
식물성 단백질을 이용한 육류대체식품의 개발

김 철 재

숙명여자대학교 생활과학대학 식품영양학 전공

식물성 단백질을 이용한 육류대체식품의 개발

김 철 재

숙명여자대학교 생활과학대학 식품영양학 전공

1. 머릿말

우리나라는 1977년에 쌀 자급자족이 달성된 이후 식품소비형태가 인구·가족에 관한 요인, 경제·산업화 요인, 사회·문화적 요인 등으로 질적으로나 양적으로 많은 변화가 일어나고 있다. 1980년대까지 식품소비 증가세가 뚜렷하였으나 1980년대 중반 이후에는 식품소비의 양적 확대 추세가 크게 둔화되는 대신 질적 전환을 시작하여 2000년대까지 온 것으로 판단된다¹⁾. 이러한 추세에 있어서 식품류에 소비지출의 비중은 감소 내지는 정체이나 식품류별 소비 추세는 주식인 밥 위주의 전통적인 곡식·채식 유형의 식생활 비중이 줄어들고 빵과 고기, 치즈, 우유 등 육식 위주의 식생활 유형이 증가하여 다양화·고급화의 경향이 있으며, 주5일제 도입으로 외식형태의 식료 소비가 급속히 증가하고 있어 식생활의 외부화 (또는 서비스화) 추세가 진전되고 있다. 또한 간편성과 편리성을 추구한 가공식품의 수요도 증가하고 있다. 사회의 노령화 인구의 증가와 건강에 대한 관심 고조로 식생활이 성숙되어 건강·안전 지향적 식품도 상대적으로 중요성이 증가하고 있다²⁾. 특히 소득증가에 따른 생활수준의 향상과 국제교역의 자유화로 인한 생활양식의 서구화로 신선육뿐만 아니라 식육가공품의 소비는 증가 추세에 있으나 값싸고 품질 좋은 원료육의 지속적인 확보, 식육가공품의 다양화 및 고급화 추세에 대응 미흡, 식육 수입량의 증가 추세, 육가공산업의 안정적 경영기반의 취약, 국내육의 육질 개선 미흡, 육가공 기술 인력 부족, 세계시장 경쟁에 대한 의식 부재 등 육가공산업의 내재된 문제점이 소비 증가 추세와 균형을 이루지 못하고 있다³⁾. 또한 국내외적으로 발생된 단체급식소에서의 식중독사고, 2000년~2003년에 국내 가축전염병의 주기적 발생에 대한 소비자의 안전성에 대한 불안, 더욱이 육류 소비에 따른 건강상 이유⁴⁾ 등으로 일부 육류 소비자들은 육류 소비를 줄이거나 육류를 대체할 식품에 관심을 갖고 있다.

서구 식문화의 보급 확산으로 육류를 포함한 동물성 식품 섭취 증대로 가축사료용 곡물수요가 증가하고 있으나 우리나라의 경우 사료용 곡물자원이 부족하여 축산물의 생산은 한계가 있으며 아울러 수입도 역시 국내 축산업의 보호 육성정책으로 제한을 받을 수 있다. 또한 육류는 곡물사료를 통한 단백질을 6~38% 정도 밖에 식용 단백질로 전환하지 못하여서⁵⁾ 비효율적이다. 따라서 육류를 대체할 수 있는 식물성 단백질의 개발과 공급이 크게 표면화되고 있다⁶⁾.

식품원료 가격이 점차 상승함에 따른 값싼 원료로 대체하여 부가가치가 높은 가공식품을 개발하려는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 곡류나 콩과 같은 식물성 단백질을 이용한 대체 육류식품(meat analog)이나 조립식품(fabricated food) 개발이 좋은 예가 될 것이다⁷⁾.

일반적으로 육류대체식품은 식물성 단백질이나 미생물 단백질로부터 제조된다. 제조 시 육류와 같은 조직감, 향미 그리고 외관을 갖고 있어야 한다. 즉 동물의 근육과 유사한 섬유상 구조 또는 조직을 갖고 있어야 하며 요리 시 필요한 재수화(rehydration)에도 섬유상 조직이 파괴되어서도 안된다. 또한 육류와 유사한 보수력 및 지방 흡착성과 같은 기능성도 가져야 하며, 제조 시 첨가하는 제반의 향미, 향신료 및 착색물질들을 요리 시에도 지속적으로 조직 내에 보유해야 한다. 따라서 육류 대체식품은 사용하는 식물성 단백질의 종류, 식물성 단백질의 조직화 제조기술, 첨가되는 부원료 등에 따라 다양한 제품을 제조할 수 있다. 이러한 육류 대체식품이 갖춰야 할 조건은 현재의 제반적인 가공기술로 충분하지만 더욱더 개선된다면 정말로 육류와 동일한 제품이 개발될 것으로 기대된다.

본 원고에서는 육류대체식품의 종류, 육류 대체식품에 활용되는 식물성 단백질의 특성과 기능, 육조직과 동일한 조직을 갖게 하는 제조기술과 생산공정, 육류대체식품의 제조 및 활용 그리고 전망에 대해 논하고자 한다.

2. 육류 대체식품의 분류

육류 대체식품을 제조하기 위해서 필요한 식물성 단백질 또는 비육류 단백질(non-meat protein)은 기본적으로 생산공정 및 사용목적에 따라 육류 보완제품(meat extender)과 육류 유사제품(meat analog)로 대별된다⁶⁾. 육류 보완제품은 압출성형공정(thermoplastic extrusion)을 이용하여 제조되는 팽화되고 기포를 갖는 비연속적 망상의 식물성 조직 단백을 통칭하며 단독이용보다는 기존 육류제품에 증량제로 주로 활용되어 구조를 더해주거나, 수분이나 향미를 흡착하거나, 조리량(cooking yield)을 증가시키거나, 원료비용을 경감하는 쪽으로 활용된다. 예를 들면 피자(pizza) 위에 meat topping이다.

육류 유사제품(meat analog)은 기존 육류제품을 대체하여 사용될 수 있는 제품을 통칭하며 육류 보완제품(meat extender)에 비해 훨씬 복잡한 공정을 거쳐 기포가 없는 치밀한 판상 섬유조직을 특징으로 하며, 대상 육류제품이 갖고 있는 동일한 형태, 맛, 그리고 조직감을 갖고 있어야 한다. 조리 후에도 육류와 유사한 조직, 외관 및 입안의 촉감을 유지할 수 있도록 제조된 제품이라 할 수 있다. 제품 예를 들면 유사 베이컨 조각(imitation bacon bits)이다.

한편 Mintel Consumer Intelligence에서는 위의 두 종류 외에 meat alternative를 추가하고 있다⁸⁾. Meat alternative는 meat analog와 유사하나 구별하자면 육류와 같은 기능과 동등한 영양 가치를 갖고 있으나, 육류와는 동일한 맛과 향의 관능적 성질을 갖지 않아도 되는 제품을 말한다. 예를 들면 veggie burger이다.

3. 육류 대체식품의 소비자

육류 대체식품을 요구하는 소비자는 대충 3그룹으로 분리될 수 있다⁹⁾. 첫 번째 그룹은 채식주의자다. 종교적 신념으로 식사에 일종의 육류제품을 금하거나, 채식만 하는 소비자이다. 최근 Labell¹⁰⁾에 의하면 미국에서 1,200여만 명이 채식주의자이며 해마다 증가하고 있다. 이들 대부분은 육류가 없는 식사를 선택하나, 반드시 육류 대체식품으로 대체하지는 않고, 곡류, 채소, 과일 그리고 견과 등을 일상식단에 활용하고 있다.

두 번째 그룹은 육류를 대체할 수 있는 건강 지향적 식품을 찾는 소비자이다. 이들은 채식주의자의 식사도 하나 콜레스테롤, 지방, 에너지, 소금농도, 인공식품첨가물, MSG 등 건강에 관심이 많다. 이들은 복합탄수화물의 소비를 증가시키며 육류에 함유치 않는 영양소를 식물원에서 찾으려고 노력한다. 이들은 부분적

으로 채식주의자이나 우유, 계란, 쇠고기 등 동물성 식품을 첨가한 음식도 먹고 있다. 지금까지 이들에 의한 육류 대체식품의 소비가 가장 크다.

세 번째 그룹은 값싼 단백질을 찾는 소비자들이다. 육류가격의 상승으로 인해 고기와 비슷한 육류 대체 식품을 찾는 노력을 많이 한다. 이러한 육류 대체식품은 대두를 비롯한 식물성 단백질로 제조된 육류 보완 제품(meat extender)이 대부분이다. 전 세계적으로 특히 개발도상국가의 경우 육류공급의 제한으로 충분한 육류제품을 섭취할 수 없기 때문에 대두로 제조된 육류대체식품이 영양보충으로 필요하게 된다. 따라서 축산업이 미진한 곳에서 육류 대체식품은 단백질 섭취에 효과적인 방법으로 생각되며 특히 지구상의 인구가 지속적으로 증가하고 단백질원이 부족하여지기 때문에 육류제품 대신 육류 대체식품의 사용을 심각하게 고려하고 있다.

4. 육류 대체 식품의 제조원료

육류 대체식품인 육류 보완제품(meat extender)과 육류 유사제품(meat analog)의 원료는 식물성 단백질이 이용된다. 1950년 이전에는 밀 글루텐(wheat gluten)으로 육류 유사제품(meat analog)을 제조하여 병원 등의 단체급식소에서 사용되어 왔고 1950년 후반에는 대두단백질을 이용하여 육류 조직감, 특히 씹힘성(chewiness)을 갖는 씹히는 겔(chewy gel)을 제조하였으나 상업적으로 성공치 못하였다. 그 후 대두단백질이 육류조직(meat texture)을 갖기 위해 방사법(spinning process), 압출성형공정(thermoplastic extrusion), 증기법(steam texturization)이 사용되어왔다. 방사법은 결합체가 형성하는 구조(matrix) 내에 단백질 섬유가 다발을 형성하는 이질적 구조를 갖는 제품(spun fiber)을 제조할 수 있다. 한편 압출성형공정과 증기법에서는 진정한 섬유구조는 없지만 대두단백질이 수화되고, 층을 형성하는 씹히는 물질로 제조된다. 여기서 육류(meat)라 함은 신선육(flesh food)의 의미에서 적육(red meat)뿐만 아니라 가금류, 생선류, 해산물(seafood)까지 적용된다.

방사법에 의한 육류 대체식품은 주로 육류 유사제품(meat analog)제조에 이용되며 사용되는 원료는 분리 대두단백(isolated soy protein, ISP)이다. 최종 섬유대두단백은 단백질이 25%이고 나머지는 수분과 기름이며 제품의 품질은 육류의 종류에 따라 첨가하는 지방, 향신료, 색소, 영양소, 안정제 등을 조정하며, 제품의 모양도 다양하게 만든다. 이 방법의 문제점은 원료가격 뿐만 아니라 투자가격, 운영비 등이 많이 들기 때문에 현재는 bacon chip의 모방제품에 활용되고 있다.

압출성형공정에서는 탈지대두분(defatted soy flour)이나 농축대두단백(concentrated soy protein)을 물과 잘 혼합한 다음 압출기에서 가열하면서 높은 압력으로 압출시키면 대두단백질 분자가 어느 정도의 방향성을 가지면서 응고되어 그 조직이 육류와 비슷한 씹는 감각을 주게 된다. 원료의 배합은 탈지대두분 또는 농축 대두단백, 조미료, 착색료, 기름, 물을 적당한 비율로 혼합하며, 최종제품의 조직과 맛은 혼합원료의 종류와 비율, 그리고 혼합원료의 수분함량과 가열온도 및 가열시간에 따라 큰 영향을 받는다¹¹⁾. 스크루출구 밖으로 나오는 최종제품을 식물조직단백(textured vegetable protein, TVP) 또는 대두조직단백(textured soy protein, TSP)이라 불리며 적당한 크기로 절단하여 건조와 냉각을 거쳐 포장한다. 탈지대두분을 원료로 제조된 제품을 1세대 TVP라 하며 농축대두단백을 원료로 하여 제조된 제품을 2세대 TVP로 불려진다. 이들 대두조직단백(TSP)의 특징을 Table 1에 나타내었다¹²⁾. 또한 대두조직단백의 용도를 Table 2에 표시하였다.

대두조직단백의 단백질 영양가는 출발물질이 갖는 단백질의 영양가와 동일하다. 일반적으로 단백질의 영양가는 실험동물에 일정한 순수한 단백질을 투여한 후 그 성장반응(growth response), 즉 체중증가율, 질소평형 등에 의하여 결정된다. 그 방법으로 화학가, 단백질가, 생물가, 아미노산가, 단백질효율비(protein efficiency

ratio, PER), 정미단백질이용률(net protein utilization, NPU)등이 이용된다¹³⁾. 최근 단백질 품질을 분석하는 아미노산가나 PER의 갖고 있는 문제점으로 인하여⁹⁾ 새로운 방법인 Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)가 채택되고 있다. 이 방법은 인간이 필요로 하는 아미노산과 단백질 소화율을 기초로 하였으며 소화율을 조정한 후에 단백질에서 제한 아미노산이 필요량보다 어느 정도 적은지를 측정한다. Table 3은 대체육류 식품에 사용되는 원료의 PDCAAS를 고품질 단백질인 육류, 우유, 달걀과 비교하여 보았다¹⁴⁾.

Table 2에서 볼 수 있듯이 단백질 영양가에 있어서 순수한 형태의 대두단백질은 동물성 단백질과 유사함을 알 수 있다.

밀 글루텐¹⁵⁾이나 대두단백질이 식물성 조직단백(TVP)의 대표적 원료단백질이며, 이외에 완두콩(pea), 콩(drybeans), 깨(sesame), 땅콩(peanut), 목화씨(cotton seed)¹⁶⁾와 쌀¹⁷⁾ 등이다.

새로운 단백질 자원인 미생물 단백질(microbial protein 또는 single cell protein, SCP) 중에서 곰팡이 단백질(fungal protein 또는 myco-protein)이 육류 대체식품으로 활용되고 있다¹⁶⁾. 1964년부터 영국에서 *Fusarium graminearum*을 이용하여 전분 부산물로부터 식용단백질을 개발하여 1985년부터 Quorn이라는 상품명으로 시판되고 있다. *F. graminearum*이 생산하는 미세한 섬유는 육섬유와 그 직경이 거의 동일하고 육류의 구조적 특징인 세로로 길게 섬유가 정렬된 동일한 조직을 갖고 있으며 식감이 육류와 유사하다한다. 이 곰팡이는 1kg의 포도당으로부터 136g 단백질을 생산하며¹⁸⁾, 섬유량도 많으며, 비교적 지방은 적게 생산한다. 철저한 품질관리와 무균조건하에서 생성된 이 곰팡이 단백질은 안정하며 신선육과 유사한 유통기한을 가지며 동결 및 건조 상태에서 저장하거나 유통되고 있다.

Table 1. Characteristics of textured soy products

Characteristic	Product based on:		
	Soy flour	Soy concentrate	Soy isolate
Flavour	Moderate to high	Low	Low
Retort stable	Yes	Yes	Yes
Flavour development on retorting	High	Low	Low
Flatulence	Yes	No	No
Form/shape	Granules or chunks	Granules or chunks	Fibres
Cost (dry basis)	Low	Low	High
Recommended hydration level	2 : 1	3 : 1	4 : 1
Cost of hydrated protein	Low	Low	High
Fat retention	Moderate	High	Moderate
Optimum usage level in meat extension (% hydrated level)	15~20	35~50	35~50

Table 2. Preparations and uses of various types of textured soy proteins

Type	Preparation	Uses
Textured flours and concentrates	Thermoplastic extrusion or steam texturization of soy flours or alcohol/heat denatured concentrates. Composition is similar to the corresponding source material.	Many types of fibrous foods, ground meat products, poultry, seafoods
Structured concentrates	Processing through an extruder into different sizes and shapes.	Poultry, meats, seafoods
Structured isolates	Extrusion as above or by extruding a solution of the isolate into an acid-salt bath that coagulates the protein into fibers that are combines with binders to form fiber bundles.	Poultry, seafoods, meat analogs

Table 3. Evaluation of soy protein products in human nutrition

Selected protein sources	
Protein source	PDCAAS ^{a)}
Casein	1.00
Egg white	1.00
Soy protein concentrate	0.99
Isolated soy protein	0.92
Beef	0.92
Pea flour	0.69
Kidney bean (canned)	0.68
Rolled oats	0.57
Lentils (canned)	0.52
Peanut meal	0.52
Whole wheat	0.42
Wheat gluten	0.25

^{a)} Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score.

5. 식물성 단백질의 조직화

육류대체식품을 식물성 단백질로 제조하려면 조직화공정(texturization process)이 필요하다. 조직화(texturization 또는 texturing)는 육류를 섭취할 때 갖는 식감을 주는 물리적 구조를 부여하는 것을 말한다. 육조직감(meat texture)이란 섬유상을 볼 수 있어야 하고, 씹힘성(chewiness), 탄력성(elasticity), 연화(tenderness), 다즙성(juiciness) 등이 복합적으로 내재된 개념이다. 육조직감에서 가장 중요한 물리적 요소는 근육섬유(muscle fiber) 단백질과 결합조직(connective tissue) 단백질이다. 식물성 단백질을 일반적으로 무결정성 조직(amorphous structure)을 갖고 있으므로 단백질을 변형시켜 조직을 형성해 주어야 한다(Fig. 1). 식물성 단백질의 변형(modification)은 효소, 용매, 열처리, pH 조절, 분별(fractionation) 등의 방법을 단독적으로 또는 이 방법을 병행하여 이뤄진다¹⁹⁾. 식물성 단백질의 조직화를 위해서는 고온 고압에서 연속적인 열처리 공정인 압출성형 공정(extrusion process)이 주로 사용되며 이외에 방사법(fiber spinning), 증기법(direct steam texturization), 효소사용²⁰⁾, 두부와 같은 응고법 등이 있다²¹⁾. 압출성형공정은 식물성 단백질을 적당량의 물과 혼합, 압출기(extruder) 내에서 원료의 탄수화물, 단백질 등이 압력, 열, 기계적 전단력의 복합작용으로 가소성(thermoplastic property)을 갖게 되어 신축성 성분이 신장되고 재구조를 형성하여 조직이 부여된다(Fig. 2)²²⁾. 육류보완제품(meat extender)은 1개의 압출기(extruder)에 의해 제조되며, 육류유사제품(meat analog)은 2개의 압출기를 병행 사용하여 제조되는데 첫 번째 압출기에서는 식물성 단백질의 변성, 두 번째에서는 조직화가 일어난다. 1~2개 압축기는 각각 한 개의 축(single screw) 또는 2개의 축(twin screw)으로 구성된다. 따라서 최종제품은 층이 균일하고 평행이며, 꼬임이 없고 기포와 같은 sponge성이 없는 조직을 얻게 되며 조직단백이 갖추어야 할 보수(rehydration) 시 육류와 같은 외관, 식감, 조직을 갖는 제품을 얻을 수 있다. 이 압출 성형공정은 가공원가가 적게 들고 에너지 소비가 적고 다양한 원료를 사용하여 제품의 크기, 모양, 밀도, 보수성 등이 다양한 제품을 생산하는 것이 특징이다. 방사법(fiber spinning process)²³⁾은 제조공정이 복잡하고 분리단백을 원료로 이용하여 제품단가가 비싼 결점이 있기 때문에 크게 신장하지 못하고 있다

(Fig. 3).

일반적으로 육류, 가금류, 어류, 난류, 우유류 식품이 갖는 물리적 성질(physical property)은 그 식품이 갖고 있는 단백질 조성(protein composition)에 의해 대부분 좌우된다. 일부 식물성 단백질을 변형시키면 육류의 물리적 성질을 모방할 수 있는 기능을 갖고 있다.

식물성 단백질 원료를 압출성형하여 조직화하기 위해서 갖추어야 할 조건이 있다. 단백질이 50% 이상이 되지 못하면 견고하지 못한 육조직을 갖게 되며 단백질의 함량이 낮으면 역시 부드럽고 약한 조직물을 얻게 된다. 조직단백에서 섬유소와 지방의 함량 역시 중요한데 섬유소 함량이 높으면 압출성형과정에서 높은 전단력(shear force)을 필요로 하며 지방함량이 3% 이하가 되면 압출성형 시 조직화에 방해가 받게 된다. 따라서 지방함량은 6~7%가 적당하다고 생각되고 있다. 섬유소, 지방 그리고 전분과 같은 탄수화물의 함량이 높으면 육류의 조직을 형성하는 단백질 분자의 상호작용이나 교차 결합에 방해가 받아 조직화에 어려움이 있다.

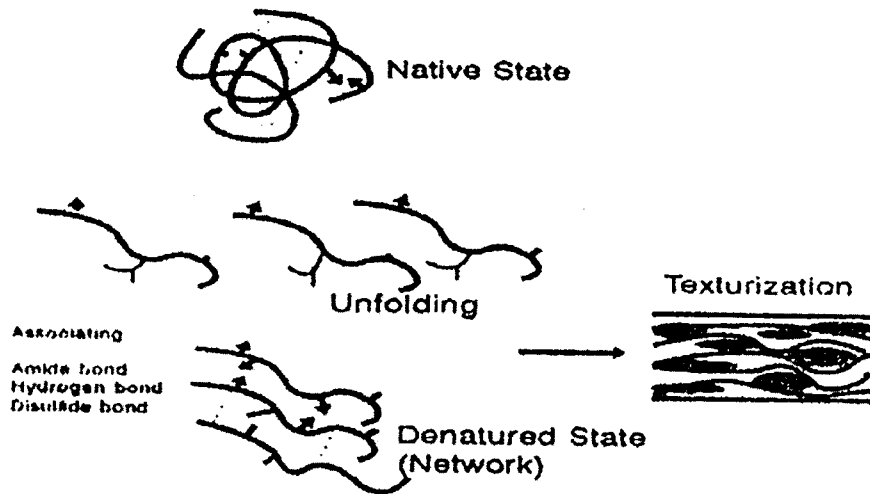


Fig. 1. Mechanism of protein denaturation and texturization.

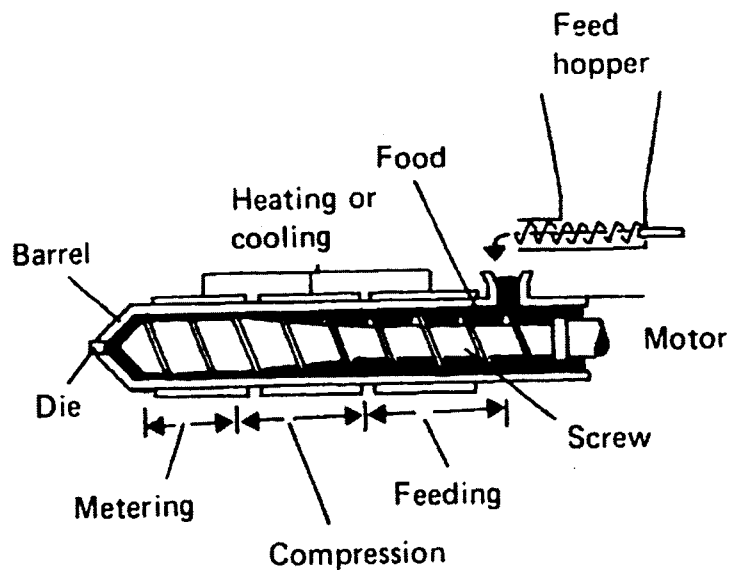


Fig. 2. A single-screw extruder.

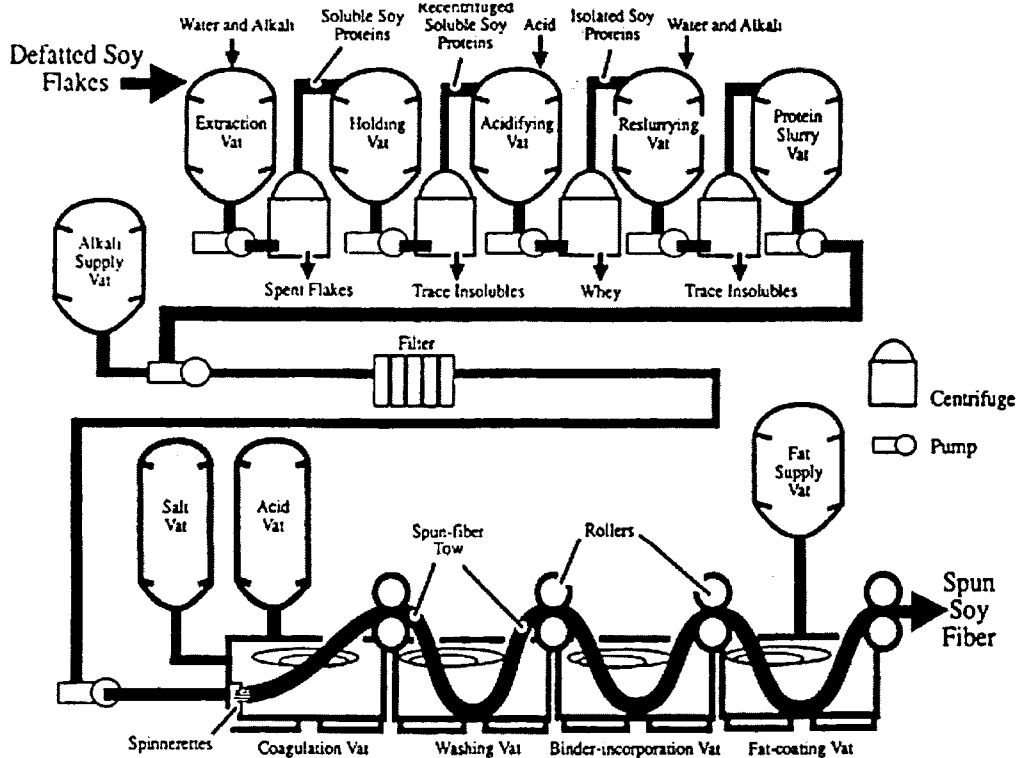


Fig. 3. A process for spinning protein into fibers.

대체 육류 제조에 추가되는 원료로 검질(gum), 전분, 기타 단백질원 등이 이용되고 있으며 이러한 원료들은 사전에 수화시키거나 gel化시켜 사용한다면 압출성형공정을 개선시켜 생산량을 증가시키고 공정시간도 단축시킬 수 있다.

압출성형 공정을 통하여 식물성 단백질을 조직화하기 위하여 단백질의 기능성(functional property)에 대한 특성을 이해하는 것이 중요하다. 단백질의 기능성이란 단백질이 식품 내에서 어떻게 작용하는지를 알 수 있는 이화학적 특성이다²⁴⁾. Table 4에서 볼 수 있듯이²⁵⁾ 육류에서의 중요한 기능은 수분흡수와 결합력, 겔 형성력, 탄력성, 유화력, 지방흡수력, 향 결합력 등이다. 이러한 단백질의 기능성은 압출성형 시 원료 단백질, 압출성형공정변수, 단백질 이외의 부원료의 종류나 배합비에 따라 결정된다. 특히 압출성형공정 변수인 온도, 수분함량, 압력의 변화에 따라 조직화 단백질의 기능성은 변하게 된다²⁶⁾.

식물성 단백질 조직화 기작은 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 압출성형기(extruder) 내부에서 식물성 단백질은 기계적 전단력, 온도, 수분의 영향으로 변성이 일어나며 단백질의 3차 구조가 파괴되어 펩타이드 결합으로 연결된 아미노산 사슬이 풀린다(unfolding). 변성된 단백질 사슬간의 amide 결합, disulfide 결합, 수소 결합에 의한 가교 결합이 형성되어 압출성형기 사출구를 통과하면서 사출구와 평행한 방향으로 단백질 매트릭스가 형성되면서 층류(streamline flow)로 흐름과 함께 조직화가 일어난다. 사출구 내부에서 과열증기는 점탄성을 가지는 변성 단백질 내부에 존재하다가 급격한 사출구를 통과하면서 압력의 저하와 함께 단백질 매트릭스의 팽화가 일어난다. 따라서 팽화율은 사출구 압력, 수분함량과 변성 단백질의 물성에 따라 달라진다. 팽화율이 높은 압출성형조직화 단백질은 고기와 유사한 조직감을 갖는 육류유사제품(meat analog)이 아니라 고기 증량제인 육류보완제품(meat extender)으로 적당하다. 육류유사제품(meat analog)을 개발하기 위해서는 앞서 서술하였듯이 식물성 단백질의 변성과 조직화를 구별한 2단계 압출성형공법, 사출구 냉각방식과 저압조직화 방법으로 가능하다²⁷⁾. 압출성형 공정으로 제조된 전형적인 식품을 Table 5에서 볼 수 있다. 곡류, 육류, 우유류, 설탕류 등을 이용하여 다양한 제품을 제조하고 있다²⁸⁻³²⁾.

Table 4. Functional properties of soy protein products in food systems

Functional property	Mode of action	Food system used	Product
Solubility	Protein solvation, pH dependent	Beverages	F, C, I, H
Water absorption and binding	Hydrogen bonding of water, Entrapment water (no drip)	Meats, sausages, breads, cakes	F, C
Viscosity	Thickening, Water binding	Soups, gravies	F, C, I
Gelation	Protein matrix formation and setting	Meats, curds, cheeses	C, I
Cohesion-adhes on	Protein acts as an adhesive material	Meats sausages, baked goods, pasta products	F, C, I
Elasticity	Disulfide links in deformable gels	Meats, bakery items	I
Emulsification	Formation and stabilization of fat emulsions	Sausages, bologna, soups, cakes	F, C, I
Fat absorption	Binding of free fat	Meats, sausages, doughnuts	F, C, I
Flavor-binding	Adsorption, Entrapment, Release	Simulated meats, bakery items	C, I, H
Foaming	Forms film to entrap gas	Whipped toppings, chiffon desserts, angel cakes	I, W, H
Color control	Bleaching (Lipoxygenase)	Breads	F

Notes: F=soyflour, C=concentrate, I=isolate, H=hydrolyzate, and W=soy whey.

Table 5. Examples of extruded foods

Types of product	Examples
Cereal-based products	Expanded snackfoods
	RTE and puffed breakfast cereals
	Soup and beverage bases, instant drinks
	Weaning foods
	Pre-gelatinised and modified starches, dextrins
	Crispbread and croutons
	Pasta products
Sugar-based products	Pre-cooked composite flours
	Chewing gum
	Liquorice
	Toffee, caramel, peanut brittle
Protein-based products	Fruit gums
	Texturised vegetable protein(TVP)
	Semi-moist and expanded petfoods and animal feeds and protein
	Supplements
	Sausage products, frankfurters, hot dogs
	Surimi
	Caseinates
	Processed cheese

6. 육류 대체식품의 제조

육류 대체식품은 식물성 단백질로부터 제조된다. 현재 사용되는 식물성 단백질은 곡류, 콩 그리고 곰팡이에 의한 단백질이다. 이들로부터 제조된 대체 육류는 육류와 같은 식형태, 조직감과 풍미가 동일하도록 제조되고 있다.

(1) 대두

가) 템페(tempeh)

템페는 발효대두단백식품으로 말레이시아, 싱가포르 등을 비롯한 동남아시아에서 식용하여 왔다. 템페는 가정에서 조리하여 먹어왔으며 상업적으로 건강식품점에서 구입할 수 있다. 템페의 제조는 Fig. 4 와 같다³³⁾.

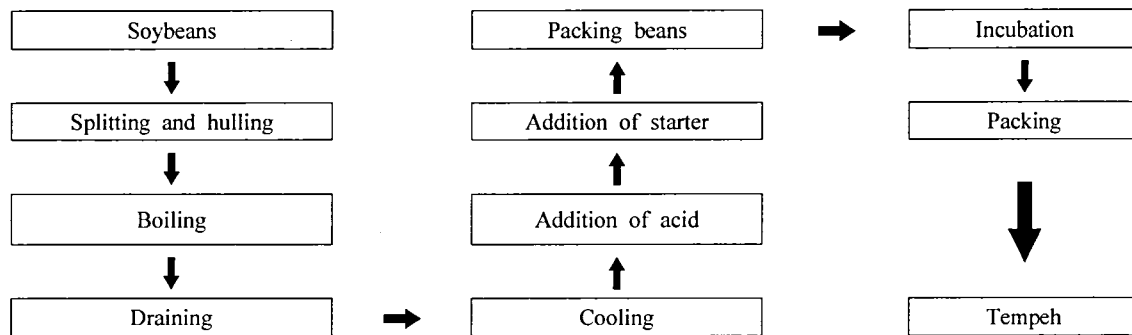


Fig. 4. The production of tempeh.

Fig. 4에서 사용되는 종균은 *Rhizopus oligosporous*이며 29~35°C에서 26~30시간 발효시킨다. 발효가 종료 되면 흰색의 솜털 같은 층이 대두를 감싸며 딱딱한 고체 케이크(cake)처럼 서로 붙어 있어서 얇은 조각으로 잘라도 떨어지지 않는다. 독특하고 버섯과 같은 냄새를 갖고 있다. 냉장고에서 2~3일간 저장할 수 있으며, 얇은 조각으로 자르고 데치기(blanching) 한 후 냉장고에서 오래 보존할 수 있다. 식용으로의 사용은 다양하다. 원형으로 하여 쇠고기버거(burger)로, 기름으로 튀겨 템페버거(tempeh burger)로도 사용된다. 또한 길고 가느다란 조각(strip)으로 잘라 피자(pizza)와 단백질 플랜(flan) 파이에 사용된다.

나) 두부(tofu, doobu)

두부는 대두를 원료로 하여 얻은 대두액에 응고제를 가하여 응고시킨 것으로 수용성 단백질을 수화시키고 Ca과 Mg의 염화물 또는 황산염을 첨가하여 수용성 단백질 성분을 침전, 응고시킨 후 탈수, 성형한 것이다³⁴⁾. 학술적으로 표현한다면 마쇄 시 대두 중에 함유된 단백질이 교질 현탁액인 두유로 제조되고 여기에 응고제를 첨가한 후 중화시켜 침전, 응고된 겔(gel) 상태로 정의된다. 중국을 비롯한 동양에서의 전통적인 두부제조는 Fig. 5와 같은 과정으로 제조되며, 대두 선정과 침지, 두유의 제조, 수용성 단백질의 응고, 성형 틀에 의한 성형 및 압착, 그리고 냉각 및 수침과정이 포함된다. 현재 두부는 우리나라를 비롯해 중국, 일본, 동남아시아 등의 동양권 뿐만 아니라 미국을 비롯한 서구에서 관심을 갖고 있어 세계적인 식품이 되어가고 있다. 이는 두부가 갖고 있는 영양분이 풍부하고 가격이 저렴하다는 이유도 있지만 건강식품으로의 관심이

높아지고 두부에 대한 식품 신소재로서의 인식과 이용이 새롭게 되어가고 있기 때문이다²¹⁾

두부는 전통적인 식용 뿐만 아니라 최근 두부를 이용한 가공 두부류 예를 들어 hamburger, sausage, pizza, steak, jerky, meatball 등 육류 대체식품과 ice cream, yogurt, mayonnaise 등 우유 대체 식품을 포함하여 550여 종의 두부가공품이 있는 것으로 알려지고 있다³⁵⁾. 한편 미국에서는 두부를 사용하여 Befine이라는 상품명을 갖는 육류 유사제품(meat analog)을 개발하였는데 이 제품은 육류의 조직감과 씹힘성(chewiness)을 갖고 있다. 소비자가 원하는 맛을 첨가할 수 있고, burger용으로 이용할 수 있으며, chili, pasta sauces, sausage 등에 사용될 수 있다한다⁹⁾. Jeng 등³⁶⁾은 육제품 bologna 제조 시 지방대치제로 두부를 사용하였는데 두부 bologna가 콩비린내나 질김(toughness)에서 육류 bologna와 유의적인 차이가 없어서 두부를 육제품 첨가원료로 이용하는데 잠재력이 있음을 보고하였다.

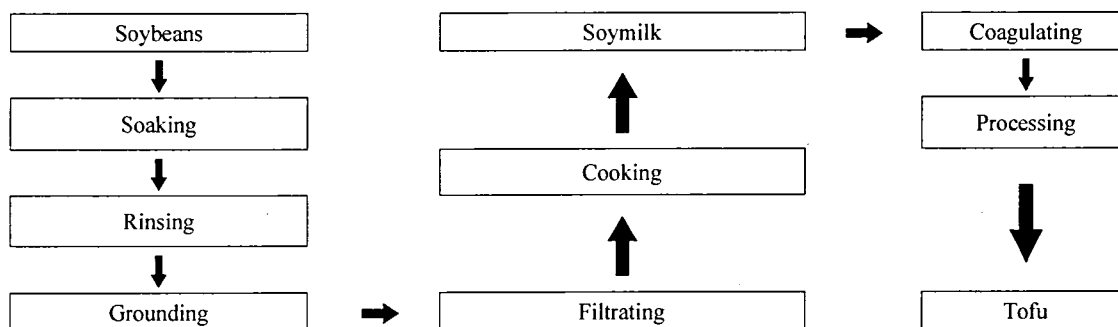


Fig. 5. The production of tofu.

다) 대두조직단백(textured soy protein, TSP)

식물조직 단백질은 육류 유사제품(meat analog)으로 사용되는 대표적인 것으로 대두로부터 제조된다(Fig. 6). 앞서 설명하였듯이 탈지대두분(defatted soy flour) 또는 농축대두단백을 원료로 하여 압축 성형공정에 의해 대체 육류로 제조된다. TVP 또는 TSP의 용도는 다양하나 소시지(sausage), 버거(burger), 통조림 수프(canned soup) 등에 사용된다. 특히 외국의 초·중·고등학교의 점심식사 프로그램에 폭넓게 활용되며, 채식주의자에게 인기가 높다. TVP는 일부 학자들에게 식물 단백질육으로 불려진다.

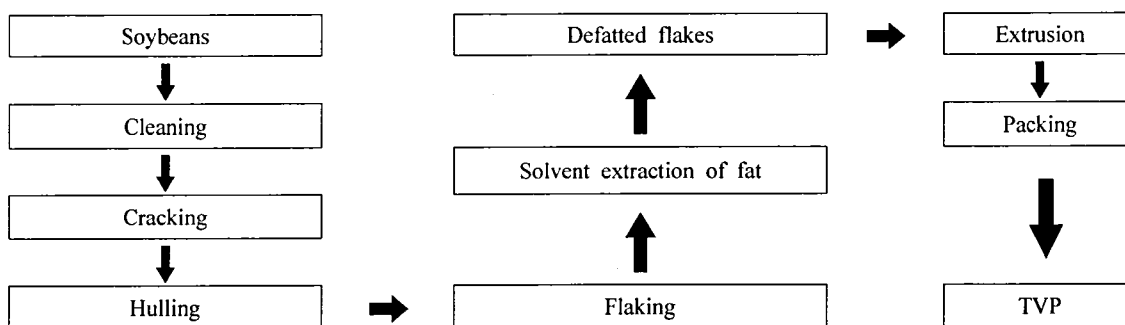


Fig. 6. The production of textured vegetable protein.

(2) 밀 단백질(wheat protein)

밀 단백질을 이용하여 제조된 대체 육류는 이스라엘에서 제조된 Tivall 이다³⁷⁾. 이 Tivall은 맛이 좋으며, 위생적으로 안정하며 또한 영양가도 좋다한다. Tivall은 밀 글루텐(wheat gluten)과 식물성 단백질로부터 제조된다(Fig. 7). Tivall 제조공정은 특허를 갖고 있어서 제조 자체가 잘 알려지지 않고 있다. Fig. 7에서 밀

단백질과 식물성 단백질이 혼합하여 조직화 과정을 통해 육류와 같은 기반(meat-like matrix)을 조직하며 원하는 최종제품에 따라 부족한 비타민이나 무기질로 강화시키거나, 식물성 기름, 향신료, 수분 및 달걀 단백질(egg albumen) 등으로 혼합하기도 한다. Tivall은 가열처리로 완전하게 예비 조리되어(pre-cooked), 대부분 냉동상태로 판매된다. 이 제품은 버거(burger), 소세지(sausage), 송아지고기 커트렛(schnitzel), 너겟(nugget) 등의 제조에 사용된다.

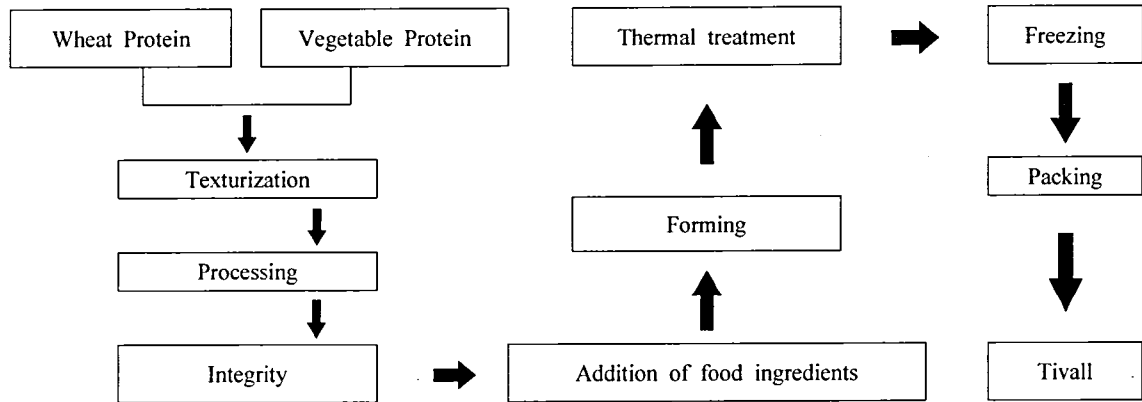


Fig. 7. The production of Tivall.

(3) 완두콩 단백질(pea protein)과 밀 단백질(wheat protein)

Arrum은 가장 최근에 유럽시장에 출시한 대체 육류제품으로 다른 제품보다 외관과 맛이 있어 먹기에 좋다고 한다. 상품 Arrum의 제조공정을 Fig. 8에 표시하였다³⁷⁾. 완두콩에서부터 등전점 침전과 한외여과공정으로, 그리고 밀을 수세해서 전분을 제거하여 gluten 단백질을 제조한다. 개개의 단백질을 혼합한 후 원하는 식품원료를 첨가하여 압출성형공정으로 조직화하면서 회전칼로 자르면 섬유상조직의 큰 덩어리(chunk)가 형성된다. 수분함량을 줄여 10%로 건조하고 체(sieve)로 쳐서 입자(粒子)를 일정하게 하여 포장한다. Arrum은 채식주의자를 위한 육류가 포함되는 많은 식품의 원료로 활용되고 있다.

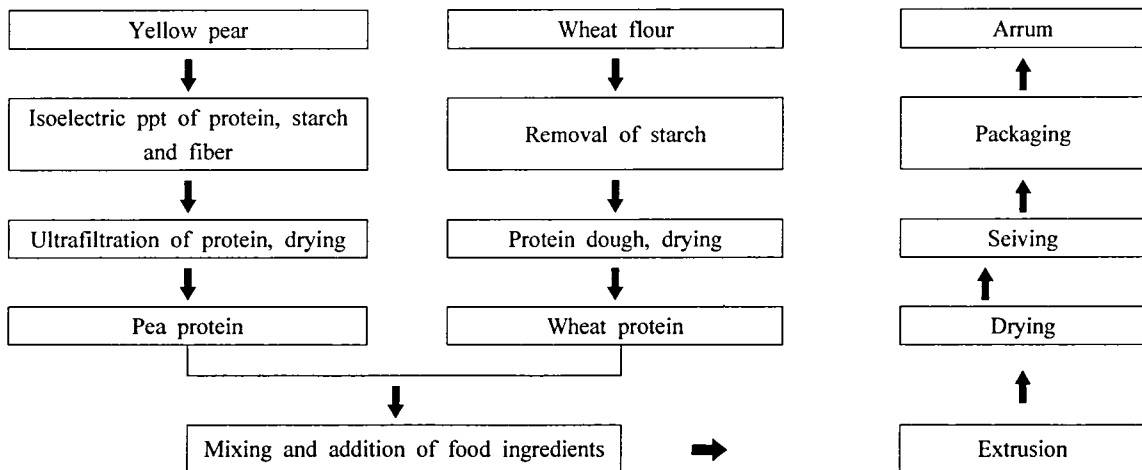


Fig. 8. The production of Arrum.

(4) 곰팡이 단백질(myco-protein)

곰팡이 단백질 Quom은 1960년 초기에 미생물 *Fusarium graminearum*에서 자연적으로 발효시켜 얻는 곰팡이 단백질이다¹⁶⁾. 1990년부터 조리가 된 식사(ready meal)의 재료로 또는 조리재료로 사용되어지고 있다.

Quorn의 제조공정은 Fig. 9와 같다³⁷⁾.

Fig. 9에서 볼 수 있듯이 myco-protein은 *Fusarium graminearum* 배양액에서 얻어지는 크림색을 갖는 dough이며 여기에 식물성 향료 및 egg albumen을 첨가하여 Quorn을 얻게 된다. Quorn은 살코기(lean meat)와 유사한 조직감을 갖고 있어 대체육류로 상품화되었다. 다진 고기(minced meat)나 입방(cubed) 형태로 팔리고 있다.

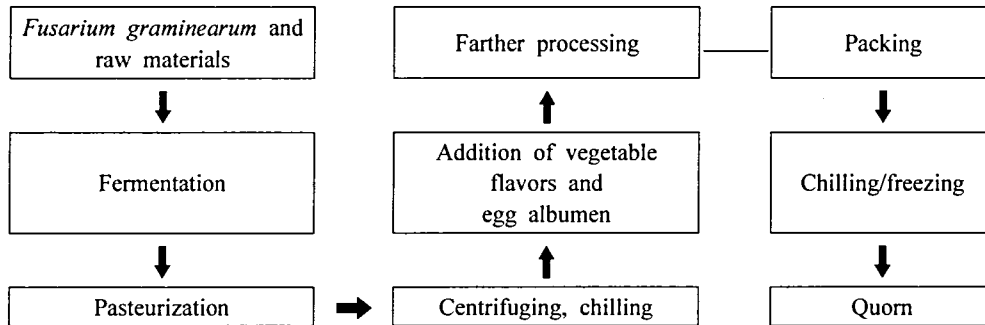


Fig. 9. The production of Quorn.

이들 대체육류의 영양가를 쇠고기와 비교해 보면 Table 6과 같다³⁷⁾. 이들 제품의 단백질은 Quorn을 제외하고는 소고기와 비교될 수 있으나 단백질의 품질은 알 수 없었으나, 일부 채식주의자를 위한 안내책자인 Vegan Food Guide에 의하면 대체육류를 곡류와 함께 섭취하면 단백질의 질을 개선할 수 있다고 한다³⁸⁾. 지질은 TVP와 Arrum은 건조식품으로 함량이 낮았으나, 전반적으로 총지질량은 쇠고기와는 별 차이가 없었다. Table 6에는 제시되지 않았으나 포화지방함량은 TVP 0.15g, Quorn 0.6g으로 쇠고기 1.9g보다 낮은 편이었다. 쇠고기에는 전분이 없지만 Tempeh, TVP, Tivall은 전분을 갖고 있었으며, 이들 대체육류는 쇠고기에 없는 Non-starch polysaccharides(NSP)를 함유하고 있다. 에너지는 유사하였으나 TVP와 Arrum은 건조 상태에서 측정하여서 예외적으로 높았으나 실질적으로 재수화시 에너지는 낮아질 것으로 기대된다. 철은 Tempeh와 Tivall은 쇠고기와 유사하다. 그러나 대체육류가 갖는 비헴철(non-haem iron)은 흡수가 안 된다. 즉 육류 헴철의 흡수와 비교 시 곡류나 채소의 헴철 흡수는 8% 이하이므로 대체육류의 철 흡수를 높이기 위해

Table 6. Comparing of nutrient profiles of alternative to meat with beef (per 100 g)

Food	Energy (Kcal)	Protein (g)	Fat (g)	Starch (g)	NSP ^{a)} (g)	Iron (mg)
Meat						
Beef-lean, raw	123	20.3	4.6	0	0	2.1
Soybean						
Tempeh-raw	166	20.7	6.4	4.6	4.3	3.6
TVP-dry	257	51.5	0.8	4.2	21.0	-
Wheat protein						
Trivallicburger, raw	127	17.0	5.0	1.5	5.0	2.1
Pea protein and wheat protein						
Arrum-dry	345	26.0	1.4	-	2.5	-
Myco-protein						
Quorn-raw	86	11.8	3.5	trace	4.8	-

^{a)} Non-starch polysaccharide.

Table 7. In search of the perfect veggie burger

	Brand	Price per 4	Wt. (oz)	Cal-ories	Fat (g)	Sat. Fat (g)	Fiber (g)	Sodium (mg)	Tasters' comments
	Regular ground beef, broiled	\$1.92	3.5	289	21	8	0	83	Not tasted.
	Advantage\10								Decidedly Mexican in flavor."
1	Southwestern Vegetable Burger	\$3.79	3	140	1	0	3	380	Good, spicy kick. Doesn't even need a bun."
2	Amy's "Chicago" Veggie Burger	\$2.99	2.5	100	4	1	2	190	Very tasty." "Would eat it again, happily."
3	Natural Touch Garden Veggie Pattie	\$3.59	2.4	100	2.5	0.5	3	280	Very good-it even looked healthy with the vegetables inside."
4	Gardenburger The Priginal	\$2.99	2.5	130	3	1	5	290	Nice, cheesy flavor...a very tasty pattie." Appealing look-like it's made with an interesting grain."
5	Fantastic Foods Nature's Burger - Original Grilled	\$3.69	2.5	140	3	0	4	440	Tastes like nicely seasoned potato-no unpleasant aftertaste."Lumpy. Grill lines aren't fooling anyone."
6	Worthington FriPats	\$3.29	2.25	130	6	1	3	320	"Decent and inoffensive." "Reminded me of a sausage pattie."
7	Green Giant Harvest Burgers - Original Flavor	\$2.69	3.2	140	4	1.5	5	370	Looked like a real burger."Would be quite tasty with ketchup and a bun." "Looked better than it tasted."
8	The Original Boca Burger -Vegan Original	\$3.69	2.5	84	0	0	5	269	Starts out with a really promising flavor, but it has a nasty soy aftertaste and gets rubbery as you're chewing."
9	Morningstar Farms Better'n Burgers	\$3.49	2.75	70	0	0	3	360	Smoky with a bad aftertaste. I was disappointed. Spiced cardboard." "An unpleasant experience."
10	Lightlife Foods, Inc. Lightburgers	\$3.00	2.5	110	3	0	2	390	Too salty."Leaves a bad aftertaste." "Terrible."

채소와 함께 사용하여 비타민 C의 섭취가 필요하다. 따라서 대체육류 사용 시 같이 섭취할 음식의 선택에 세심하게 주의할 필요가 있다^{38,39}).

미국 Tufts 대학에서 시판되는 햄버거(hamburger)를 흉내 낸 veggie burger를 평가하였다(Table 7)⁴⁰). Veggie burger는 meat alternative를 이용한 제품이다. 열 종류의 육류가 대체된 식물성 burger의 맛, 조직감 그리고 외관을 평가한 결과 높은 점수를 얻은 burger는 곡류와 채소로 제조되었으며 풍미(flavor), 첨가된 부원료의 익숙성, 그리고 다채로운 외관을 갖는 burger였다. 원료물질이 대두조직단백질 경우 곡류나 채소를 사용했을 때 보다 낮은 평가를 받았다. 또한 뒷맛을 주거나 이취(off-flavor)가 나는 burger는 평가자 모두 싫어하였다. 이들 veggie burger의 무게는 2.25~3.2온스(ounce)로 육류 burger보다 가벼워 지방, 포화지방, 열량, 콜레스테롤이 적게 함유되어 있다. 이들 veggie burger는 조리가 쉬웠으며, 풍미가 있었고, 주요리로 사용이 가능하였고, 다시 한 번 먹고 싶은 것으로 결론지었다한다.

7. 전 망

신선육 또는 정육이나 육류가공식품은 완전한 단백질 식품으로 그리고 여러 가지 영양소를 우리의 음식에 제공하여 영양과 건강에 많은 기여를 해오고 있다. 그러나 일부 지역에서 육류의 공급은 쉽지 않으며, 소비가격은 상승하고 있으며, 일부 종교 집단이나 건강상 이유로 섭취가 되지 않고 있다. 따라서 동물성 원료가 아닌 식물성 원료로부터 값싸고 맛있는 고품질의 단백질 식품의 필요성이 대두되고 있다.

육류 대체식품은 건강 지향적이고, 맛이 좋고, 저렴한 가격과 편리한 운반수송 등 대체식품으로의 성공가능성을 보여주고 있다. 특히 대두 단백질로 제조된 육류 유사제품은 콜레스테롤이 없고, 지방량도 적으며, 열에너지도 낮기 때문에 널리 소비되고 있다. 육류대체식품 소비의 증가는 주재료 원료인 대두가 건강에 좋다는 인식⁴¹⁾과 대두를 이용한 가공기술이 지속적으로 발전되어 왔기 때문이다. 종전의 대두박(soybean meal)으로부터 제조된 대두단백질은 소비자가 싫어하는 콩 비린내를 갖고 있었으나 최근의 압착성형기술로 제조된 대두조직단백은 콩 비린내도 없고, 가격도 저렴하며, 영양가가 훌륭하고, 단백질 기능성도 우수하여 다양한 제품으로 제조할 수 있도록 발전되고 있다. 특히 단백질 조직화 기술은 육류의 형태, 맛, 외관, 조직감을 갖는 다양한 육대체류식품을 제조하여 다양한 소비자 욕구에 충족하기에 충분하다. 또한 육류대체식품의 원료로 가장 많이 활용되는 대두는 밀보다는 4배, 육류보다는 29배 더 많이 경작할 수 있어 원료 확보에서도 우수하다⁴²⁾.

육류 대체식품의 선호로 인해 단체급식 시장에서의 응용도 증가하고 있다. 학교급식, 형무소수용급식, 군대급식에서의 사용이 훨씬 더 늘어가고 있으며 fast food restaurant에서도 사용이 증가하고 있다.

육류 대체식품은 식생활형태의 변화, 사회의 탄력성(dynamic), 채식주의자를 위한 가공식품의 성장, 육류제품의 건강상 이유로 소비 감소 추세, 비육류제품의 건강식품으로 인식 확대, 식물성 단백질을 이용한 신상품 개발 기회 확대 등으로 인하여 그 어느 때보다 대체 육류 식품의 필요성이 증가되고 있으므로 앞으로의 발전전망은 밝을 것으로 기대된다.

식물성 단백질을 가공한 식품이 육류 대체 식품뿐만 아니라 그 자체로도 독창적인 새로운 장르의 식물성 단백질 식품으로 개발과 공급이 충분하다고 생각된다. 이는 앞에서 서술하였듯이 원료인 식물성 단백질의 풍부함과 다양성, 그리고 저렴한 단백질 자원으로서의 우수한 기능성, 조직화를 비롯한 가공기술의 개발, 채식주의자에서 일반 소비자로의 소비층 확대 등이 이를 뒷받침하여 준다.

한편 우리나라의 경우, 육류 대체식품에 관한 연구는 밀 글루텐 또는 쌀을 이용한 인조육의 개발, 대두단백질을 이용한 조직화 기술 등 지극히 미흡한 실정이며, 시판되는 육류 대체 식품은 종류도 다양하지 못하며 제조회사도 극히 적어 거의 개발 초기에 있는 듯하다. 따라서 학계나 업계가 관심을 기울여 육류 대체 식품 또는 새로운 식물성 단백질 식품 분야를 개척하는데 노력을 경주해야 할 것으로 생각된다.

문 헌

1. 김철재 (2005) 식생활변화에 따른 농산물 및 식품의 개발 방향, 농산물가공이용과정. 사단법인 전국농업기술자협회, p 162-177.
2. 정영일, 이경미 (2000) 한국 식료 소비 패턴 변화의 분석(1975-1997)-일본과의 비교를 중심으로, 경제논집, 서울대학교 사회과학연구원 세계경제연구소, 39(2): 97-127.

3. 한국식품년감 (2004) 농수축신문사.
4. Scharffenberg JA (1979) Problems with Meat. Woodbridge Press Publishing Co., Santa Babara, CA.
5. Horn FE (1974) Meat Analogs, New Protein Foods. Vol. 1, Altschul, A. M. ed., Academic Press, New York, NY.
6. 최홍식, 김철진 (1982) 식물조직단백(TVP)의 제조기술, 식품과학, 15(3): 12-17.
7. 고정삼: 농산식품 가공학, 광이문화사.
8. www.preparedfood.com. Texturization of Plant Proteins-The New Frontier
9. Liu KS (1997) Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization, International Thomson Publishing, New York, NY.
10. Labell F (1994) Vegetarian on the rise, Prepared Food, Feb, 51.
11. 김동연, 양희천, 김우정, 이영춘, 김성곤 (1990) 농산가공학, 영지문화사.
12. Campbell MF (1981) Processing and product characteristics for textured soy flours, concentrates and isolates. *J Am Oil Chem Soc* 58: 36.
13. 이서래, 신효선 (1994) 개정증보 최신식품 화학, 신광출판사.
14. FAO/WHO: Protein Quality Evaluation Report of Joint FAO/WHO Expert Consultation, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Food and Nutrition Paper No. 51, Rome.
15. 박춘란 (1990) 글루텐 인조육의 품질특성에 영향을 주는 요인과 물성에 관한 연구. 5보: 인조육과 쇠고기의 성분비교. 한국식품과학회지, 6(1): 27-31.
16. Hudson BJB (1994) New and Developing Sources of Food Proteins. Chapman & Hall, New York, NY
17. 한억 (1992) 대두단백과 쌀 혼합물을 이용한 인조육 조직화 한국콩연구회지, 9(1): 15-39.
18. Edelman J, Fewell A and Solomons GL (1983) Myco-Protein-a New Food. *Nutrition Abstracts and Reviews*, 53(6): 1-10.
19. Lundblad RL (1995) Techniques in Protein Modification. CRC Press, Boca Raton, FL.
20. Nio N, Motoki M and Takinami K (1985) Gelation of casein and soybean globulins by transglutaminase, *Agric. Biol. Chem*, 49: 2283.
21. 김철재 (1988) 두부의 가공과 이용, 두부심포지움. 1998년 동아시아 식생활학회 추계 학술대회 및 총회, p 47-92.
22. Fellows PJ (1988) Food Processing Technology, Principles and Practice, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
23. Johnson LA and Meyer DJ (1992) Soy Protein's history, Prospects in food and feed. *INFORM*, 3(4): 429.
24. Pour-El A (1981) Protein Functionality: Classification, Definition, and Methodology in Protein Functionality in Foods, Cherry, J. P. ed., American Chemical Society, Washington D. C.
25. Kinsella (1979) Functional Properties of Soy Proteins, *J Am Oil Chem Soc* 56: 542.
26. Hermansson AM (1979) Method of studying functional characteristics of vegetable proteins, *J Am Oil Chem Soc* 56(3): 272-279.
27. 류기형 (2003) 압출성형공정을 이용한 식물성 단백질 조직화, *Food Eng. Progress*, 7(2): 73-79.
28. Harper JM (1979) Food extrusion, *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 15:155-215.
29. Harper JM (1987) High-temperature short time extrusion cooking. *Food Technol. Int. Europe*. Turner, A. ed., Sterling Publications International, London, p 57-60.
30. Heldman DR and Hastel RW (1997) Principles of Food Processing. Chapman & Hall, New York, NY,

p 253-283.

31. Jones SA (1990) New developments in extrusion cooking. Food Technol. Int. Europe. Turner, A. ed., Sterling Publications International, London, p 54-58.
32. Best ET (1994) Confectionary extrusion. The Technology of Extrusion Cooking, Frame, N. D. ed., Blackie Academic and Professional, Glasgow, p 190-236.
33. Shurleff W and Aoyagi A (1985) Tempeh Production. A Craft and Technical Manual. Soyfoods Center, Lafayette, CA.
34. 한국의약품안전청 (2000) 식품공전.
35. Shurleff W and Aoyagi A (1983) The Book of Tofu. Vol. 1., Ten Speed Press, Lafayette, CA.
36. Jeng CY, Ockerman HW, Cahill VR and Pend AC (1988) Influence of substituting two levels of Tofu for fat in a cooked comminuted meat-type product. *J Food Sci* 53(1): 97-101.
37. Davies J and Lightowler H (1998) Plant-based alternatives to meat. Nutrition and Food Science, 2: 90-94.
38. Lightowler H, Davies J and Long A (1998) A vegan food guide for vegans: a possible approach. Nutrition and Food Science, p 38-40.
39. Coulate T and Davis J (1994) Food : The Definitive Guide. Royal Society of Chemistry, Cambridge, England.
40. Anonymous (1998) Rating the veggie burger. Tufts University Health & Nutrition Letter, 16(9): 7-8.
41. Endres JG (2001) Soy Protein Products: Characteristics, Nutritional Aspects, and Utilization, Aocs Press and. Soy Protein Council, American Oil Chemists' Society, Champaign, IL.
42. Soy Protein Council. Soy Protein Products (1987) Characteristics, Nutritional Aspects and Utilization, Washington, D. C.