, 질감, 풍미와 같은 관능적 특성과 영양적, 기능적 측면까지 개선하여 상품화를 위한 과도한 조미, 착향, 착색의 가공 과정을 간소화시킬 수 있으며 생선의 첨가는 육류보다 조직화에 더 용이하다(15). 현재는 압출성형 인조육에 쇠고기와 닭고기 첨가(16)와 돼지고기 첨가(17), 최근에는 웰빙 바람으로 인해 육류보다 참치 톱밥(18)이나 갈색거저리와 같이 가성비, 다이어트, 건강 면에서 다양한 기능성을 가진 첨가소재에 대한 연구 등이 진행되어 있다.

특히 참치는 농어목 고등어과의 고단백식품으로 영양학적으로 우수하며, 불포화지방산을 다량 함유하여 혈중 콜레스테롤 농도를 낮추고 동맥 경화를 예방하며, 항암작용을 하는 것으로 알려져 있다(19,20). Cho와 Ryu(12)의 연구에서 압출성형 인조육에 참치 톱밥을 첨가하였을 때 항산화 활성이 증가하였다고 보고하였다. 이는 참치에 함유된 셀레늄과 같은 항산화능 개선 기능성 물질과 압출성형 시 가열로 인해 참치에 함유된 단백질 펩타이드가 가수분해되면서 항산화 활성능력이 향상되었기 때문이다(21).

또한, 참치 톱밥의 함량이 증가할수록 조직감 강도는

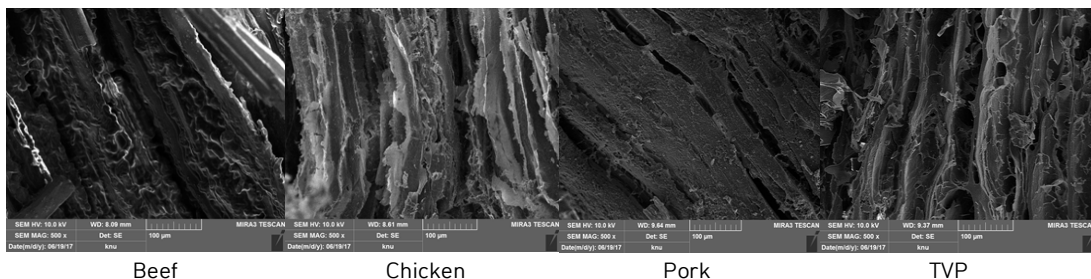


Fig. 5. Comparison of scanning electron micrographs of beef, chicken, pork, and extruded texturized vegetable protein (TVP).

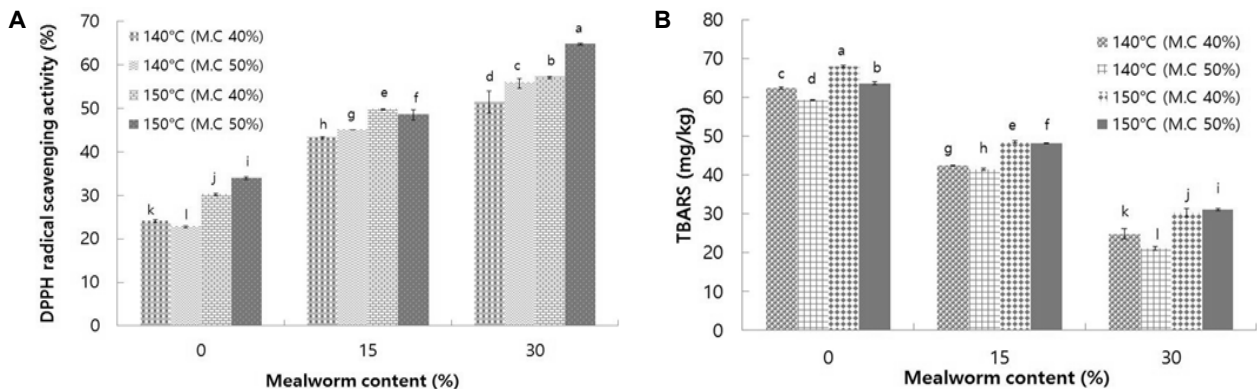


Fig. 6. DPPH radical scavenging activity (A) and TBARS (B) of extruded texturized vegetable protein with mealworm. M.C: moisture content. Values with different letters (a-l) above bars differ significantly ($P<0.05$).

감소하는 패턴을 보였다. 이는 일반적으로 지방함량이 낮은 고기는 건조가 급격하게 이루어져 관능적 특성이 감소하는 것으로 볼 때 참치 톱밥에 함유된 지방이 인조육의 조직감을 개선하였음을 시사한다.

식용곤충은 육류와 비교하여 손색이 없는 고품질의 단백질, 지방, 필수 아미노산 성분을 함유하고 있다. 또한, 향미 면에서도 소비자들에게 좋은 평가를 받고 있으며 특히 환경오염 없이 낮은 비용으로 지속적 생산이 가능해 가격대비 우수한 식품 소재이다(22). 특히 ‘고소애’라고도 불리는 갈색거저리는 고단백이면서도 다른 식용 곤충에 비하여 탄수화물 함량이 낮고 불포화 지방산이 생선만큼 많이 함유되어 있어 상품 가치가 크다(6). 무엇보다 식자원의 개발과 생산이 시급해질 미래 육가공 식품의 대체 식품 소재로 각광받고 있다.

이러한 갈색거저리를 첨가하여 고품질의 인조육 개발을 목적으로 한 Cho와 Ryu(12)의 연구에서 기본 배합 인조육에 갈색거저리 첨가 함량을 증가시킬수록 인체에 흡수되는 단백질의 품질을 좌우하는 수용성 질소지수와 단백질 소화율뿐만 아니라, 항산화 활성도 비례하여 증가하였다. 이와는 반대로 갈색거저리 첨가 함량이 높을수록 산패도는 감소하는 경향을 보였다. 이는 갈색거저리에 함유된 항산화 성분이 과산화 지질의 형성을 막아 산패도를 감소시킨 것으로 보이며 이들 항산화력과 과산화물가가 사이는 역상관관계를 보였다(Fig. 6). 특히 동일한 조건으로 갈색거저리와 참치 톱밥의 첨가소재를 달리한 두 인조육의 비교 연구에서, 갈색거저리 첨가 인조육이 참치 톱밥의 첨가 인조육보다 더 높은 항산화력을 보여 기능성 소재로서의 갈색거저리의 우수성을 확인하였다(Fig. 7). 갈색거저리의 첨가는 인조육의 영양적인 면과 더불어 항산화 기능성도 향상시키는 유효한 공정이며 향후 식품 첨가물로서의 다양한 가능성을 시사한다.

이러한 동물성 단백질 소재뿐만 아니라, 최근에는 전 세계적으로 커피만큼 큰 소비량을 자랑하는 녹차를 첨가한 인조육에 대한 연구개발도 활발히 진행되고 있다. 녹차에는 항박테리아, 항암, 항바이러스 및 항돌연변이 기

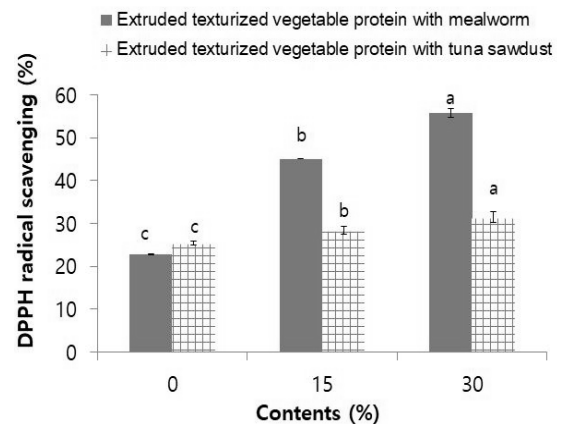


Fig. 7. Comparison on DPPH radical scavenging activity of extruded texturized vegetable protein with mealworm and tuna sawdust. Values with different letters (a-c) above bars of the same protein differ significantly ($P<0.05$).

능이 있으며, 특히 녹차에 함유된 카테킨은 항산화 방어 기작으로 알려진 SOD의 활성을 촉진하여 활성산소인 프리라디칼을 제거하는 탁월한 효능을 가진다(23). 분리대두단백과 글루텐, 옥수수 전분을 혼합한 압출성형 인조육에 녹차 가루 첨가량을 달리하여 전반적인 품질에 대한 연구에서, 압출성형 인조육에 녹차 첨가량이 증가할수록 항산화 기능성의 향상과 더불어 미세구조와 조직감 분석에서 모두 실제고기와 더 유사한 조직 구조를 보인 것으로 확인되었다. 향후 이런 우수한 식물성 및 동물성 식품 소재를 활용한 인조육의 조직감 및 품질 개선을 위한 다양한 연구들이 진행될 것으로 전망된다.

공정변수

압출성형 인조육은 원료의 특성뿐만 아니라 동일한 원료를 사용하였을 때 압출성형공정 변수에 따라 조직화 품질 특성이 변화된다. 압출성형공정 변수는 독립변수인 가공변수, 종속변수인 시스템 변수와 목적 변수로 구분한다. 압출성형가공 변수는 수분함량, 배럴의 온도 분포, 스

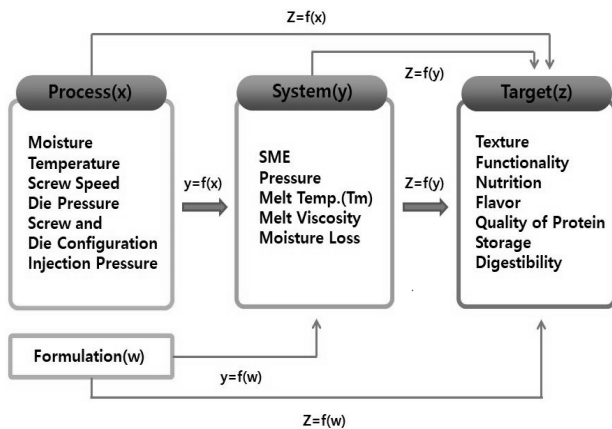


Fig. 8. Parameters of extrusion process of textured vegetable protein.

크루 회전 속도, 원료투입량 등이 포함되며 이는 작동자가 조절할 수 있는 변수이다(Fig. 8). 시스템 변수는 원료의 배합비와 압출성형공정 변수에 따라 결정되는 종속변수로서 비기계적 에너지 투입량, 배럴 내부압력분포, 체류 시간, 용융물의 점도 등이 포함된다. 압출성형물의 최종 품질이 결정되는 목적변수에는 압출성형 인조육 제품의 외관과 조직화 정도, 수분흡습성, 영양가 등이 있다(24).

압출성형은 주로 가공변수에 의하여 생성물의 물리화학적 및 관능적 특성이 복합적인 영향을 받는데, 일반적으로 전분의 경우 수분함량이 증가하면 호화도가 높아진다고 알려져 있다. 분리대두단백에 쌀을 혼합한 경우에는 원료의 수분함량이 낮으면 압출성형물의 팽화율이 증가한다. 그리고 쌀을 첨가한 압출성형물의 조직화 정도는 쌀가루 첨가량보다는 오히려 사출구 온도와 수분함량에 더 큰 영향을 받는다고 알려져 있다.

특히 수분함량은 단백질의 변성과 용융에 중요한 인자로 수분함량이 증가할수록 용융온도는 감소하고 용융물의 점도는 감소한다. 수분증가에 따른 용융물의 점도 감소에 의해 팽화율은 감소하게 된다. 배럴과 사출구 부위 온도가 증가할수록 콩조직단백이 복원될 때 수분흡수도는 증가하게 된다. 팽화율과 밀도는 역상관관계이므로 온도의 증가에 따라 밀도는 급격하게 감소한다. 또한, 스크루 회전속도가 증가하면 자기발열형 단축압출성형기의 경우 기계적 에너지가 열에너지로 전환율이 증가하므로 온도가 상승하여 인조육의 조직화에 영향을 준다. 압출성형공정변수에 따른 기계적 조직감과 관능적인 조직감을 비교한 결과에서도 기계적인 조직감은 관능적인 조직감과 유의적인 상관관계를 보여주었다(24).

수분에 따라 비기계적 에너지 투입량이 달라지는데 Park 등(14)의 연구결과에서 수분이 증가할수록 비기계적 에너지 투입량이 감소하였다고 보고된바 압출성형 습식공정은 건식보다 경제적이며 효율적이다. 또한, Lin 등(24)은 수분함량 30%에서 압출성형을 하면 조직이 팽화되지만 수분함량 50% 이상에서 냉각다이를 사용하여 압

출성형을 하면 팽창이 억제되고 실제고기와 유사한 결을 지닌 섬유상 조직이 만들어져 인조육 제조에 적합하다고 보고하였다.

Gu(25)의 연구에서 수분함량이 증가하고 스크루 회전 속도가 낮을수록 탄성력과 응집성, 조직잔사지수와 단백질조직의 용해정도를 나타내는 수용성 질소지수가 낮은 값을 나타내었다. 이는 고수분과 낮은 스크루 회전 속도의 조건에서 압출성형 인조육의 조직결착력이 향상됨을 나타낸다. 이와 유사한 Park 등(14)의 연구에서 사출구 온도가 증가하고 수분함량이 감소할수록 직경 팽화율과 비길이는 증가하였으며, 밀도는 감소하는 경향을 보였다. 또한, 사출구 온도가 증가하고 수분함량이 감소할수록 기공형성의 증가로 인하여 파괴력이 감소하였으며 인조육의 조직화 척도를 나타내는 조직잔사지수에서도 수분함량이 낮을수록 유의적으로 낮은 값을 나타내었다. 스크루 회전 속도가 증가할수록 수용성 질소지수는 증가하여 압출성형 시 배럴에서 머무는 시간이 짧을수록 단백질의 변성 정도도 감소하였다. 이렇게 사출구 온도와 수분함량 및 스크루 회전 속도와 같은 압출성형공정 변수들은 인조육의 조직감 특성을 좌우하는 인자로서, 제조 시에 고기의 질감을 살리기 위한 최적의 조건을 위한 변수이다.

조직화 기작

압출성형공정을 통해 인조육의 식물성 단백질이 조직화되어 고기와 같은 결을 이루는 섬유상 구조를 형성하게 되는 기작은 원재료의 수분함량이나 스크루의 회전속도에 따른 압력 및 물질의 흐름 기작과 깊은 상관관계를 지닌 것으로 알려져 있다.

압출성형 시 배럴의 최소 온도는 130°C이며, 인조육의 식물성 단백질은 압출성형기의 배럴 내부에서 스크루 회전에 의한 전단력, 수분과 온도의 영향으로 변성이 일어나고 단백질의 3차원 구조가 파괴되어 펩타이드 결합으로 연결된 아미노산 사슬이 풀린다. 이때 변성된 단백질 사슬 간의 amide 결합, disulfide 결합, 수소결합에 의한 가교결합의 형성이 사출구 부위 방향의 배럴에서 시작된다. 가교결합이 형성된 단백질 용융물은 사출구를 통과하면서 사출구의 길이 방향으로 단백질 매트릭스와 층류의 흐름이 형성되고 조직화로 인한 성형이 이루어진다(Fig. 9). 사출구 내부에서 과열 증기는 점탄성을 가지는 용융물의 내부에 존재하다가 사출구를 통과하면서 급격한 압력의 저하와 함께 단백질 매트릭스의 팽화가 일어난다. 이 팽화도는 사출구 압력, 수분함량과 용융물의 물성에 따라 달라지는데, 사출구 부위를 냉각할 경우 과열증기가 액화되어 사출구를 통과할 때 비체적 증가가 없어지므로 팽화가 이루어지지 않고, 단백질 용융물은 성형과 가교결합을 가진 펩타이드 사슬이 일정한 방향으로 섬유상 조직화가 일어난다(24).

이렇게 사출구를 통과한 조직화 단백질은 130°C의 건

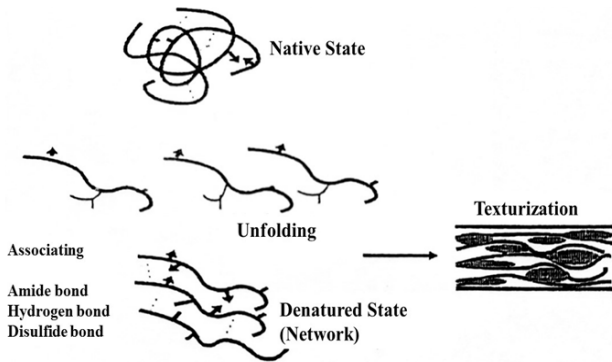


Fig. 9. Mechanism of protein denaturation and texturization (23).

조 온도에서 벨트건조기를 통과하여 건조한 다음 냉각하여 수분함량 6~8%가 되게 한다. 절단과 건조 과정에서 생긴 작은 입자를 진동체를 이용하여 분리, 일정한 크기로 절단한 후에 색소, 향, 맛 성분을 인위적으로 첨가하여 상품화 공정을 거친다(1).

고수분(습식)과 저수분(건식)의 비교

고수분 압출성형(습식)은 식물성 단백질을 육고기와 같은 제품으로 조직화하는 기술로, 기존의 저수분 압출성형(건식)보다 인조육의 맛을 증진시키는 이상적인 방법으로 알려져 있다. 수분은 압출성형공정에서 중요한 요인 중 하나이며, 일반적으로 습식의 범위는 수분함량 40~80%, 건식의 수분함량은 10~30% 정도이다.

습식은 그동안 전통적으로 사용됐던 건식과 비교하여 볼 때 많은 이점을 지니고 있다. 건식이 일반다이를 사용하여 조직의 팽화가 이루어지는 반면, 습식은 냉각다이를 사용하여 고기와 흡사한 결을 가진 섬유상 조직화 단백질을 만드는 데 목적을 둔다. Lin 등(24)은 수분함량 30%에서 압출성형을 하면 조직이 팽화되지만 수분함량 50% 이상에서 냉각다이를 사용하여 압출성형을 하면 팽창되지 않은 섬유상 조직이 만들어진다고 하였다(Fig. 10) 또한, 건식은 상품화를 위하여 수화, 조미, 착색, 착향 등의 가공 과정을 거쳐야 하는 반면, 습식은 이를 간소화시킬 수 있는 장점이 있다(26). 단, 습식은 실온에도 보관이 가능한 건식에 비하여 저장 기간이 짧아 냉장 보관하여야 하는 단점이 있다(Table 1).

압출성형공정에서의 수분은 윤활유, 가소제, 반응물질

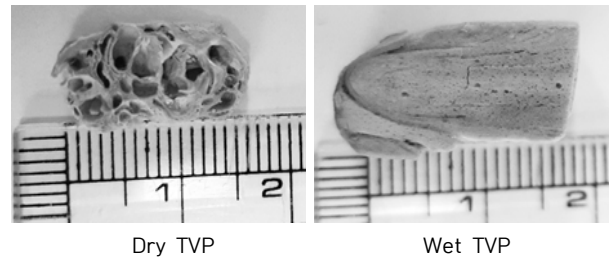


Fig. 10. Comparison on air cell structure of wet- and dry-extruded textured vegetable protein.

등의 기능을 가지는 데 고수분 압출성형 시 이 기능들이 보다 더 활성화된다(27). 또한, 유리전이온도를 낮춤으로써 용융물의 녹는점과 점도를 건식 시보다 더 낮게 감소시키고, 비기계적 에너지 투입량을 낮추어 에너지 효율성 면에서 건식보다 경제적이며 효율적이다.

습식과 건식 인조육의 비교 연구에서 수분함량이 28%에서 60%로 증가하였을 때 단백질의 집적반응, 응집 정도가 감소하였다는 연구 결과가 있다(28). 이는 수분함량의 증가로 인하여 압출 열로 인해 발생하는 단백질 간, 아미노산 간의 상호작용은 감소하고, disulfide 결합, 수소결합에 의한 가교결합이 강화되기 때문이다(27). 따라서 고수분 압출성형은 인조육의 조직화 면에서 우수한 방법으로 최근까지 압출성형공정에서 널리 이용되고 있다.

개선 과제

인조육 시장이 큰 잠재력을 지니고 있는 데 비해 식감, 맛, 육즙 등의 면에서 소비자들의 욕구를 충족하지 못하여 육류보다 기호성이 떨어지기 때문이다. 실용적인 고기 대용품으로서의 인조육의 조건은 주로 맛, 조직감과 같은 관능적 요소, 간편하고 건강지향적이며 환경친화적인 것 이어야 하는데, 압출성형 인조육은 이에 거의 부합되는 조건을 지니고 있으나 육즙이나 식감으로 표현되는 조직감면 등에서 개선이 필요하다.

비록 소수이긴 하지만 콩단백 알레르기, 글루텐 불내증의 위험 요소는 인조육 시장에 부정적으로 작용할 수 있으므로 프로바이오틱스 유산균과 같은 면역과 소화 기능을 강화하는 첨가물을 사용하는 것도 좋은 시도가 될 것이다. 또한, 140°C 이상의 고온에서 이루어지는 압출성형공정 중 단백질 변성에 의하여 필수 아미노산의 감소가 일어나는 문제도 생각해 보아야 할 과제 중 하나이다.

Table 1. Comparison on difference of wet- and dry-extruded textured vegetable protein

Dry TVP	Wet TVP
Low moisture (<35%) extrusion cooking	High moisture (>50%) extrusion cooking
Die	Cooling die
Sponge-like texture (air cell)	Fibrous and layered structure like muscle meat
Rehydration prior to consumption	Directly consumption
Storage at room temperature	Storage in refrigerator
Long shelf life	Short shelf life

압출성형 인조육의 조직감 향상과 가공 과정의 조미, 착향, 착색을 간소화시키기 위하여 갈색거저리나 참치 톱밥을 첨가하였을 때 기능성이 향상되는 장점에도 불구하고 조직결착력이 다소 떨어지고 팽화나 균열이 일어나 인조육으로서의 식감이 떨어지는 요인들에 대한 개선이 요구된다.

최근 빌 게이츠 등이 투자한 ‘임파서블 버거 패티’는 고기 특유의 붉은색을 내는 단백질 성분인 헴과 쇠기름과 유사한 성질을 지닌 코코넛 오일을 첨가하여 ‘피 흘리는 채식 인조육 버거’를 개발하였다. 또한, 감자 전분과 밀을 혼합하여 고기를 구웠을 때처럼 표면이 바삭해지는 식감을 살리는 등 인조육의 실용성과 편의성 등에 이러한 획기적인 향미 개발연구 노력이 더해져야 한다.

요 약

압출성형공정을 통한 인조육의 제조는 많은 장점을 지니고 있다. 따라서 다양한 인조육 제품의 개발·생산에 대비하여 압출성형 인조육의 우수성과 현재 발표되었거나 진행 중인 인조육 연구를 종합 정리하고 개선과제와 발전방향에 대하여 살펴보았다. 기존의 인조육 제품은 주로 탈지대두분과 분리대두단백을 사용한 것에 글루테이나 쌀, 밀 또는 옥수수 전분과 같은 다양한 배합 소재들이 인조육의 조직 결착력과 씹힘성과 같은 식감을 개선하는 데 사용되었다. 또한, 육류보다 조직화에 더 용이하고 가공 부산물의 활용 측면에서도 우수한 소재인 참치 톱밥이나 최근 각광받는 식품 소재로 떠오르고 있는 고단백 저칼로리의 갈색거저리와 같은 동물성 소재를 첨가하여 색감, 질감, 풍미와 같은 관능적 특성과 영양적, 기능적 측면까지 개선하고 상품화를 위한 과도한 가공 과정을 간소화시키기 위한 연구도 진행되었다. 압출성형은 주로 원료조성과 수분함량, 사출구 온도, 스크루 회전 속도 등의 가공 변수에 의하여 생성물의 이화학적 및 관능적 특성이 복합적인 영향을 받는데, 최근 연구들에 의하면 사출구 온도가 감소하고 수분함량이 증가하며 낮은 스크루 회전속도의 조건에서 인조육의 조직결착력과 씹힘성 등의 조직감이 향상되었다. 큰 잠재력을 지니고 있는 인조육 시장의 소비자 욕구를 만족시키고 실용적인 고기 대용품으로서의 조건을 완전하게 부합시키기 위하여 육즙이나 식감으로 표현되는 조직감 등에서도 실제 고기와 흡사하거나 그보다 더 높은 수준의 압출성형 인조육 연구개발이 지속적으로 이루어져 할 것이다.

참고문헌

- Kinsella JE, Franzen KL. 1978. Texturized proteins: Fabrication, flavoring, and nutrition. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 10: 147-207.
- Hager DF. 1984. Effects of extrusion upon soy concentrate solubility. *J Agric Food Chem* 32: 293-296.
- Kim EB, Kim EJ, Lee HN, Lee MK, Oh JS, Kim SO, Lee SY. 2008. The quality characteristics of soy cutlets using textured soy protein treated with different enzymes. *J Korean Soc Food Cult* 23: 507-513.
- Moon HK, Lee SW, Moon JN, Kim DH, Yoon WJ, Kim GY. 2011. Quality characteristics of various beans in distribution. *J East Asian Soc Diet Life* 21: 215-221.
- McMindes MK, Godinez E, Mueller I, Orcutt M, Altemueller PA. 2010. A protein composition and its use in restructured meat and food products. *Korea Patent* 10-098 2069.
- van Huis A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu Rev Entomol* 58: 563-583.
- Oonincx DGAB, de Boer IJM. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PLoS ONE* 7: e51145.
- Song DB, Koh HK, Kim YH. 1994. Analysis of the TPP (texturization of plant protein) production process using twin screw extruder. *J Korean Soc Agric Mac* 19: 42-49.
- Han O, Park YH, Lee SH, Lee HY, Min BL. 1989. The texturization properties of textured extrudate made by a mixture of rice flour and isolated soybean protein. *Korean J Food Sci Technol* 21: 780-787.
- Maurice TJ, Stanley DW. 1978. Texture-structure relationships in texturized soy protein IV. influence of process variables on extrusion texturization. *Can Inst Food Sci Technol J* 11: 1-6.
- Hager DF. 1984. Effects of extrusion upon soy concentrate solubility. *J Agric Food Chem* 32: 293-296.
- 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.
- Kim YJ, Lee JH, Choi MJ, Choi DR, Lee SK. 2013. Effects of vital wheat gluten on quality characteristics of white pan bread containing resistant starch. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 76-82.
- Park JH, Chatpaisarn A, Ryu GH. 2017. Effects of gluten and moisture contents on texturization of extruded soy protein isolate. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46: 473-480.
- Ledward DA, Taylor AJ, Lawrie RA. 1983. Texturization of recovered proteins. In *Upgrading Waste for Feeds and Food*. Butterworth-Heinemann Publisher, Norman, OK, USA. p 163-172.
- Mégarid D, Kitabatake N, Cheftel JC. 1985. Continuous restructuring of mechanically deboned chicken meat by HTST extrusion-cooking. *J Food Sci* 50: 1364-1369.
- Liu SX, Peng M, Tu S, Li H, Cai L, Yu X. 2005. Development of a new meat analog through twin-screw extrusion of defatted soy flour-lean pork blend. *Food Sci Tech Int* 11: 463-470.
- Carroll KK. 1986. Biological effects of fish oils in relation to chronic diseases. *Lipids* 21: 731-732.
- Mehta J, Lopez LM, Wargovich T. 1987. Eicosapentaenoic acid: Its relevance in atherosclerosis and coronary artery disease. *Am J Cardiol* 59: 155-159.
- Choi JI, Kim JH, Lee JW. 2011. Physiological properties of tuna cooking drip hydrolysate prepared with gamma irradiation. *Process Biochem* 46: 1875-1878.
- DeFoliart GR. 1999. Insects as food: Why the Western attitude is important. *Annu Rev Entomol* 44: 21-50.
- Lu TM, Lee CC, Mau JL, Lin SD. 2010. Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Food Chem*

- 119: 1090-1095.
23. Ryu GH. 2003. Texturization of plant protein by using extrusion process. *Food Eng Prog* 7: 73-79.
24. 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.
25. Gu BY, Ryu GH. 2017. Effects of moisture content and screw speed on physical properties of extruded soy protein isolate. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46: 751-758.
26. Chen FL, Wei YM, Zhang B, Ojokoh AO. 2010. System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range. *J Food Eng* 96: 208-213.
27. Chen FL, Wei YM, Zhang B. 2011. Chemical cross-linking and molecular aggregation of soybean protein during extrusion cooking at low and high moisture content. *LWT-Food Sci Technol* 44: 957-962.
28. Akdogan H. 1999. High moisture food extrusion. *Int J Food Sci Technol* 34: 195-207.