

## 탄산가스 주입에 의한 유제품 강화 옥수수 압출성형물의 성질과 기계적 에너지 투입량의 분석

류기형 · S.J. Mulvaney\*

공주대학교 식품공학과

\*코넬대학교 식품과학과

### Analysis of Physical Properties and Mechanical Energy Input of Cornmeal Extrudates Fortified with Dairy Products by Carbon Dioxide Injection

Gi-Hyung Ryu and S.J. Mulvaney\*

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

\*Department of Food Science, Cornell University

#### Abstract

Selected physical properties of cornmeal extrudates fortified with dairy products and extrusion process by CO<sub>2</sub> gas injection were analysed. Dairy products including whole milk powder, whey protein concentrate, non-fat dry milk, and sodium caseinate were tested at the addition of 10% and 20%, based on cornmeal weight. CO<sub>2</sub> gas was injected to the barrel at the pressure of 0.7 and 1.4 MPa. Specific mechanical energy (SME) input was decreased by the addition of dairy products. Sodium caseinate had a little effect on decreasing the SME input, however whole milk powder tremendously reduced SME input when the concentration increased. An increase in milk product content resulted in increasing the piece density at the injection pressure of 0.7 MPa. At both 10% and 20% milk product content, the piece density was lowest at the injection pressure of 0.7 MPa. The sectional expansion index was highest at the injection pressure of 0.7 MPa. However, the specific length was constantly increased with the increase in CO<sub>2</sub> injection pressure. Water absorption index was decreased and water solubility index was increased by the addition of milk products. The injection pressure of CO<sub>2</sub> was optimum at 0.7 MPa. The addition of whole milk powder limited to puff the melt, but the other milk products tested resulted in puffing with CO<sub>2</sub> injection to 1.4 MPa.

Key words: cornmeal, dairy products, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)

#### 서 론

곡류에는 필수영양소인 아미노산이나 비타민이 부족하여 곡류를 원료로 하여 압출팽화시킨 스킨에서는 부족한 영양소를 강화하기도 한다. 재래식 압출성형 공정은 고온고압에서 행하여지므로 열에 불안정한 영양소는 압출성형공정을 거치면서 파괴될 수 있다. 압출성형공정에서 영양소의 파괴를 방지하기 위하여 압출성형 후 압출팽화물의 표면에 코팅을 하는데, 다량의 열에 불안정한 단백질을 첨가할 경우 코팅공정을 통한 영양소의 강화가 쉽지 않다.

가스주입에 의한 압출성형공법은 재래식 공정에서의 기공을 형성시키는 기공형성제로 물의 상변화에 의한 비체적의 증가와는 달리 압출성형기 내부에 주입된 가스의 비체적은 고압상태에서 낮지만, 토출구를 통해 대기 중으로 토출되면 압력의 감소에 의해 비체적의 증가가 기공형성제의 역할을 한다<sup>(1)</sup>. 가스주입에 의한 압출성형공정에서는 재래식 압출성형공정에서 기공형성제로 작용하는 수분의 상변화 대신 가스의 압력차가 기공형성제로 작용하므로 비교적 낮은 100°C 이하에서도 곡류반죽을 팽화시킬 수 있다.

가스주입에 의한 압출성형공정은 국내외에서 아직 연구 단계에 있으며, 실용화되기 위하여 많은 연구가 필요한 실정이다. 현재까지 가스주입에 관한 연구로는 옥수수가루를 가스를 주입하여 압출성형할 경우

Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Choongnam 340-800, Korea

밀도를 낮추기 위하여 압출성형공정에 많이 사용되는 유화제인 모노스테아르산 그리세릴(glycerol monostearate)과 스크로오즈를 첨가하여 밀도를  $0.2 \text{ g/cm}^3$  정도로 낮출 수 있다고 보고되었다<sup>(23)</sup>. 또한 가스주입에 의한 저온압출성형공정은 재래식 압출성형공정과 비교하여 비교적 낮은 온도에서 팽화가 가능하고, 밀도의 조절이 용이하며, 낮은 충밀림 상태에서 압출성형되므로 스크류 마모율이 감소되고 투입에너지가 낮아 원가를 절감할 수 있는 공정으로 새로운 팽화식품의 개발에 응용할 수 있는 공정이다<sup>(9)</sup>.

재래식 압출성형공정을 통한 유제품의 첨가에 관한 연구결과를 보면, Aguilera와 Kosikowski<sup>(4)</sup>는 옥수수가루, 콩가루, 분리 대두단백의 혼합에 의한 압출성형시에 22%의 유청단백질을 첨가하였을 때 영양소 강화뿐만 아니라, 단맛을 증가시켜 제품의 품질이 향상되었으며, 22% 이상에서는 수분흡착지수의 감소와 함께 압출성형물의 조직감을 저하시켰다고 보고하였다. 재래식 압출성형공정을 이용하여 유제품을 강화시킨 최종제품은 팽화제품이 아니고, 압출성형물을 분쇄한 분말로서 대부분 우유단백질을 강화한 제품들이다.

우유에 포함된 리진의 파괴정도는 압출성형조건, 즉 온도, 수분함량, 스크류 회전속도에 영향을 받으며, 수분함량이 감소와 온도가 증가할수록 리진의 파괴도는 증가하지만 스크류의 회전속도는 리진의 파괴에 크게 영향을 미치지 않는다<sup>(5)</sup>. 또한 Cheflet<sup>(6)</sup>은 수분함량 15% 이하와 바렐의 온도  $180^\circ\text{C}$  이하에서는 소량의 리진만이 파괴되었다고 보고하였다. 이상의 연구결과로 보아 가스주입에 의한  $100^\circ\text{C}$  이하에서 압출성형하는 공법을 이용하여 곡류와 우유제품을 팽화시킬 경우 리진의 손실을 감소시킬 수 있는 가능성이 있다.

Peri 등<sup>(7)</sup>은 옥수수배아 가루와 유유단백질을 15%까지 혼합하여 압출성형하였는데, 5% 이하로 첨가할 경우, 제품 품질의 저하없이 압출성형물을 제조할 수 있다고 보고하였다. Kim과 Mega<sup>(8)</sup>는 유청단백질 농축물, 감자가루, 옥수수가루, 쌀가루의 첨가량과 스크류 회전속도와 바렐의 온도 등의 압출성형 공정변수가 제품의 물리적 성질과 관능적 특성에 미치는 영향을 검토하였는데, 제품의 특성은 유청단백질 농축물의 첨가량과 압출성형 조건에 의하여 영향을 받았으며, 특히 유청단백질의 첨가량이 중요하다는 결론을 내렸으나, 최적조건에 관해서는 언급하지 않았다. 일반적으로 압출성형시에 유제품을 첨가할 때, 압출물의 성질에 미치는 바람직한 효과로서 향기의 개선, 갈변의 증가, 비스킷과 같은 조직감을 가지게 된다고 Mil-

lauer 등<sup>(9)</sup>은 보고하였다. 반면에 재래식 압출성형공정에서 곡류원료에 유제품을 첨가하게 되면 압출성형물의 팽화율 감소, 조직감 저하와 함께 열에 불안정한 영양소는 파괴될 수 있다. 그래서 지금까지 연구는 주로 곡류에 부족한 영양소를 강화하기 위해 다량의 유제품을 첨가하여 압출성형한 다음 분쇄한 압출성형물에 대한 분석에 관한 것이 많은 편이며, 유제품의 첨가가 팽화제품의 특성에 미치는 영향에 관한 보고는 많지 않다.

그러므로 본 연구에서는 탄산가스 주입에 의한 압출성형공정으로  $100^\circ\text{C}$  이하의 온도에서 옥수수가루와 유제품 분말(전지분유, 탈지분유, 유청단백질, 카제인 나트륨)의 첨가량에 따른 압출성형 시스템변수와 팽화된 압출성형물의 몇 가지 물리적 성질을 분석하였다.

## 재료 및 방법

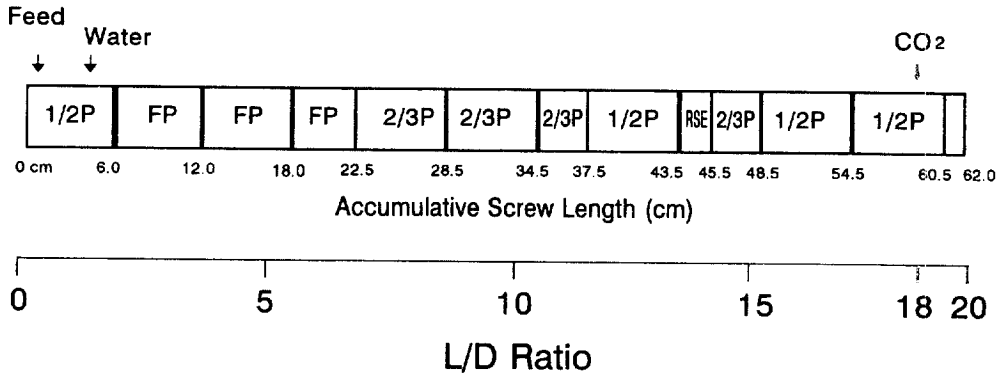
### 재료

옥수수가루는 (주)세원에서 생산한 것으로 수분함량은 13.0%, 입자크기는 60 메쉬 이하인 시료를 사용하였다. 옥수수가루에 첨가한 유제품은 전지분유, 탈지분유, 유청단백질, 카제인 나트륨을 시중에서 구입하여 사용하였다. 원료의 배합비는 옥수수가루(수분함량 13%) 중량을 기준으로 하여 각각 10%와 20%로 하여, 호박트 믹서로 15분간 혼합하여 압출성형 시료를 조제하였다.

### 압출성형조건

실험에 사용한 압출성형기는 백상기계공업(주)에서 제작한 실험용 동방향 쌍축압출성형기로서, 스크류는 완전 맞물림형이며, 스크류 직경 31.0 mm, L/D 비 20, 모터용량은 7.5 HP이다. 바렐은 3개로 구성되어 있으며, 1번 바렐(원료사입 부위)은 가열하지 않고, 2번과 3번 바렐은 0.5 kW 전열기로 가열하여 온도를 각각  $90^\circ\text{C}$ 와  $80^\circ\text{C}$ 로 유지시켰다. 이 때 옥수수가루 용융물(melt)의 온도를  $90\sim 95^\circ\text{C}$ 로 유지시켜 원료수분에 의한 팽화가 억제되도록 압출성형 조건을 유지시켰다.

옥수수가루의 투입속도는 원료투입기의 쌍축 플라 스틱 스크류의 회전속도를 조절하여  $0.15 \text{ kg/min}$ 로 유지하였다. 원료 수분함량의 조절은 수분이 입자로 확산되어 평형상태가 되게 하는 조절(preconditioning)을 하지 않고, 상온의 물을 이송펌프로 직접 바렐의 사입구 부위로 주입하였다. 이 때의 원료반죽의 수분함량은 34%로 조절하였다. 예비실험에서 수분함량이 34%



**Fig. 1. Screw configuration for CO<sub>2</sub> gas injection.** FP: full-pitch screw (pitch=25 mm). 2/3P: screw pitch is 2/3 of full pitch screw. 1/2P: screw pitch is 1/2 of full pitch screw. RSE: reverse screw element with 1/2P screw.

이하에서는 옥수수가루가 주어진 바렐의 가열온도에서 완전히 쿠킹되지 않았고, 바렐이 100°C 이하로 냉각되지 않아서, 토출구 부위의 온도가 100°C 이상에서 수분에 의한 팽화가 일어나는 것을 볼 수 있었다. 그래서 반죽의 수분함량을 34%가 되도록 수분을 조절하였다.

스크류 회전속도는 주어진 압출성형 조건에서 반죽의 온도를 100°C 이하로 유지시키기 위하여 200 rpm으로 조절하여 작동하였다. 토출구는 직경 3.0 mm인 원형타입을 사용하였다.

Fig. 1은 실험에 사용한 스크류의 배열 및 물과 탄산가스의 주입위치를 보여준다. 실험에 사용한 스크류의 길이는 30 mm, 45 mm, 60 mm (전진 피치)와 20 mm (역 피치)이며, 피치는 25 mm (FP), 16.6 mm (2/3P), 12.5 mm (1/2P)의 전진형과 12.5 mm의 역피치 (RSE)를 Fig. 1과 같이 배열하였다. 이러한 배열을 통하여 주입된 탄산가스가 원료투입구 방향으로 역류하지 않도록, 역피치 스크류와 1/2P 스크류를 탄산가스 주입부위 후방에 배열하였다.

Fig. 2는 탄산가스 주입 시스템을 나타낸 것으로, 탄

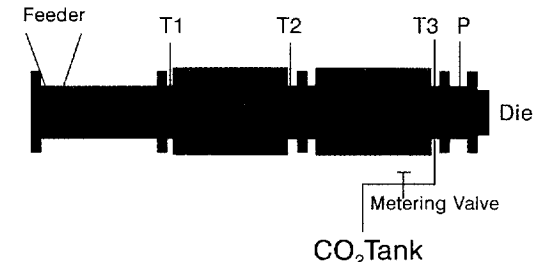
산가스의 주입은 탄산가스 탱크와 바렐의 주입부위를 스테인레스 파이프로 연결하여, 탱크의 압력으로 가스를 바렐 내부로 주입하였다. 또한 바렐 속의 옥수수가루 반죽이 역류하여 탄산가스 주입 파이프에 차지 않도록 역류호름 차단기를 가스주입 입력계 앞에 설치하였다. 탄산가스의 주입량은 가스주입 부위에 설치된 입력계로 측정하였으며, 주입압력은 탱크에서 탄산가스의 유출량을 계량밸브로 조절하였다. 실험에서의 탄산가스 주입압력은 각각 0 MPa, 0.7 MPa, 1.4 MPa로 각각 달리하여 조절하였다.

시스템 변수

탄산가스 주입에 의한 압출성형공정에서 시스템 변수로는 토출구를 통과할 때의 반죽의 온도, 토출구 부위의 압력, 비기계적 에너지(specific mechanical energy (SME)) 투입량을 각각 측정하였다. 반죽의 온도는 열전대 온도계(thermocouple)를 토출구 내부로 약 5 mm 삽입하여 측정하였다. 토출구 부위에서의 압력은 토출구 부위에 설치된 압력계(Fig. 2)에 나타난 압력의 변화를 관찰한 다음, 평형상태에 도달했을 때의 압력을 나타내었다.

비기계적 에너지 투입량은 원료가 투입되어 압출성형기를 통과할 때, 원료의 단위 질량당 소비된 전기에너지(electrical energy)로 나타내었다. 즉 원료투입시의 전력(electrical power)에서 모터 공회전시의 전력을 감한 실제 원료에 투입된 전력이 된다. 비기계적 에너지 투입량의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{비기계적 에너지 투입량 (Wh} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} = \frac{[\text{원료 투입시의 전력 (W)} - \text{공회전시의 전력 (W)}]}{[\text{토출구에서의 생산량 (kg} \cdot \text{h}^{-1}\text{)}]}$$



**Fig. 2. Schematic view of extrusion system for CO<sub>2</sub> injection.**

### 압출성형물의 건조

압출성형물의 수분함량은 약 32% 수준이었으며, 수분함량 10% 이하로 건조시켰다. 건조한 시료는 비닐 봉지에 넣고 밀봉하였다가 압출성형물 자체의 물성과 분쇄기를 사용하여 분말상태(120 mesh 이하)의 물성을 측정하였다.

### 수분함량

수분함량은 압출성형물을 잘게 절단하여, 130°C에서 30분간 가열되는 자동수분측정기를 사용하여 측정하였다.

### 밀도

압출성형물의 밀도는 1 L 메스실린더에 압출성형물 조각 7개를 채운 다음, 좁쌀을 매체로 하여 부피를 측정하고, 이에 따른 7개의 무게와 부피의 비(g/cc)로 나타내었다. 각각의 밀도는 5번 측정한 평균값으로 나타내었다.

### 팽화율

압출성형물의 팽화율은 압출성형물의 직경과 토출구의 직경비( $SEI = D_{\text{extrudate}}/D_{\text{die}}$ , (3.0 mm))로 나타내었다. 또한 토출구 방향으로의 팽화의 지표로서 팽화율의 비길이(specific length, Lse), 즉 단위 질량당 길이(cm/g)로 측정하였다. 각각의 팽화율과 비길이는 10번 측정한 평균값으로 나타내었다.

### 수분흡착지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)

분쇄한 시료 2.5 g (건량기준)과 40 mL의 증류수를 원심분리 튜브에서 30분 동안 25°C로 고정된 항온수조에서 교반시킨 후, 3,000×g로 10분간 원심분리하였다. 이 때 상정액을 분리하고 나서 남은 압출성형물 분말에 포함된 수분함량과 원래의 압출성형물의 무게비를 수분흡착지수(WAI)로, 상정액을 건조한 고품분량과 시료 압출성형물 분말의 무게 백분율을 수분용해지수(WSI)로 표시하였다.

## 결과 및 고찰

### 시스템 변수에 따른 영향

건조 유제품가루를 첨가하였을 때의 비기계적 에너지의 변화를 분석하기 위하여, 원료반죽의 수분함량 34%와 탄산가스의 주입압력 0.7 MPa에서 유제품 분말의 첨가량을 각각 10%와 20%로 하고 압출성형하였을 때의 비기계적 에너지 투입량을 Fig. 3에 나타내었다.

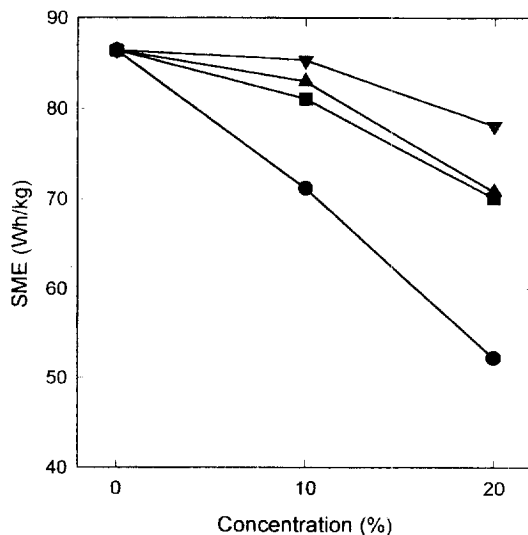


Fig. 3. Effects of milk product concentrations on specific mechanical energy (SME) input at 0.7 MPa injection pressure. ●—●: whole milk powder, ■—■: whey protein concentrate, ▲—▲: non-fat dry milk, ▼—▼: sodium caseinate.

전반적으로 유제품의 첨가량이 증가할수록 비기계적 에너지 투입량은 감소하였다. 카제인 나트륨의 첨가량이 증가할수록 비기계적 에너지가 감소되는 정도는 크지 않았지만, 특히 전지분유의 첨가량이 증가하면 비기계적 에너지 투입량은 크게 감소하였다. 유제품의 첨가시 비기계적에너지의 감소는 지방함량에 따라 영향을 받는 것으로 사료되며, 이 때 지방은 압출성형시에 유효제의 역할을 하여 비기계적 에너지 투입량을 감소시키게 되는 것이다. 따라서 지방함량이 높은 전지분유를 첨가하였을 때, 비기계적 에너지 투입량이 급격히 감소하였다.

한편 토출구부위 온도 150°C에서 수분함량 14%의 밀가루에 전지분유 15%를 첨가하여 재래식공정으로 팽화시킨 Millauer 등<sup>(6)</sup>의 실험결과에서 비기계적 에너지 투입량은 14% 정도 감소하였지만, 수분함량이 높고 온도가 낮은 조건에서 탄산가스 주입에 의해 옥수수가루에 전지분유 15%를 첨가하여 팽화시킨 본 실험에서는 비기계적 에너지 투입량이 38% 정도로 크게 감소하였다. 그러므로 재래식 압출성형공정과 다른 조건, 즉 낮은 증발밀 조건에서 압출성형하는 가스주입에 의한 압출성형에서 전지분유의 첨가량은 제약요인이 될 수 있음을 알 수 있었다.

가스주입에 의한 압출성형에서 카제인 나트륨의 첨가에 의하여 비기계적 에너지의 투입량은 크게 감소하지 않았지만, 고온과 저수분 함량에서 재래식으로

밀가루를 압출성형시킬 때, 오히려 카제인 나트륨의 첨가에 의하여 비기계적 에너지 투입량이 증가하는 경향과는 대조적이었다<sup>(9)</sup>. 이러한 결과로 보아 압출성형 온도에 따라 카제인 나트륨의 용융과 원료반죽과의 반응정도가 달라져서 비교적 낮은 온도에서는 비기계적 에너지 투입량이 달라지는 것으로 사료된다.

가스주입에 의한 저온 압출성형공정에서 전지분유와 비교하여 탈지분유, 유청단백질의 첨가에 의한 비기계적 에너지의 투입량은 크게 감소하지 않았다.

투입된 에너지는 압출성형되는 물질의 용융 에너지(melting energy)와 층밀림 에너지(shearing energy)로 흡수되어 전분과 같은 거대분자의 분해와 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 비기계적 에너지 투입량이 증가하면, 전분의 호화도, 팽윤, 수용성, 팽화도 등이 증가되고 케이스트 점도는 감소하게 된다<sup>(10)</sup>. 에너지 투입량만을 고려할 때, 유제품의 첨가량에 따른 에너지 투입량의 변화가 적은 카제인 나트륨, 탈지분유의 첨가가 가스주입에 의한 100°C 이하에서 원료반죽을 팽화시키는 저온압출성형에 있어서 적합하다고 할 수 있다.

토출구 부위에서 열전대 온도계를 사용하여 측정된 원료반죽의 온도는 95~100°C의 범위로 유제품 첨가량이 증가할수록 감소하였고, 비기계적 에너지 투입량이 높은 카제인 나트륨은 높았으며, 비기계적 에너지 투입량이 낮은 전지분유의 첨가에 의해 감소하는 경향을 관찰할 수 있었다. 토출구 부위에서 측정된 압력 0.8~1.2 MPa 수준으로 가스주입압력과 유제품의 첨가량에 따른 양상은 확인할 수 없었지만 전지분유의 첨가에 의하여 토출구 부위 압력이 낮아지는 것으로 관찰되었다.

#### 압출성형물의 물리적 성질

탄산가스 주입압력 0.7 MPa와 1.4 MPa에서 유제품 분말이 포함된 압출성형물의 밀도와 팽화율을 분석하였다. Fig. 4는 탄산가스 주입압력 0.7 MPa에서 유제품 분말의 첨가량에 따른 압출성형물의 밀도를 나타낸 것이다. 유제품의 첨가량이 증가할수록 밀도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 첨가량 10% 이상에서는 급격하게 밀도가 증가하였다. 카제인 나트륨을 10% 첨가한 경우, 옥수수가루 압출성형물의 조각밀도와 비교하여 거의 변화가 없었다.

재래식 압출성형공정에서도 유제품을 첨가할 경우, 밀도는 증가하는 경향을 보인다. 토출구부위 온도 150°C와 밀가루의 수분함량 14%에서 전지분유 20%를 첨가하여 재래식 공정으로 팽화시킨 Millauer 등<sup>(9)</sup>

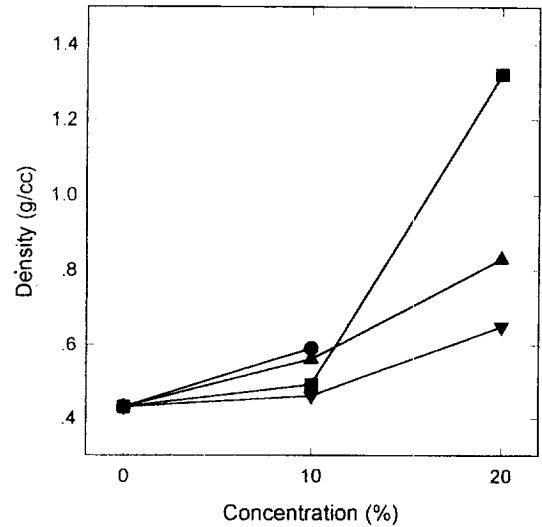


Fig. 4. Effects of milk product concentrations on density at 0.7 MPa injection pressure. ●—●: whole milk powder, ■—■: whey protein concentrate, ▲—▲: non-fat dry milk, ▼—▼: sodium caseinate.

의 실험결과에서 20%의 전지분유를 첨가함에 따라 밀도는 1.9배정도 증가한 것과 비교하면, 본 실험에서 같은 양의 전지분유를 첨가하여 가스주입에 의해 저온압출성형한 팽화물의 밀도 증가율이 1.9배를 나타낸 것과 같은 경향을 나타내었다. 그러나 카제인 나트륨을 첨가한 Millauer 등<sup>(9)</sup>의 실험결과에서 밀도는 오히려 감소하는 경향을 나타내어 가스주입에 의한 저온압출에서 카제인 나트륨을 첨가한 팽화물의 밀도가 증가되는 것과 대조적이었다.

Fig. 5는 유제품 첨가량이 10%에서 가스주입 압력에 따른 압출성형물의 밀도를 나타낸 것이다. 가스주입 압력 0.7 MPa에서 최저밀도를 나타내었으며, 주입 압력을 0.7 MPa에서 1.4 MPa으로 증가시켰을 때, 밀도는 증가하는 경향을 보였다. 전지분유가 10% 이상 첨가할 경우, 가스주입압력 1.4 MPa에서는 가스주입에 의한 팽화가 일어나지 않았으며, 토출구를 통과할 때 압출성형물이 파열되었다. 이러한 현상은 전지분유에 포함된 지방과 옥수수가루에 포함된 아밀로오스가 복합체를 형성하여, 전분의 용융에 필요한 온도가 높아지므로 전지분유 첨가에 의해 원료 용융물의 물성 변화에 기인하는 것으로 사료된다<sup>(11)</sup>.

Fig. 6과 7은 유제품 분말을 10% 첨가하였을 때, 가스주입압력에 따른 팽화율과 비길이를 각각 나타낸 것이다. 가스주입압력을 0 MPa에서 0.7 MPa로 증가시켰을 때, 팽화율과 비길이는 증가하는 경향을 보였

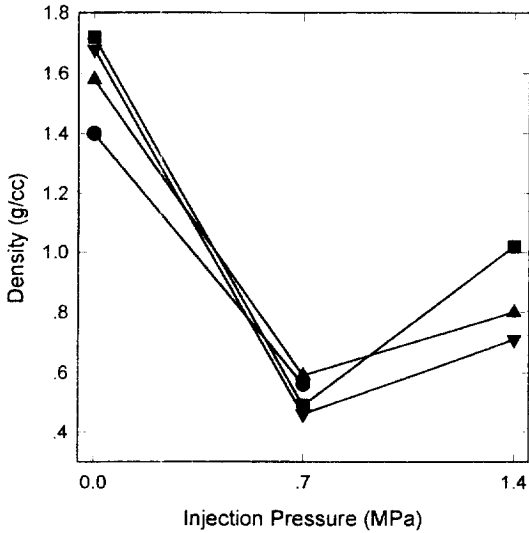


Fig. 5. Effects of CO<sub>2</sub> injection pressure on density at 10% milk product concentration. ●—●: whole milk powder, ■—■: whey protein concentrate, ▲—▲: non-fat dry milk, ▼—▼: sodium caseinate.

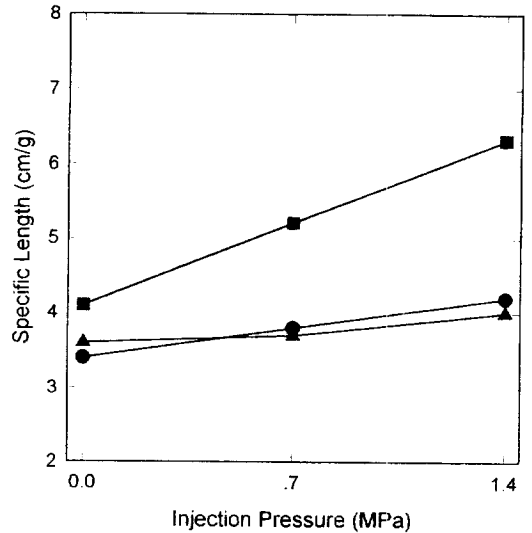


Fig. 7. Effects of CO<sub>2</sub> injection pressure on specific length (L<sub>se</sub>) at 10% milk product concentration. ●—●: whole milk powder, ■—■: whey protein concentrate, ▲—▲: non-fat dry milk.

다. 그러나 가스주입압력을 0.7 MPa에서 1.4 MPa로 증가시켰을 때, 팽화율은 감소하였지만 비길이는 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 재래식 압출성형 공정에서는 팽화율이 증가하면 비길이는 감소하는 경향을 보인다. 그러나 가스주입에 의한 저온압출성형

에서는 오히려 팽화율의 증가와 함께, 비길이도 팽화율이 증가되는 가스주입압력 0.7 MPa에서 증가하는 경향을 보였다.

재래식 압출성형공정에서 120~150°C에서 탈지분유를 옥수수가루에 첨가하여 제조한 압출물의 팽화율은 5% 첨가량까지 증가하고, 5% 이상에서는 감소하는 경향을 보였다고 Singh 등<sup>(11)</sup>이 보고한 것과 같이 가스주입에 의한 저온압출성형에서도 탈지분유의 첨가량 10%에서 밀도의 증가와 아울러 팽화율은 감소하였다.

가스주입압력의 증가에 따른 비길이의 증가는 토출구 부위의 압력과 관계가 있을 것으로 사료된다. 가스주입압력의 증가와 함께, 토출구의 압력은 감소하게 된다<sup>(2)</sup>. 이것은 탄산가스의 주입에 의하여 원료반죽의 점도 감소와 함께 토출구부위의 물질의 충전율이 감소되면서 반죽이 토출구를 통해 토출되는 순간유속가 증가하기 때문이라고 생각된다.

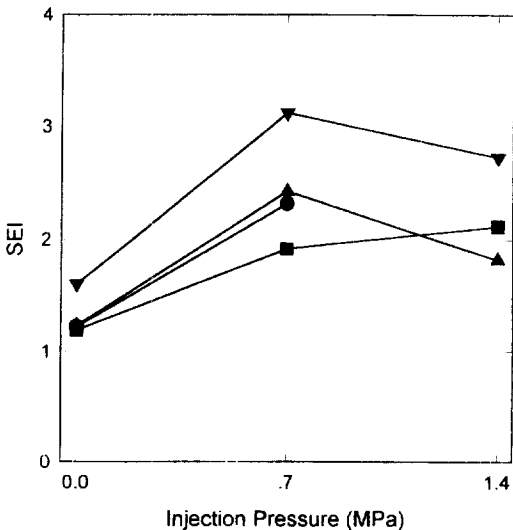


Fig. 6. Effects of CO<sub>2</sub> injection pressure on sectional expansion index (SEI) at 10% milk product concentration. ●—●: whole milk powder, ■—■: whey protein concentrate, ▲—▲: non-fat dry milk, ▼—▼: sodium caseinate.

압출물 분말의 성질

전분의 압출성형에 있어서, 수분흡착지수는 열이나 기계적 에너지의 투입량과 밀접한 관계가 있으며 에너지의 투입량이 증가하면 수분흡착지수는 증가한다. 또한 수분용해지수도 에너지 투입량과 관계가 있다. 에너지 투입량이 증가할수록 전분분자의 수소결합이 끊어져서 수분용해지수가 증가한다는 연구보고도 있다<sup>(10)</sup>. 또한 밀가루의 압출성형시의 기계적 에너지 투

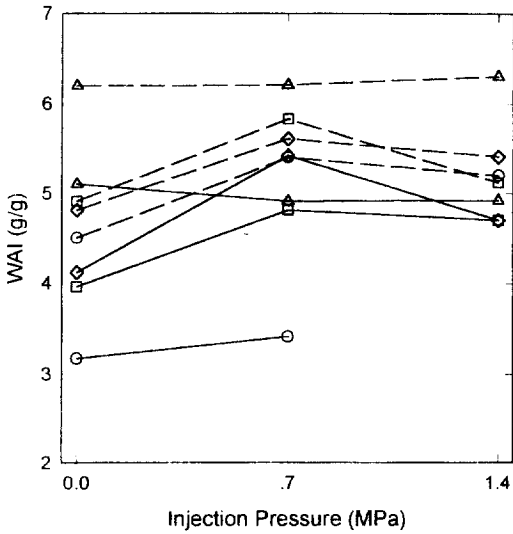


Fig. 8. Effects of CO<sub>2</sub> injection pressure and milk product concentration on water absorption index (WAI). Type: ○—○: whole milk powder, ◇—◇: whey protein concentrate, □—□: non-fat dry milk, △—△: sodium caseinate. Concentration: ---: 10%, —: 20%.

입량과 압출물 분말의 수용성지수는 55~75 Wh/kg의 범위에서 증가한다는 보고도 있다<sup>(13)</sup>.

Fig. 8과 9는 가스주입압력과 유제품의 첨가량에 따른 압출성형물 분말의 수화상태를 알기 위하여 수분흡착지수와 수분용해지수를 나타낸 것이다. 카제인 나트륨을 제외한 다른 유제품을 첨가한 경우, 가스주입압력이 0.7 MPa에서 수분흡착지수는 가장 높았으며, 1.4 MPa에서는 감소하였다. 재래식 압출성형에 의한 수분흡착지수보다 낮은 값을 나타내었는데, 수분함량이 높고, 스크류의 배열이 낮은 증밀림이기 때문으로 사료된다. 유제품의 첨가량 10%와 20%를 비교하면, 동일한 종류의 유제품에서 20%보다 10%첨가하였을 때, 수분흡착지수는 높았다. 이것은 유제품의 첨가에 의하여 수분의 흡수에 영향을 가장 많이 미치는 옥수수가루의 함량이 감소되었기 때문으로 사료된다. 재래식 압출성형공정에서 옥수수가루에 유청단백질을 첨가시킨 압출성형물의 수분흡착지수도 유청단백질의 첨가량이 증가할수록 감소했다는 Singh 등의 보고<sup>(13)</sup>와도 일치하였다.

탄산가스 주입압력과 유제품의 첨가량에 따른 수분용해지수는 주입압력에 따른 변화의 경향을 결정할 수 없었다. 그러나 유제품의 첨가량이 증가할수록 수분용해지수는 증가하는 경향을 보였고, 카제인 나트륨을 첨가한 압출성형물의 수분용해지수가 가장 높게 나타났다.

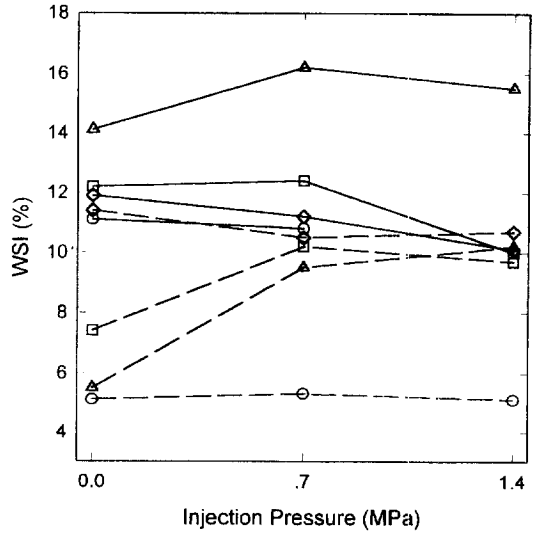


Fig. 9. Effects of CO<sub>2</sub> injection pressure and milk product concentration on water solubility index (WSI). Type: ○—○: whole milk powder, ◇—◇: whey protein concentrate, □—□: non-fat dry milk, △—△: sodium caseinate. Concentration: ---: 10%, —: 20%.

반면에 재래식 압출성형에서 탈지분유와 유청단백질을 첨가한 옥수수가루 압출성형물에서 유제품의 첨가량이 증가할수록 수분용해지수는 오히려 감소한다고 Singh 등<sup>(13)</sup>이 보고하였는데, 이러한 현상은 옥수수가루와 유당의 결합에 의한 것이라고 설명하였다. 이들의 설명을 본 실험에 적용시킬 경우, 가스주입에 의한 저온압출성형은 100°C 이하의 저온과 낮은 증밀림 조건이므로 옥수수가루와의 첨가된 유제품과 상호결합은 적고, 옥수수가루와 결합되지 않은 유제품에 의해 수분용해지수가 증가한다고 볼 수 있다.

가스주입에 의한 저온압출성형에서 유제품을 첨가시킬 때, 가스주입압력과 함께 첨가량에 따라 시스템변수와 압출성형물의 특성이 변화되었다. 특히 지방의 함량이 높은 전지분유가 시스템변수 및 제품의 특성에 영향을 크게 미쳤다. 유제품 10%를 첨가한 경우 탄산가스의 주입압력이 0.7 MPa에서 팽화도는 높았고 밀도는 낮았으나 탄산가스 주입압력 0.7 MPa 이상에서는 팽화율이 낮은 반면 밀도는 급격하게 증가하였다. 또한 카제인 나트륨을 첨가할 경우, 시스템변수나 제품 특성의 변화를 최소화하면서 가스주입에 의한 저온압출성형으로 팽화시킬 수 있었다.

## 요 약

옥수수가루에 건조유제품을 첨가하여 탄산가스의

주입에 의해 반죽의 온도 100°C 이하에서 팽화시킨 몇 가지 제품의 물리적 성질과 기계적 에너지 투입량을 분석하였다. 첨가된 유제품은 전지분유, 유청단백질 농축물, 탈지분유, 카제인 나트륨이며, 첨가량은 옥수수가루의 무게비로 10%와 20%를 각각 첨가시켰다. 압출성형기 바렐로 주입되는 가스압력을 0.7 MPa과 1.4 MPa로 조절하여 옥수수가루를 팽화시켰다. 시스템변수인 비기계적 에너지 투입량은 지방의 함량이 높은 전지분유의 첨가량이 증가할수록 감소하였다. 또한 카제인 나트륨의 첨가에 의한 비기계적 에너지의 투입량의 감소도 적었다. 압출성형물의 밀도는 주입압력 0.7 MPa까지는 점차적으로 감소하다가 그 이상의 압력에서는 증가하였다. 가스주입압력 0.7 MPa에서 유제품의 함량이 0, 10, 20%로 증가할수록 밀도는 증가하는 경향을 보였으며, 카제인 나트륨을 첨가했을 때 밀도가 증가하는 정도가 가장 낮았다. 가스주입압력이 0.7 MPa까지 팽화율은 증가하다가 그 이상의 주입압력에서는 감소했지만, 비길이는 계속 증가하는 경향을 나타내었다. 수분흡착지수는 유제품의 첨가에 의해 감소하는 경향을 나타내었고, 반면에 수분용해지수는 증가하는 경향을 보였다. 본 압출성형 시스템을 이용한 유제품을 첨가한 옥수수가루 압출성형물 제조시 최적 가스주입압력은 0.7 MPa이었으며, 전지분유의 첨가는 제한인자가 되었으나, 카제인 나트륨의 첨가에 의하여 유제품의 첨가량을 높일 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 1986년도 학술진흥재단 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구를 보조한 공주대 식품공학과 강현철, 장윤석에게 감사드립니다.

### 문헌

1. 류기형 : 개스주입에 의한 압출성형공법. 식품과학과산업, **28**, 30 (1995)
2. 류기형, Mulvaney, S.J.: 개스주입에 의한 옥수수가루의

팽화: Sucrose와 glyceryl monostearate (GMS)의 영향. 한국식품과학회지, **27**, 251 (1995)

3. Ryu, G.H., Mulvaney, S.J., Rizvi, S.S.H. and Hamed, A.: Effect of sucrose and glyceryl monostearate (GMS) on process variables and properties of cornmeal extrudates puffed with carbon dioxide gas. Paper presented at '93 Ann. Conference of Inst. of Food Technol., Chicago, IL (1993)
4. Aguilera, J.M. and Kosikowski, R.V.: Extrusion and roll-cooking of corn-soy-whey mixtures. *J. Food Sci.*, **43**, 225 (1978)
5. Asp, N.G. and Bjorck, I.: Nutritional properties of extruded foods. In *Extrusion-Cooking*, Mercier, C., Linko, P. and Harper, J.M. (Ed.), AACC, St. Paul, MN, p.400 (1989)
6. Cheftel, J.C.: Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chem.*, **20**, 263 (1986)
7. Peri, C., Barbieri, R. and Casiraghi, E.M.: Physical, chemical and nutritional quality of extruded corn germ and milk protein blends. *J. Food Technol.*, **18**, 43 (1983)
8. Kim, J.H. and Mega, J.A.: Properties of whey protein concentrate and cereal flour blends. *Lebensm.-Wiss.-u.-Technol.*, **20**, 311 (1987)
9. Millauer, C., Wiedmann, W.M. and Strobel, E.: Extrusion cooking of dairy enriched products and modification of dairy proteins. In *Thermal Processing and Quality of Foods*, Zeuthen, P., Cheftel, J.C., Eriksson, C. Jul, M., Liniger, H., Linko, P., Varela, G. and Vos, G. (Ed.), Elsevier Appl. Sci. Publ. p.156 (1984)
10. Van Lengerich, B.: Entwicklung und Anwendung eines rechnerunterstuetzten systemanalytischen Modells zur Extrusion von Staerken und staerkehaltigen Rohstoffen. *Ph.D. Thesis*, Technical Univ. of Berlin, Germany (1984)
11. Mercier, C., Charbonniere, R., Grebaut, J. and De la Guerivuer, J.F.: Formation of amylose-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of maniac starch. *Cereal Chem.*, **57**, 4 (1980)
12. 류기형 : 압출성형시 기계적 에너지 투입량이 밀가루 압출성형물의 팽화에 미치는 영향. 공주대 생산기술연구소 논문집, **4**, 91 (1996)
13. Singh, R.K., Nielsen, S.S. and Chambers, J.V.: Selected characteristics of extruded blends of milk protein raffinate or nonfat dry milk with corn flour. *J. Food Proc. Preser.*, **15**, 285 (1991)

(1997년 4월 24일 접수)