

저온압출방법이 호화 쌀가루 팽화물의 물리적성질과 기공구조에 미치는 영향

정헌상 · 민용규* · Romeo T. Toledo**

충북과학대학 식품생명과학과, *충북대학교 식품공학과, **조지아주립대학교 식품공학과

Effects of Low Temperature Extrusion Method on the Physical Properties and Cell Structure of Pregelatinized Rice Flour Extrudate

Heon-Sang Jeong, Young-Kyoo Min* and Romeo T. Toledo**

Dept. of Food Science & Biotechnology, Chungbuk Provincial University

*Dept. of Food Science & Technology, Chungbuk National University

**Dept. of Food Science & Technology, The University of Georgia, Athens, GA 30602, USA

Abstract

In order to investigate the effects of carbon dioxide assisted low temperature extrusion on the extrudate characteristics and to develop highly porous extrudate, extrusion was carried out using pre-gelatinized rice flour with different carbon dioxide injection pressure. Screw configuration using short pitch and reverse screw elements improved mixing, allowed extrudate expansion, and prevented back-flow of injected gas towards the feed port. Carbon dioxide injection pressure greater than 0.5 MPa produced highly dense extrudate, with irregular pore size and structure collapse after exiting the die. Depending on the CO₂ injection pressure, expansion ratio was ranged between 7.39 and 11.02, but that value at 0.6 MPa decreased to 8.50. Bulk density was decreased from 0.95 g/cm³ at 0.1 MPa to 0.39 g/cm³ at 0.5 MPa. WSI was increased markedly from 5.12 to 12.73% according to increase of CO₂ injection pressure. The SME varied between 40.69 and 43.07 kJ/kg as an increasing CO₂ injection pressure. The average cell size of various extrudates ranged between 28.74 and 65.58 μm. Cell density decreased from 6.40×10⁷ cells/cm³ at 0.2 MPa to 1.05×10⁷ cells/cm³ at 0.6 MPa. Cell area ratios were increased from 40.13% to 81.16% as CO₂ injection pressure increased to 0.5 MPa, but it was decreased 67.40 at 0.6 MPa. The cells size at 0.1 MPa distributed to 10-30 μm size about 80%. As increasing CO₂ injection pressure cell number of 10-30 μm size decreased but large cell number increased. Cells size of 10-30 μm in 0.5 MPa occupied about 36%.

Key words: pregelatinized rice flour, low temperature extrusion, cell structure, carbon dioxide

서 론

식품의 압출은 두 가지 방법을 이용하여 이루어진다. 하나는 물의 상변화시 발생하는 증기의 비체적 증가에 의한 방법이고 다른 하나는 압출성형기 내에 고압의 가스를 주입하여 팽화물과 함께 압출성형기를 빠져 나올 때 발생하는 압력차이를 이용

하는 방법이다. 물의 상변화를 이용한 방법이 스낵과 cereal 제품과 같은 팽창된 제품을 연속적으로 생산하기 위하여 일반적으로 널리 사용되고 있지만 이 방법에 의한 팽창은 높은 전단력과 낮은 수분함량으로 인하여 많은 열을 발생시킨다 (Chinnaswamy와 Hanna, 1988). 이러한 열에 의하여 단백질, 비타민, 향 그리고 색소와 같은 열에 민감한 성분들을 보존하기가 어려울 뿐만 아니라 배럴의 교체비용, 스크류의 마모, 그리고 적절하지 못한 텍스트리화 등을 야기시킨다(Hauck와 Huber, 1989; Kirby et al., 1988). 또한 증기팽창에 의해 만들어진 팽화물

Corresponding author : Heon-Sang Jeong, Dept. of Food Science & Biotechnology, Chungbuk Provincial University, Okchon, Chungbuk 373-800, Korea
Phone: 043-730-6382, E-mail: hsjeong@ctech.ac.kr

은 팽창율이 9-12 정도이고 형성된 셀 크기는 1-3 mm 정도이며, 그 크기가 일정하지 않고 불규칙한 구조를 가지고 있다. 또한 셀의 크기와 압출물의 밀도를 조절하는데 어려움이 있다(Barrett와 Peleg, 1992). 그러나 가스에 의한 팽화는 증기를 사용할 경우의 단점을 많이 보완 할 수 있으며, 팽화물의 특성이 향상된 새로운 제품을 생산할 수 있는 기술이다.

가스주입 압출성형에 관한 연구를 살펴보면 Ferdinand *et al.* (1990)은 증기의 발생이 없는 상태로 팽화기 내부에 가스상태의 이산화탄소를 주입하여 건조된 감자분말, 밀전분 그리고 옥수수 그리츠의 다공성 구조형성에 관하여 연구하였다. 이 연구에서 팽화는 100°C 이하에서 이루어 졌지만 증기에 의해 팽화된 제품에 비하여 커다랗게 팽창된 구조를 형성하지는 못하였다고 보고하였다. 또한 Rizvi와 Mulvaney (1992)는 기공형성제로 초임계 이산화탄소를 사용하여 고도의 다공성 제품을 만들어 냈으며 이에 대한 특허를 출원하였다. 초임계 이산화탄소주입 팽화방법을 사용할 경우 셀의 크기, 셀의 밀도, 그리고 팽창율은 증기팽화방법에 비하여 넓은 범위의 품질특성을 갖는 제품을 생산할 수 있으며, 일반적인 팽화공정에 비하여 보다 규칙적인 세포크기를 갖는 제품이 얻어진다고 보고하였다(Bladwin *et al.*, 1996). 팽화동안 증기의 형성을 방지하면서 제품의 온도를 100°C이하로 유지하는 방법 중의 하나는 전분의 호화에 필요한 수분함량을 증가시킴으로서 열에 의한 점성의 분산을 감소시키는 것이라 보고했다(Ferdinand *et al.*, 1992; Ferdinand *et al.*, 1990; Sokhey *et al.*, 1996). 또한 팽화시 첨가된 sodium bicarbonate가 압출성형기 내에서 물과 반응하면서 발생된 이산화탄소를 기공 형성제로 이용한 연구(Lai *et al.*, 1989) 등이 진행되었다.

본 연구에서는 저온에서 호화된 쌀 분말에 이산화탄소를 주입하면서 팽화를 실시하였으며, 형성된

팽화물의 특성과 기공구조의 형성들에 미치는 이산화탄소의 영향에 대하여 연구한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

재료

본 실험에서는 호화된 쌀가루(SAGE V FOODS Co., LTD., Los Angeles, CA)를 사용하였으며, 이산화탄소는 고순도(99.99%)를 사용하였다.

압출성형조건

본실험에 사용된 압출성형기는 MPF 30(APV Baker, Inc., Staffordshire, England)이었으며, 쌍축 동방향회전 방식이고, 4개의 헤드, 배럴직경 30 mm, L/D 비는 25이었다. 스크류회전속도는 100 rpm, 원료공급속도는 6.6 kg/h로 조절하였다. 이산화탄소 주입압력은 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 그리고 0.6 MPa 이었고 배럴의 온도는 1번 헤드부분이 40°C, 2-4번은 50°C 그리고 사출구의 온도는 60°C로 조절하였다. 스크류 배열은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 9.75-11D 지역에 역방향 스크류를 설치하였고 12-13D 지역에 짧은 피치의 스크류를 2개 설치하였는데 이것은 이산화탄소 주입시 역방향으로 가스가 이동하는 것을 방지하기 위하여 가스주입 직전의 압력을 상승시키고 혼합의 효과를 높이기 위함이다. 가스주입은 13.5D 지역에서 가스압력조절기를 통해 이루어졌다. 고체원료는 K-Tron loss-in-weight feeder를 사용하여 일정하게 조절되었으며, 수분함량은 Bran+Luebbe pump (Buffalo Grove, IL)로 30%가 되도록 일정하게 조절하였다.

팽화물 처리

압출성형기를 빠져나오는 원통형 팽화물을 20 cm 정도의 크기로 절단한 후 금속 트레이에 올려 놓은

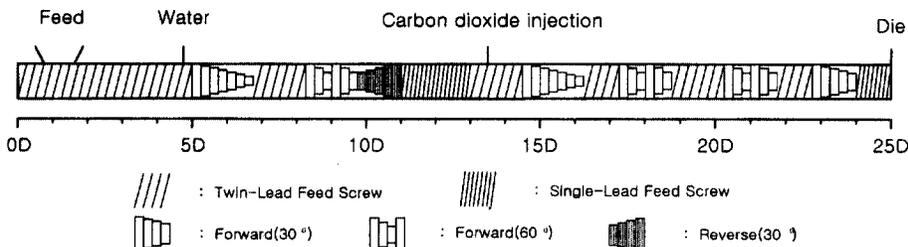


Fig. 1. The screw configuration used in this study.

다음 65°C로 조절된 impingement 오븐에서 4.5시간 건조시킨 다음 실온에서 24시간 방치하여 수분 함량 약 7%로 건조하였다.

팽창율, 용적밀도 그리고 공극도

팽창율은 팽화물의 단면적과 압출성형기 사출구의 단면적과의 비로 계산하였다. 9개의 시료를 버어니어캘리퍼스로 측정 한 후 평균값을 구하였다. 기공을 포함하는 부피에 대한 질량의 비를 나타내는 용적밀도는 Park *et al.* (1993)의 방법에 준하여 측정하였다. 시료의 전체부피에 대한 공극의 부피를 나타내는 공극도는 다음의 식과 같이 계산하였다. 또한 순수한 고체의 밀도는 Pycnometer (Ultracycnometer 1000, Quantachrome Co. FL)를 사용하여 측정하였다.

$$\text{Porosity} = 1 - \rho_p / \rho_s$$

여기서 ρ_p 는 팽창된 시료의 밀도(g/cm^3)이고 ρ_s 는 Pycnometer로 측정된 압출물 분말의 진밀도(g/cm^3)이다.

전자현미경 관찰

미세구조 관찰을 위하여 압출물을 길이방향에 수직으로 3-4 mm 크기로 자른 후 탄소필을 이용하여 알루미늄 stubs에 올려놓은 다음 scanning 동안 시료표면과 stubs 사이에서 발생할 수 있는 전하의 방전을 방지하기 위하여 시료의 측면을 탄소필로 칠하였다. 시료를 20 nm 두께의 금으로 코팅한 다음 5 kV의 가속전압을 이용하여 전자현미경(LEO 982 SEM)으로 관찰하였다. 처리조건별 전자현미경사진의 3 부위(578×433 μm)에서 관찰된 150-400개 기공의 평균 직경을 이미지분석 소프트웨어(Scion image)를 사용하여 분석하였으며, 전체면적과 기공이 차지하는 면적의 비로 기공 면적비를 계산하였고, 기공 밀도는 각 기공을 구형으로 가정한 상태에서 각 시료의 용적밀도와 기공의 평균직경을 이용하여 Shimbo *et al.* (1995)의 방법에 따라 다음과 같이 계산하였다.

$$N = \{(\rho_s / \rho_p) - 1\} / \{\pi D^3 / 6\}$$

여기서 N은 팽창된 시료의 cm^3 당 기공의 수, ρ_p 는 팽창전의 밀도(g/cm^3), ρ_s 는 팽창된 시료의 용적

밀도(g/cm^3) 그리고 D는 평균 기공직경(cm)이다.

수분용해도지수, 수분흡습지수 그리고 기계적 에너지 소모량

수분용해도지수(water solubility index; WSI)와 수분흡습지수(water absorption index; WAI)는 Anderson *et al.* (1969)의 방법에 따라 측정하였다. 즉 팽화물을 분쇄한 다음 250 μm 체를 통과한 시료 1 g을 20 ml 증류수에 분산시키고 30°C에서 30분간 진탕교반 한 후 3000 g로 10분간 원심분리 하였다. 상등액을 분리하고 건조시킨 후의 무게로 WSI를 그리고 침전물을 WAI의 결정에 사용하였으며 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{WAI} = \text{weight of sediment} / \text{weight of dry solids}$$

$$\text{WSI} (\%) = (\text{weight of dissolved in supernatant} / \text{weight of dry solid}) \times 100$$

또한 기계적에너지 소모량(specific mechanical energy; SME)은 Ferdinand *et al.* (1990)의 방법에 따라 다음 식에 따라 계산하였다.

$$\text{SME} = (\text{torque} \times \text{screw speed}) / \text{throughput rate}$$

통계분석

분산분석 및 상관관계 분석을 위하여 SAS 통계 프로그램(SAS Institute, NC)을 사용하였으며 Duncan's 다중검정법으로 최소유의차검증을 실시하였다.

결과 및 고찰

저온압출물의 특성

압출팽화물의 팽창율, 용적밀도, 공극도, 수분흡습지수, 수분용해도지수 그리고 기계적 에너지소모량에 대한 이산화탄소 주입의 효과는 Table 1과 같다. 이산화탄소의 주입 없이 팽창되지 않은 압출물의 용적밀도는 1.58 g/cm^3 이었지만 이산화탄소를 주입하였을 경우 압출물의 팽창율과 공극도는 이산화탄소 주입압력이 0.5 MPa 까지 증가함에 따라 증가하였다. 즉 팽창율은 0.1 MPa에서 7.39 이었던 것이 주입압력을 0.5 MPa로 증가시킴에 따라 11.02까지 증가하였다. 또한 공극도는 0.1 MPa에서 0.37 이던 것이 0.5 MPa에서는 0.74로 증가하였다. 그러나

Table 1. Characteristics of extrudates puffed with different carbon dioxide injection pressure

IP	ER	BD	P	WAI	WSI	SME
0.1	7.39	0.95	0.37	4.95	5.12	40.69
0.2	8.91	0.60	0.60	4.41	8.28	41.34
0.3	9.17	0.48	0.67	4.52	8.46	41.56
0.4	10.74	0.43	0.71	4.55	10.51	42.21
0.5	11.02	0.39	0.74	4.57	10.39	42.64
0.6	8.50	0.62	0.60	4.27	12.73	43.07

IP: CO₂ injection pressure (MPa), ER: expansion ratio, BD: bulk density(g/cm³), P: porosity, WAI : water absorption index, WSI: water solubility index (%), SME: specific mechanical energy (kJ/kg).

Table 2. Cell characteristics of extrudates puffed with different carbon dioxide injection pressure

CO ₂ pressure (MPa)	Average cell size (μm)	Cell area ratio (%)	Cell density (× 10 ⁷ cells/cm ³)
0.1	28.74	40.13	5.37
0.2	36.80	60.71	6.60
0.3	41.87	63.95	5.96
0.4	50.00	69.18	4.05
0.5	60.39	81.16	2.67
0.6	65.58	67.40	1.05

Table 3. Analysis of variance of dependent variables

Variables	Df	Sums of squares	Means squares	F-value	R-square
Expansion ratio	5	33.50	6.70	176.24***	0.9866
Bulk density	5	0.62	0.12	4354.00***	0.9995
Porosity	5	0.26	0.05	1170.89***	0.9980
WAI	5	0.78	0.16	63.57***	0.9636
WSI	5	100.94	20.19	1824.14***	0.9987
SME	5	11.74	2.35	14.29***	0.8562
Average cell size	5	2991.72	598.34	318.73***	0.9925
Cell area ratio	5	2761.72	552.34	217.87***	0.9891
Cell density	5	6.47 × 10 ¹⁵	1.29 × 10 ¹⁵	42.65***	0.9467

***: p<0.001, WAI : water absorption index, WSI: water solubility index (%), SME: specific mechanical energy (kJ/kg).

0.6 MPa에서는 각각 8.50와 0.60로 각각 감소하였다 (p<0.001, Table 3). 용적밀도는 0.1 MPa에서 0.95 g/cm³ 이었던 것이 0.5 MPa에서는 0.39 g/cm³로 감소하였지만 0.6 MPa로 증가시킴에 따라 0.62 g/cm³로 다시 증가하는 결과를 나타내었다(p<0.001, Table 3). 본 실험 결과 이산화탄소 주입압력이 증가함에 따라 용적밀도는 감소하는 경향을 나타내었는데 이러한 결과에 대하여 Alavi *et al.* (1999)은 일반적인

로 높은 압력은 기공의 크기를 증가시키며 초임계 이산화탄소 주입방법이 더 많은 용적밀도의 감소와 팽창율의 증가를 나타낸다고 하였는데 본 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다. 0.5 MPa 이상의 압력에서는 팽창된 조직의 붕괴로 인하여 팽창율과 공극도는 감소하였지만 용적밀도는 증가하였다(Fig. 3). Alavi *et al.* (1999)에 따르면 초임계유체를 주입하는 기술에서는 내부 기공 주위의 표면은 기공이

없이 매끈한 표면구조를 가지며, 이들 표면은 팽창되지 않은 전분과 매우 작은 기공을 포함하며, 이러한 현상은 압출물의 표면에 존재하는 이산화탄소가 공기중으로 빠르게 확산됨에 따라 기공의 성장에 필요한 충분한 가스의 농도를 유지하지 못할 정도로 팽화물의 표면에서 소모되기 때문이라 하였는데 본 실험 결과에서도 볼 수 있는 현상이었다(Fig. 3A, B). 또한 팽화물 내부의 기공들은 기공의 구조적 피해로 나타나는 파괴점이 발견되었다(Fig. 3E, F). 이들 팽화물의 가장자리에 있는 기공들은 커다

란 크기의 기공으로 성장하였으며, 높은 이산화탄소 주입압력과 빠른 확산으로 인하여 발생한 충격이 그대로 남아있었다. WAI를 나타내는 Table 1을 보면 이산화탄소압력 0.1 MPa에서는 4.95 이었지만 0.2 MPa에서는 4.41로 감소하였다가 주입압력이 0.5 MPa 까지 증가함에 따라 다시 증가하였다 ($p < 0.001$, Table 3). WSI는 가스를 주입하기 전에는 1.82% 이었지만 가스주입 후 압력의 증가에 따라 5.12% (0.1 MPa)에서 12.73% (0.6 MPa) 까지 증가하였는데 ($p < 0.001$, Table 3) 이러한 결과는 Ferdinand

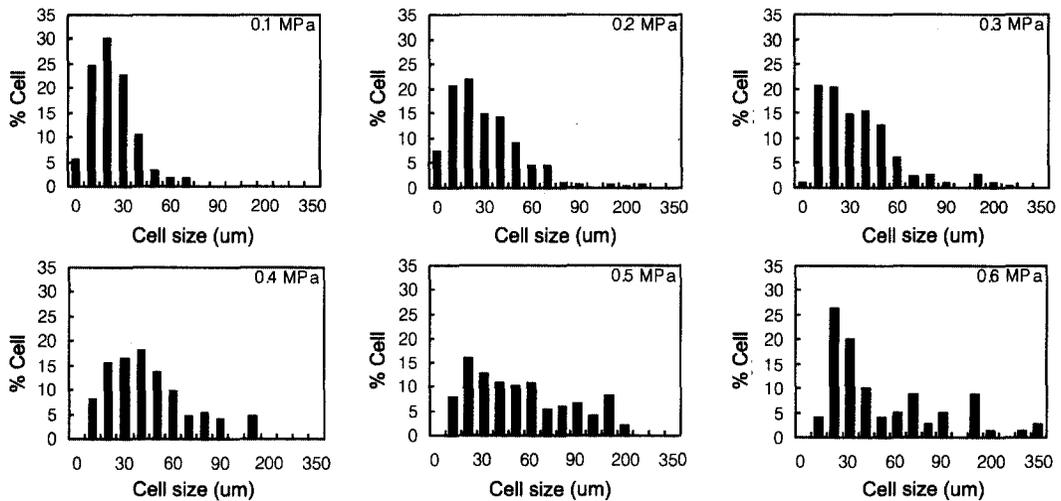


Fig. 2. Cell size distribution puffed with different carbon dioxide injection pressure.

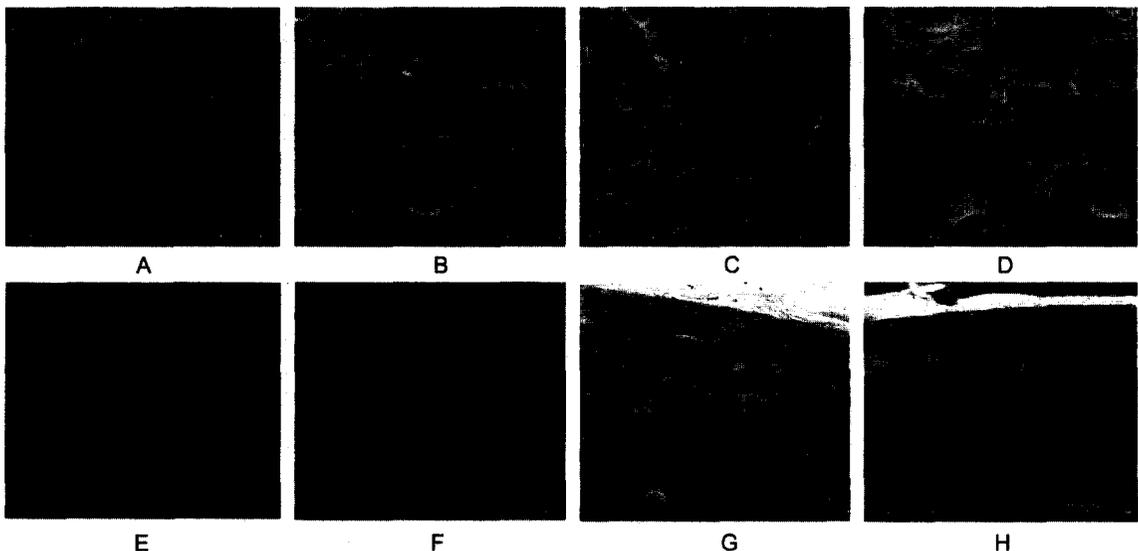


Fig. 3. Scanning electron micrographs with different carbon dioxide injection pressure. (A: 0.1 MPa, B: 0.2 MPa, C: 0.3 MPa, D: 0.4 MPa, E: 0.5 MPa, F: 0.6 MPa, G, H: near the edge and non-porous external skin).

Table 4. Correlation coefficients among the extrudate characteristics

Variables	ER	BD	P	WAI	WSI	SME	ACS	CAR	CD
ER	1.00	-0.92***	0.92***	-0.27	0.53*	0.52**	-0.52*	0.87***	-0.22
BD		1.00	-0.99***	0.56*	-0.66**	-0.58*	0.66**	-0.93***	0.15
P			1.00	0.58*	0.68**	0.60**	-0.68**	0.94***	-0.18
WAI				1.00	0.82***	-0.66**	0.81***	-0.62**	0.32
WSI					1.00	0.90***	-0.97***	0.79***	-0.71***
SME						1.00	-0.90***	0.76***	-0.78***
ACS							1.00	-0.82***	0.73***
CAR								1.00	-0.44
CD									1.00

ER: expansion ratio, BD: bulk density (g/cm^3), P: bulk porosity, WAI: water absorption index, WSI: water solubility index (%), SME: specific mechanical energy (kJ/kg), ACS: average cell size (μm), CAR: cell area ratio (%), CD: cell density (cells/cm^3).

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$.

et al. (1990)의 결과와 일치하였다. WSI는 전분의 붕괴에 의해 발생하는 수용성 물질의 양에 비례하는데 이러한 결과는 높은 압력에서 더 많은 전분의 붕괴조각들이 생성되기 때문이라 생각된다. 1 kg의 압출물을 얻는데 필요한 전체 기계적 에너지의 양인 SME는 이산화탄소 주입압력이 증가함에 따라 40.69에서 43.07 kJ/kg 으로 증가하였다($p < 0.001$, Table 3).

기공구조

각각의 이산화탄소 주입압력에서 평균 기공 크기는 Table 2에서 보는 바와 같다. 일반적으로 이산화탄소 주입압력이 높을수록 압출물의 평균 기공 크기는 증가하였다($p < 0.001$, Table 3). 각 조건별 평균 기공 크기는 28.74-65.58 μm 범위에 있었으며, 기공 밀도는 이산화탄소 주입압력 0.1 MPa에서 5.37×10^7 cells/cm^3 이었고, 0.2 MPa 압력에서는 6.40×10^7 cells/cm^3 로 증가하였다. 그러나 0.3 MPa 이상으로 주입압력을 증가시키에 따라 기공의 밀도는 감소하였으며, 0.6 MPa의 압력에서는 1.05×10^7 cells/cm^3 으로 감소하였다($p < 0.001$, Table 3). 기공 면적이 차지하는 비율(압출물 단면적에 대한 기공 단면적의 비)은 이산화탄소 주입압력이 0.5 MPa 까지 증가함에 따라 40.13에서 81.16%로 증가하였지만 주입압력을 0.6 MPa로 증가시키에 따라 67.40%로 감소하였다. 이러한 결과는 압출물의 밀도에서 논의된 결과와 일치하는 현상이었다.

기공분포

각각의 이산화탄소 주입압력에서 기공 크기분포는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 0.1 MPa 주입압력에서는 10-30 μm 크기의 기공이 80% 이상을 차지하고 있었다. 가스 주입압력이 증가함에 따라 이들 10-30 μm 범위의 기공은 감소하고 더 큰 기공의 수가 증가하여 0.5 MPa 압력에서는 10-30 μm 범위의 기공들이 약 36%를 차지하였다. 0.6 MPa 주입압력에서는 그고 작은 기공들이 많이 관찰되었는데 이러한 현상은 높은 이산화탄소 주입압력에서는 기공들이 급격하게 성장하고 압력에 견디지 못하는 기공들이 구조적 피해를 입어 붕괴되며, 커다란 기공의 성장 힘에 의해 수축된 작은 기공들이 나타난 것으로 생각된다.

통계분석

각각의 압출물로부터 측정된 물리적 값들간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 팽창율은 용적밀도, 공극도 그리고 기공면적비와 높은 상관성이 있었는데 팽창율이 증가함에 따라 용적밀도는 감소하고($p < 0.001$) 공극도와 기공면적비는 증가하는($p < 0.001$) 관계를 나타내었다. 용적밀도는 공극도와 기공면적비 간에 음의 상관($p < 0.001$)이 관찰되었으며 공극도는 기공면적비와 양의상관($p < 0.001$)이 있었다. 수분용해도지수는 수분흡수지수, 기계적 에너지 소모량, 평균 기공크기, 기공면적비 그리고 기공 밀도와 높은 상관관계($p < 0.001$)가 있었으며, 기공 평

균크기는 가공면적비와 음의 상관성이 관찰되었다.

이상의 결과로부터 이산화탄소 주입식 저온 압출 기술은 제품 중의 비타민, 색소 그리고 기능성물질과 같은 영양성분들의 변화를 최소화하는데 사용될 수 있다. 따라서 본 기술은 영양강화식품 그리고 새로운 식품소재의 개발에 사용될 수 있으며, 물에 잘 분산될 수 있는 고도의 다공성 분말을 생산하는데 적용되어 질 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 충북과학대학 해외방문과학자 지원프로그램에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Alavi, S.H., B.K. Gogoi, M. Khan, B.J. Bowman and S.S.H. Rizvi. 1999. Structural properties of protein-stabilized starch-based supercritical fluid extrudates. *Food Research International*. **32**: 107-118.
- Anderson, R.A., H.F. Conway, V.F. Pfeifer and E.L. Griffin Jr. 1969. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*. **14**: 4-12.
- Barrett, A.M. and M. Peleg. 1992. Cell size distribution of puffed corn extrudates. *Journal of Food Science*. **57**(1): 146-148, 154.
- Bladwin, D.F., C.B. Park and N.P. Suh. 1996. An extrusion system for the processing of micro-cellular polymer sheets: shaping and cell growth control. *Polymer Engineering and Science*. **36**(1): 1425-1435.
- Chinnaswamy, R., and M.A. Hanna. 1988. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starch. *Cereal Chemistry*. **65**(2): 138-143.
- Ferdinand, J.M., S.A. Clark and A.C. Smith. 1992. Structure formation in extrusion-cooked starch-sucrose mixture by carbon dioxide injection. *Journal of Food Engineering*. **16**: 283-291.
- Ferdinand, J.M., R.A. Lai-Fook, A.L. Ollet, A.C. Smith and S.A. Clark. 1990. Structure formation by carbon dioxide injection in extrusion cooking. *Journal of Food Engineering*. **11**: 209-224.
- Hauck, B.W. and G.R. Huber. 1989. Single screw vs twin screw extrusion. *Cereal Foods World*. **34**: 930-939.
- Kirby, A.R., A.L. Ollett, R. Parker and A.C. Smith. 1988. An experimental study of screw configuration effects in the twin screw extrusion cooking of maize flour grots. *Journal of Food Engineering*. **8**: 247-272.
- Lai, C.S., J. Guetzlaff and R.C. Hosenev. 1989. Role of sodium bicarbonate and trapped air in extrusion. *Cereal Chemistry*. **66**(2): 69-73.
- Park, J. K.S. Rhee, B.K. Kim and K.C. Rhee. 1993. Effect of extrusion parameters on the quality of buchweat flour mixes. *Cereal Chemistry*. **75**: 338-345.
- Rizvi, S.S.H. and S.J. Mulvaney. 1992. Extrusion processing with supercritical fluids. *US Patent* 5120559.
- Shimbo, M., D.F. Baldwin and N.P. Suh. 1995. The viscoelastic behavior of micro cellular plastic with varying cell size. *Polymer Engineering and Science*. **35**(17): 1387-1393.
- Sokhey, A. S., S.S.H. Rizvi and S.J. Mulvaney. 1996. Application of supercritical fluid extrusion to cereal processing. *Cereal Foods World*. **41**(1): 29-34.