

## 고춧가루의 입도별 물리적 특성

오승희<sup>1</sup> · 강유리<sup>1</sup> · 이상훈<sup>1</sup> · 황인국<sup>2</sup> · 유선미<sup>2</sup> · 김혜영<sup>3</sup> · 이준수<sup>1</sup> · 정현상<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 식품공학과

<sup>2</sup>국립농업과학원 전통한식과

<sup>3</sup>용인대학교 식품영양학과

## Physical Properties of Red Pepper Powder at Different Particle Sizes

Seung Hee Oh<sup>1</sup>, You Ri Kang<sup>1</sup>, Sang Hoon Lee<sup>1</sup>, In Guk Hwang<sup>2</sup>, Seon Mi Yoo<sup>2</sup>,  
Hae Young Kim<sup>3</sup>, Junsoo Lee<sup>1</sup>, and Heon Sang Jeong<sup>1\*</sup>

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

<sup>2</sup>Dept. of Agro-food Resources, National Academy of Agricultural Science, Gyeonggi 441-857, Korea

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

### Abstract

We evaluated physical properties such as density, compressive characteristics, irrecoverable work, and stress relaxation of red pepper powder with different particle sizes. The particle sizes showed a normal distribution in size, with a particle size of 150~600  $\mu\text{m}$  accounting for 70.95% of the particles in the Hanbando cultivar and 82.21% in the Cheongyang cultivar. Loose bulk density ranged between 0.34 and 0.45  $\text{g}/\text{cm}^3$ , while tapped bulk density ranged between 0.43 and 0.56  $\text{g}/\text{cm}^3$ . The Hausner ratio was highest (1.531) at a particle size below 150  $\mu\text{m}$  in the Cheongyang cultivar. The compressibility and compression ratios were 0.001351~0.004383 and 1.0062~1.0265, respectively. Irrecoverable work ranged between 69.16% and 90.24%. The  $K_2$  value and stress relaxation characteristics were greatest (1.74 and 44.92%, respectively) at particle sizes of 300~425  $\mu\text{m}$  in the Cheongyang cultivar. The dynamic angle of repose was 32.84~49.84°. Overall, particle sizes below 150  $\mu\text{m}$  had the highest compactibility, cohesiveness, and transformation.

**Key words:** red pepper powder, physical properties, particle size, density

## 서 론

식품분말은 분말 자체가 가지는 다양한 이화학적 특성으로 인하여 취급 시 유동성을 비롯한 물리적 특성에 많은 영향을 미치므로 가공공정 시 분말에 대한 정보가 필요하다(1,2). 유동성을 가지는 분말은 저장 중에 고결화가 발생하는데 경제적으로 중요성을 갖는 저 수분식품, 의약, 비료 및 사료 산업에 해로운 현상으로 알려져 있다(3). 특히 식품분말의 유동특성은 수분함량, 입자크기, 저장시간이나 저장온도 등의 작은 변화에도 큰 차이를 보이며, 이러한 입자간의 힘은 구성분자의 특성에 기인된다(4).

식품의 흐름을 방해하는 힘에는 마찰, 입자들끼리 결합하여 일어나는 응집, 입자 및 시스템 벽 사이에 끌어당기는 힘과 입자 인터루킨이 있으며(5), 미세분말의 집단성질은 언제나 상호 의존적이고, 원료물질의 물리화학적 특성, 개별입자의 기하학적 크기, 표면특성 그리고 전체계로서의 유래 등으로 결정된다. 이와 관련하여 식품분말의 물리적 특성에

관한 연구는 두드림과 진동 및 기계적 압착을 이용한 다짐특성(6), 저장기간에 따른 식품분말의 흐름특성(7), 온도, 상대습도 및 저장과 관련한 식품분말의 특성에 대한 연구가 진행되었고, 식품분말의 고결화 현상에 대해 식품분말의 수분함량이 높고 저장기간이 길어지면 고결화 현상의 진행이 촉진된다고 하였다(8).

식품분말의 이완밀도는 0.3~0.8  $\text{g}/\text{cm}^3$  범위이며, 공극율은 40~80% 범위로 충격 및 압축에 의한 밀도변화가 쉽게 일어날 수 있다(9). 유동성이 작은 분말은 압축성이 크며, 수분함량이 높을수록 압축 후 이완 시 회복되지 않는 성질인 비회복성일이 커진다고 알려져 있다(10-12). Oh 등(13)의 연구에서는 고추장용으로 분쇄한 고춧가루의 경우 입도분포는 정규분포곡선을 나타내며, 고추장용과 김치용 고춧가루의 입도크기는 품질특성에 있어 기초가 된다고 보고하였다. 그러나 입도분포에 따른 고춧가루의 물리적 특성에 관한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

한편 고춧가루의 매운맛 성분은 capsaicinoids계 화합물

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

로 구성되어 매운맛 정도가 capsaicin을 100으로 할 경우 dihydrocapsaicin은 63, nordihydrocapsaicin은 11, homocapsaicin은 5, 그리고 homodihydrocapsaicin은 3으로 보고되어있다(14). 한반도품종의 경우 capsaicinoids 함량이 고추장용과 김치용이 각각 3.30 및 1.98 mg/100 g이었으며, 청양품종의 capsaicinoids 함량은 고추장용과 김치용이 각각 188.97 및 175.28 mg/100 g인 것으로 보고하였다(13).

따라서 본 연구에서는 고춧가루의 가공, 저장 및 수송 시 발생하는 유동특성을 예측하기 위하여 매운 고추와 맵지 않은 고추를 고추장용으로 분쇄한 후 입도분포를 측정하고 입도에 따른 밀도, 압축특성, 비회복성 및 응력이완 특성을 측정하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 고추는 2009년도 충북 괴산 지역에서 재배 생산된 맵지 않은 고추(Hanbando cultivar)와 매운 고추(Cheongyang cultivar)를 사용하였다. 수분함량이 13%가 되도록 열풍건조기를 이용하여 건조하였으며, 분쇄는 국내 재래시장에서 사용하는 방법을 이용하여 치형롤(Kyeong Chang Machinery Co. Ltd., Seoul, Korea)과 평롤(Kyeong Chang Machinery Co. Ltd.)을 사용하였다. 고추장용 고춧가루를 만들기 위해 치형롤 분쇄기 6회 반복 분쇄 후 평롤 분쇄기로 15회 반복분쇄 하여 시료로 사용하였다. 분쇄된 시료는 압소 및 -18°C 이하에서 보관하였으며, 데시케이터를 이용하여 상온으로 온도 조절 후 실험을 실시하였다.

### 입도분포 측정

고추장용으로 분쇄된 고춧가루를 표준망이 설치된 로탐 시험기(Seive shaker CKHG 210, Dae Yang Eng. Co. Ltd., Seoul, Korea)로 20분간 진동체별 하여  $\geq 850$ , 600, 425, 300 및  $150 \geq \mu\text{m}$  입자크기별로 분리하여 실험에 사용하였다.

### 이완 겉보기밀도, 충격 겉보기밀도 및 하우스너 비

100 mL 메스실린더에 30 g의 고춧가루를 깔때기로 부어 넣은 다음의 밀도를 이완 겉보기밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )로 하였고 메스실린더를 5 cm의 높이에서 60회 자연낙하 시킨 후의 밀도를 충격 겉보기밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )로 하였으며, 하우스너 비는 다음과 같은 방법으로 계산하였다(6,13).

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

식 (a)를 직선화시키면

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

이다. 하우스너 비는 다음과 같이 계산하였다.

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

여기서  $r_n$ 은  $n$ 번 두드림 후의 부피변화율,  $n$ 은 두드림 횟수,  $V_o$ 는 초기부피( $\text{mL}$ ),  $V_n$ 은  $n$ 번 두드림 후의 부피( $\text{mL}$ ),  $H_R$ 은 하우스너 비,  $\rho_o$ 는 초기 겉보기밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $\rho_T$ 는 충격 겉보기밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )이고  $a$ ,  $b$ 는 상수이다.

### 압축특성

압축시험은 5 g의 고춧가루를 원통형 용기에 넣은 후 레오메타(RT-3010D, Rheotech Co., Tokyo, Japan)로 2 mm/min의 속도로 5  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 압축응력을 증가시키며 압축시험을 하였다. 여기서 가한 압축응력과 겉보기밀도는 다음과 같이 식으로 표현하였다(9).

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

여기서  $\rho$ 는 겉보기밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $\sigma N$ 은 압축응력( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  $a$ ,  $b$ 는 상수이며, 이 식의 기울기를 압축성으로 하였다. 여기서 1  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압축응력일 때에 겉보기 밀도와 초기 겉보기 밀도의 관계를 압축비로 표시하였다(10,11).

### 안식각

안식각은 Park 등(15)의 방법에 따라 측정하였다. 즉 깔때기를 통해 일시에 배출시킨 고춧가루는 원뿔모양으로 퇴적되는데, 이를 카메라를 이용하여 촬영하고 촬영된 영상을 Adobe Photoshop CS2(Adobe Systems Inc., San Jose, CA, USA) 프로그램을 이용하여 H와 D를 측정하였으며, 다음의 식을 이용하여 안식각을 구하였다.

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

여기서  $\Theta_d$ 는 안식각, H는 시료퇴적물의 높이, D는 시료퇴적물 밑면의 직경이다.

### 비회복성 일

고춧가루 5 g을 원통형 용기에 넣고 5  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 압축응력을 가할 때의 응력과 가한 압축응력을 제거할 때의 응력 시간에 따라 측정한 다음 압축 일과 비 압축 일을 구하였으며, 회복되지 않은 일을 비회복성 일로 계산하였다(10,11).

### 응력이완

고춧가루 5 g을 원통형 용기에 넣고 5  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 압축응력을 가한 후 변형을 일정하게 유지하면서 시간에 따른 응력의 변화를 측정하였으며(12,16), 응력이완 곡선을 Peleg(9, 16)의 방법에 따라 다음과 같이 직선화시켰다.

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

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.

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

### 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 처리간의 차이 유무를 one-way ANOVA(analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검정하였다. 또한 요인들 간의 상관관계는 Pearson's correlation analysis를 통하여 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 입도분포

한반도품종과 청양품종으로 분쇄한 고추장용 고춧가루의 입도분포는 본 연구자가 선행연구에서 보고한 바와 같이 두 품종 모두 정규분포곡선을 나타내었다(13). 한반도품종의 입도 분포는 850  $\mu\text{m}$  이상이 8.37%, 850~600  $\mu\text{m}$  범위가 13.74%, 600~425  $\mu\text{m}$  범위가 25.00%, 425~300  $\mu\text{m}$  범위가 28.16%, 300~150  $\mu\text{m}$  범위가 17.79% 그리고 150  $\mu\text{m}$  이하의 크기를 갖는 고춧가루는 6.94%로 나타났으며, 600~150  $\mu\text{m}$  범위의 고춧가루가 70.95%로 가장 많았다. 청양품종은 각각 6.43, 7.65, 25.52, 30.66, 25.03 및 4.71%로 청양품종의 주된 입도크기는 600~150  $\mu\text{m}$ 로 전체 양의 82.21%를 나타내었다. 품종별로는 청양품종이 한반도보다 더 작은 입도 크기를 나타내었다.

### 이완 겉보기밀도, 충격 겉보기밀도 및 하우스너 비

한반도품종과 청양품종으로 분쇄한 고추장용 고춧가루의 입도별 이완밀도는 Table 1에서 보는 바와 같이 0.34~0.45  $\text{g}/\text{cm}^3$ 의 범위를 나타내었으며, 입도별 분리 전 고춧가루에서는 한반도품종이 0.45  $\text{g}/\text{cm}^3$  그리고 청양품종이 0.42  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 높게 나타났다. 입도별로 분리한 고춧가루에 대하여 한반도품종은 850~150  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 0.43  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 일정했으며, 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도에서 0.37  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 가장 낮았다( $p<0.05$ ). 청양품종에서는 425~300  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 0.44  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 가장 높았으며, 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 0.34  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 가장 낮은 이완밀도를 나타내었다. 이러한 이완밀도의 범위는 식품분말의 밀도가 0.25~0.64  $\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보인다는 Malave 등(6)의 결과 범위 내에 분포하였다. 또한 지역별 및 품종별 고춧가루의 이완밀도는 0.40~0.50  $\text{g}/\text{cm}^3$  범위

를 보인다는 Oh 등(13)의 연구결과와 유사하게 나타났다.

입도별 고춧가루의 다짐밀도는 0.43~0.56  $\text{g}/\text{cm}^3$ 의 범위를 나타내었다(Table 1). 입도별 분리 전 고춧가루는 한반도와 청양품종 모두 0.56  $\text{g}/\text{cm}^3$ 으로 입도별 다짐밀도에 비해 큰 값을 나타내었다. 한반도품종의 입도별 다짐밀도는 300~150 및 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 모두 0.51  $\text{g}/\text{cm}^3$ 으로 가장 크게 나타났으며, 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도에서는 0.43  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 낮게 나타났다( $p<0.05$ ). 청양품종에서는 425~300 및 300~150  $\mu\text{m}$  입도에서 모두 0.53  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 가장 높았으며, 850~600  $\mu\text{m}$  입도에서 0.46  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이완밀도와 마찬가지로 입도가 커질수록 다짐밀도가 감소하는 경향을 나타내었다.

하우스너 비는 다짐밀도와 이완밀도와 비로 나타내는 것으로 이 값이 클수록 다져지는 특성이 크다는 것을 의미한다(17). 본 실험결과 하우스너 비는 Table 1에서 보는 바와 같이 1.12~1.53 범위를 나타내었다. 한반도품종에서는 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 1.33으로 가장 높았으며, 850~600  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 1.12로 가장 낮은 값을 나타내었다. 청양품종에서도 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 1.53으로 가장 높았으며, 850~600  $\mu\text{m}$  입도에서 1.14로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 고춧가루의 하우스너 비는 1.194~1.369 범위를 보인다는 Oh 등(13)의 결과와 일치하는 값이었다. 밀도의 변화는 수분함량과 입자의 크기뿐만 아니라 외부압력의 빈도와 규모에도 영향을 받는다(10). 두드림 횟수를 60회까지 증가시키면서 이에 따른 부피변화를 식 (b)에 따라 Fig. 1과 같이 직선화한 다음 상수 a와 b 값을 Table 1에 나타내었다. a값은 0.12~0.38의 범위로 입도에 따라 차이를 나타내었다. 한반도품종에서는 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 0.27로 가장 큰 값을 나타내었으며, 850~600  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 0.12로 가장 낮은 값을 나타내었다. 청양품종에서도 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 0.38로 가장 컸으며, 850~600  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 0.14로 가장 낮은 값을 나타내었다. 하우스너 비와 마찬가지로 품종에 관계없이 특정 입도를 기준으로 입도가 커지거나 작아질수록 a값이 증가하는 것으로 나타났다. a값은 직선에 대한 기울기로서 응집성을 의미하는데(6), 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 가장 큰 값을 보여 다른 입도에 비해 응집성이 큰 것으로

Table 1. Density, Hausner ratio, and constant 'a' of equation (2) of red pepper powder with particle size

Particle sizes ( $\mu\text{m}$ )	Loosed bulk density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		Tapped bulk density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		Hausner ratio		Constant 'a' of equation (b)	
	H <sup>1)</sup>	C <sup>2)</sup>	H	C	H	C	H	C
Control <sup>3)</sup>	0.45±0.00 <sup>a4)</sup>	0.42±0.01 <sup>a</sup>	0.56±0.00 <sup>a</sup>	0.56±0.00 <sup>a</sup>	1.25±0.01 <sup>b</sup>	1.31±0.02 <sup>b</sup>	0.21±0.01 <sup>b</sup>	0.26±0.02 <sup>b</sup>
≥850	0.37±0.01 <sup>c</sup>	0.39±0.00 <sup>d</sup>	0.43±0.00 <sup>f</sup>	0.47±0.00 <sup>e</sup>	1.16±0.02 <sup>c</sup>	1.21±0.01 <sup>d</sup>	0.15±0.02 <sup>d</sup>	0.18±0.01 <sup>c</sup>
850~600	0.43±0.00 <sup>b</sup>	0.41±0.01 <sup>c</sup>	0.48±0.00 <sup>e</sup>	0.46±0.00 <sup>e</sup>	1.12±0.01 <sup>d</sup>	1.14±0.03 <sup>e</sup>	0.12±0.01 <sup>f</sup>	0.14±0.03 <sup>d</sup>
600~425	0.43±0.00 <sup>ab</sup>	0.42±0.00 <sup>b</sup>	0.49±0.00 <sup>d</sup>	0.50±0.00 <sup>d</sup>	1.14±0.01 <sup>c</sup>	1.18±0.00 <sup>de</sup>	0.13±0.01 <sup>ef</sup>	0.16±0.00 <sup>cd</sup>
425~300	0.43±0.02 <sup>ab</sup>	0.44±0.01 <sup>a</sup>	0.49±0.00 <sup>d</sup>	0.53±0.00 <sup>b</sup>	1.13±0.04 <sup>c</sup>	1.21±0.02 <sup>de</sup>	0.15±0.01 <sup>c</sup>	0.18±0.01 <sup>b</sup>
300~150	0.43±0.04 <sup>b</sup>	0.41±0.01 <sup>c</sup>	0.51±0.01 <sup>b</sup>	0.53±0.00 <sup>bc</sup>	1.20±0.01 <sup>b</sup>	1.29±0.05 <sup>c</sup>	0.18±0.00 <sup>b</sup>	0.23±0.03 <sup>bc</sup>
150≥	0.38±0.00 <sup>c</sup>	0.34±0.00 <sup>e</sup>	0.51±0.00 <sup>c</sup>	0.51±0.00 <sup>b</sup>	1.33±0.01 <sup>a</sup>	1.53±0.02 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.01 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Hanbando cultivar. <sup>2)</sup>Cheongyang cultivar. <sup>3)</sup>Means on sample without separation with particle size.

<sup>4)</sup>Different superscripts in the same column are significantly different ( $p<0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

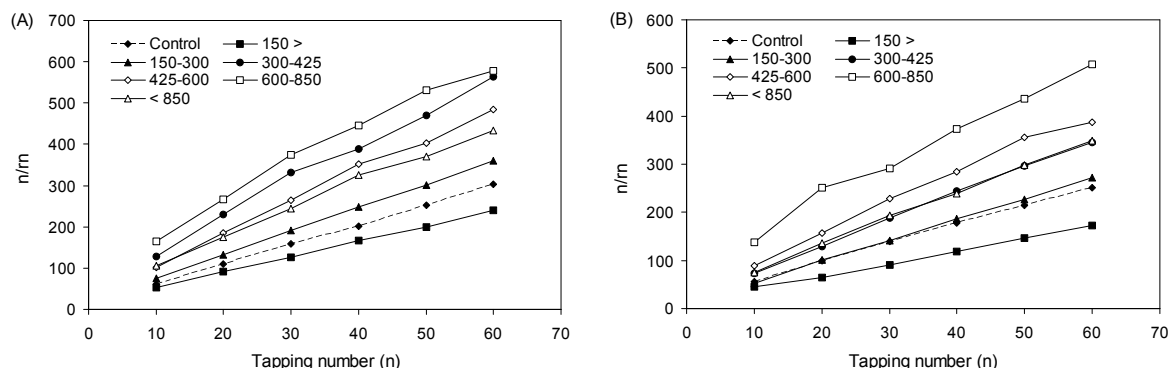


Fig. 1. Linearization of volume change of red pepper powder with tapping number. A: Hanbando cultivar, B: Cheongyang cultivar.

나타났다.

#### 압축특성

압축성은 압축응력에 따른 밀도 변화를 나타낸 것으로 수분함량이 높을수록 증가하는 경향을 갖는다(11). 압축성은 Table 2에서 보는 바와 같이 1.35~4.38의 범위를 나타내었다. 한반도 품종에서는 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 1.99로 압축성이 가장 크게 나타났으며, 425~300  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 1.35로 가장 낮은 압축성을 나타내었다. 청양품종에서도 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 4.38로 가장 큰 값을 그리고 425~300  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 1.33으로 가장 낮은 압축성을 나타내었다. 수분함량은 일정하게 조정하여 수분에 대한 실험의 영향은 적다고 판단되며, 본 실험의 고춧가루의 압축특성의 차이는 고춧가루 입도의 차이에 기인된 것으로 판단된다.

압축응력을 1  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 가했을 때의 밀도와 초기 밀도와의 비를 압축비라 하는데 압축비는 Table 2에서 보는 바와 같이 입도별로 1.0062~1.0265의 범위를 나타내었다. 한반도 품종에서는 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 1.0153으로 가장 큰 압축비를 나타내었으며, 600~425  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 1.0062로 가장 낮은 압축비를 나타내었다. 청양품종에서도 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 1.0265로 가장 큰 값을 그리고 850~600  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 1.0099로 가장 낮은 압축비를 나타내었다. 압축성과 마찬가지로 품종과 관계없이 특정 입도를 기준으로 입도가 커지거나 작아질수록 압축비가 커지는 것으로 나타났으며, 한반도품종보다는 청양품종에서 이러한 경향이 보다 뚜렷하게 나타났다.

#### 안식각

안식각은 자유낙하한 곡물이 바닥에 떨어지면서 산등성 모양으로 쌓이는데, 이때 퇴적층이 차지하는 최대경사의 수평면과 이루는 각도이다. 고춧가루의 입도별 안식각은 Table 2에서 보는 바와 같이 32.84~49.84°의 범위를 나타내었다. 한반도품종에서는 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 44.83°로 가장 큰 안식각을 나타내었으며, 425~300  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 33.50°로 가장 작은 값을 나타내었다. 청양품종에서도 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 49.84°로 가장 큰 값을 나타내었으며, 850~600  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 36.91°로 가장 작은 값을 나타내었다. 안식각 역시 특정 입도를 기준으로 입도가 커지거나 작아질수록 안식각이 커지는 것으로 나타났으며, 한반도품종과 청양품종 간에는 유의적 차이가 없었다. 식품분말의 안식각에 대한 연구에서도 코코아 분말의 안식각은 25~37.7° 범위에 있으며, 보리, 밀 및 귀리 분말에 대한 안식각도 26.3~46.6° 이었다는 연구결과와 유사하게 나타났다(18,19). 안식각의 차이는 고춧가루의 수분함량, 표면 거칠기, 크기 및 물리적 특성에 영향을 받는데 수분함량이 높을수록 수막과 수막사이의 장력에 의한 분말간의 접촉에 의해 안식각이 증가되고 구형에 가까울수록 작아지며, 표면의 거칠기가 클수록 커진다(18,20). 본 실험결과에서의 안식각의 차이는 입자 크기에 의한 물리적 특성 차이에 의한 결과라 생각된다.

#### 비회복성 일

비회복성 일은 식품분말에 일정한 속도로 압축응력을 가해 줄 때 한 일과 응력을 제거할 때 한 일의 차이로 표현된다.

Table 2. Compressibility, compression ratio, and angle of repose of red pepper powder with particle size

Particle sizes ( $\mu\text{m}$ )	Compressibility ( $\times 10^{-3}$ )		Compression ratio		Angle of repose ( $^{\circ}$ )	
	H <sup>1)</sup>	C <sup>2)</sup>	H	C	H	C
Control <sup>3)</sup>	1.73 $\pm$ 0.27 <sup>bc4)</sup>	3.27 $\pm$ 0.30 <sup>b</sup>	1.0130 $\pm$ 0.0007 <sup>a</sup>	1.0209 $\pm$ 0.0026 <sup>b</sup>	38.17 $\pm$ 0.48 <sup>b</sup>	45.59 $\pm$ 0.72 <sup>b</sup>
$\geq 850$	1.92 $\pm$ 0.12 <sup>ab</sup>	2.03 $\pm$ 0.38 <sup>c</sup>	1.0094 $\pm$ 0.0016 <sup>b</sup>	1.0105 $\pm$ 0.0024 <sup>cd</sup>	36.73 $\pm$ 0.16 <sup>c</sup>	38.70 $\pm$ 0.54 <sup>c</sup>
850~600	1.67 $\pm$ 0.11 <sup>cd</sup>	1.88 $\pm$ 0.25 <sup>c</sup>	1.0097 $\pm$ 0.0005 <sup>b</sup>	1.0099 $\pm$ 0.0005 <sup>d</sup>	33.69 $\pm$ 0.39 <sup>d</sup>	36.91 $\pm$ 0.90 <sup>d</sup>
600~425	1.45 $\pm$ 0.07 <sup>de</sup>	1.93 $\pm$ 0.13 <sup>c</sup>	1.0062 $\pm$ 0.0003 <sup>c</sup>	1.0118 $\pm$ 0.0013 <sup>cd</sup>	32.59 $\pm$ 0.81 <sup>d</sup>	37.03 $\pm$ 1.29 <sup>d</sup>
425~300	1.35 $\pm$ 0.05 <sup>e</sup>	1.33 $\pm$ 0.11 <sup>d</sup>	1.0099 $\pm$ 0.0028 <sup>b</sup>	1.0135 $\pm$ 0.0020 <sup>c</sup>	33.50 $\pm$ 0.30 <sup>d</sup>	37.87 $\pm$ 0.82 <sup>cd</sup>
300~150	1.66 $\pm$ 0.12 <sup>cd</sup>	3.37 $\pm$ 0.24 <sup>b</sup>	1.0098 $\pm$ 0.0026 <sup>b</sup>	1.0212 $\pm$ 0.0013 <sup>b</sup>	36.85 $\pm$ 1.08 <sup>c</sup>	44.74 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>
150 $\geq$	1.99 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	4.38 $\pm$ 0.50 <sup>a</sup>	1.0153 $\pm$ 0.0013 <sup>a</sup>	1.0265 $\pm$ 0.0003 <sup>a</sup>	44.83 $\pm$ 0.74 <sup>a</sup>	49.84 $\pm$ 1.17 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Hanbando cultivar. <sup>2)</sup>Cheongyang cultivar. <sup>3)</sup>Means on sample without separation with particle size.

<sup>4)</sup>Different superscripts in the same column are significantly different ( $p<0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

Table 3. Compression, decompression and irrecoverable work of red pepper powder with particle size

Particle sizes ( $\mu\text{m}$ )	Compression work (mJ)		Decompression work (mJ)		Irrecoverable work (%)	
	H <sup>1)</sup>	C <sup>2)</sup>	H	C	H	C
Control <sup>3)</sup>	22.12 $\pm$ 0.75 <sup>c4)</sup>	39.17 $\pm$ 2.49 <sup>b</sup>	4.58 $\pm$ 0.42 <sup>e</sup>	5.10 $\pm$ 0.41 <sup>b</sup>	80.26 $\pm$ 2.67 <sup>ab</sup>	86.98 $\pm$ 0.78 <sup>ab</sup>
$\geq 850$	41.06 $\pm$ 2.33 <sup>a</sup>	39.00 $\pm$ 4.02 <sup>b</sup>	7.03 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	7.42 $\pm$ 0.76 <sup>a</sup>	82.83 $\pm$ 1.22 <sup>a</sup>	80.96 $\pm$ 1.10 <sup>c</sup>
850 $\sim$ 600	28.21 $\pm$ 3.47 <sup>b</sup>	35.16 $\pm$ 2.83 <sup>b</sup>	6.15 $\pm$ 0.25 <sup>bc</sup>	7.39 $\pm$ 0.73 <sup>a</sup>	77.48 $\pm$ 0.89 <sup>bc</sup>	78.94 $\pm$ 1.68 <sup>cd</sup>
600 $\sim$ 425	22.87 $\pm$ 1.81 <sup>c</sup>	33.13 $\pm$ 1.92 <sup>b</sup>	6.70 $\pm$ 0.47 <sup>ab</sup>	7.67 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>	71.43 $\pm$ 2.17 <sup>d</sup>	76.83 $\pm$ 0.48 <sup>d</sup>
425 $\sim$ 300	18.55 $\pm$ 0.64 <sup>d</sup>	19.28 $\pm$ 1.10 <sup>c</sup>	5.64 $\pm$ 0.28 <sup>cd</sup>	5.91 $\pm$ 0.66 <sup>b</sup>	69.57 $\pm$ 1.09 <sup>d</sup>	69.16 $\pm$ 4.95 <sup>e</sup>
300 $\sim$ 150	24.56 $\pm$ 1.61 <sup>c</sup>	38.01 $\pm$ 2.80 <sup>b</sup>	5.97 $\pm$ 0.30 <sup>cd</sup>	5.57 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>	75.66 $\pm$ 0.88 <sup>c</sup>	85.32 $\pm$ 0.81 <sup>b</sup>
150 $\geq$	30.59 $\pm$ 0.87 <sup>b</sup>	74.27 $\pm$ 7.39 <sup>a</sup>	5.52 $\pm$ 0.24 <sup>d</sup>	7.25 $\pm$ 1.29 <sup>a</sup>	81.94 $\pm$ 1.25 <sup>a</sup>	90.24 $\pm$ 1.54 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Hanbando cultivar. <sup>2)</sup>Cheongyang cultivar. <sup>3)</sup>Means on sample without separation with particle size.

<sup>4)</sup>Different superscripts in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

Table 4. Constant  $k_2$  and relaxation on red pepper powder with particle size

Particle sizes ( $\mu\text{m}$ )	$k_2$		Relaxation (%)	
	H <sup>1)</sup>	C <sup>2)</sup>	H	C
Control <sup>3)</sup>	1.351 $\pm$ 0.020 <sup>a4)</sup>	1.431 $\pm$ 0.018 <sup>d</sup>	28.61 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	32.02 $\pm$ 0.82 <sup>c</sup>
$\geq 850$	1.238 $\pm$ 0.009 <sup>e</sup>	1.308 $\pm$ 0.008 <sup>e</sup>	22.44 $\pm$ 0.42 <sup>f</sup>	25.75 $\pm$ 0.83 <sup>e</sup>
850 $\sim$ 600	1.266 $\pm$ 0.011 <sup>d</sup>	1.335 $\pm$ 0.007 <sup>e</sup>	23.88 $\pm$ 0.69 <sup>e</sup>	28.27 $\pm$ 0.48 <sup>d</sup>
600 $\sim$ 425	1.290 $\pm$ 0.002 <sup>c</sup>	1.337 $\pm$ 0.005 <sup>e</sup>	25.06 $\pm$ 0.83 <sup>cd</sup>	27.98 $\pm$ 0.34 <sup>d</sup>
425 $\sim$ 300	1.291 $\pm$ 0.008 <sup>c</sup>	1.741 $\pm$ 0.028 <sup>a</sup>	25.36 $\pm$ 0.61 <sup>c</sup>	44.92 $\pm$ 0.84 <sup>a</sup>
300 $\sim$ 150	1.275 $\pm$ 0.002 <sup>cd</sup>	1.629 $\pm$ 0.026 <sup>b</sup>	24.27 $\pm$ 0.21 <sup>de</sup>	39.61 $\pm$ 0.99 <sup>b</sup>
150 $\geq$	1.327 $\pm$ 0.004 <sup>b</sup>	1.465 $\pm$ 0.028 <sup>c</sup>	27.68 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	32.18 $\pm$ 1.51 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Hanbando cultivar. <sup>2)</sup>Cheongyang cultivar. <sup>3)</sup>Means on sample without separation with particle size.

<sup>4)</sup>Different superscripts in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

이러한 차이로서 고춧가루가 힘을 받은 후 그 힘에 대한 저항력과 흡수력 및 변형정도를 알 수 있다(10). 고춧가루의 입도별 압축 시 한 일은 Table 3에서 보는 바와 같이 18.55~74.27 mJ 범위를 나타내었다. 한반도품종에서는 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도에서 41.06 mJ로 가장 크게 나타났으며, 425~300  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 18.55 mJ로 가장 낮은 값을 나타내었다. 청양품종에서는 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 74.27 mJ로 가장 높았으며, 425~300  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 19.28 mJ로 가장 낮은 값을 나타내었다. 고춧가루의 입도별 회복되는 일은 4.58~7.67 mJ의 범위를 보였는데 한반도품종에서는 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도에서 7.03 mJ로 가장 높았으며, 입도별 분리 전 시료에서 4.58 mJ로 가장 낮은 값을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 고춧가루의 입도별 비회복성 일은 69.16~90.24%의 범위를 보였는데 한반도품종에서는 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도와 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 각각 82.83 및 81.94%로 높았으며, 425~300  $\mu\text{m}$ 의 입도에서 69.57%로 낮은 값을 나타내었다. 청양품종에서는 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 90.24%로 가장 높았으며, 425~300  $\mu\text{m}$  입도에서 69.16%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 425~300  $\mu\text{m}$  입도를 기준으로 입도가 커지거나 작아질수록 비회복성 일이 커지는 것으로 나타났으며, 150  $\mu\text{m}$  이하의 입도에서 외부의 응력에 대한 흡수력과 변형의 정도가 가장 크게 나타났다.

#### 응력이완

식품분말에 힘을 가한 후 변형을 일정하게 유지하는데 필요한 힘과 초기 이완이 시작될 때의 힘의 차이가 이완된 힘으로 물체가 초기에 받은 힘이 물체 내부로 확산되어 흡수되

는 힘이 된다(20). 이완정도는 직선화시킨 상수  $k_2$  값의 크기로 알 수 있는데 고춧가루의 입도별  $k_2$  값은 1.24~1.74의 범위로 나타났다(Table 4). 한반도품종에서는 입도별 분리 전 시료에서 1.35로 가장 크게 나타났으며, 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도에서 1.24로 가장 낮은 값을 나타내었다. 청양품종에서는 425~300  $\mu\text{m}$  입도에서 1.74로 가장 높았으며, 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도에서 1.31로 낮은 값을 나타내었다. Moreyra와 Peleg(11)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 성질에 가깝고 작을수록 액체의 성질에 가깝다. 즉  $k_2$  값이 클수록 응력이완은 느리게 발생하며 작을수록 빠르게 발생한다는 것을 의미한다(21,22). 고춧가루의 이완성을 살펴보면 22.44~44.92%의 범위를 보였는데(Table 4) 한반도품종에서는 입도별 분리 전 시료에서 28.61%로 가장 높았으며, 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도에서 22.44%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 청양품종에서는 425~300  $\mu\text{m}$  입도에서 44.92%로 가장 높았으며, 850  $\mu\text{m}$  이상의 입도에서 25.75%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이완성이 큰 것은 탄성체의 성질이 크다는 것을 의미하며, 다공성이 큰 시료가 탄성체의 성질을 더 많이 갖는 것으로 알려져 있어(17) 청양품종의 425~300  $\mu\text{m}$  입도를 갖는 고춧가루가 탄성체의 성질을 많이 가지고 있는 것으로 나타났다.

## 요 약

입도분포에 따른 고춧가루의 물리적 특성 변화를 살펴보기 위하여 이완밀도, 압축밀도, 압축시험, 안식각, 비회복성 일 및 응력이완 특성을 살펴보았다. 이완밀도는  $0.34 \sim 0.45 \text{ g/cm}^3$  범위에 있었으며, 다짐밀도는  $0.43 \sim 0.56 \text{ g/cm}^3$  범위에 있었다. 하우스너 비는 청양품종의  $150 \mu\text{m}$  이하의 입도에서 1.531로 가장 높은 값을 나타내었으며, 응집성도 크게 나타났다. 압축성과 압축비는 각각  $0.001351 \sim 0.004383$  및  $1.0062 \sim 1.0265$  범위의 값을 나타내었고, 입도별 비회복성 일은  $69.16 \sim 90.24\%$  범위를 나타내었다.  $k_2$  값과 이완성은 청양품종  $425 \sim 300 \mu\text{m}$  입도에서 각각 1.74 및  $44.92\%$ 로 가장 높았다. 안식각은  $32.84 \sim 49.84^\circ$  범위를 나타내었다.  $425 \sim 300 \mu\text{m}$  입도를 기준으로 입도가 작아지거나 커짐에 따라 물리적 특성 값이 변화하였다.  $150 \mu\text{m}$  이하의 입도에서는 결착성과 다짐성 그리고 변형의 정도가 크게 나타났다. 따라서 작은 입도의 고춧가루를 수송, 저장할 때보다 각별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

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

## 문 헌

1. Fitzpatrick JJ, Ahrné L. 2005. Food powder handling and processing: Insustry problems, knowledge barriers and research opportunities. *Chem Eng Process: Process Intensification* 44: 209-214.
2. Schubert H. 1987. Food particle technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems. *J Food Eng* 6: 1-32.
3. Aguilera JM, del Valle JM, Karel M. 1995. Caking phenomena in amorphous food powders. *Trends Food Sci Technol* 6: 149-155.
4. Teunou E, Fitzpatrick JJ. 1999. Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. *J Food Eng* 42: 109-116.
5. Peleg M. 1978. Flowability of food powders and methods for its evaluation—a review. *J Food Process Eng* 1: 303-328.
6. 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.
7. Teunou E, Fitzpatrick JJ. 2000. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. *J Food Eng* 43: 97-101.
8. Aguilera JM, del Valle JM, Karel M. 1995. Caking phenomena in amorphous food powder. *Trends Food Sci Tech* 6: 149-155.
9. 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.
10. Scoville E, Peleg M. 1981. Evaluation of the effects of liquid bridges on the bulk properties of model powders. *J Food Sci* 46: 174-177.
11. Moreyra R, Peleg M. 1980. Compressive deformation patterns of selected food powders. *J Food Sci* 45: 866-868.
12. Peleg M, Mannheim CH, Passy N. 1973. Flow properties of some food powders. *J Food Sci* 38: 959-964.
13. Oh SH, Hwang IG, Kim HY, Hwang CR, Park SM, Hwang Y, Yoo SM, Kim HR, Kim HY, Lee JS, Jeong HS. 2011. Quality characteristics by particle size of red pepper powders for pepper paste and Kimchi. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 725-730.
14. Todd Jr PH, Bensinger MG, Biftu T. 1977. Determination of pungency due to capicum by gas-liquid chromatography. *J Food Sci* 42: 660-665.
15. Park SJ, Kim MH, Shin HM. 2005. Physical properties of rice husk. *J Biosystems Eng* 30: 229-234.
16. Peleg M. 1979. Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. *J Food Sci* 44: 227-281.
17. Onwulata CI, Konstance RP, Holsinger VH. 1996. Flow properties of encapsulated milkfat powders as affected by flow agent. *J Food Sci* 61: 1211-1215.
18. Fraczek J, Złobekia A, Zemanek J. 2007. Assessment of angle of repose of granular plant material using computer image analysis. *J Food Eng* 83: 17-22.
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. Peleg M. 1980. Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials. *J Rheol* 24: 451-463.
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.

(2012년 10월 22일 접수; 2013년 1월 14일 채택)