

탄산가스 주입이 압출팽화 옥수수전분의 성질에 미치는 영향

류기형[†] · 강선희 · 이은용* · 임승택*

공주대학교 식품공학과

*고려대학교 생명공학원

Effect of CO₂ Gas Injection on Properties of Extruded Corn Starch

Ki-Hyung Ryu[†], Sun-Hee Kang, Eun-Young Lee* and Sung-Tack Lim*

Dept. of Food Science and Technology, Kongju National University, Choongnam 340-800, Korea

*Graduate School of Biotechnology, Korea University, Seoul 136-701, Korea

Abstract

Corn starch was extruded under relatively low shear, high moisture, and low temperature. Puffing of corn starch dough was induced by injecting CO₂ gas in the range from 0MPa to 0.09MPa. Piece density and compressive modulus for puffed corn starch were decreased by increasing the injection pressure to 0.07MPa, and increased above 0.07MPa. The microstructure of corn starch puffed with CO₂ gas showed thick cell wall and small cell size, compared with those puffed with steam. RVA paste viscosity curves of corn starch puffed with CO₂ had different patterns from those puffed with steam, probably resulted from partial gelatinization of starch. Water absorption and solubility were not significantly changed by CO₂ injection pressure, but the average degree of polymerization was reduced by higher CO₂ injection. The water absorption, water solubility, and the average degree of polymerization for corn starch puffed with CO₂ were significantly lower than those puffed with steam.

Key words: CO₂ gas injection, extrusion, corn starch

서 론

곡류를 팽화시켜 가공한 식품은 증가하고 있다. 곡류를 팽화시키는 방법은 puffing gun이나, 압출성형기 등의 장치를 이용하여 주로 고온고압에서 행하여지고 있다. 이러한 공정에서 곡류가 팽화되는 원리는 고온고압상태에서 전분의 melting에 의한 점탄성을 가지는 반죽과 물이 수증기로서의 상변화에 의한 비체적의 증가를 추진력으로 하여 반죽은 팽화된다.

압출성형공정을 응용하여 곡류원료를 팽화시킬 경우, 두가지 측면을 생각할 수 있다. 첫째 반죽이 점탄성을 갖기 위해서는 전분을 호화온도 이상의 온도로 가열하여야 한다. 곡류전분의 호화온도는 전분의 종류 및 수분 함량에 따라 약간의 차이가 있다. 그러나 대부분의 경우, 수분 함량이 30% 이상에서 70°C 이상의 온도에서 호화가 일어난다. 둘째, 점탄성을 갖는 반죽의 기공을 형성시키기 위하여 기공형성제가 필요하다. 물을

기공형성제로 이용할 경우, 끓는 점 이상의 온도가 필수적이다. 그러므로 100°C 이상의 가열이 이론적으로 필요해진다(1).

그러나 대부분의 전통적인 팽화공정은 130~180°C의 범위에서 행하여진다(2). 고온고압의 공정동안 여러가지 소화저해 인자를 파괴시키는 장점이 있는 반면에, 열에 민감한 vitamin과 같은 영양소의 파괴도 동시에 수반되어진다. 또한 대부분 high shear와 저수분 함량에서 가공에 필요한 에너지 요구량도 비교적 높은 편이다(3). 이러한 재래식 압출성형공정의 문제점을 해결하기 위해 기공형성제로 가스를 하여 70~100°C 수준에서도 압출성형에 의한 곡류의 팽화가 가능하다면 많은 잇점이 있을 것이다.

저온에서 가스의 주입을 하여 팽화시키면 열에 불안정한 영양소의 파괴를 감소시킬 수 있고, 가스의 주입압력을 조절함으로써 팽화물의 밀도와 기공의 구조 등을 조절할 수 있다. 최근에 가스주입에 의한 압출성

[†]To whom all correspondence should be addressed

형공법에 관한 연구가 이루어지고 있지만 산업화되지는 않고 있다.

옥수수 가루를 탄산가스 주입에 의한 압출성형에 의해 팽화시킬 때, 유화제(glyceryl monostearate)와 설탕이 탄산가스 주입압력과 팽화된 제품의 밀도에 미치는 영향에 대하여 연구한 결과, 유화제의 첨가는 밀도를 감소시켰지만, 설탕의 첨가에 의해 밀도가 증가하였다고 보고하였다(4,5). 재래식 압출성형공법에서 수분 함량이 35% 이상이거나 설탕을 30% 정도 첨가시킬 때, 팽화시키기 어렵다. 그러나 가스를 주입에 의한 압출성형공정을 적용할 경우, 팽화는 용이해지며 제품의 밀도가 $4.0\text{g}/\text{cm}^3$ 정도를 가지는 제품의 생산이 가능하다(1).

지금까지 가스주입에 의한 압출성형에 관한 연구는 거의 없는 실정이며, 특히 가스를 주입시켰을 때의 전분의 변화를 비롯한 압출성형물의 성분 변화에 관한 연구는 저온 압출성형 공법을 응용하여 팽화제품을 개발하기 위하여 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 옥수수 전분을 압출성형할 때, 탄산 가스주입이 옥수수전분 압출물의 밀도, 기계적 특성, 화학적 변화에 미치는 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 전분은 (주)세원(서울)에서 제조한 옥수수 전분을 구입하여 압출성형 팽화물의 제조에 사용하였다.

압출성형공정

본 실험에 사용한 압출성형기는 남성농산에서 제조한 쌍축 동방향 압출성형기(Festina twin-screw extruder FX40)로 스크류 직경 44mm, L/D비 16, 모터용량 20 HP이다. 수분 함량은 바렐로 pump를 사용하여 물을 주입하여 반죽의 수분 함량을 35% 범위로 조절하였다. 반죽의 온도는 각각의 바렐을 전열기를 사용하여 조절하였으며 사출구 부위 바렐의 온도는 $60\sim 80^\circ\text{C}$ 로 가열하여 수분에 의한 팽화가 일어나지 않도록 하였다. 냉각시에는 냉각수를 바렐에 설치된 재킷으로 통과시켜 조절하였다. 스크류의 회전속도는 250rpm으로 조절하였으며, 원형인 사출구(직경 3mm) 두개를 열어서 압출성형하였다.

이산화탄소 가스의 주입은 탱크와 바렐의 주입부위를 stainless steel pipe로 연결하여 주입하였으며 주입량은 주입부위에 부착된 압력계로 측정하였다. 본 실험

함에 사용된 압출성형기 바렐의 가스주입 위치 및 스크류의 배열은 Fig. 1과 같다.

가스주입에 의한 압출성형에 의해 팽화시킨 압출물의 화학적 성질을 비교하기 위한 재래식 압출성형조건은 수분 함량 20%, 사출구 온도 140°C , 스크류 회전속도 350rpm으로 작동하였다. 스크류 배열과 사출구를 포함한 다른 작동조건은 가스주입에 의한 압출성형에 의해 팽화조건과 동일하게 하여 시료를 제조하였다.

팽화물의 compressive modulus

팽화물의 compressive modulus는 ASTM(E 9-81) 방법(6)을 변형하여 측정하였다. 시료의 조제는 팽화물을 $15\sim 18\text{mm}$ 길이로 단면을 절단하였다. 힘-거리 변형 곡선은 Rheometer(Compac 100, Sun Co., Japan)를 사용하여 얻었다. Compressive modulus의 계산은 초기에 5kgf 의 힘(F_1)을 가하여 팽화물의 단면이 붕괴된 길이(dL_1)로부터 strain(ϵ_1)과 stress(σ_1)을 구하였고, 붕괴된 팽화물의 단면에 $10\text{kg}\cdot\text{f}$ 의 힘(F_2)을 다시 가하여 팽화물의 단면이 붕괴된 길이(dL_2)로부터 strain(ϵ_2)과 stress(σ_2)을 구한 다음, 이 두점을 연결한 직선의 기울기로부터 팽화물의 compressive modulus(E)를 구하였다.

팽화물의 기공의 구조

압출물의 기공구조는 scanning electron microscope (SEM)를 이용하여 관찰하였다. 건조 압출물을 절단하여 탄소와 gold-palladium으로 코팅한 후, ETEC auto

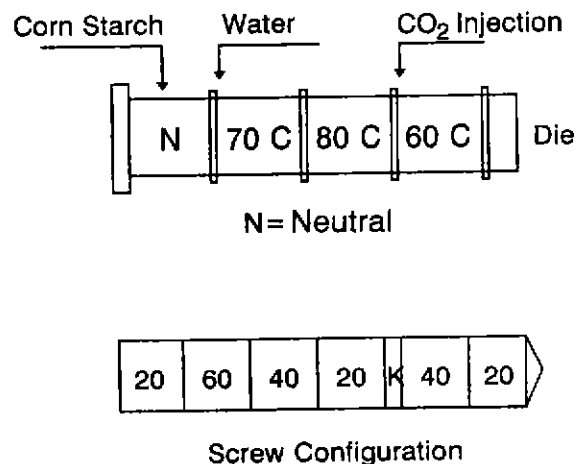


Fig. 1. Schematics of extrusion system for CO₂ injection and screw configuration.

20: The length of forward lead is 20mm
40: The length of forward lead is 40mm
60: The length of forward lead is 60mm
K: Forward knead element

scanning electron microscope을 사용하여 기공의 구조를 관찰하였다. 이때의 배율은 $\times 20$ 을 사용하였다(7).

호화점도

옥수수전분 팽화물의 호화점도는 Rapid Visco-Analyzer(RVA, Newport Scientific Pty. Ltd., NSW, Australia)을 이용하였다. 14% 수분 함량을 기준으로 계산한 팽화물 가루(5g)에 25ml의 증류수를 알루미늄 캔에 가하여 호화점도를 측정하였다. RVA는 18분 동안 작동하였으며, Ryu 등의 방법(8)을 사용하여 RVA 곡선을 분석하였다. 즉, 30°C에서 2분간 평형상태 유지, 95°C까지 6분간 가열, 95°C에서 2분간 유지, 95°C에서 30°C로 8분간 냉각하여 RVA 호화점도 곡선을 얻어 초기 호화시간, 최고 점도, 최고 점도 도달시간을 각각 나타내었다.

수분흡착력 지수와 용해도 지수

압출성형물의 수분 흡착력 지수와 용해도 지수는 Anderson 등의 방법(9)을 변형하여 결정하였다. 2.5g의 압출물 분말에 30ml의 증류수를 가하여 25°C의 항온조에 30분간 방치한 후, 원심분리기를 사용하여 5,000rpm에서 10분간 원심분리하여 침전물과 상등액을 분리한 다음 침전물의 무게와 시료 무게의 비로 계산하였다. 또한 수용성 지수는 상등액을 건조시킨 후의 무게와 시료의 무게비로 계산하였다.

80% 에탄올 용해도

Chinnaswamy와 Hanna의 방법(10)을 이용해서 측정하였는데, 각각의 시료를 50ml 원심분리튜브에 0.5g씩 취한 후 80% 에탄올 20ml를 첨가하고 상온에서 15분간 1800rpm의 속도로 원심분리했다. 상등액을 취한 후 80% 에탄올에 용해된 당의 양을 phenol-sulfuric acid 법(11)으로 구했다.

평균중합도(average degree of polymerization, DP_n)

평균 중합도(DP_n)는 Dubois 등(11)이 사용한 Hizukury의 방법을 이용해서 총당을 시료 내의 환원말단수로 나누어서 구했다. 환원말단수는 개량 Park-Johnson법(11)을 이용하여 구했다. 각각의 시료를 50ml씩 취해서 증류수 5ml를 넣고 가열하여 호화시킨 후 1ml를 취하고 여기에 물 50ml를 넣었다. 0.5ml potassium ferricyanide(1g/L)와 0.5ml potassium cyanide가 포함된 sodium car-

bonate-sodium hydrogencarbonate buffer(Na₂CO₃ 4.8g, NaHCO₃ 9.2g, KCN 0.65g/L of water)를 첨가하고 15분 끓인 후 10분간 흐르는 물에 냉각시킨 다음 2.5ml ferric ammonium sulfate(3g/L of 50mM H₂SO₄)를 가하여 정확히 20분 후에 715nm에서 흡광도를 측정했다.

Blank는 물(1050μg)로 하고 표준액으로는 glucose(100μg/ml) 용액 50μl와 물 1000μl를 혼합한 것을 사용해서 시료와 같은 처리를 해준 것을 사용하였다. 그리고, 호화액의 탁도에 의한 흡광도를 보정하기 위해 호화액의 흡광도도 측정했다. 총당은 phenol-sulfuric acid법(11)으로 측정하였다.

결과 및 고찰

압출성형물 밀도

Fig. 2는 탄산가스 주입압력 0.03MPa에서 0.09MPa의 범위에서의 압출성형물 조각의 밀도(piece density)를 나타낸 것이다. 가스를 주입하지 않은 옥수수전분 압출성형물의 밀도는 1.64g/cm³이었다. 그러나 가스를 주입했을 경우, 탄산가스 주입압력 0.03MPa, 0.05MPa, 0.07MPa와 0.09MPa에서 압출물의 밀도는 각각 0.98g/cm³, 0.82g/cm³, 0.80g/cm³과 0.97g/cm³로 각각 감소하였다. 그러나 본 실험의 조건에서 탄산가스 주입압력을 0.10MPa 이상에서 주입시킬 경우, 압출성형물의 내부기공이 파열되어 기공의 형성이 불가능한 것을 관찰할 수 있었다.

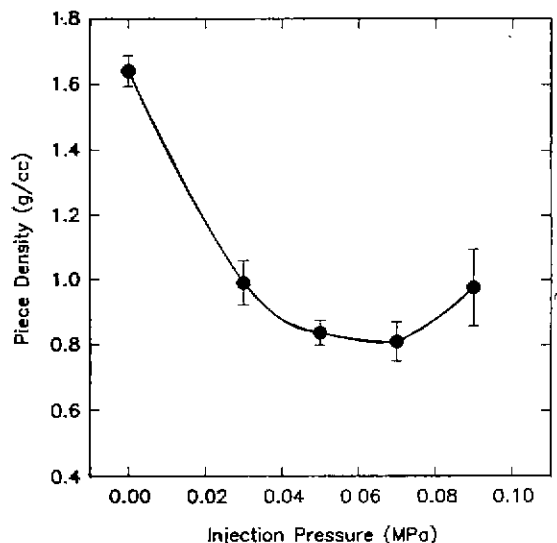


Fig. 2. Effects of injection pressure on piece density of corn starch extruded with CO₂ gas. Bars represent standard deviation (n=3).

가스주입에 의한 압출성형공정에서 가스주입압력이 증가함에 따라 밀도가 가스주입압력 0.07MPa까지는 감소하다가 증가하였다. 이것은 압출성형기 내부에서 탄산가스가 사출구를 통과하면서 호화된 전분반죽 내부의 기공이 성장할 때의 압력을 이기지 못하여 형성된 기공이 파괴되어 밀도가 증가한다고 류(12)는 설명하였다.

그러나 이러한 현상을 규명하기 위해서는 탄산가스가 주입될 때의 전분의 화학적인 변화와 함께 전분의 물성에 변화가 규명되어야 할 것이다. 또한 압출성형물 기공의 파괴없이 탄산가스의 주입압력을 높이기 위해서는 압출성형기 스크류 배열이나 사출구 부위에 흐름 조절기(flow restrictor)의 설치를 통해 반죽의 흐름을 조절과 함께 탄산가스의 혼합을 증가시켜야 할 것으로 사려되었다.

압출성형물의 밀도와 조직감은 밀접한 관계가 있으며, 밀도가 증가할수록 전고성과 파괴력은 증가하는 경향이 있다(13). Fig. 3은 탄산가스 주입압력에 따른 compressive modulus를 나타낸 것으로 밀도가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 탄산가스 주입압력이 0.03MPa에서 0.07MPa로 증가함에 따라 compressive modulus는 13.3MPa에서 11.6MPa로 감소하다가 탄산가스 주입압력 0.09MPa에서는 압출성형물의 내부기공의 파열에 의한 밀도의 증가와 함께 compressive modulus는 14.9MPa로 증가하였다.

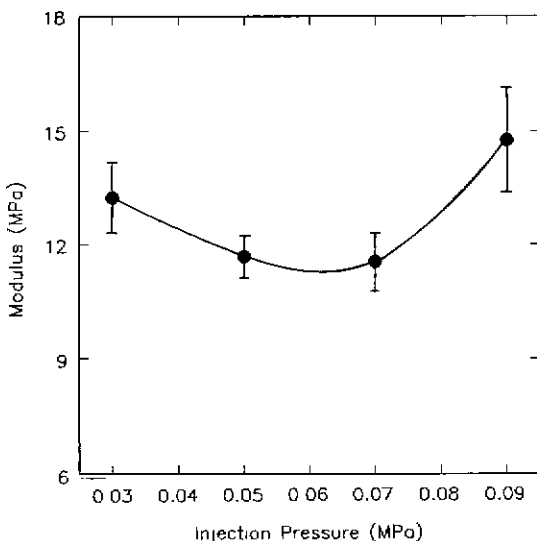


Fig. 3. Effects of injection pressure on compressive modulus of corn starch extruded with CO₂ gas. Bars represent standard deviation(n=5).

기공의 구조

Fig. 4는 가스주입 압력에 따른 옥수수전분 압출성형물의 기공의 구조를 나타낸 것이다. 탄산가스가 주입되지 않았을 경우, 반죽의 온도가 90°C 이하이므로 기공형성제인 물의 상변화가 일어나지 않았으므로 기공을 관찰할 수 없었다. 탄산가스 주입압력 0.01MPa에서는 기공의 완전한 성장이 일어나지 않았으며, 기공의 분포도 균일하지 않았다(Fig. 4a). 또한 가스 주입압력 0.03MPa에서는 탄산가스에 의해 생성된 기공을 관찰할 수는 있었다. 그러나 기공의 크기는 매우 작았다(Fig. 4b). 가스주입 압력을 0.05MPa로 증가시켰을 때, 기공의 크기는 증가하는 것을 알 수 있었다(Fig. 4c).

실험한 가스주입 조건에서는 수분을 기공형성제로 이용하는 재래식 압출성형공정에 의해 팽화시킨 옥수수 팽화물(Fig. 4d)과 비교하여 기공의 크기가 작고 기공의 벽도 두꺼운 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 가스주입에 적합한 압출성형 조건의 설정에 관한 연구와 압출성형시 반죽의 물성을 가스주입에 적합하도록 변화시킬 경우, 기공의 구조를 가스의 주입압력에 따라 제어할 수가 있을 것으로 사려되었다.

호화점도

Fig. 5는 압출성형물 가루의 호화점도를 나타낸 것으로 원료 옥수수전분(a), 가스주입압력 0.07MPa(b)와 재래식 압출성형공정(사출구 부위 온도 140°C, 원료 수분 함량 20%)으로 생산된 옥수수전분 팽화물의 호화점도 곡선(c)을 나타낸 것이다.

옥수수전분의 페이스트 곡선과 비교하여 가스를 주입시켜 팽화시킨 옥수수전분의 경우, 호화개시온도가 원료 옥수수전분 5.6분 보다 단축된 3.5분이었으며, 최고 점도 또한 증가하였다. 이것은 가스주입에 의한 압출성형시 반죽의 수분 함량이 35% 정도, 스크류 회전속도 250rpm, 바렐의 온도가 80°C 이하로, 비교적 낮은 전단력을 가지는 스크류 조합의 조건에서 전분이 완전하게 호화되지 않아 최고 호화점도가 존재하는 것으로 사려되었다. 또한 이러한 조건에서는 스크류의 회전에 의한 기계적 힘에 의한 전분사슬의 절단이 많이 일어나지 않는 것으로 사려된다.

재래식 공정에 의해 팽화시킨 팽화물의 호화점도 곡선에서는 전분의 호화와 함께 전분사슬의 절단에 의해 호화점도가 낮고, 최고 점도도 나타나지 않았다. 이런 결과로 보아 탄산가스 주입에 의한 팽화는 재래식 공정에 의해 옥수수전분의 팽화 보다 전분사슬의 손상이 적어 팽화물의 특성 및 전분의 화학적 성질도 다를 것

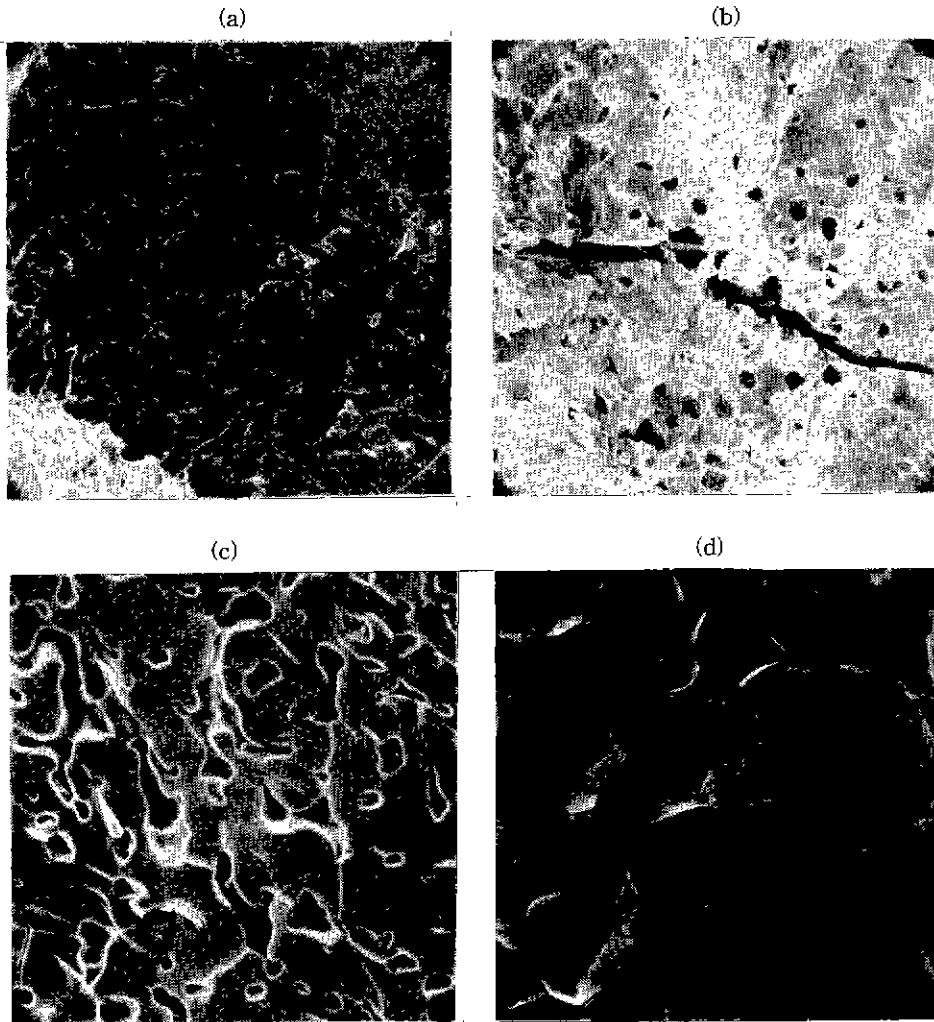


Fig. 4. Scanning electron microphotographs of cross section of extrudates($\times 20$).

(a) Corn-starch extrudate puffed with 0.01MPa CO_2 injection, (b) 0.03MPa CO_2 injection, (c) 0.05MPa CO_2 injection, (d) Corn-starch extrudate puffed with conventional steam puffing (die temperature: 140°C , moisture content, 20%).

으로 사려되었다.

화학적 성질

재래식 압출성형공정, 즉 반죽의 수분 함량 20%, 스크류 회전속도 350rpm, 사출구 부위온도 140°C 와 높은 충밀률을 가지는 스크류의 배열로 팽화시킨 옥수수전분은 탄산가스로 팽화시킨 옥수수전분 보다 수분흡착지수(WAI)는 낮았으며 수용성지수(WSI)는 매우 높게 나타났다(Table 1). 이러한 결과는 옥수수 가루를 탄산가스로 팽화시킨 압출물과 재래식 공정으로 팽화시킨 옥수수 팽화물을 비교한 연구(5)에서도 같은 경향을 보였다.

이러한 현상은 재래식 공정의 경우, 바렐 내부의 수분의 투입이 적기 때문에 바렐 내부 흐름의 저항이 커져서 내부의 반죽은 높은 충밀률을 받게 되어 전분사슬의 절단이 증가한 결과라고 할 수 있다(14). 평균 중합도(DP_n)도 재래식 공정에서 559이었고, 0.03MPa의 탄산가스를 주입한 공정에서는 872로 재래식 공정에서 낮았다(Table 1). 이 결과에서 재래식 공정에 의해 전분을 팽화시킬 때, 가스주입에 의한 압출성형공정 보다 높은 충밀률을 받아 전분사슬이 절단되어 전분의 중합도가 낮은 것을 알 수 있다.

압출성형시 전분의 중합도는 수분흡착지수와 수용성지수는 상관관계가 있다. 중합도가 낮을 경우, 전분

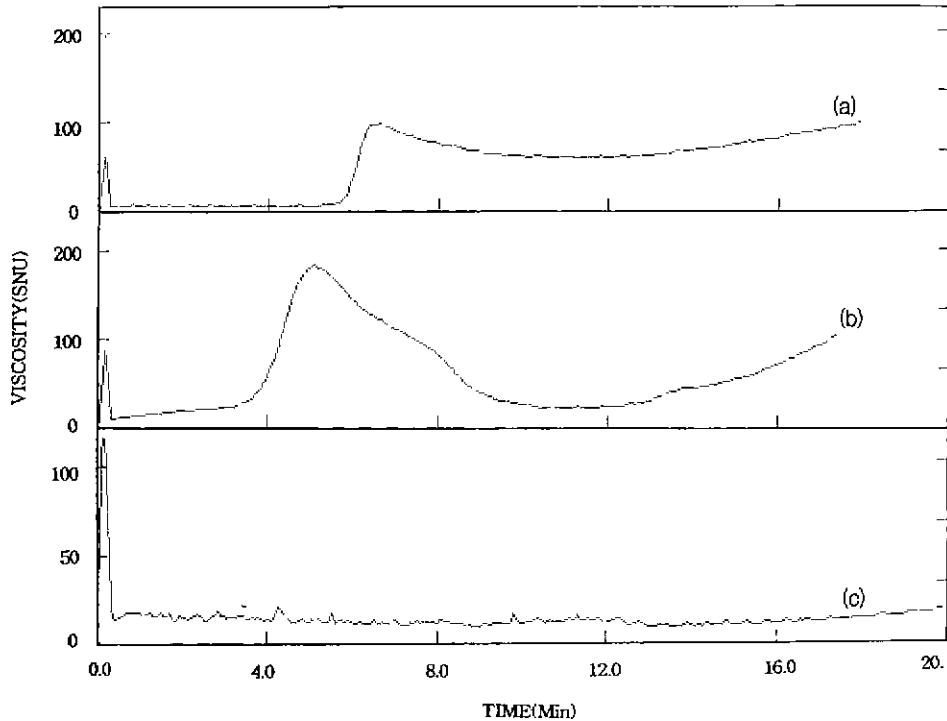


Fig. 5. Paste-viscosity curve measured by Rapid Visco-Analyzer.

(a) Raw corn starch, (b) Corn-starch extrudate puffed with 0.07MPa CO₂ injection, (c) Corn-starch extrudate puffed with conventional steam puffing(die temperature: 140°C, moisture content 20%).

Table 1. Selected chemical properties of corn starch extruded with steam and carbon dioxide gas

Process variables ¹⁾	WAI (g/g) ²⁾	WSI (%) ³⁾	80% ethanol solubility (%)	DP _n ⁴⁾
(a) Steam puffing	2.71	42.7 ^a	0.045	559
(b) Injection pressure (0.03 MPa)	7.35	13.04	0.088	872
(c) Injection pressure (0.07 MPa)	5.85	11.25	0.085	814

¹⁾(a) Corn-starch extrudate puffed with conventional steam puffing(die temperature: 140°C, moisture content: 20%), (b) Corn-starch extrudate puffed with 0.03 MPa CO₂ injection, (c) Corn-starch extrudate puffed with 0.07MPa CO₂ injection

²⁾Water absorption index=gel weight(g)/sample weight(g)

³⁾Water solubility index=weight of solubilized sample(g)/sample weight(g) × 100

⁴⁾Total sugar/reducing sugar

사슬의 절단이 증가한 경우에 수분흡착지수의 감소와 함께 수용성지수는 증가한다(4). 또한 압출상형에서 전분사슬의 절단은 아밀로스 보다 아밀로펙틴에서 많이 일어나며, 전분의 수분이 감소할수록 증가된다고 한다

(10). 수분 이외에 가열온도도 전분사슬 절단에 있어서 중요하다. 재래식 공정에서 140°C의 고온에서 압출성형했기 때문에 호화와 함께 전분사슬의 절단에 의한 수용성지수의 증가도 고려할 수가 있다(15). 또한 일반적으로 호화가 되면 수분흡착지수가 증가되지만 이 시료의 수분흡착지수가 낮은 이유는 호화에도 불구하고 수분투입이 적기 때문에 발생한 전분사슬의 절단의 결과라고 할 수 있다(16).

탄산가스 주입압력 0.03MPa와 0.07MPa에서 압출성형한 팽화물의 수분흡착도와 수용성지수는 탄산가스 주입압력이 0.07MPa에서 높게 나타났고, 80% 에탄올 용해도는 큰 차이를 보이지 않았다. 평균 중합도는 탄산가스 주입압력이 0.03MPa에서 0.07MPa로 증가하였을 때, 872에서 814로 약간 감소하였다. 이것은 압출성형기 바렐 내부에서 수분과 탄산가스의 반응에 의해 생성된 약산성인 탄산에 의한 전분사슬의 절단으로 평균 중합도가 감소된 것으로 사려된다. 그러나 이러한 가설은 가스의 주입압력, 즉 주입되는 가스의 농도를 크게 조절할 수 있는 압출성형기를 사용하여 팽화시켜 제조한 시료에 의한 증명이 필요할 것이다.

요 약

탄산가스 주입압력을 0MPa에서 0.09MPa의 범위에서 압출성형기 바렐로 주입하여 옥수수전분을 90°C 이하에서 팽화시켰다. 탄산가스 주입압력 0.07MPa에서 압출물의 밀도는 가장 낮았다. 그러나 가스주입압력 0.09MPa 이상에서는 기공의 파괴에 의하여 밀도는 감소하는 경향을 보였다. 압출물의 compressive modulus도 밀도와 같은 패턴으로 0.07MPa에서 가장 낮았고, 0.07MPa 이상에서는 증가하였다. 가스주입에 의해 팽화시킨 옥수수전분의 밀도는 스팀에 의한 재래식 압출성형공정과 비교하여 밀도는 높았다. 주사현미경으로 관찰한 기공의 미세구조에서 가스주입조건에 따라 기공의 크기와 벽이 차이가 있었다. 재래식 압출성형공법으로 생산한 옥수수전분 팽화물과 비교하여 가스주입에 의해 압출성형한 팽화물의 기공의 벽은 두꺼웠고 완전한 기공의 형성 및 성장이 일어나지 않았다. 호화점도는 가스를 주입하여 팽화시킨 시료의 경우, 옥수수전분은 부분적인 호화가 일어났음을 알 수 있었다. 재래식 압출성형공법으로 생산한 옥수수전분 팽화물은 완전히 호화되어 호화점도 곡선에서 최고 점도가 나타나지 않았다. 탄산가스 주입에 의해 팽화시킨 옥수수 팽화물의 경우, 탄산가스 주입압력이 증가할수록 수분흡착도와 수용성지수는 큰 차이가 없었지만 평균 중합도는 감소하였다. 이것은 탄산의 생성에 의한 전분사슬의 분해 때문이라고 사려되어진다. 재래식 압출성형에 의한 팽화 옥수수전분과 비교하여 수용성지수는 낮았다.

감사의 글

이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Ferdinand, J. M., Lai-Fook, R. A., Ollett, A. L., Smith, A. C. and Clark, S. A. : Structure formation by carbon dioxide injection in extrusion cooking. *J. Food Engng.*, **11**, 209(1990)
2. Mason, W. R. and Hosney, R. C. : Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chem.*, **63**, 436(1986)
3. Launay, B. and Lisch, J. M. : Twin-screw extrusion cooking of starches : Flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *J. Food Engng.*, **2**, 259(1983)
4. Ryu, G. H., Mulvaney, S. J. and Rizvi, S. S. H. : The effect of sucrose and glyceryl monostearate(GMS) on process variables and properties of commeal extrudates puffed with carbon dioxide gas. 53rd Annual Meeting of IFT, Chicago, IL(1993)
5. 류기형, Mulvaney, S. J. : CO 가스주입에 의한 옥수수 가루의 팽화 : Sucrose와 glyceryl monostearate(GMS)의 영향. *한국식품과학회지*, **27**, 569(1995)
6. ASTM · E9-81(Standard methods of compression testing of metallic materials at room temperature). ASTM (1089)
7. Ryu, G. H. and Walker, C. E. : Cell structure of wheat flour extrudates produced with various emulsifiers. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **27**, 432(1994)
8. Ryu, G. H., Neumann, P. E. and Walker, C. E. : Pasting of wheat flour extrudates containing conventional baking ingredients. *J. Food Sci.*, **58**, 3(1993)
9. Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F. and Griffin, Jr. E. L. : Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today*, **14**, 4(1969)
10. Chinnaswamy, R. and Hanna, M. A. : Macromolecular and functional properties of native and extrusion-cooked corn starch. *Cereal Chem.*, **67**, 490(1990)
11. Dubois, M. K., Gilles, K. A., Hamilton, R. A., Rebers, R. A. and Smith, F. : Colorimeter method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350(1956)
12. 류기형 : 가스주입에 의한 압출성형공법. *식품산업과 기술*, **28**, 30(1995)
13. Meuser, F. and Wiedmann, W. : Extrusion plant design. In "Extrusion cooking" Mercier, C., Linko, P. and Harper, J. M.(eds.), AACC, St. Paul, MN, p.128(1989)
14. Tang, J. and Ding, X. L. : Relationship between functional properties and macromolecular modification of extruded corn starch. *Cereal Chem.*, **71**, 364(1994)
15. Gomez, M. H. and Aguilera, J. M. : Change in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. *J. Food Sci.*, **48**, 378(1983)
16. Smith, A. C. : Studies on the physical structure of starch-based materials in the extrusion cooking process. In "Food extrusion science and technology" Kokini, J. L., Ho, C. T. and Karwe, M. V.(eds.), Marcel Dekker, New York, p.573(1992)

(1997년 2월 27일 접수)