

압출성형공정을 이용한 식물성 단백질 조직화

류기형

공주대학교 식품공학과

Texturization of Plant Protein by Using Extrusion Process

Gi-Hyung Ryu

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

Abstract

The consumption of plant protein is increasing, compared with meat consumption. Market of textured plant protein (TPP) made by using extrusion process is expected to expand in the future. The property of plant protein for TPP is determined by protein sources, process conditions of raw materials, the other ingredients and functional properties, which are required to evaluate before producing TPP. Moisture content, barrel temperature and shearing are important factors for texturization of plant protein by extrusion process. These parameters are controlled by extrusion process variables (feed moisture, barrel temperature, screw speed, etc.). Meat analogue similar texture as a meat is produced with higher moisture content (40 to 50°C) and cooling die. On the other hand, meat extender is produced with relatively lower moisture content without cooling die. Temperature for texturization is above 140°C and screw speed is affective on texture, integrity and water holding capacity. Texturization mechanism requires to study since it is not completely explained. The control of product quality by controlling extrusion process and system variables needed to develop various types of TPP.

Key words: textured plant protein (TPP), extrusion process, texturization mechanism, process variables

서 론

최근 동물성 단백질의 소비량은 감소하고 식물성 단백질의 섭취량은 증가하고 있는 실정이다. 식물성 단백질의 공급원으로 콩이 세계적으로 많이 소비된다. 콩에 포함된 콩단백질, 이소플라본, 트립신 소화저해인자(trypsin inhibitor), 사포닌 등을 섭취할 때 심장병, 암, 고혈압과 같은 성인병을 예방할 수 있다는 연구보고가 최근에 발표되었다. 건강 지향적인 소비자의 식습관도 육류에서 섭취하는 단백질보다 식물성 단백질의 섭취를 선호하는 식습관으로 점차 변화하고 있다.

콩단백질을 소재로 만든 식품으로는 간장, 된장, 콩발효식품, 두부, 두유, 콩섭유소 등과 함께 식물

성 단백질을 육류의 조직감과 유사하게 콩단백질과 부원료를 혼합하여 물리화학적인 변화를 유도하여 육류의 조직감을 부여한 콩조직단백(textured soy protein) 등 다양한 제품이 개발되어 있다. 콩제품 중에서 조직화제품의 형태는 단백질 섬유조직(fibrous texture), 겔(gel), 육류와 유사한 조직을 가진 제품(meat analogue)으로 크게 나눌 수 있다(Wilcke *et al.*, 1979).

이러한 단백질조직화 제품의 종류는 공정에 따라 달라진다. 즉 고기와 유사한 조직감을 가지는 조직화단백은 대부분 압출성형공정으로 제조되며 혼합, 가열, 가압, 물리적인 변형력을 받아 단백질이 변성된 용융물이 사출구를 통과하면서 압력의 급격한 저하로 과열증기의 비체적 증가로 팽화가 일어나고 단백질사슬의 결합을 통해 조직이 형성된다. 이러한 단백질의 조직화는 원료의 구성과 함께 압출성형 공정변수의 조절에 따라 다양한 조직의 형성을 유도할 수 있다.

Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Choongnam 340-801, Korea.
Phone: +82-41-330-1484

압출성형공정을 이용한 식물성 단백질의 조직화는 곡류를 팽화시키는 팽화공정에 압출성형공정을 적용시킨 경우와 비교하여 최근에 산업체에 적용되기 시작하였다. 압출성형공정을 이용한 식물성 단백질의 조직화에 대한 첫 특허가 1966년에 등록되었다(Linko, 1983). 식물성 단백질을 조직화하는 기술에 대하여 폭 넓은 연구가 수행되어 왔다(Harper, 1981, 1986; Kinsella, 1978; Cantarelli와 Peri, 1983; Jowitt, 1984; Aguilera와 Stanley, 1986).

압출성형공정은 식물성단백질의 다른 조직화공정에 비하여 공정, 경제적인 면에서 많은 장점이 있지만 산업체에 적용되지 않다가 1960년대부터 식물성 단백질이 동물성 단백질을 대체할 수 있다는 인식 속에서 탈지대두, 콩농축단백을 원료로 하여 다양한 콩조직단백제품(textured soybean protein)의 소비량이 증가하였다.

최근 영양소에 대한 만성병을 예방하기 위하여 기능성성분이 대두에 많이 포함되어 있고 지방의 함량이 적은 콩조직단백시장이 점차 성장하고 있으며 앞으로도 그 성장세가 지속될 것이라는 전망이 지배적이다. 그러므로 이러한 식물성 단백질 소재를 이용한 다양한 조직화제품의 생산에 대비하여 조직화단백 원료의 기능성, 조직화 기작, 압출성형공정을 이용한 조직화단백 제조, 압출성형과정에서의 식물성 단백질의 변화를 살펴보았다.

식물성 단백질의 기능성

압출성형공정을 통하여 식물성 단백질을 조직화하기 위하여 단백질의 기능성에 대한 특성을 측정하는 것이 중요하다. 단백질의 기능성이란 단백질이 식품계 내에서 어떻게 작용하는지를 알 수 있는 물리화학적 특성이다. 단백질의 중요한 기능성은 용해도, 팽윤, 점도, 수분결합력, 지방결합력, 유화력, 거품형성력, 겔형성력 등과 같은 물리화학적 성질을 포함한다.

단백질의 기능성 즉 단백질이 가지는 특성은 압출성형 조직화단백질 원료로 사용되는 콩단백질, 밀 단백질(글루텐), 목화씨단백질과 같은 단백질원, 가공공정 동안 공정변수, 단백질 이외의 다른 원료 존재여부에 따라 결정된다. 압출성형에서 압출성형공정변수인 온도, 수분함량, 압력의 변화에 따라 조직화단백의 기능성은 변한다. 온도가 높고 수분함량이 낮아질수록 용해도, 겔형성력은 낮아지며, 수분 및 기름의 흡수율은 압출성형물 내부기공의 구조와

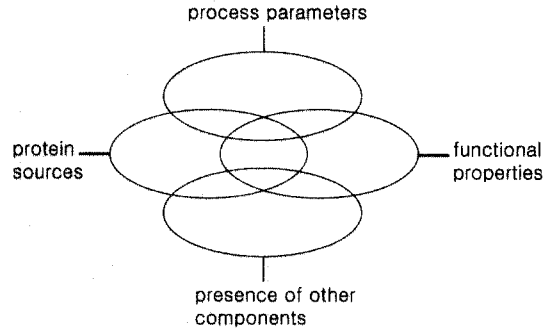


Fig. 1. A Venn-diagram illustrating the complex dependence of functional properties of variable factors (Hermansson, 1979).

관련성이 있으므로 조직화정도가 높고 밀도가 감소할수록 증가하는 경향이 있다(Cumming *et al.*, 1991).

단백질의 성질은 단백질의 종류(식물성 단백질 또는 동물성 단백질), 가공조건을 달리하여 제조한 단백질 원료제품, 즉 콩농축단백(concentrated soy protein) 또는 콩분리단백(isolated soy protein), 단백질제품에 포함된 다른 첨가제와 용해도, 팽윤 등과 같은 기능성성질에 따라 결정된다고 할 수 있다(Fig. 1). 특히 단백질의 특성은 제품을 제조할 때의 중요한 공정변수인 열, 압력, pH 등이 중요한 인자이다(Hermansson, 1979). 압출성형공정을 이용한 조직단백의 제조시 단백질원은 식물성 단백질이다. 왜냐하면 동물성 단백질은 영양적인 측면에서 중요한 인자가 되지만 압출성형공정을 통하여 조직화가 되는 기능성은 없다.

압출성형공정을 통하여 바렐 내부의 콩원료는 열에너지를 받게되어 단백질은 용융된다. 스크루를 회전시키기 위해 투입되는 기계적 에너지가 열에너지로 전환되므로 열에너지는 콩단백질의 변성과 변성된 단백질의 조직화에 중요한 인자가 된다. 대부분의 경우 콩조직단백을 제조할 때 온도는 140~170°C에서 콩단백질의 용융과 조직화가 일어난다는 보고들이 있다.

압출성형공정을 이용하여 식물성 단백질을 조직화시킬 때 원료의 가공조건과 단백질함량, 단백질의 기능성 및 전분, 유화제, 식물성유지 등과 같은 부원료의 배합비를 고려한 다음, 목적하는 제품품질에 따른 공정변수를 결정해야 할 것이다.

조직화 기작

압출성형공정을 통해 식물성 단백질이 조직화되

어 섬유성 구조를 형성하는 기작에서 수분함량, 바렐 온도, 스크루 회전속도, 사출구 압력과 같은 압출성형 공정변수를 앞서서 온도, pH, 전단력과 식물성 단백질의 변화에 대한 이해가 필요하다.

압출성형온도에도 크게 영향을 받으므로 단백질의 조직화를 이룰 수 있는 바렐의 최소온도는 130°C 정도가 됨을 입증하는 결과로 해석할 수 있다. 단백질 조직화에 있어서 중요한 역할을 하는 것은 peptide결합이며, disulfide결합이 관여하는 것으로 보고되고 있다. 단백질의 반응에 관여하는 압력의 효과를 보면 압력이 증가함에 따라서 아미노기, 페놀기, 카르복실기 등과 같은 약전해질의 해리 또는 이온화, 용적변화에 따른 수소결합의 증가와 압력증가에 따른 친유성 결합의 증가가 일어난다(Kim, 2003).

압출성형기 바렐 내부에서 식물성 단백질은 스크루회전에 의한 전단력, 수분과 온도의 영향으로 변성이 일어나며 단백질의 3차원 구조가 파괴되어 펩

타이드 결합으로 연결된 아마노산 사슬이 풀린다. 변성된 단백질 사슬간의 amide 결합, disulfide 결합, 수소결합에 의한 가교결합의 형성이 사출구 부위 방향의 바렐에서 시작된다. 가교결합이 형성된 단백질 용융물은 사출구를 통과하면서 사출구의 길이 방향으로 단백질 매트릭스의 형성과 함께 층류의 흐름과 함께 성형이 일어난다(Fig. 2).

사출구 내부에서 과열증기는 점탄성을 가지는 용융물의 내부에 존재하다가 급격한 사출구를 통과하면서 급격한 압력의 저하와 함께 단백질 매트릭스의 팽화가 일어난다. 팽화도는 사출구 압력, 수분함량과 용융물의 물성에 따라 달라진다. Fig. 3은 사출구 내부와 사출구를 통과할 때 점탄성 단백질 용융물과 기공형성제로 과열증기 및 용융물과 과열증기가 함께 존재할 때 단백질 매트릭스의 팽화기작을 나타낸 것이다(Ryu, 1995). 증기가 존재하지 않고 용융물만이 존재할 때 팽화되지 않고 단지 팽윤(die swell)만이 일어난다. 기공형성제로 증기만이 존재할 때는 사출구를 통과하는 순간 증기로 증발된다. 그러나 용융물과 과열증기가 함께 존재할 때 점탄성 단백질 매트릭스 내부의 과열증기는 압력저하와 함께 증기로 변하며 비체적의 증가와 함께 단백질 매트릭스는 팽화된다.

사출구 부위를 냉각할 경우 과열증기는 액화되어 사출구를 통과하면서 비체적의 증가가 없으므로 팽화가 일어나지 않고 내부에서 단백질 용융물은 성형과 가교결합을 가진 펩타이드사슬의 배열이 일정한 방향으로 조직화가 일어난다.

압출성형공정 조직화단백 제조

압출성형공정은 고체분말 식품소재를 연속적으로 고온 고압에서 열처리하는 공정으로 압출성형공정 동안 원료는 분쇄, 혼합, 수화, 가열, 균질화, 압축, 탈기, 열과 압력의 형성, 재배열, 성형 등의 단위조작이 일어난다. 이러한 압출성형공정을 이용하여 콩 원료를 조직화하는 공정은 최근 식물성 식품의 선호와 함께 콩조직단백의 소비는 증가할 가능성이 있다.

탈지콩, 콩농축단백, 콩분리단백 원료를 이용하여 압출성형공정을 통해 대부분의 고기와 유사한 조직을 가지는 콩단백이 제조되고 있다. 공정을 보면 주원료와 부원료를 저장하는 원료저장고, 혼합기, 수분과 증기를 가하여 원료를 수화시키는 수분조절기, 원료사입기와 스크루, 바렐, 사출구, 절단기로 구성된

Fig. 3. Puffing mechanism of the effect of elastic melt (protein melt) and bubble forming agent (superheated vapour) in die and after passing die exit (Ryu, 1995).

Fig. 4. Typical manufacturing system for expanded textured vegetable protein.

Fig. 5. Scanning electron micrographs of textured vegetable protein (a) and corn starch extrudate (b).

압출성형기, 건조·냉각기, 입자의 크기에 따라 분리하는 분리체, 향미를 부여하는 코팅기로 구성되어 있다(Fig. 4).

압출성형할 때 원료의 수분함량은 20~30%로 수분조절기에서 스팀을 주입하여 수분의 침투속도를 증가시켜서 사입구를 통하여 압출성형기 바렐로 투입되어 필요한 경우 물이나 스팀을 주입하여 수분을 주입한다. 압출성형기 내부에서 열에너지에 의한 단백질의 변성과 함께 단백질이 용융되어 점탄성의 흐름이 형성되어 사출구를 통과할 때 단백질 사슬간에 조직이 형성되고 사출구를 통과한 다음 급격한 압력의 저하로 과열증기는 기화되면서 비체적의 증가와 함께 기공이 형성된다. 이

때 수분이 급격하게 증발되어 수분함량은 18~24% 수준이다.

콩조식단백과 전분압출 팽화물의 미세구조는 전분이 압출성형될 때의 팽화와 비교하여 식물성 단백질 용융물의 기공은 균일하지 않고 외관상으로 기공을 확인할 수 없는 경우도 있다(Fig. 5). 전분이 다량 포함된 곡류압출팽화물은 수분함량 10% 이하의 건조한 상태에서 소비되므로 기공구조는 제품의 조직감에 있어서 중요한 특징이 된다. 반면에 건조한 콩조식단백을 수화시켜 조리된 상태에서의 조직감이 중요한 품질특성이므로 기공의 구조는 콩조식단백의 수화에 영향을 미치는 간접적인 인자가 된다(Breene, 1977).

사출구를 통과한 콩조식단백은 130°C의 건조온도에서 벨트건조기를 통과하여 건조한 다음 냉각하여 수분함량 6~8%이 되게 한다. 절단과 건조과정에서 생긴 작은 입자를 진동체를 이용하여 분리한 후 일정한 크기를 가지는 콩조식단백을 필요한 경우 육류가 가지는 색소, 향기, 맛 등을 코팅하는 공정을 거치는 경우가 있다. 고기와 동일한 맛과 향을 첨가하기는 쉽지 않다. 그러므로 향기성분은 휘발성이므로 압출성형물에 액체와 함께 흡수시켜 복원된 제품을 만들어 고기와 유사한 향기를 가지는 제품도 있다(Kinsella, 1978).

Fig. 6. Manufacturing process of textured vegetable protein by using conventional die (a) and cooling die (b).

팽화율이 높은 압출성형 조직화단백은 고기와 유사한 조직감을 가진 인조육(meat analogs)이 아니라 고기증량제(meat extender)로 적합하다. 고기와 유사한 조직을 가지는 인조육 제품을 개발하기 위한 방법은 3가지가 있다. 식물성 단백질의 변성과 조직화를 구별한 2단계 압출성형공법, 사출구 냉각방식과 저압조직화 공법이 이용되고 있다.

첫번째 공정으로 수분함량 30~45%의 식물성 단백질을 단지 100°C로 압출시키는 공정으로 단백질의 조직화가 이루어지지 않고 단지 세포조직을 파쇄하고 단백질을 변성시켜 압출성형기 내부에서 흐름을 형성시킨다. 압출물은 날개깊이가 깊은 스크루와 가열과 냉각의 온도분포로 압출성형하며 조직을 형성할 수 있도록 설계된 하는 사출구를 사용하여 흐름을 일정하게 유지시켜서 사출구와 사출구부위의 바렐의 냉각을 통해 과열증기를 액화시켜 팽화가 일어나지 않은 조직화단백을 제조하는 단백질의 조직화와 함께 팽화없이 표면을 매끈하게 성형하는 압출성형공정이다(Smith, 1974). 이러한 공정을 통해 볼 때 단백질의 조직화는 가열을 통해 변성된 단백질이 조직화에 중요하다는 것을 알 수 있다.

두번째로 사출구의 길이를 길게 하고 사출구를 냉매를 통과시켜 과열증기를 액화시켜 팽화를 방지하고 사출구를 통과하는 동안 단백질 용융물의 배열을 일정하게 조직화시키는 방법이다. 이러한 방법을 사용한 압출성형기 사출구의 구조, 사출구압력 용융물의 온도를 Fig. 6에 나타내었다(Harper, 1981). 냉각사출구를 사용할 경우 과열증기의 비체적 증가에 의한 팽화가 방지되고 섬유질 조직을 갖는 조직단백의 제조가 가능하다. 반면에 사출구를

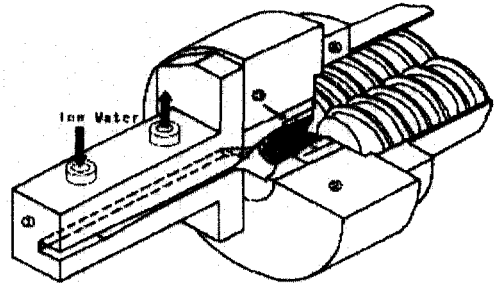


Fig. 7. Sectional view of cool die used for defatted soy flour at high moisture level (Noguchi, 1990).

냉각하지 않고 사출구길이가 짧을 경우 과열증기의 비체적 증가에 의한 팽화가 일어나고 섬유상 조직형성이 동일한 방향으로 형성되지 않는다.

압출성형공법을 응용하여 고수분 함량의 탈지콩, 전지콩 콩분리단백과 냉각사출구를 사용하여 팽화시키기 않고 조직화시키는 방법이 개발되었다(Noguchi, 1989; 1990). 수분함량 60%의 콩분리단백을 140°C의 바렐온도에서 용융시켜서 냉각수를 통과시켜 냉각시킨 사출구를 통과할 때 용융물은 층류의 흐름으로 단백질 매트릭스의 형성을 통하여 조직화를 시키는 공정이다(Fig. 7). 고수분 조직화제품은 반수분상태나 건조공정을 거쳐 건조한 상태로 제품화가 가능하다. 특히 압출성형 콩조직단백은 대부분 건조제품이지만 고수분함량에서 콩조직단백은 반수분제품 가능성을 제시한 연구로서 가치가 있으며 제품의 활용성도 크다고 할 수 있다. Noguchi (1990)는 압출성형 동안 식물성 단백질은 용융되어 펩타이드사슬간의 결합의 형성이 향상되는 조건은 단백질함량 20%, 온도 140°C, 압력 10~60 기압이며 섬유질의 형성은 변성된 단백질, 즉 단백질 수용성지수가 낮을수록 증가하므로 변성된 단백질의 구성성분이 중요하다고 보고하였다.

세번째로 사출구를 설치하지 않고 스크루의 압축비와 스크루배열을 조절하여 스크루 내부 충전율을 조절하여 조직단백을 제조하는 방법으로 원료의 수분함량은 40~55% 조절한다. 또한 압축비는 1.0 정도로 조절하며 압축비가 낮을수록 육류고기와 유사한 조직이 형성되는 경향이 있다.

압출성형공정을 이용한 콩조직단백은 압출성형물을 건조하여 저장성을 부여한 건식제품이다. 다른 식물성 단백질 제품을 보면 식물성 단백질, 섬유질, 결합제, 색소, 향기, 유화제, 식물성유지와 수분을 혼합하여 성형한 다음 조리하여 동결시킨 냉동제품과

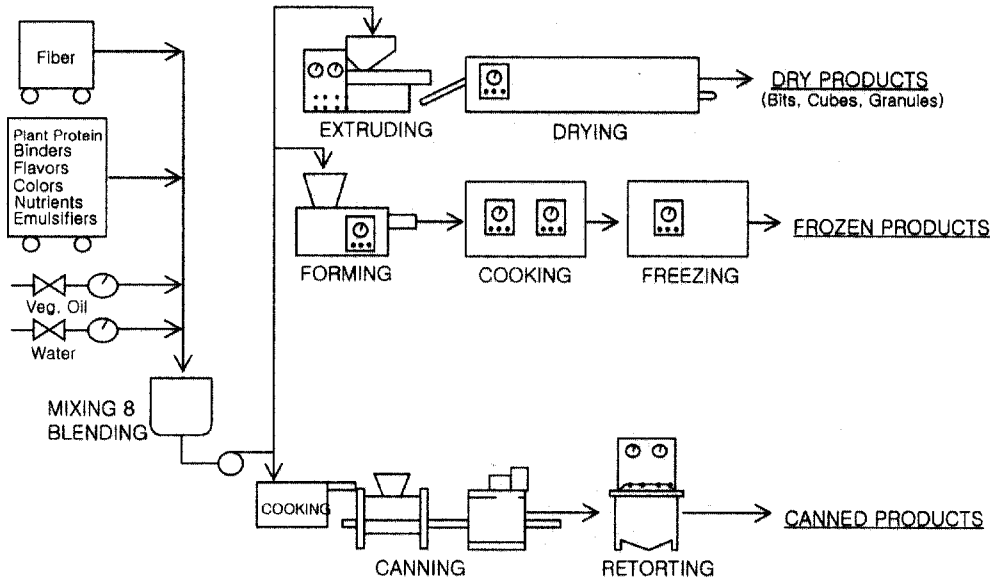


Fig. 8. Protein food process.

조리한 후, 통조림하여 살균시키거나 레토트파우치에 담아 레토트살균한 통조림 제품을 들 수 있다 (Fig. 8). 압출성형공정을 이용하여 콩조직단백은 냉동제품과 통조림제품과 비교하여 조직감이나 향미 등의 차이가 있다(Rosenfield, 1974).

압출성형공정변수와 조직단백의 특성

압출성형 조직단백의 특성은 원료의 특성뿐만 아니라 동일한 원료를 사용하였을 때 압출성형공정 변수에 따라 조직단백제품의 특성이 변화된다. 압출성형공정변수는 독립변수인 가공변수(process parameter), 종속변수인 시스템변수(system parameter)와 목적변수(target parameter)로 구별한다. 압출성형 가공변수는 수분함량, 바렐의 온도분포, 스크루회전 속도, 원료투입량 등이 포함되며 작동자가 조절할 수 있는 변수이다(Fig. 9). 시스템변수는 원료의 배합비와 압출성형 공정변수에 따라 결정되는 종속변수로서 비기계적 에너지 투입량, 바렐 내부압력분포, 체류시간, 용융물의 점도(melt viscosity)등이 포함된다. 압출성형물의 최종품질이 결정되는 목적변수는 조직화단백은 제품의 외관과 조직화정도(integrity), 수분흡수성, 영양가 등이 될 수 있다.

수분함량은 단백질의 변성과 용융에 중요하다. 수분함량이 증가할수록 용융온도는 감소하고 용융물의 점도는 감소한다. 수분함량 증가에 따른 용융물

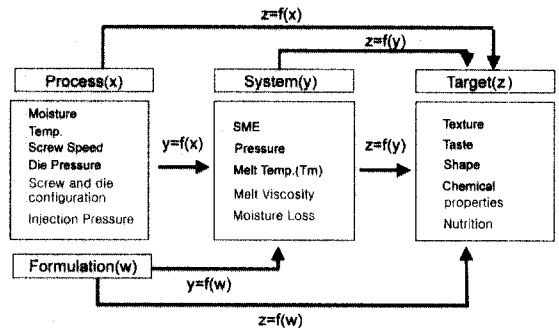


Fig. 9. Parameters of extrusion process.

의 점도감소에 의해 팽화율은 감소하게 된다. 바렐과 시출구부위 온도가 증가할수록 콩조직단백이 복원될 때 수분흡수도는 증가하게 된다. 팽화도와 밀도는 역상관계이므로 온도의 증가에 따라 밀도는 급격하게 감소한다. 스크루회전속도가 증가하면 자기발열형 단축압출성형기의 경우 기계적 에너지가 열에너지로 전환율이 증가하므로 온도가 상승한다. 압출성형온도에 따른 콩조직단백의 조직감 특성을 보면 150~170°C에서 인장력과 파괴력이 최고를 나타내며 170°C보다 바렐의 온도가 증가하면 섬유상의 조직화정도는 증가하지만 파괴력은 감소한다. 압출성형공정변수에 따른 기계적 조직감과 관능적인 조직감을 비교한 결과에서 기계적인 조직감은

문 헌

관능적인 조직감과 유의적인 상관관계를 보여준다. 고온 고압의 물 속에서 형성된 조직이 풀어지지 않고 형태를 유지하는 것은 조직유지력(integrity)이라고 하며 사출구부위 온도가 127°C 이하에서는 조직유지력은 낮고 150°C 이상에서는 형성된 조직이 오랫동안 유지된다.

압출성형공정변수와 콩단백의 조직감을 제어하기 위한 연구는 곡류식품 압출팽화제품과 비교하여 깊이 진행되지 않았다. 특히 압출성형 시스템변수에 따른 식물성 단백질의 품질특성과의 상관성을 검토한 뒤 품질을 제어하기 위한 연구는 거의 없는 상태이다. 앞으로 압출성형 가공변수뿐만 아니라 시스템변수와 콩단백의 품질특성과 상관성을 연구하여 품질을 제어하기 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

육류소비의 감소와 함께 식물성 단백질의 수요는 증가할 것으로 예상되므로 압출성형공정을 이용하여 식물성 단백질을 조직화시킨 제품인 콩조직단백의 수요도 증가할 것이다. 조직단백의 주원료가 되는 단백질의 성질은 단백질원, 탈지콩이나 농축콩단백 등과 같은 원료를 제조할 때의 공정변수, 기능성과 원료의 혼합비에 따라 원료단백질의 성질이 달라지므로 콩조직단백을 생산하기 위하여 원료의 특성을 검토하여야 할 것이다. 압출성형공정을 통해 탈지콩이 조직화될 때 수분, 열, 전단력이 작용하며 이러한 변수는 압출성형공정변수의 조절에 따라 달라지므로 압출성형 공정변수와 콩조직단백의 제품특성을 보면 수분함량이 증가할수록 팽화는 낮아지고 고수분함량에서 사출구를 냉각하여 육류와 유사한 조직을 가진 제품을 생산한다. 육류증량제의 경우 압출성형시 팽화가 일어나는 저수분에서 사출구의 냉각을 하지 않고 압출성형을 한다. 조직화가 일어나는 온도는 140°C 이상이며 스크루 회전속도도 조직감, 조직유지력과 수분흡수력에 영향을 미치는 변수가 된다. 아직 명확하게 구명되지 않은 조직화 기작과 압출성형 가공변수뿐만 아니라 시스템변수와 콩단백의 품질특성과 상관성을 연구하여 품질을 제어하기 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Aguilera, J.M. and D.W. Stanley. 1986. Extrusion processing as applied to proteinaceous materials In: *Food Engineering and Process Applications Vol. 7*. M Maguer and P. Jelen (eds.). Elsevier Applied Science Publishing, London, England. pp. 131-141

Breene, W.M. 1978. Textural characterization of textured protein. *J. Texture Study* 9(1): 77-85

Camming, D.B. and D.W. Stanley. 1991. Texture-structure relationship in texturized soy protein. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 94(4) 288-298

Harper, J.M. 1981. *Extrusion of Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL

Harper, J.M. 1986. Extrusion texturization of foods. *Food Technol.* 40(3): 76-76

Hermansson, A.M. 1979. Method of studying functional characteristics of vegetable proteins. *J. Am. Oil Chemists Soc.* 56(3): 272-279

Jowitt, R. 1984. *Extrusion-Cooking Technology*. Elsevier Applied Science Publishing, London, England

Kim, J.T. 2003. Process of aquatic feeds. *Proceedings of Extrusion Cooking for Aquatic Feed and Pet Food*. April 23-24, 2003, Kongju National University

Kinsella, J.E. 1978. Textured proteins: fabrication, flavoring and nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 10(2): 147

Lonko, P. 1983. Recent progress in the art of extrusion cooking. In: *Progress in Food Engineering*. C. Cantarelli and C. Peri (eds.). Forster Publishing Ltd. Switzerland. pp. 379-418

Noguchi, A. 1989. Extrusion cooking of high moisture protein foods. In: *Extrusion Cooking*. C. Mercier, P. Linko and J.M. Harper (eds.). AACC. St. Paul, MN. pp. 343-370

Noguchi, A. 1990. Recent research and industrial achievements in extrusion cooking in Japan. In: *Processing and Quality of Foods. I. High Temperature and Short Time Process*. P. Zeuthen, J.C. Cheftel, C. Eriksson, T.R. Gormley, P. Linko and K. Paulus (eds.). Elsevier Applied Science, London. pp. 293-214

Rosenfield, D. and Hartman, W.E. 1974. Spun-fiber textured products. *J. Am. Oil Chemists Soc.* 51(1): 91-94

Ryu, G.H. 1995. Extrusion process with carbon dioxide injection. *Food Sci. Industry* 28(1): 30-38

Smith, O.B. 1975. Extrusion and forming: creating new food. *Food Eng.* 47(7): 48

Wilcke, H.L., D.H. Waggle and C.K. Kolar. 1979. Textural contribution of vegetable protein products. *J. Am. Oil Chemists Soc.* 56(3): 259-261