

가스주입식 팽화 쌀가루의 물리적 특성

정현상 · 민용규* · Romeo T. Toledo**

충북과학대학 식품생명과학과, *충북대학교 식품공학과, **조지아주립대학교 식품공학과

Physical Characteristics of Rice Flour Puffed by Carbon Dioxide

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

To evaluate the physical characteristics of rice flour puffed by carbon dioxide (CO₂), density, compressive characteristics, irrecoverable work and stress relaxation on the extrudate were investigated. Loosed bulk density of extrudate with different CO₂ injection pressure was ranged between 0.3807 at 0.4 MPa and 0.5304 g/cm³ at 0.6 MPa and showed 0.5480 g/cm³ at control. Tapped bulk density was ranged between 0.5227 at 0.3 MPa and 0.6682 g/cm³ at 0.6 MPa. Hausner ratio was the highest value of 1.4249 at 0.4 MPa. Compressibility was the highest value of 0.0141 at 0.3 MPa. Irrecoverable work was ranged between 82.0% at 0.5 MPa and 84.7% at 0.3 MPa. K₂ value and relaxation in stress relaxation characteristics were the greatest value of 2.6550 and 68.2%, respectively. From the physical characteristic results, puffed rice flours produced by CO₂ injection pressure between 0.3 and 0.4 MPa were more compressive and cohesive than those of puffed rice flour produced by pressure of below 0.3 MPa and above 0.4 MPa.

Key words: carbon dioxide extrusion, rice flour, compression, physical properties

서 론

식품분말은 다양한 식품의 원료 또는 그 자체로 이용되고 있으며 분말의 형태, 입자크기, 흡습특성 그리고 유동특성에 따라 서로 다른 용도로 이용되고 있지만 가공 또는 저장환경에 따라 분말의 물리적 특성이 달라지기 때문에 가공공정에 응용하는데 많은 문제점을 가지고 있다(Mohsenin, 1970). 특히 식품분말의 유동특성은 식품분말의 제조와 가공시 사용되는 용기 내에서 액체와 달리 용기의 높이에 의하지 않고 전단에 의한 고체의 파괴로 유동되기 때문에 식품공정의 공학적 측면에서 매우 중요하

다. 대부분의 식품분말은 응집성 분말이기 때문에 용기 내에서 비록 작은 압력을 받을지라도 입자간의 상호 다짐에 의하여 매우 큰 기계적 저항을 일으켜 유동장애를 일으킬 수 있으므로 이러한 점을 고려하여 식품공정장치는 설계되어야 한다(Peleg *et al.*, 1982).

식품분말의 유동특성에 관한 연구로 Peleg (1982)는 식품분말의 이완결보기 밀도는 0.3~0.8 g/cm³ 범위에 있으며, 분말 사이의 공극율은 40~80% 정도로 외부의 충격이나 압축에 의해 밀도가 쉽게 증가한다고 하였으며, Malave (1985)는 외부 힘에 대한 밀도변화를 정량화하기 위하여 일정용기에 분말을 넣고 두드림 횟수에 따른 부피변화를 측정하였다. 또한 압축성이 큰 분말일 수록 유동성이 작은 응집성 분말에 가깝고 압축성이 작은 분말일수록 유동성이 큰 자유 유동 분말로 분류되었으며(Moreyra와 Peleg, 1980; Scovile과 Peleg, 1981; Peleg와

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

Mannheim, 1973; Mohsenin, 1967) 식품분말이 기계적 압축응력을 받은 후 본래 위치로 돌아가려는 성질 즉 응력이완 특성을 측정하여 응집성이 큰 분말일수록 응력이완 곡선의 변화가 작아짐이 밝혀졌다(Martin, 1983; Graham, 1984; Lee, 1983). 그 밖에 전단응력과 분말의 유동성과의 관계(Chen, 1983; Tompson, 1979), 분말의 쌓임각과 유동성과의 관계(Peleg, 1982) 그리고 수분활성도와 유동성과의 관계(Fiora, 1990; Wei, 1983) 등 많은 연구가 진행되었다.

본 연구에서는 가스주입식 저온압출방법에 의해 생산된 쌀분말의 가공시 중요시되는 유동특성을 검토하기 위하여 분말의 밀도, 다짐성, 압축성 및 응력이완특성을 측정하였으며, 분말의 가공, 저장 및 수송시 공정장치의 설계제작에 기초자료를 제공하고자 본 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 시료는 호화된 쌀 분말을 이산화탄소 주입압력을 달리하면서 팽화시킨 후 수분함량을 7%(±0.5%, w.b.)로 건조시킨 다음 cyclon mill (Model 3010, 0.5 mesh, UDY Corp.)로 분쇄하여 시료로 사용하였으며, 모든 실험은 3반복 실시하여 평균값으로 계산하였다.

이완 겉보기 밀도, 충격 겉보기 밀도 및 하우스너비

100 ml 메스실린더에 50 g의 팽화 쌀분말을 깔때기로 부어 넣은 후의 밀도를 이완 겉보기밀도(g/cm^3)로 하였으며, 메스실린더를 5 cm의 높이에서 60회 자연낙하시켰을 때의 밀도를 충격 겉보기밀도(g/cm^3)로 하였다(Peleg, 1982).

충격겉보기밀도와 이완 겉보기밀도와의 비를 나타내는 하우스너비는 Malave (1985)와 같은 방법으로 다음과 같이 계산하였다.

$$r_n = \frac{V_o - V_n}{V_o} = \frac{abn}{1 + bn} \quad (1)$$

(1) 식을 직선화하면,

$$\frac{n}{r_n} = \frac{1 + bn}{abn} = \frac{1}{ab} + \frac{n}{a} \quad (2)$$

하우스너비는 다음과 같이 계산된다.

$$H_R = \frac{\rho_T}{\rho_o} = \frac{1}{1-a} \quad (3)$$

여기서 r_n 은 n 번 두드림 후의 부피변화율, n 은 두드림 횟수, V_o 는 초기부피(ml), V_n 은 n 번 두드림 후의 부피(ml), H_R 은 하우스너비, ρ_o 는 초기 겉보기밀도(g/cm^3), ρ_T 는 충격 겉보기밀도(g/cm^3)이고 a , b 는 상수이다.

압축시험

50 g의 팽화 쌀분말을 원통형 용기에 넣은 후 Universal Testing Machine (Instron Model 5500R)로 5 mm/min의 속도로 5 kg/cm² 까지 압축응력을 증가시키며 압축시험을 하였다. 여기서 가한 압축응력과 겉보기 밀도와는 다음의 관계가 성립되었으며, 이 식의 기울기를 압축성으로 하였다(Peleg, 1982).

$$\rho = a + b \log \sigma_N \quad (4)$$

여기서, ρ 는 겉보기밀도(g/cm^3), σ_N 은 압축응력(kg/cm^2), a , b 는 상수이다.

비회복성 일

팽화 쌀분말에 압축응력을 가할 때와 제거할 때 얻어지는 응력-시간 곡선간의 관계로부터 응력을 가할 때 한 일(A)와 제거할 때 한 일(B)을 구하고 비회복성일을 Moreyra와 Peleg (1980) 그리고 Scovile과 Peleg (1981)의 방법에 따라 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Irrecoverable work (\%)} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (5)$$

응력이완시험

팽화 쌀분말 50 g을 용기에 넣고 5 kg/cm²까지 압축응력을 가한 후 변형을 일정하게 유지하면서 시간에 따른 응력의 변화를 측정하였다(Peleg와 Mannheim, 1973; Calzada, 1978). 또한 응력이완 곡선을 Peleg *et al.* (1982)과 Peleg (1980)의 방법에 따라 다음과 같이 직선화 시켰다.

$$\frac{F_o t}{F_o - F(t)} = k_1 + k_2 t \quad (6)$$

여기서, F_o 는 초기 힘이고 $F(t)$ 는 t 시간 후의 힘

그리고 k_1 과 k_2 는 상수이다.

또한 이완성은 다음의 식으로 계산하였다(Peleg, 1979, 1980)

$$\text{Relaxation (\%)} = \frac{F(1 \text{ min})}{F_0} \times 100 \quad (7)$$

결과 및 고찰

이완겉보기밀도 및 충격겉보기밀도

이완겉보기 밀도는 분말 입자의 집단이 외부의 충격 없이 일정한 부피를 가질 때의 밀도로서 본 실험에 사용된 팽화 쌀가루의 이완겉보기밀도는 Table 1에서 보는 바와 같이 가스를 주입시키지 않은 대조구에서는 0.5480 g/cm^3 이었으며, 이산화탄소 주입압력에 따라 $0.3807 \sim 0.5304 \text{ g/cm}^3$ 범위에 있었다. 즉 이산화탄소 주입압력 0.1 MPa 에서는 0.4301 g/cm^3 이던 것이 0.4 MPa 까지 압력의 증가에 따라 밀도는 0.3807 g/cm^3 까지 감소하였지만 0.6 MPa 까지 증가함에 따라 0.5304 g/cm^3 로 증가하였다. 이러한 결과는 Alavi *et al.* (1999)의 보고와 같이 이산화탄소 주입압력의 증가는 팽화물의 다공성을 증가시키고 부피의 증가를 가져오므로 밀도는 상대적으로 감소하기 때문이며, 0.6 MPa 의 높은 가스주입 압력에서는 다공구조의 파괴와 부피의 감소로 밀도가 증가하고 이산화탄소를 주입시키지 않은 대조구의 경우 다공성이 형성되지 않았기 때문이라 생각된다. 또한 가루형태의 식품분말의 밀도는 $0.3 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ 의 범위에 있다는 Peleg (1982)의 결과로 볼 때 본 실험에 사용된 저온팽화물 분말은 식품분말의 밀도 범위에 있었다.

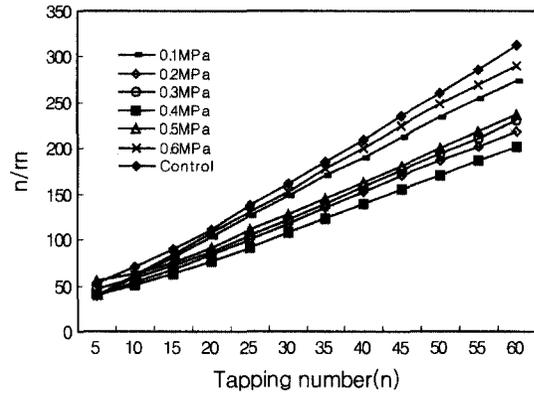


Fig. 1. Linearization of volume change of control and puffed rice flour with tapping number.

충격겉보기밀도는 이완된 분말에 충격을 가함으로써 다짐을 일으키고 입자사이의 공극이 감소됨에 따른 밀도를 나타내는데 가루형태 식품분말의 공극율은 $40 \sim 80\%$ 정도로 알려져 있다(Malave, 1985). 60회 자연낙하 후 충격겉보기밀도는 Table 1에서 보는 바와 같이 이산화탄소 주입압력에 따라 $0.5227 \sim 0.6682 \text{ g/cm}^3$ 이었으며, 대조구는 0.7474 g/cm^3 이었다. 0.1 MPa 주입압력에서는 0.5505 g/cm^3 이던 것이 압력이 0.3 MPa 까지 증가함에 따라 0.5227 g/cm^3 로 감소하였으며 다시 압력의 증가에 따라 0.6682 g/cm^3 으로 증가하였다. 이러한 충격겉보기밀도의 변화는 이완겉보기 밀도와 유사한 경향을 나타내었다. 두드림 횟수를 60회까지 증가시킴에 따른 부피변화를 식 (2)에 따라 직선화시킨 다음 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 이산화탄소 주입압력에 따라 서로 다른 선형관계가 성립되었으며, 대조

Table 1. Tapping and compressive characteristics of control and puffed rice flour with different carbon dioxide injection pressure

CO ₂ injection pressure(MPa)	LD ¹⁾	TD ²⁾	H _R ³⁾	Constant of equation (2)		Compressibility ⁴⁾
				a	b	
Control	0.5480	0.7474	1.2440	0.0423	1.5241	0.0128
0.1	0.4301	0.5505	1.2809	0.0485	1.2367	0.0136
0.2	0.4020	0.5380	1.3383	0.0568	0.8764	0.0139
0.3	0.3866	0.5227	1.3519	0.0584	0.7769	0.0141
0.4	0.3807	0.5425	1.4249	0.0668	0.6552	0.0137
0.5	0.4203	0.5629	1.3396	0.0584	0.7607	0.0133
0.6	0.5304	0.6682	1.2608	0.0466	1.5299	0.0131

¹⁾Loosed bulk density (g/cm^3), ²⁾Tapped bulk density after 60s tapping(g/cm^3), ³⁾Hausner ratio, ⁴⁾Constant b of equation (4).

구가 가장 큰 기울기 값을 그리고 0.1 및 0.6 MPa의 가스주입압력에서 큰 기울기 값을 보였으며, 0.4 MPa에서 가장 작은 값을 나타내었다. Malave (1985)는 분말의 수분함량과 전분 및 단백질의 종류에 따라 부피감소율이 다르다고 하였는데 본 실험에 사용된 분말은 이산화탄소의 주입압력에 따라 서로 다른 다공성과 공극구조를 가지고있기 때문에 분말간에 차이를 나타낸 것으로 생각된다. 처리별 분말의 부피감소율은 식 (2)에 따라 직선화시킨 상수 a, b값으로 나타낼 수 있는데 Table 1에 나타낸 a값은 0.6 MPa의 주입압력에서 0.0466로 가장 작았으며, b값은 0.4 MPa에서 0.6552로 작았다. 처리구별 a값은 이산화탄소 주입압력이 0.4 MPa까지 증가함에 따라 증가하였으며 그 이후의 압력에서는 감소하였다. b값은 가스주입압력 0.4 MPa까지는 감소하다가 다시 증가하였는데 a값과 b값은 서로 반대의 결과를 나타내었다.

a값이 클수록 응집성이 크며, 액체의 성질을 갖고 작을 수록 비응집성 분말로 탄성체에 가깝다고 보고한 Peleg (1982)의 결과로 미루어 볼 때 가스를 주입시키지 않은 대조구와 0.1 MPa 및 0.6 MPa의 경우 공극형성이 작고 비 다공성으로 작은 a 값을 나타내었지만 0.4 MPa의 경우 0.0668로 큰 a값을 가지므로 응집성이 큰 분말로 평가할 수 있었다.

충격경보기밀도와 이완경보기밀도와의 비를 나타내는 하우스너비는 대조구에서는 1.2440이었고 이산화탄소 주입압력에 따라 1.2608~1.4249범위에 있었으며, 위의 상수 a값과 유사한 경을 보였다. 즉 상수 a값이 큰 0.4 MPa이 하우스너비도 1.4249로 크

게 나타났으며 이들 분말은 응집성이 강한 분말로 유동성이 작은 분말로 나타났다.

압축특성

5 mm/min의 압축속도로 5 kg/cm²까지 압축응력을 가하면서 압축응력의 변화에 따른 밀도의 변화를 Fig. 2에 나타내었으며, 이산화탄소 주입압력별 압축응력과 밀도간의 관계를 식 (4)에 따라 회귀분석하고 상수 b를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 압축응력이 증가함에 따라 밀도도 증가하는 경향을 나타내었다. Table 1의 압축성은 압축응력의 증가에 따른 밀도의 증가를 나타낸 상수 값으로 이 값이 크면 압축응력의 증가에 따라 다짐이 빠르게 발생한다는 것을 의미한다. 압축성은 대조구의 경우 0.0128을 나타내었지만 이산화탄소 주입압력별로 0.0131~0.0141범위에 있었으며, 0.3 MPa압력이 가장 큰 0.0141을 나타내었다. 대조구와 0.6 MPa의 경우 압축성이 작게 나타났는데 이는 높은 이산화탄소 주입압력 또는 이산화탄소를 주입하지 않은 상태에서의 팽화물은 공극구조의 형성이 제대로 이루어지지 못하였기 때문이라 생각된다. 이산화탄소 주입압력이 증가함에 따라 b값은 증가하였다가 감소하는 경향을 보였으며, 식 (2)의 상수 a값이 큰 시료가 대체적으로 큰 값을 보였다. 이러한 결과로부터 밀도증가율이 큰 분말이 압축성이 크므로 유동성은 작은 분말임을 알 수 있었다(Moreyra와 Peleg, 1980; Scoville과 Peleg, 1981).

비회복성일

비회복성 일은 시료에 일정한 속도로 압축응력을 가해 줄 때 한 일과 응력을 제거할 때 한 일의 차이로 표현된다. 이러한 차이로서 시료가 힘을 받은 후 그 힘에 대한 저항력과 흡수력 및 변형정도를 알 수 있다(Scoville과 Peleg, 1981; Moreyra와 Peleg, 1981).

압축시 한일은 0.3 MPa가스주입압력이 1630.8 Joule로 가장 많았으며, 대조구와 0.6 MPa이 각각 785.6 및 850.8 Joule로 적었다. 비압축시 한일도 압축시 한 일과 같은 가스주입압력에서 최대값과 최소값을 보였다. 비회복성일이 클수록 응집성은 커지고 그에 따라 유동성은 작아지게 되는데(Moreyra와 Peleg, 1980,1981) 본 실험에서 압축 및 비압축시 한 일 간의 관계로부터 구한 비회복성일은 가스주입압력이 0.3 MPa까지 증가함에 따라 증가하여

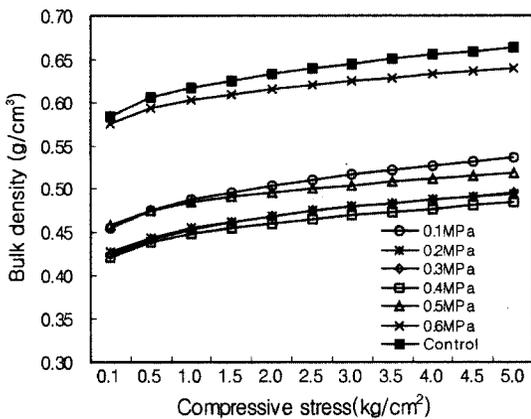
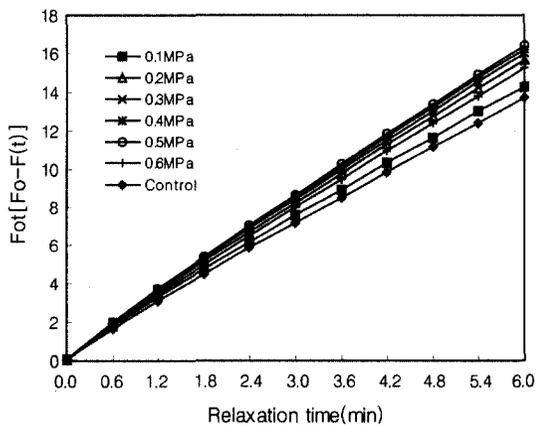


Fig. 2. Relationship between bulk density and compressive stress on the control and puffed rice flour with different carbon dioxide injection pressure.

Table 2. Compression, decompression and irrecoverable work on the control and puffed rice flour with different carbon dioxide injection pressure

CO ₂ injection pressure (MPa)	Compression work (J)	Decompression work (J)	Irrecoverable work (%)
Control	785.6	123.6	84.2
0.1	1559.1	244.0	84.3
0.2	1584.2	245.8	84.5
0.3	1630.8	249.5	84.7
0.4	1471.4	247.1	83.2
0.5	1274.8	229.5	82.0
0.6	850.8	151.1	82.2

**Fig. 3. Normalized relaxation curve on the control and puffed rice flour with different carbon dioxide injection pressure.**

84.7%를 나타내었고, 그 이후에는 감소하여 0.6 MPa에서는 82.2%를 나타내었다. 따라서 0.3 MPa 압력에서의 분말이 응집성이 큰 분말로 평가되었다.

응력이완

5 kg/cm²까지 압축응력을 가한 후 변형을 일정하게 유지하면서 시간에 따른 힘의 변화를 측정하고 식 (6)에 따라 직선화 시킨 다음 Fig. 3에 나타내었으며, 상수값 k_1 , k_2 및 식 (7)에 따라 계산한 이완성을 Table 3에 나타내었다.

물체에 힘을 가한 후 변형을 일정하게 유지하는데 필요한 힘과 초기 이완이 시작될 때의 힘과의 차이가 이완된 힘이다. 이것은 물체가 초기에 받은 힘이 물체내부로 확산되어 흡수되는 힘이 된다. 품종별 응력이완의 정도는 Table 3에서 직선화 시킨 상수 k_2 값의 크기로서 알 수 있다. k_2 값은 고체의 정도 즉 탄성체 성질을 나타내는 값으로 이완상수

Table 3. Constant of k_1 and k_2 and relaxation on the control and puffed rice flour with different carbon dioxide injection pressure

CO ₂ injection pressure (MPa)	k_1	k_2	Relaxation (%)
Control	0.4123	2.2381	63.7
0.1	0.4709	2.3356	64.1
0.2	0.4756	2.5611	66.8
0.3	0.4958	2.6147	67.6
0.4	0.4960	2.6550	68.2
0.5	0.4902	2.6374	67.8
0.6	0.4318	2.4922	65.5

라고 하며, 이 값이 클수록 고체의 성질에 가깝고 작을수록 액체의 성질에 가깝다(Peleg와 Moreyra, 1979; Peleg, 1980; Moreyra와 Peleg, 1980). 즉, k_2 값이 클수록 응력이완은 느리게 발생하며, 작을수록 빠르게 발생하는데 이산화탄소의 주입압력이 0.4 MPa까지 증가함에 따라 2.3356에서 2.6550으로 증가하였으며, 0.6 MPa에서는 다시 감소하여 2.4922 값을 나타내었다. 대조구에서는 2.2381로 작은 값을 나타내었다. 이완성도 k_2 값과 마찬가지로 0.4 MPa까지는 증가하여 68.2%를 나타내었고 0.6 MPa에서는 다시 65.5%로 감소하였으며, 대조구는 63.7%를 나타내었다. 이러한 현상은 이완성이 큰 것은 탄성체의 성질이 크다는 것을 의미하는 것으로 다공성이 큰 시료 즉 밀도가 작은 시료일수록 탄성체의 성질을 더 많이 갖기 때문에 나타난 결과라 생각된다. Peleg (1979) 그리고 Peleg와 Calzada (1976)는 이러한 k_2 값으로 식품의 물리적 성질에 대한 단순비교로 사용할 수 있다고 하였는데 이산화탄소 주입

압력에 따른 분말은 서로 구별될 수 있는 분말임을 보여주었다.

이상의 결과를 종합해 보면 이산화탄소를 주입하면서 저온에서 팽화된 쌀 분말의 여러 가지 물리적 성질은 이산화탄소 주입 압력에 많은 영향을 받으며, 각 분말들의 집단특성인 압축성, 응집성 및 유동성을 결정할 수 있으며, 이산화탄소 주입압력이 0.3~0.4 MPa일 경우 이들 분말은 압축성과 응집성이 크고 유동성이 작은 분말로 구분할 수 있었다.

요 약

이산화탄소를 주입하면서 저온에서 팽화시킨 쌀 분말의 물리적 성질을 살펴보기 위하여 밀도, 다짐 특성, 압축성, 압축회복성 및 용력이완특성을 조사하였다. 가스주입 압력별 팽화쌀분말의 이완겉보기 밀도는 0.3807~0.5304 g/cm³ 범위에 있었으며, 0.4 MPa에서 가장 작았고 대조구는 0.5480 g/cm³으로 컸다. 충격겉보기밀도는 0.5227~0.6682 g/cm³범위였으며, 0.3 MPa이 작았다. 하우스너비는 0.4 MPa에서 1.4249로 가장 컸다. 압축성은 0.3 MPa이 가장 컸다. 비회복성 일은 82.0~84.7%범위였으며, 0.3 MPa이 가장 컸다. 용력이완 특성의 k₂값과 이완성은 0.4 MPa에서 각각 2.6550 및 68.2%로 가장 컸다. 물리적 특성의 결과로부터 이산화탄소 주입압력 0.3~0.4 MPa에서 만들어진 분말은 압축성과 응집성이 크고 유동성이 작은 분말로 구분할 수 있었다.

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.
 Calzada, J.F. 1978. Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationship of solide foods. *J. Food Sci.* **43**: 1087-1092
 Chen, H.L. 1983. Strength and rheology of vegetative tissue. *Trans. of the ASAE* **26**: 1275-1280

Fiora, F.A. 1990. Physico chemical properties of soybean protein to flow and viscoelastic. *J. Food Sci.* **55**: 133-136
 Graham, V.A. 1984. Non-linear viscoelastics behavior during forage wafering. *Trans. of the ASAE* **27**: 1661-1665
 Lee, F.F. 1983. Modeling and relaxation modulus in blueberries. *Trans. of the ASAE* **26**: 1654-1660
 Malave, J. 1985. Comparison of the compaction characteristics of selected food powders by vibration, tapping and mechanical compression. *J. Food Sci.* **50**: 1473-1476
 Martin, C.R. 1983. Rheological properties of grain dust. *Trans. of the ASAE* **26**: 1249-1256
 Mohsenin, N. 1967. Apparatus for determination of bulk modulus and compressibility of materials. *Transactions of the ASAE* **10**: 670-671
 Mohsenin, N. 1970. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York, p.556-560
 Moreyra, R. and M. Peleg. 1980. Compressive deformation patterns of selected food podwers. *J. Food Sci.* **45**: 864-868
 Moreyra, R. and M. Peleg. 1981. Effect of equilibrium activity of the bulk properties of food powders. *J. Food Sci.* **46**: 1918-1922
 Peleg, M. 1979. Characterization of the Stress Relaxation Curves of Solid Foods. *J. Food Sci.* **44**: 277-281
 Peleg, M. 1980. Linearization of Relaxation and Creep Curves of Solid Biological Materials. *J. Rheology* **24**: 451-463
 Peleg, M. 1982. Physical characteristics of food powders. In: Physical Properties of Foods. Peleg, M. and Bagley, E.B. (ed.). AVI Publishing Co., Inc Westport, CT. p.293
 Peleg, M. and C.H. Mannheim. 1973. Flow properties of some food powders. *J. Food Sci.* **38**: 959-964
 Peleg, M. and J.F. Calzada. 1976. Stress Relaxation of Fruits and Vegetables. *J. Food Sci.* **41**: 1325-1329
 Peleg, M. and R. Moreyra. 1979. Effect of Moisture on the Stress Relaxation Pattern of Compacted Powders. *Powder Tech.* **23**: 277-279
 Peleg, M., R. Moreyra and E. Scoville. 1982. Rheological characteristics of food powders. *AICHE Symposium Series* **78**(218): 138
 Scovile, E. and M. Peleg. 1981. Evaluation of the effects of liquid bridges on the bulk properties of model powders. *J. Food Sci.* **46**: 174-177
 Thompson, R. 1979. Stress analysis of corn kernel. *Trans. of the ASAE* **22**: 955-960
 Wei, L.S. 1983. Flow characteristics of soybean constituents by ratio of total to imbibed water. *J. Food Sci.* **48**: 691-692