

품종과 재배지역에 따른 고춧가루의 물리적 특성

오승희¹ · 김현영¹ · 황초롱¹ · 황인국² · 황 영² · 유선미² · 김행란² · 김혜영³ · 이준수¹ · 정현상^{1*}

¹충북대학교 식품공학과

²국립농업과학원 전통한식과

³용인대학교 식품영양학과

Physical Characteristics of Red Pepper Powder by Cultivation Area and Variety

Seung Hee Oh¹, Hyun Young Kim¹, Cho Rong Hwang¹, In Guk Hwang², Young Hwang²,
Seon Mi Yoo², Haeng Ran Kim², Hae Young Kim³, Junsoo Lee¹, and Heon Sang Jeong^{1*}

¹Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

²Dept. of Agro-food Resources, National Academy of Agricultural Science, RDA, Gyeonggi 441-857, Korea

³Dept. of Food Science and Nutrition, Yongin University, Gyeonggi 449-714, Korea

Abstract

This study investigated the physical properties of red pepper powders according to cultivation area and variety. Values for density, compressive characteristics, dynamic angle, irrecoverable work, and stress relaxation were analysed. Loose bulk density ranged between 0.40 and 0.50 g/cm³, and tapped bulk density ranged between 0.49 and 0.67 g/cm³. The highest Hausner ratio was 1.369 for PRmanitta cultivated in Eumseong and the lowest value of was 0.194 for Buchon cultivated in Yeongyang. Compressibility ranged between 0.0046 and 0.0092. The highest compression ratio was 1.040 for Myeongjak cultivated in Suwon, and the lowest value was 1.007 for Buchon cultivated in Yeongyang. Dynamic angles ranged between 35.14 and 41.70°. The highest irrecoverable work value was 79.9% for PRmanitta cultivated in Eumseong and the lowest value was 67.9% for Nokgwang cultivated in Suwon. The greatest k₂ and relaxation values of stress relaxation characteristics were 1.56 and 42.03%, respectively, for Cheongyang cultivated in Yeongyang.

Key words: red pepper powder, physical properties, stress relaxation, density, irrecoverable work

서 론

식품산업에서 사용하는 식품분말의 종류가 다양해짐에 따라 식품분말의 복잡한 물리적 특성으로 인한 취급과 처리 특성에 대한 다양한 정보가 요구되고 있다(1). 식품분말은 서로 안정한 구조를 이루거나 엉겨 붙어 외부의 기계적 힘에 의한 흐름을 방해할 수 있다. 또한 분말의 저장 시 고결화(caking)는 아주 흔히 일어나는 현상으로 식품제조 공정에서 일어났을 때 해로운 현상으로 분류된다(2). 특히 식품분말의 유동특성은 수분함량, 입자의 크기, 저장시간이나 저장온도 등의 작은 변화에도 큰 차이를 보인다(3). 이러한 입자 간의 힘은 물리적 결합력, 화학결합, van der Waals, 전기적인 힘에 기인된다(4). 이러한 유동특성은 수송공정 시 발생하는 문제점을 예방하고, 흐름량을 최적화하기 위한 공정설계에 중요한 요소로 작용한다(3).

이와 관련하여 식품분말의 물리적 특성에 관한 연구는 이완밀도와 다짐밀도와의 관계(5), 저장기간에 따른 식품분말

의 흐름특성(6), 온도, 상대습도 및 저장과 관련한 식품분말의 특성(7)에 대한 연구가 진행되었고, 식품분말의 고결화 현상에 대해 식품분말의 수분함량이 높고 저장기간이 길어질수록 고결화 현상의 진행이 촉진된다고 하였다(2). 또한 식품분말의 이완밀도는 0.3~0.8 g/cm³이며, 공극율은 40~80%로 충격 및 압축에 의한 밀도변화가 쉽게 일어날 수 있다고 하였다(8). 유동성이 작은 분말은 압축성이 크며, 유동성이 큰 분말은 압축성이 작으며(9-11). 수분함량이 높을수록 압축 후 이완 시 회복되지 않는 성질 즉, 비회복성 일이 커지며, 압축분말에 대한 흐름성과 전단특성에 관한 연구가 진행되었지만(12) 고춧가루에 대한 분말특성 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고춧가루의 가공, 저장 및 수송 시 식품공정장치에서 발생하는 유동특성을 예측하기 위하여 품종별 및 재배지역별 고춧가루의 밀도, 다짐밀도, 압축성, 비회복성일, 응력이완 및 안식각을 측정하여 고춧가루의 효율적 취급에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

*Corresponding author. E-mail: hsjeong@chungbuk.ac.kr
Phone: 82-43-261-2570, Fax: 82-43-271-4412

재료 및 방법

재료

본 실험에서 사용된 고추는 7개 품종(녹광, 명작, 부춘, 빨리따, 왕대박, 청양, PR마니따) 및 3개 재배지역(수원, 영양, 음성)별 총 21개로서 2010년에 각 지역에서 생산된 것을 제공받아 사용하였다. 열풍건조기를 이용하여 건조한 후 물밀(Kyeong Chang Machinery Co. LTD., Seoul, Korea)로 직경 0.5 mm 이하로 분쇄하였다. 데시케이터로 수분함량이 13%가 되도록 조절하여 시료로 사용하였으며, 모든 실험은 3반복 실험으로 진행하였다.

이완 겉보기 밀도, 충격 겉보기 밀도 및 하우스너 비

100 mL 메스실린더에 30 g의 고춧가루를 깔때기로 부어 넣은 다음의 밀도를 이완 겉보기밀도(g/cm^3)로 하였고 메스실린더를 5 cm의 높이에서 60회 자연낙하 시킨 후의 밀도를 충격 겉보기밀도(g/cm^3)로 하였으며, 하우스너 비는 다음과 같은 방법으로 계산하였다(5).

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

식 (1)을 직선화시키면,

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

이다. 하우스너 비는 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 는 하우스너 비, ρ_o 는 초기 겉보기밀도(g/cm^3), ρ_T 는 충격 겉보기밀도(g/cm^3)이고 a , b 는 상수이다.

압축시험

압축시험은 5 g의 고춧가루를 원통형 용기에 넣은 후 레오메타(RT-3010D, Rheotech Co., Tokyo, Japan)로 2 mm/min의 속도로 5 kg/cm^2 까지 압축응력을 증가시키며 압축시험을 하였다. 여기서 가한 압축응력과 겉보기 밀도는 다음과 같이 식으로 표현하였다(8).

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

여기서 ρ 는 겉보기밀도(g/cm^3), σN 은 압축응력(kg/cm^2), a , b 는 상수이며, 이 식의 기울기를 압축성으로 하였다. 여기서 1 kg/cm^2 의 압축응력일 때에 겉보기 밀도와 초기 겉보기 밀도의 관계를 압축비로 표시하였다(9,10).

안식각

안식각은 Park 등(13)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 깔대기를 통해 일시에 배출시킨 고춧가루는 원뿔모양으로 퇴적되는데 이를 카메라를 이용하여 촬영하고, 촬영된 영상을 Adobe Photoshop CS2(Adobe) 프로그램을 이용하여 H와

D를 측정하였다. 그리고 식 (5)를 이용하여 안식각을 구하였다.

$$\Theta_d = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right) \quad (5)$$

여기서 Θ_d 는 안식각, H 는 시료퇴적물의 높이, D 는 시료퇴적물 밑면의 직경이다.

비회복성 일

고춧가루 5 g을 원통형 용기에 넣고 5 kg/cm^2 까지 압축응력을 가할 때의 응력과 가한 압축응력을 제거할 때의 응력 시간에 따른 변화로 곡선화하여 이로부터 압축일을 구하였으며, 비회복성 일을 계산하였다(9,10).

응력이완시험

고춧가루 5 g을 원통형 용기에 넣고 5 kg/cm^2 까지 압축응력을 가한 후 변형을 일정하게 유지하면서 시간에 따른 응력의 변화를 측정하였으며(11,14), 응력이완 곡선을 Peleg(8, 14)의 방법에 따라 다음과 같이 직선화시켰다.

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

여기서 F_o 는 초기 힘이고 $F(t)$ 는 t 시간 후의 힘 그리고 k_1 과 k_2 는 상수이다. 이완성은 다음의 식으로 계산하였다(14,15).

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

통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 Duncan's multiple range test로 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

이완 겉보기 밀도, 충격 겉보기 밀도 및 하우스너 비

지역별 및 품종별 고춧가루의 밀도는 Table 1에 나타내었다. 이완밀도는 분말입자의 집단이 외부의 충격 없이 일정한 부피를 가질 때의 밀도로서 표현되며, 지역별 및 품종별 이완밀도는 0.40~0.50 g/cm^3 범위로 음성에서 재배된 녹광이 가장 높았다($p < 0.05$). 지역별 고춧가루의 이완밀도를 살펴보면 수원은 빨리따품종이 0.47 g/cm^3 로 가장 높았으며, 부천과 PR마니따품종이 0.40 g/cm^3 로 낮았다($p < 0.05$). 영양은 부춘품종과 왕대박품종이 각각 0.41 및 0.40 g/cm^3 로 낮았고($p < 0.05$), 나머지 품종 간에는 유의적 차이가 없었다. 음성은 녹광품종이 0.50 g/cm^3 로 가장 높았고, 부춘과 PR마니따품종이 각각 0.43 및 0.42 g/cm^3 로 가장 낮았다($p < 0.05$). 이러한 이완밀도 값은 식품분말의 밀도는 0.25~0.64 g/cm^3 의 분포를 보인다는 Malave 등(16)의 결과 범위 내에 분포하였다. 또한 이완밀도는 수분함량과 식품의 종류에 따라 다르다고 보고되어 있는데(17) 본 연구에 사용된 고춧가루는 수분함

Table 1. Loosed bulk density, tapped bulk density, Hausner ratio, and constant a and b of equation (2) of red pepper powder with cultivation area and varieties

Cultivation area	Varieties ¹⁾	Loosed bulk density (g/cm ³)	Tapped bulk density (g/cm ³)	Hausner ratio	Constant of equation (2)	
					a	b
Suwon	A	0.43±0.00 ^{c(2)}	0.58±0.01 ^{bc}	1.353±0.011 ^a	0.376±0.037 ^a	0.040±0.009 ^{bcd}
	B	0.45±0.01 ^b	0.56±0.00 ^c	1.237±0.010 ^d	0.282±0.016 ^b	0.033±0.008 ^{cd}
	C	0.40±0.01 ^d	0.54±0.00 ^e	1.333±0.021 ^{ab}	0.412±0.002 ^a	0.027±0.003 ^d
	D	0.47±0.01 ^a	0.61±0.02 ^a	1.308±0.004 ^b	0.297±0.010 ^b	0.062±0.012 ^a
	E	0.45±0.02 ^b	0.59±0.01 ^b	1.273±0.003 ^c	0.291±0.006 ^b	0.045±0.006 ^{bc}
	F	0.42±0.01 ^c	0.56±0.01 ^d	1.311±0.025 ^b	0.310±0.011 ^b	0.055±0.008 ^{ab}
	G	0.40±0.00 ^a	0.53±0.01 ^f	1.312±0.020 ^b	0.397±0.062 ^a	0.028±0.010 ^{cd}
Yeongyang	A	0.42±0.01 ^a	0.55±0.01 ^a	1.305±0.007 ^a	0.286±0.024 ^b	0.072±0.020 ^a
	B	0.43±0.00 ^a	0.53±0.01 ^b	1.255±0.042 ^{bcd}	0.235±0.033 ^{cd}	0.085±0.025 ^a
	C	0.41±0.00 ^b	0.49±0.01 ^d	1.194±0.032 ^e	0.205±0.033 ^d	0.064±0.015 ^{ab}
	D	0.42±0.01 ^a	0.52±0.00 ^c	1.236±0.010 ^{de}	0.231±0.010 ^{cd}	0.077±0.020 ^{ab}
	E	0.40±0.00 ^b	0.52±0.01 ^c	1.299±0.011 ^{ab}	0.333±0.025 ^a	0.041±0.009 ^c
	F	0.41±0.01 ^a	0.54±0.01 ^{ab}	1.282±0.030 ^{abc}	0.261±0.013 ^{bc}	0.085±0.014 ^a
	G	0.43±0.01 ^a	0.53±0.00 ^b	1.243±0.009 ^{cd}	0.235±0.020 ^{cd}	0.070±0.030 ^{ab}
Eumseong	A	0.50±0.01 ^a	0.64±0.00 ^b	1.284±0.012 ^b	0.262±0.012 ^c	0.088±0.044 ^a
	B	0.45±0.01 ^d	0.56±0.01 ^e	1.263±0.034 ^b	0.254±0.031 ^c	0.073±0.020 ^{ab}
	C	0.43±0.01 ^e	0.56±0.01 ^e	1.303±0.045 ^b	0.300±0.046 ^{bc}	0.068±0.021 ^{ab}
	D	0.46±0.01 ^c	0.60±0.01 ^c	1.304±0.030 ^b	0.314±0.069 ^{bc}	0.052±0.026 ^{ab}
	E	0.46±0.00 ^c	0.61±0.01 ^c	1.307±0.037 ^b	0.318±0.031 ^{bc}	0.047±0.007 ^{ab}
	F	0.48±0.00 ^b	0.67±0.01 ^a	1.368±0.017 ^a	0.392±0.071 ^{ab}	0.064±0.051 ^{ab}
	G	0.42±0.00 ^e	0.58±0.00 ^d	1.369±0.014 ^a	0.438±0.096 ^a	0.029±0.007 ^b

¹⁾A: Nokgwang, B: Myeongjak, C: Buchon, D: Ppalritta, E: Wangdaebak, F: Cheongyang, G: PRmanitta.

²⁾Different letters in the same cultivation area indicate a significant difference (p<0.05).

량이 일정하게 조절되어있어 0.40~0.50 g/cm³ 범위에서 차이가 작은 것을 알 수 있었다.

다짐밀도는 이완된 분말에 충격을 가함으로써 다짐을 일으키고 입자사이의 공극이 감소됨에 따른 밀도로서 고춧가루의 지역별 및 품종별 다짐밀도는 0.49~0.67 g/cm³ 범위로 음성에서 재배된 청양품종이 가장 높게 나타났(p<0.05). 지역별 고춧가루의 다짐밀도를 살펴보면 수원은 발리따가 0.61 g/cm³로 가장 높았으며, PR마니따가 0.53 g/cm³로 가장 낮았고 영양은 녹광이 0.55 g/cm³로 높았고 부촌이 0.49 g/cm³로 가장 낮았다. 또한 음성은 청양이 0.67 g/cm³로 가장 높았으며, 부촌이 0.56 g/cm³로 낮게 나타났(p<0.05).

다짐밀도와 이완밀도와의 비로 나타낸 하우스너 비가 클수록 다져지는 특성이 크다는 것을 의미하는데(18) 지역별 및 품종별 하우스너 비는 1.194~1.369 범위로 음성의 청양과 PR마니따품종이 가장 높게 나타났(p<0.05). 지역별로

살펴보면 수원은 녹광이 1.353으로 높았으며, 명작품종이 1.237로 가장 낮았고 영양은 녹광이 1.305로 높았고 부촌이 1.194로 가장 낮았으며, 음성은 청양과 PR마니따가 각각 1.368 및 1.369로 높았으며(p<0.05), 나머지 품종 간에는 유의적 차이가 없었다. 이러한 하우스너 비는 분말식품의 가공시 야기되는 다양한 외부 압력을 나타내는 현실성 있는 변수로 작용된다(16).

밀도의 변화는 수분함량과 입자의 크기뿐만 아니라 외부 압력의 빈도와 규모에도 영향을 받는다(9). 두드림 횟수를 60회까지 증가시키면서 이에 따른 부피변화율 식 (2)에 따라 Fig. 1과 같이 직선화한 다음 상수 a, b 값을 Table 1에 나타내었다. a값은 0.205~0.438로 수원에서 재배된 부촌품종과 음성에서 재배된 PR마니따품종이 높았으며, 영양에서 재배된 부촌품종이 가장 낮게 나타났(p<0.05). 지역별로 살펴보면 수원은 녹광, 부촌 및 PR마니따품종이 각각 0.376,

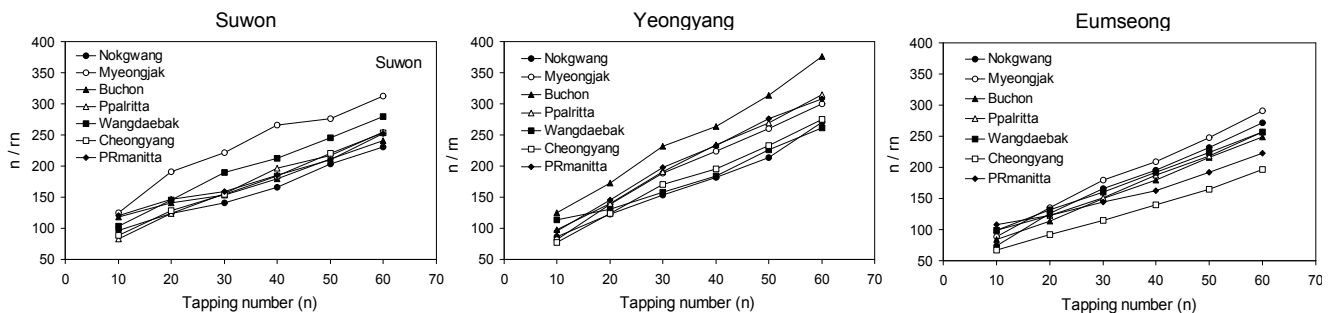


Fig. 1. Linearization of volume change of red pepper powder on cultivation area and varieties with tapping number.

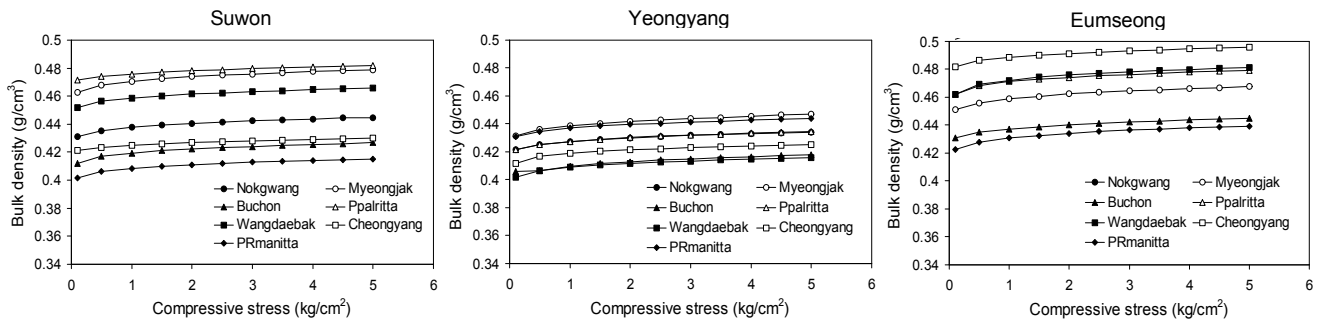


Fig. 2. Relationship between bulk density and compressive stress on red pepper powder with cultivation area and varieties.

0.412 및 0.397로 높았으며($p < 0.05$), 나머지 품종 간에는 유의적 차이가 없었다. 영양은 왕대박이 0.333으로 가장 높았고 부촌이 0.205로 낮았으며, 음성은 PR마니따품종이 0.438로 높았고 녹광과 명작이 각각 0.262 및 0.254로 낮았다($p < 0.05$). a값은 직선에 대한 기울기로서 응집성을 의미하는데(16) 수원의 부촌과 음성의 PR마니따가 가장 응집성이 큰 것으로 나타나 다른 시료에 비해 액체의 특성을 많이 가지고 있었다. 또한, 영양의 부촌이 가장 응집성이 작은 것으로 나타났다(8).

압축성

압축응력에 따른 밀도 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 모든 시료에서 압축응력이 증가할수록 밀도도 증가하였으며, 압축성은 0.0046~0.0092 범위의 비슷한 값을 나타내었다(Table 2). 압축성은 압축응력에 따른 밀도변화를 나타낸 것으로 압축성이 크다는 것은 압축응력이 가해질 때 다짐의

정도가 크다는 것을 의미하는데(19), 수분함량이 높을수록 증가하는 특징이 있다(10). 또한 압축응력을 1 kg/cm²까지 가했을 때의 밀도와 초기 밀도와의 비를 압축비로 나타내었다(Table 2). 압축비는 압축성과 마찬가지로 1.003~1.040 범위로 고추 품종간 큰 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 압축성과 압축비가 큰 차이를 보이지 않는 것은 수분함량이 일정하고, 입자의 크기와 샘플의 종류(품종)가 같아 응집성이 비슷하기 때문이라 사료된다. 한편, Moreyra와 Peleg(10)의 실험에서 식품분말의 압축력에 따른 압축성 실험결과 0.0040~0.0095의 분포를 보였는데 본 실험결과와 유사하였다.

안식각

안식각은 배출된 후 자유낙하한 곡물이 바닥에 떨어지면서 산등성 모양으로 쌓이는데, 이때 퇴적층이 차지하는 최대 경사의 수평면과 이루는 각도이다. 지역별 및 품종별 고춧가루의 안식각은 35.14~41.70° 범위로 수원의 녹광이 가장 높

Table 2. Compressibility, compression ratio, and dynamic angle of red pepper powder with cultivation area and varieties

Cultivation area	Varieties ¹⁾	Compressibility	Compression ratio	Dynamic angle (°)
Suwon	A	0.0069 ± 0.0013 ^{ab2)}	1.021 ± 0.008 ^{ab}	41.70 ± 0.45 ^a
	B	0.0092 ± 0.0023 ^a	1.040 ± 0.031 ^a	35.70 ± 0.74 ^{de}
	C	0.0069 ± 0.0013 ^{ab}	1.037 ± 0.010 ^a	39.20 ± 0.55 ^b
	D	0.0046 ± 0.0027 ^b	1.009 ± 0.017 ^{ab}	37.15 ± 0.89 ^c
	E	0.0069 ± 0.0023 ^{ab}	1.021 ± 0.010 ^{ab}	35.14 ± 0.99 ^e
	F	0.0046 ± 0.0027 ^b	1.003 ± 0.015 ^b	36.55 ± 0.53 ^{cd}
	G	0.0069 ± 0.0023 ^{ab}	1.015 ± 0.012 ^{ab}	35.82 ± 0.50 ^{de}
Yeongyang	A	0.0069 ± 0.0027 ^{NS3)}	1.016 ± 0.012 ^{NS}	36.24 ± 0.55 ^c
	B	0.0092 ± 0.0013	1.020 ± 0.010	37.54 ± 0.87 ^b
	C	0.0069 ± 0.0027	1.007 ± 0.017	38.22 ± 0.20 ^{ab}
	D	0.0069 ± 0.0023	1.011 ± 0.012	38.37 ± 0.71 ^{ab}
	E	0.0069 ± 0.0023	1.027 ± 0.010	37.70 ± 0.49 ^{ab}
	F	0.0069 ± 0.0035	1.010 ± 0.011	38.79 ± 1.44 ^a
	G	0.0069 ± 0.0013	1.015 ± 0.009	38.12 ± 0.84 ^{ab}
Eumseong	A	0.0092 ± 0.0040 ^{NS}	1.030 ± 0.013 ^{NS}	37.30 ± 0.83 ^b
	B	0.0092 ± 0.0023	1.024 ± 0.015	36.55 ± 0.33 ^b
	C	0.0069 ± 0.0027	1.026 ± 0.011	36.23 ± 1.58 ^b
	D	0.0092 ± 0.0013	1.017 ± 0.011	37.61 ± 1.28 ^b
	E	0.0092 ± 0.0013	1.025 ± 0.008	39.80 ± 1.31 ^a
	F	0.0069 ± 0.0040	1.008 ± 0.041	40.75 ± 1.30 ^a
	G	0.0092 ± 0.0023	1.024 ± 0.012	36.48 ± 1.90 ^b

¹⁾A: Nokgwang, B: Myeongjak, C: Buchon, D: Ppalritta, E: Wangdaebak, F: Cheongyang, G: PRmanitta.

²⁾Different letters in the same cultivation area indicate a significant difference ($p < 0.05$).

³⁾NS: not significant ($p > 0.05$).

은 안식각을 나타내었으며, 수원의 명작과 왕대박 품종이 낮게 나타났다(Table 2, $p < 0.05$). 지역별 고춧가루의 안식각을 살펴보면 수원은 녹광이 41.70°로 가장 높았으며, 왕대박이 35.14°로 낮았고 영양은 청양이 38.79°로 높았고 녹광이 36.24°로 가장 낮았으며, 음성은 왕대박과 청양이 각각 39.80 및 40.75°로 높게 나타났으며($p < 0.05$), 나머지 품종 간에는 유의적 차이가 없었다. 식품 분말의 안식각에 대하여 코코아 분말의 안식각은 25~37.7° 범위였으며(20), 보리, 밀, 귀리에 대한 안식각은 26.3~46.6(21)이었다는 연구결과와 유사하게 나타났다. 안식각의 차이는 고춧가루의 수분함량, 표면 거칠기, 크기 및 물리적 특성에 영향을 받는데 수분함량이 높을수록 수막과 수막사이의 장력에 의한 분말간의 결속에 의해 안식각이 증가되고 구형에 가까울수록 작아지며, 표면의 거칠기가 클수록 커지는데(20,21) 본 연구에서 사용된 고춧가루의 안식각의 범위가 크지 않은 것은 이러한 변수가 크게 다르지 않기 때문으로 판단된다.

비회복성 일

비회복성 일은 고춧가루에 일정한 속도로 압축응력을 가해 줄 때 한 일과 응력을 제거할 때 한 일의 차이로 표현된다. 이러한 차이로서 고춧가루가 힘을 받은 후 그 힘에 대한 저항력과 흡수력 및 변형정도를 알 수 있다(10). 지역별 및 품종별 고춧가루의 압축 시 한 일은 Table 3에서 보는 바와 같이 90.7 ~ 134.4 mJ 범위로 나타났으며, 영양의 부촌이 가장 높았고 수원의 빨리따가 가장 낮았다($p < 0.05$). 지역별로 살펴보면 수원의 PR마니따가 123.0 mJ로 높았으며, 빨리따가 90.7 mJ로 낮았다($p < 0.05$). 영양은 부촌이 134.4 mJ로 가장

높았으며, 청양과 PR마니따가 각각 105.5 및 103.4 mJ로 낮았다($p < 0.05$). 음성은 PR마니따가 129.9 mJ로 가장 높았고, 녹광, 빨리따 및 청양이 각각 102.7, 103.6, 98.3으로 낮았다($p < 0.05$). 수분을 함유하거나 결착력이 있는 시료가 응집성이 커지고 변형이 쉬운데(10) 본 실험에서는 시료의 수분함량이 동일하여 시료간의 차이가 크지 않은 것으로 판단되며, 음성의 PR마니따가 가장 결착력이 큰 것으로 판단된다. 압축 후 힘을 제거하면서 회복되는 일은 25.3~31.4 mJ 범위로 나타났으며, 수원의 녹광이 가장 높았고 영양의 명작이 가장 낮았다($p < 0.05$). 가해진 일에 대한 회복되지 않은 일의 비율을 나타내는 비회복성일은 67.9~79.9% 범위로 음성의 PR마니따가 가장 높았으며, 수원의 녹광이 가장 낮았다($p < 0.05$). 지역별로 살펴보면 수원은 PR마니따가 78.7%로 가장 높았으며, 녹광이 67.9%로 낮았다($p < 0.05$). 영양은 명작, 부촌 및 왕대박이 각각 79.1, 78.9 및 78.9%로 높았으며($p < 0.05$), 나머지 품종 간에는 유의적 차이가 없었다. 음성은 PR마니따가 79.9%로 가장 높았으며, 녹광, 빨리따 및 청양이 각각 73.3, 73.1 및 72.4로 낮았다($p < 0.05$). 비회복성 일이 커짐에 따라 응집성은 커지고 유동성은 오히려 작아지는데(10), 음성에서 재배된 PR마니따 품종이 가해진 힘에 따라 응집성과 유동성에 대한 변화가 가장 크게 나타났다($p < 0.05$).

응력이완

고춧가루에 힘을 가한 후 변형을 일정하게 유지하는데 필요한 힘과 초기 이완이 시작될 때의 힘의 차이가 이완된 힘이다. 이것은 물체가 초기에 받은 힘이 물체 내부로 확산되어 흡수되는 힘이 된다(19). 품종별 응력이완의 정도는 직선

Table 3. Compression, decompression, and irrecoverable work on red pepper powder with cultivation area and varieties

Cultivation area	Varieties ¹⁾	Compression work (mJ)	Decompression work (mJ)	Irrecoverable work (%)
Suwon	A	98.1 ± 4.4 ^{de2)}	31.4 ± 3.4 ^a	67.9 ± 3.8 ^d
	B	109.9 ± 4.3 ^{bc}	25.5 ± 1.7 ^b	76.8 ± 2.5 ^{ab}
	C	100.6 ± 1.1 ^{cde}	26.4 ± 2.2 ^b	73.7 ± 1.9 ^{bc}
	D	90.7 ± 2.9 ^e	27.0 ± 0.5 ^b	70.2 ± 0.8 ^{cd}
	E	105.1 ± 9.3 ^{abcd}	26.0 ± 1.0 ^b	75.1 ± 3.1 ^{ab}
	F	113.9 ± 8.5 ^{ab}	25.8 ± 0.1 ^b	77.3 ± 1.6 ^{ab}
	G	123.0 ± 2.9 ^a	26.2 ± 0.6 ^b	78.7 ± 0.3 ^a
Yeongyang	A	115.6 ± 4.8 ^{bc}	27.8 ± 1.6 ^{ab}	75.9 ± 1.7 ^b
	B	121.5 ± 9.4 ^b	25.3 ± 1.3 ^c	79.1 ± 0.9 ^a
	C	134.4 ± 3.9 ^a	28.4 ± 0.3 ^a	78.9 ± 0.4 ^a
	D	107.5 ± 5.4 ^{cd}	26.1 ± 0.2 ^{bc}	75.6 ± 1.3 ^b
	E	120.6 ± 2.4 ^b	25.4 ± 0.5 ^c	78.9 ± 0.3 ^a
	F	105.5 ± 6.6 ^d	26.2 ± 0.9 ^{bc}	75.1 ± 0.8 ^b
	G	103.4 ± 1.9 ^d	26.9 ± 1.2 ^{abc}	73.9 ± 1.6 ^b
Eumseong	A	102.7 ± 8.5 ^c	27.3 ± 1.4 ^a	73.3 ± 1.13 ^d
	B	116.1 ± 4.8 ^b	26.0 ± 0.6 ^{ab}	77.6 ± 0.85 ^b
	C	117.9 ± 4.6 ^b	25.4 ± 0.2 ^b	78.4 ± 0.85 ^b
	D	103.6 ± 1.9 ^c	27.8 ± 1.3 ^a	73.1 ± 0.78 ^d
	E	116.4 ± 0.6 ^b	27.8 ± 0.4 ^a	76.1 ± 0.36 ^c
	F	98.3 ± 3.1 ^c	27.1 ± 1.2 ^{ab}	72.4 ± 0.54 ^d
	G	129.9 ± 3.8 ^a	26.2 ± 1.0 ^{ab}	79.9 ± 0.19 ^a

¹⁾ A: Nokgwang, B: Myeongjak, C: Buchon, D: Ppalritta, E: Wangdaebak, F: Cheongyang, G: PRmanitta.

²⁾ Different letters in the same cultivation area indicate a significant difference ($p < 0.05$).

Table 4. Constant k_1 and k_2 of equation (6) and relaxation on red pepper powder with cultivation area and varieties

Cultivation area	Varieties ¹⁾	k_1	k_2	Relaxation (%)
Suwon	A	7.27±0.02 ^{de2)}	1.31±0.01 ^d	31.05±0.79 ^d
	B	7.12±0.29 ^{bc}	1.29±0.01 ^e	30.04±0.54 ^e
	C	7.54±0.15 ^{cde}	1.35±0.01 ^c	33.01±0.43 ^{bc}
	D	8.05±0.25 ^e	1.43±0.01 ^a	36.71±0.49 ^a
	E	7.44±0.25 ^{bcd}	1.34±0.02 ^c	32.63±0.87 ^c
	F	7.71±0.35 ^{ab}	1.36±0.00 ^e	33.17±0.31 ^{bc}
	G	7.33±0.28 ^d	1.37±0.01 ^b	33.83±0.36 ^b
Yeongyang	A	8.61±0.14 ^{bc}	1.52±0.02 ^b	40.46±0.63 ^a
	B	7.64±0.47 ^b	1.36±0.03 ^d	33.47±1.58 ^c
	C	7.60±0.18 ^a	1.33±0.01 ^d	32.41±0.45 ^c
	D	8.15±0.21 ^{cd}	1.45±0.04 ^c	37.65±1.71 ^b
	E	7.77±0.01 ^b	1.37±0.01 ^d	34.05±0.45 ^c
	F	8.87±0.28 ^d	1.56±0.01 ^a	42.03±0.48 ^a
	G	8.21±0.33 ^d	1.45±0.01 ^c	37.43±0.62 ^c
Eumseong	A	7.24±0.06 ^c	1.31±0.02 ^b	31.32±0.80 ^c
	B	6.94±0.11 ^b	1.25±0.01 ^c	28.03±0.34 ^d
	C	7.03±0.05 ^b	1.31±0.01 ^b	30.83±0.35 ^c
	D	7.87±0.18 ^c	1.38±0.02 ^a	34.83±0.81 ^a
	E	7.59±0.10 ^b	1.38±0.02 ^a	34.31±0.88 ^{ab}
	F	7.84±0.15 ^c	1.36±0.01 ^a	33.63±0.40 ^b
	G	6.94±0.23 ^a	1.27±0.01 ^c	28.83±0.69 ^d

¹⁾A: Nokgwang, B: Myeongjak, C: Buchon, D: Ppalritta, E: Wangdaebak, F: Cheongyang, G: PRmanitta.

²⁾Different letters in the same cultivation area indicate a significant difference ($p<0.05$).

화시킨 상수 k_2 값의 크기로서 알 수 있다. 지역별 및 품종별 고춧가루의 k_2 값은 Table 4에서 보는 바와 같이 1.25~1.56 범위로 영양의 청양이 가장 높았으며 음성의 명작이 가장 낮았다($p<0.05$). 지역별 고춧가루의 k_2 값을 살펴보면 수원의 빨리따가 1.43으로 가장 컸으며, 명작이 1.29로 가장 작았다($p<0.05$). 영양은 청양이 1.56으로 가장 컸으며, 명작, 부춘 및 왕대박이 각각 1.36, 1.33 및 1.37로 작았다($p<0.05$). 음성은 빨리따, 왕대박 및 청양이 각각 1.38, 1.38 및 1.36으로 컸으며, 명작과 PR마니따가 1.25 및 1.27로 작았다($p<0.05$). Moreyra와 Peleg(10)에 의하면 식품분말의 k_2 값은 1.0~10.2 범위에 분포한다 하였는데 본 실험에 사용된 고춧가루는 비교적 작은 k_2 값을 보였으며, 시료 간에 큰 차이를 보이지 않았다. k_2 값은 고체의 정도 즉 탄성체 성질을 나타내는 값으로 이완상수라고 하며, 이 값이 클수록 고체의 성질이 가깝고 작을수록 액체의 성질이 가깝다. 즉, k_2 값이 클수록 응력이완은 느리게 발생하며 작을수록 빠르게 발생한다(15,22). 이완성은 28.03~42.03% 범위에 분포하였는데 영양의 청양이 가장 높았으며, 음성의 명작이 가장 낮았다($p<0.05$). 지역별로 살펴보면 수원은 빨리따가 36.71%로 가장 높았으며, 명작이 30.04%로 가장 낮았다($p<0.05$). 영양은 녹광과 청양이 각각 40.46 및 42.03%로 높았으며, 명작, 부춘, 왕대박 및 PR마니따가 각각 33.47, 32.41, 34.05 및 37.43%로 낮았다($p<0.05$). 음성은 빨리따가 34.83%로 높았으며, 명작과 PR마니따가 각각 28.03 및 28.83%로 낮게 나타났다

($p<0.05$). 이완성이 큰 것은 탄성체의 성질이 크다는 것을 의미하며, 다공성이 큰 시료가 탄성체의 설질을 더 많이 갖는 것으로 알려져 있어(19) 영양에서 재배된 청양품종이 탄성체의 성질이 가장 크며, 음성의 명작이 작은 것으로 나타났다.

요 약

품종 및 재배지역에 따른 고춧가루의 물리적 특성을 살펴 보기 위하여 이완밀도, 압축밀도, 압축시험, 안식각, 비회복성일 및 응력이완 특성을 살펴보았다. 이완밀도는 0.40~0.50 g/cm³ 범위에 있었으며 압축밀도는 0.49~0.67 g/cm³ 범위에 있었다. 하우스너 비는 음성에서 재배된 청양품종과 PR마니따품종이 가장 높았다. 안식각은 35.1~41.7°의 범위를 보였으며, 압축성은 0.0046~0.0092, 압축비는 1.003~1.040 범위에 있었다. 비회복성 일은 68~80%의 범위를 보였다. k_2 값은 1.25~1.56의 분포를 보였고, 이완성은 28.02~42.03%의 범위를 보였다. 본 연구결과 수원의 부춘과 음성의 PR마니따 품종이 가장 응집성이 큰 것으로 나타났다. 또한, 가해진 힘에 따른 응집성과 유동성은 음성에서 재배된 PR마니따품종이 가장 컸으며, 영양에서 재배된 청양품종이 탄성체의 성질이 가장 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 고춧가루의 물리적 특성은 식품가공 공정의 설계 및 운용 시 중요한 자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구비지원(과제번호 PJ007524)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

- Schubert H. 1987. Food particle technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems. *J Food Eng* 6: 1-32.
- Aguilera JM, del Valle JM, Karel M. 1995. Caking phenomena in amorphous food powders. *Trends Food Sci Technol* 6: 149-155.
- Teunou E, Fitzpatrick JJ. 1999. Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. *J Food Eng* 42: 109-116.
- Peleg M. 1978. Flowability of food powders and methods for its evaluation - A review. *J Food Proc Eng* 1: 303-328.
- Malave J. 1985. Comparison of the compaction characteristics of selected food powders by vibration, tapping and mechanical compression. *J Food Sci* 50: 1473-1476.
- Teunou E, Fitzpatrick JJ. 2000. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. *J Food Eng* 43: 97-101.
- Teunou E, Fitzpatrick JJ, Synnott EC. 1999. Characterization of food powder flowability. *J Food Eng* 39: 31-37.
- Peleg M. 1982. Physical characteristics of food powders. In *Physical Properties of Foods*. Peleg M, Bagley EB, eds.

- AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT, USA. p 293.
9. Scovile E, Peleg M. 1981. Evaluation of the effects of liquid bridges on the bulk properties of model powders. *J Food Sci* 46: 174-177.
 10. Moreyra R, Peleg M. 1980. Compressive deformation patterns of selected food powders. *J Food Sci* 45: 864-868.
 11. Peleg M, Mannheim CH. 1973. Flow properties of some food powders. *J Food Sci* 38: 959-964.
 12. Pablo J, Balasingam M, Gustavo VBC. 2006. Flow and shear descriptors of preconsolidated food powders. *J Food Eng* 72: 157-166.
 13. Park SJ, Kim MH, Shin HM. 2005. Physical properties of rice husk. *J Biosyst Eng* 30: 229-234.
 14. Peleg M. 1979. Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. *J Food Sci* 44: 227-281.
 15. Peleg M. 1980. Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials. *J Rheol* 24: 451-463.
 16. Malave J, Barbosa-canovas GV, Peleg M. 1985. Comparison of the compaction characteristics of selected food powders by vibration, tapping and mechanical compression. *J Food Sci* 50: 1473-1476.
 17. Moreyra R, Peleg M. 1981. Effect of equilibrium water activity on the bulk properties of selected food powders. *J Food Sci* 46: 1918-1922.
 18. Patel R, Podczek F. 1996. Investigation of the effect of type and source of microcrystalline cellulose on capsule filling. *Int J Pharmaceut* 128: 123-127.
 19. Jeong HS, Min YK, Toledo RT. 2002. Physical characteristics of rice flour puffed by carbon dioxide. *Food Eng Prog* 6: 152-157.
 20. Shittu TA, Lawal MO. 2007. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chem* 100: 91-98.
 21. Fraczek J, Zkobecki A, Zemanek J. 2007. Assessment of angle of repose of granular plant material using computer image analysis. *J Food Eng* 83: 17-22.
 22. Alavi SH, Gogoi BK, Khan M, Bowman BJ, Rizvi SSH. 1999. Structural properties of protein-stabilized starch-based supercritical fluid extrudates. *Food Res Int* 32: 107-118.

(2011년 2월 9일 접수; 2011년 3월 25일 채택)