

## 초고압 균질공정 요인에 따른 대두박(비지)의 가공적성 연구 및 식이섬유 강화식빵의 최적화

이순민 · 백무열 · 김현석<sup>1</sup> · 민세철<sup>2</sup> · 김병용\*

경희대학교 식품생명공학과 및 생명자원과학연구원, <sup>1</sup>안동대학교 식품생명공학과, <sup>2</sup>서울여자대학교 식품공학과

### Effect of High Pressure Homogenization on *Biji* Paste and Optimization of Bread Fortified with Dietary Fiber

Soon Min Lee, Moo Yeol Baik, Hyun Seok Kim<sup>1</sup>, Sea Cheol Min<sup>2</sup>, and Byung Yong Kim\*

Department of Food Science and Biotechnology, Institute Life Science and Resources, Kyung Hee University

<sup>1</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University

<sup>2</sup>Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

#### Abstract

The effects of pressure and number of passes upon *Biji* paste properties using a high-pressure homogenizer (HPH) were investigated. A hydrocolloid of *Biji* was processed with a HPH at 15,000 or 25,000 psi and with 1 or 2 passes. The hydrocolloid was assessed for dietary fiber, protein, sugar content, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), rheological character, and distribution stability. As pass number and pressure increased, soluble dietary fiber, sugar content, WAI, and distribution stability also increased, whereas particle size decreased. As a result, processing at 25,000 psi and 2 passes is considered as a proper treatment for processing quality. In bread making with HPH treated *Biji*, volume, hardness, and cohesiveness of bread increased, while density decreased. The optimum processing condition for bread with HPH treated *Biji* was determined by a design expert program. Nine experimental points were selected, and wheat flour (91-95%) and HPH *Biji* (5-9%) were chosen as the independent variables. The optimum formulation of bread using the numerical analysis was set at 94.2% wheat flour and 5.8% HPH *Biji* with a 0.725 desirability value.

**Key words:** high pressure homogenizer, *Biji*, bread, soluble dietary fiber

#### 서 론

High pressure homogenization(HPH)는 식품 내의 유효성분의 추출시간을 단축시키거나 미생물을 불활성 시키기 위해 사용되어 왔으나(Smelt, 1998) 최근에는 관능 증대나 비타민과 같은 영양성분의 보존을 위해서도 사용하기 시작했다(Sancho et al., 1999). HPH는 식품내의 단백질과 oligomer의 결합을 분해시키고 기능적인 성질을 변화시키는 역할을 하는데 그 효과는 식이섬유에서도 같은 효과를 나타내고 있지만(Wennberg & Nyman, 2004) 아직 정확한 기작은 밝혀지지 않고 있다. HPH는 근래 전분이나 단백질식품 뿐 만 아니라 야채나 과일(Butz et al., 2002; Wennberg &

Nyman, 2004)에서도 미생물의 불활성화나 조직감 증대를 위해 사용되고 있으나, 리그닌이나 셀룰로오스의 분해와는 무관하다는 연구도 있다(Yang et al., 2009)

식이섬유는 인체의 소화효소에 의하여 가수분해되지 않는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스, 및 리그닌 같은 성분으로, 수용성식이섬유(soluble dietary fiber; SDF) 와 불용성식이섬유(Insoluble dietary fiber; IDF)로 구분되며 이에 따른 생리작용이 각각 다르다. IDF는 주로 식물 세포벽의 구성성분으로서 셀룰로오스, 리그닌 및 일부 헤미셀룰로오스이며, 곡류 및 채소류에 풍부하고, SDF는 펙틴, gum 및  $\beta$ -glucan의 주성분이며 과일, 콩류, 보리 등에 많이 함유되어 있다(Anderson, 1985; Schneeman, 1989). 식이섬유의 생리적 기능을 보면 IDF는 변비해소, 대장암예방, 독소물질의 배설 등의 작용을 하는 반면 SDF는 혈중콜레스테롤 수치를 저하시켜 동맥경화를 예방하고, 장내세균의 증가를 유발하는 생리기능을 갖고 있다(Selvendran, 1984). IDF가 빵, 과자 등 고체식품에 주로 이용될 수 있는데 반해 SDF는 분리 또는 농축하여 다른 식품에 첨가하여 사용할 수

\*Corresponding author: Byung-Yong Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Institute Life Science and Resources, Kyung-hee University, Yongin, Gyeonggi-do, 449-701, Korea  
Tel: +82-31-201-2627; Fax: +82-31-204-8116  
E-mail: bykim@khu.ac.kr

Received December 17, 2013; revised March 6, 2014; accepted March 31, 2014

있어 폭넓은 이용성을 가지고 있다. 따라서 SDF가 식품에 사용되어질 경우 조직감, 겔화 점증성, 유화성, 안정성 등의 기능 특성을 제공하기 때문에(Anderson et al., 1981; Blackburn et al., 1984), SDF의 증대를 위한 방법을 연구할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 식이섬유가 풍부한 비지에 HPH 처리를 하여 수용성 식이섬유의 증가와 같은 가공적성을 향상시키고 이를 이용하여 식이섬유강화 식빵을 만들어 새로운 식품으로서의 가능성을 살펴보고자 하며 혼합물 실험계획법을 이용하여 밀가루와 비지의 최적배합 비율을 찾아내고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에서 제조된 비지는 편밀과 기류밀(Korea Pulverizing Machinery Co. Ltd., Incheon, Korea)을 이용하여 건조 및 분말화를 시켰다. 건조 비지분말 시료들은 Warning blender로 분쇄하고 40 mesh 표준 체를 통과하여 미분화시켜 사용하였다.

### High pressure homogenization(HPH) 처리

물과 비지분말 10%를 혼합한 용액을 30분간 교반한 후 1000 rpm에서 5분 동안 균질기(Ultra-Turrax Model T-25D, IKA Labortechnik, Staufen, Germany)를 이용해 균질화하고 압력을 15,000 또는 25,000 psi에서, pass 횟수는 1 또는 2로 HPH(D.O.S. Inc., Siheung, Korea) 처리하였다.

### 입도분포 및 일반성분 분석

건조비지 분말의 입도분포는 입도분석기(Mastersizer 2000, Malvern, England)를 이용하여 분석하였다. 분말시료 0.5 g을 95% ethanol 500 mL에서 20분간 분산시킨 후, 분산액 1 mL를 95% ethanol 500 mL와 섞은 후 입도분석을 위한 시료로 하였다.

건조비지 분말의 일반성분은 AOAC(1984)에 준하여 분석하였다. 수분은 105°C에서 상압 가열건조법, 조단백질은 Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet법, 조회분은 건식 회화법을 이용하였으며 조섬유는 Henneberg-Stohmann법을 개량한 AOAC 법으로 측정하였다. 탄수화물 함량은 시료 100 g 중에서 수분, 조단백질, 조지방과 조회분 함량을 차감하여 구하였다.

### 식이섬유 함량

수용성 및 불용성 식이섬유함량은 Prosky 등(1985)의 효소중량법에 따라 total dietary fibre assay kit(Megazyme, Wicklow, Ireland)를 이용하여 구하였다. 건조비지 분말 1 g에 MES-Tris buffer(pH 8.2) 40 mL를 가한 후  $\alpha$ -amylase

용액(50  $\mu$ L)를 첨가하여 600°C에서 30분간 반응시킨 후 protease 용액 100  $\mu$ L를 가하여 30분간 반응시켰다. 단백질을 분해가 종결된 후 amyloglucosidase 300  $\mu$ L를 첨가하여 30분간 반응시키고 여과하였으며 분해 잔류물을 포함하는 fritted-glass filter crucible은 105°C에서 항량을 구하였다(불용성 식이섬유분획).

여과를 통해 얻어진 여액은 fritted-glass filter crucible을 통과시켜 침전물을 회수한 후 75% ethanol(30 mL), 95% ethanol(10 mL)과 acetone(10 mL)을 연속적으로 통과시켜 침전물을 세척한 후 105°C에서 건조시켜 항량을 구하였다(수용성 식이섬유분획).

### 수분흡수지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)

건조비지분말(0.5 g)을 50 mL의 증류수에 분산시킨 후 fritted-glass filter crucible( $W_1$ ) 위에서 감압여과 시켰다. Glass filter와 crucible 표면의 과도한 수분을 제거하기 위해 여액이 배출되지 않을 때부터 10분간 추가로 감압여과 조작을 수행하고 그 무게( $W_2$ )를 측정하였다. 감압여과로부터 회수된 여액에 증류수를 첨가하여 100 mL로 희석하였고 5 mL의 희석된 여액을 105°C에서 건조하여 무게( $W_3$ )를 측정하였다. WAI와 WSI는 아래 식에 의해 계산되었다.

$$WSI(\%) = \frac{W_3 \times 20}{S} \times 100 \quad WAI(g/g) = \frac{W_2 - W_1}{S - (W_2 \times 20)}$$

### 제타 전위 측정

비지 paste의 분산 정도 및 안정도는 제타 전위를 통해 측정하였다. 비지 paste를 1000 배 희석 후 Zeta sizemano Z(Malvern instruments Ltd. Worcestershire, UK)를 이용하여 제타 전위를 측정하였다. 전기장은 자동으로 설정한 후 희석한 비지 paste 0.8 mL를 이용하여 3 회 측정하여 평균값으로 나타내었다.

### 제빵 제조 및 빵의 비용적 측정

제빵공정은 AACC straight method(1983)를 적용하였다. Baking formula는 밀가루 100 g, 설탕 7 g, 소금 1.5 g, 버터 4 g, yeast 2 g이며 물의 함량은 밀가루 중량의 62%였다. 비지와 HPH처리(25,000 psi/2 pass)비지를 첨가 시 밀가루 함량의 5-9%를 혼합하였다. 밀가루에 비지를 포함한 모든 원료를 첨가하여 15분간 반죽한 후 39°C에서 발효시켰다. 1 차 발효는 60분간 행하였으며, 성형 후 45분간 2 차 발효시킨 다음 baking oven(Dae Yung Machinery, Incheon, Korea)에 넣고 밑불 150°C, 윗불 185°C에서 30분간 baking하였다. 제조된 빵의 비용적은(specific loaf volume)은 빵 부피(mL)/빵 무게(g)로 하였다.

### TPA test 및 관능평가

완성된 식빵의 조직감을 측정하기 위해, Rheometer(Sun

Co. CR-200D, Tokyo, Japan)를 이용하여, 원통형의 식빵(지름 2 cm, 높이 2 cm)에 300 mm/min의 속도로 TPA test를 실시하여 hardness와 cohesiveness를 구하였다.

식빵의 관능평가 중 선호도 측정은 관능평가 9명의 요원을 활용하여 9점 척도법을 사용하였다. 통계분석은 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences v17.0, Chicago, IL, USA)를 사용하였고, 시료간의 차이를 검증하기 위하여 Duncan의 다중비교법에 따라  $p < 0.05$  수준에서 유의 차를 결정하였다.

**밀가루와 비지의 최적 배합비**

밀가루, HPH처리 비지 비율의 혼합비를 달리하여 식빵(지름 4 cm, 높이 2 cm)을 제조하였다. Design-Expert 7 Program (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA)을 이용하여 혼합 최적화 실험을 실시하였다. 9 개의 실험점과 1 개의 반복점을 실험디자인으로 설정하였고, constraint 값으로는 hardness, 기호도 및 밀도로 정하였다. 밀가루의 함량을 91-95%, HPH처리 비지의 함량을 5-9%의 범위로 정하였으며 최적 성분비를 선정하기 위해 canonical 모형의 수치최적화(numerical optimization)을 통하여 예측하였다. Desirability는 Derringer & Suich(1980)가 제시한 식에 의하여 구하였다.

**결과 및 고찰**

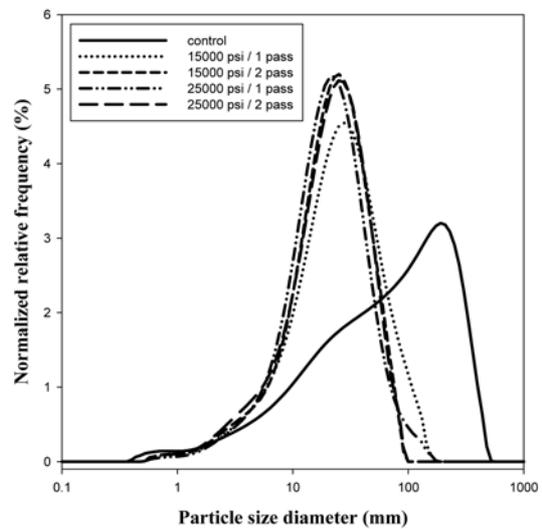
**일반성분 분석**

건조비지 분말의 일반성분 분석한 결과는 단백질 18.91%, 지질 10.38%, 회분 3.72%, 탄수화물 66.99%, 조섬유 20.32%, 식이섬유 59.03%으로 나타났다(Table 1). Cho & Lee(1996)의 비지의 일반성분 분석 결과 단백질 17.3%, 지질 11.3%, 회분 3.4%, 식이섬유 59.0%으로 보고 되어 본 실험과 비슷한 경향을 보였고 비지의 식이섬유의 함량이 59%로 높아 생리활성이 높은 식이섬유 원으로서의 개발 가능성이 높은 것으로 사료된다.

입도분석기를 이용하여 건조비지 분말의 입도 분석한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 무처리한 경우(NT) 190.55  $\mu\text{m}$ 에서 peak를 형성하였고 15,000 psi에서 1 pass(HPH1-15)의 경우는 27.54  $\mu\text{m}$ , 15,000 psi에서 2 pass(HPH2-15)의 경우는 25.12  $\mu\text{m}$ , 25,000 psi에서 1 pass(HPH1-25)의 경우는 22.91  $\mu\text{m}$ , 25,000 psi

**Table 1. Chemical composition of Biji.**

Compositions	Biji (%)
Crude protein	18.91±0.85
Crude fat	10.38±0.42
Crude ash	3.72±0.01
Carbohydrate	66.99±0.44
Crude fiber	20.32±1.85
Dietary fiber	59.03±1.29



**Fig. 1. Particle size distribution of Biji.**

- \* Control : Not treated
- \* HPH1-15 : 15,000 psi, 1 pass Biji \* HPH2 - 15 : 15,000 psi, 2 pass Biji
- \* HPH1-25 : 25,000 psi, 1 pass Biji \* HPH2 - 25 : 25,000 psi, 2 pass Biji

에서 2 pass(HPH2-25)의 경우는 25.11  $\mu\text{m}$ 에서 peak를 형성하였다. 건조비지 분말을 HPH를 처리한 경우 입도의 크기가 10 배수 작아지는 것으로 나타났으나 횡수보다는 가해진 압력이 입도크기에 영향을 미친 것으로 사료된다. 일반적으로 HPH를 처리할 경우 입자의 평균직경이 감소한다고 하였다(Cheng & David, 2011). 본 실험에서도 HPH 처리 시 강한 전단력과 압력에 의한 비지의 단백질 입자들의 구조의 변화와 파괴로 입도의 크기가 작아진 것으로 추정된다.

**수용성 및 불용성 식이섬유 함량**

비지 paste의 HPH 조건에 따른 수용성 및 불용성 식이섬유 함량을 Table 2에 나타내었다. 총 식이섬유(TDF) 함량은 64.33%로 HPH의 압력과 pass 횡수에 따른 유의적 차이를 보이지 않았다. 수용성 식이섬유(SDF) 함량은 무처리한 경우(NT) 2.50%, HPH1-15의 경우는 3.60%, HPH2-15의 경우는 4.45%, HPH1-25의 경우는 5.68%, HPH2-25의 경우는 7.59%로 나타났다. 불용성 식이섬유(IDF) 함량은 NT 62.67%, HPH1-15의 경우는 56.80%, HPH2-15의 경우는 57.00%, HPH1-25의 경우는 55.61%, HPH2-25의 경우는 56.50%로 나타났다. HPH의 압력조건과 pass 횡수가 증가할수록 총 식이섬유 함량은 큰 유의적 차이를 보이지 않았지만, 수용성 식이섬유 함량은 크게 증가하였고 불용성 식이섬유 함량은 감소하는 경향을 보였다. 고형분으로서 주로 사용되는 불용성 식이섬유에 비해 수용성 식이섬유는 주로 액상식품에 직접 사용될 수 있어 식품에서의 첨가소재로서 이용이 가능한 것으로 알려지고 있다(Andon,

**Table 2. Dietary fiber contents of Tofu by-products (*Biji*) by high pressure homogenization (HPH).**

Sample	(% , dry basis)		
	SDF	IDF	TDF
NT	2.50±0.59 <sup>c</sup>	62.67±2.01 <sup>a</sup>	64.33±1.29 <sup>a</sup>
HPH1 - 15	3.60±0.37 <sup>d</sup>	56.80±0.88 <sup>ab</sup>	60.42±2.70 <sup>a</sup>
HPH2 - 15	4.45±0.13 <sup>c</sup>	57.00±1.23 <sup>b</sup>	61.46±0.09 <sup>a</sup>
HPH1 - 25	5.68±0.06 <sup>b</sup>	55.61±1.55 <sup>b</sup>	61.34±0.79 <sup>a</sup>
HPH2 - 25	7.59±1.50 <sup>a</sup>	56.50±0.52 <sup>b</sup>	64.09±2.67 <sup>a</sup>

\*SDF : Soluble dietary fiber

\*IDF : Insoluble dietary fiber

\*TDF : Total Dietary fiber

\* NT : Not treated

\* HPH1 - 15 : 15,000 psi, 1 pass *Biji*\* HPH2 - 15 : 15,000 psi, 2 pass *Biji*\* HPH1 - 25 : 25,000 psi, 1 pass *Biji*\* HPH2 - 25 : 25,000 psi, 2 pass *Biji*

<sup>d</sup>Mean within each column with no common superscripts are significantly different ( $p<0.05$ )

1987). 본 실험에서도 HPH를 이용하여 수용성 식이섬유의 증가를 관측할 수가 있었으며, 식품의 첨가소재로 활용 가능성이 있다고 사료된다.

#### 수분흡착지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)

비지 paste의 HPH 조건에 따른 수분흡착지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)를 Table 3에 나타내었다. WAI는 무처리한 경우(NT) 3.92 g/g, HPH1-15의 경우는 5.50 g/g, HPH2-15의 경우는 5.98 g/g, HPH1-25의 경우는 6.78 g/g, HPH2-25의 경우는 7.02 g/g로 나타났다. WSI는 NT의 경우 0.65 g/g, HPH1-15의 경우는 1.09 g/g, HPH2-15의 경우는 1.12 g/g, HPH1-25의 경우는 1.50 g/g, HPH2-25의 경우는 1.60 g/g로 나타났다. HPH의 압력조건과 pass 횟수가 증가할수록 WSI는 무처리보다 증가하지만 조건에 따른 큰 유의적 차이를 보이지 않았다. 반면 WAI는 증가하는 경향을 보였다. 이러한 이유는 수용성 식이섬유의 함량의 증가와 HPH에 의해 입자가 작아졌기 때문으로 사료된다. Lee 등(2011)의 연구결과에서도 옥수수전분 압출성형물의 WAI의 증가요인은 전분 용융물이 기계적 전단력에 의해 기공이 많은 조직으로 변화되었기 때문이라고 하였으며 McConnell

**Table 3. Water absorption index (WAI), water solubility index (WSI) of HPH-treated *Biji* pastes**

Sample	<i>Biji</i> paste powder	
	WAI (g/g)	WSI (g/g)
NT	3.92±0.51 <sup>c</sup>	0.65±0.22 <sup>b</sup>
HPH1 - 15	5.50±0.17 <sup>b</sup>	1.09±0.34 <sup>ab</sup>
HPH2 - 15	5.98±0.42 <sup>b</sup>	1.12±0.45 <sup>ab</sup>
HPH1 - 25	6.78±0.02 <sup>a</sup>	1.50±0.22 <sup>a</sup>
HPH2 - 25	7.02±0.23 <sup>a</sup>	1.60±0.38 <sup>a</sup>

\* NT : Not treated

\* HPH1-15 : 15,000 psi, 1 pass *Biji* \* HPH2 - 15 : 15,000 psi, 2 pass *Biji*\* HPH1-25 : 25,000 psi, 1 pass *Biji* \* HPH2 - 25 : 25,000 psi, 2 pass *Biji*

<sup>ab</sup>Mean within each column with no common superscripts are significantly different ( $p<0.05$ )

**Table 4. Zeta-potential and average particle diameter of fresh *Biji* pastes after HPH treatment**

Sample	Zeta-potential (mV)	Average particle diameter (nm)
NT	-17.4	N/D
HPH1 - 15	-20.4	469.4
HPH2 - 15	-22.6	459.3
HPH1 - 25	-26.2	419.8
HPH2 - 25	-27.8	405.3

\* NT : Not treated

\* HPH1-15 : 15,000 psi, 1 pass *Biji* \* HPH2 - 15 : 15,000 psi, 2 pass *Biji*\* HPH1-25 : 25,000 psi, 1 pass *Biji* \* HPH2 - 25 : 25,000 psi, 2 pass *Biji*

등(1974)은 수분흡착력은 식이섬유의 종류, 함량, 입자크기에 따라 크게 영향을 받는다고 하였다. 즉, 식이섬유함량이 많을수록, 입자가 작을수록 수분흡착력이 높은 것으로 보고되어 본 실험과 유사함을 보였다.

#### Zeta-potential과 particle size 측정

비지 paste의 HPH 조건에 따른 Zeta-potential과 입자크기(particle size)를 Table 4에 나타내었다. Zeta-potential은 무처리한 경우(NT) -17.4 mV, HPH1-15의 경우는 -20.4 mV, HPH2-15의 경우는 -22.6 mV, HPH1-25의 경우는 -26.2 mV, HPH2-25의 경우는 -27.8 mV로 나타났다. 제타전위( $\zeta$ )의 절대값이 증가하게 되면 입자들간의 반발력이 증가하게 되어 입자는 안정하게 되는 반면 절대값이 0에 가까우면 입자는 쉽게 응집하게 되어 침전하게 된다(Jung et al., 2003). 일반적으로 Zeta-potential 값이 +30 mV 이상이거나 -30 mV 이하인 경우 입자들은 일반적으로 안정하다고 한다(Sherman, 1970). 본 연구의 결과를 보면 HPH의 압력과 pass의 횟수가 증가함에 따라 Zeta-potential이 증가하는 경향을 보였고, 따라서 분산 안정도가 높아지는 것으로 사료된다.

Particle diameter는 무처리한 경우(NT) 측정되지 않았고, HPH1-15의 경우는 469.4 nm, HPH2-15의 경우는 459.3 nm, HPH1-25의 경우는 419.8 nm, HPH2-25의 경우는 405.3 nm로 나타났다. 무처리한 비지의 입자크기가 측정되지 않은 이유는 분산안정도가 너무 낮아 침전을 일으켰기 때문이며 측정은 되지 않았지만 469.4 nm 이상의 값을 가진 것으로 추정된다. HPH의 압력과 pass 횟수가 증가할수록 입자가 작아지는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 Tadros 등(2004)의 연구에서와 같이, 전단력이 클수록 입자크기가 작아지고 안정한 에멀전을 만드는 것으로 여겨지며 이는 압력과 pass 횟수가 증가함에 따라 입자간의 충돌횟수가 많아지고 이때 생기는 압력변동 및 충돌력 등으로 유효입자가 더 작게 만들어진다고 판단된다.

#### 제빵 적성 및 TPA Test

제조된 빵의 부피 및 조직특징은 Table 5에 나타내었다. 빵의 부피는 밀가루만 사용했을 시 521 mL, 비지 7%를

**Table 5. Volume and texture characteristics of Biji breads.**

Sample	Loaf volume (mL)	Loaf weight (g)	Specific loaf volume (mL/g)	Hardness (N)	Cohesiveness
Control	521±1 <sup>a</sup>	154.4±1 <sup>c</sup>	0.30±0.001 <sup>c</sup>	6.37±0.69 <sup>c</sup>	0.77±0.03 <sup>c</sup>
WF (93) + Biji (7)	363.5± 1.5 <sup>b</sup>	159.62±0.53 <sup>a</sup>	0.44±0.003 <sup>b</sup>	14.21±0.69 <sup>b</sup>	0.93±0.003 <sup>a</sup>
WF (93) + HPH Biji (7)	296±1.4 <sup>c</sup>	158.6±1.03 <sup>b</sup>	0.54±0.022 <sup>a</sup>	16.01±0.92 <sup>a</sup>	0.92±0.02 <sup>b</sup>

WF : Wheat flour.

\*\*Mean within each column with no common superscripts are significantly different ( $p<0.05$ )

첨가한 경우는 363.5 mL, HPH-비지를 첨가한 경우는 296 mL로 측정되었다. 중량의 경우는 밀가루만 사용했을 시 154.4 g, 비지 7%를 첨가한 경우는 159.62 g, HPH-비지를 첨가한 경우는 158.6 g으로 측정되었다. 밀도는 각각 0.30 mL/g, 0.44 mL/g, 0.54 mL/g으로 측정되었다. 비지를 첨가한 경우 첨가하지 않은 경우보다 부피는 감소하였지만 밀도와 무게는 증가하는 경향을 보였다. 식이섬유 첨가 시 빵의 부피감소는 gluten과 식이섬유원간의 작용으로 여겨지며(Pomeranz et al., 1977) 비지의 제빵적성 결여도는 글루텐의 부족 때문으로 사료된다. 비지를 첨가할 경우 식이섬유 함량이 많아지고 이에 따라 WAI는 더 높아지는데 비지는 다른 각종 식이섬유원 중에서 수분흡수율이 가장 높았으며, 이런 높은 수분 흡수율은 식이섬유의 강한 수분흡착력 때문이거나 gluten의 dilution에 의한 것으로 사료된다(Chen et al., 1988).

빵의 hardness는 밀가루만 사용했을 시 6.37 N, 비지 7%를 첨가한 경우는 14.21 N, HPH처리 비지를 첨가한 경우는 16.01 N으로 측정되었다. 빵의 cohesiveness는 밀가루만 사용했을 시 0.77, 비지 7%를 첨가한 경우는 0.93, HPH처리 비지를 첨가한 경우는 0.92로 측정되었다. 빵에 비지가 첨가될 경우 그렇지 않은 경우보다 hardness와 cohesiveness가 모두 증가하는 경향을 보였다. Cho & Lee(1996)는 비지를 빵에 첨가하였을 경우 높은 hardness와 cohesiveness를 나타내며 다소 거친 감촉을 나타낸다고 보고한 바가 있고, Shin & Lee (2002)는 빵의 texture는 비지가루의 혼합비율이 높을수록 썩힘성과 경도는 증가한다고 보고하였다. HPH 비지를 사용하는 경우 hardness와 cohesiveness가 비

지보다 더 증가한 이유는 HPH처리로 입자가 더 작아지고 수분흡착지수가 증가하여 빵이 많이 부풀지 못하고 수분을 더 많이 보유했기 때문으로 사료된다.

#### 식빵의 최적 배합비

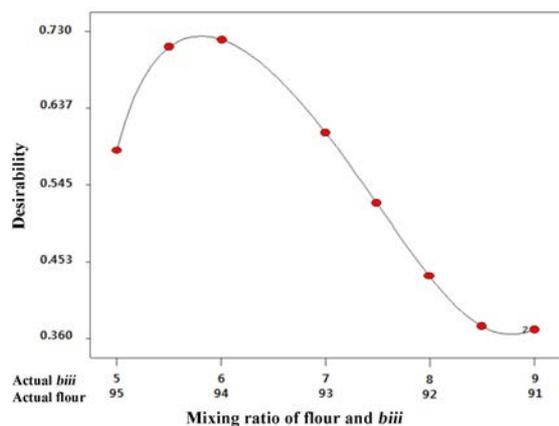
총 9 개의 실험점에 대한 실험결과는 Table 6에 나타내었다. 밀가루와 HPH 처리 비지의 최적배합비를 Derringer & Suich(1980)의 방법을 응용하여 설정하였다. 밀가루의 함량을 91-95%, HPH처리 비지의 함량을 5-9%로 정하고 최적화를 결정하는 주요 종속변수로 빵의 밀도, hardness, 전체적인 기호도로 잡았다. 전체적인 기호도를 최대에 예측하여 목적범위를 설정하였고, 밀도와 hardness는 최소의 범위를 설정하였다. 예측된 canonical 식에서 설정된 계수는 각 성분들이 미치는 영향을 수치로 나타나게 되고 각 첨가한 성분들이 상호작용하는 경우에는 비선형의 모델들이 설정되며, 각 성분들이 독립적인 기여도를 나타내면 linear 모델이 선정되었다(Han & Kim, 2003). 최적 수치점(numerical point)을 예측한 결과 밀가루함량 94.2%, 비지함량 5.8%이었고, 이 배합비에 따른 종속변수 값은 hardness 39.22 N, 밀도 0.403 mL/g, 전체적인 기호도 5.796으로 분석되었다(Table 7). 예측된 값들을 그래프로 분석해 보면(Fig. 2) 각 성분과 반응에 대한 모형을 이용하여 그래프의 중첩되는 범위를 나타내고 그 최적화된 정도를 desirability로 분석하였다. 반복되는 연산으로 계산되는 최대의 desirability는 여러 결과들 사이에 최적화된 한 값에 수렴하는 것으로 0.725으로 나타났으며 비지의 함량이 많을수록 hardness는 증가하는 경향을 보이고 맛의 선호도와 밀도는 낮아지는

**Table 6. Quality characteristics of bread at various conditions by D-optimal design.**

No	Run	HPH-Biji (%)	Wheat flour (%)	Hardness (N)	Density (mL/g)	Overall preference
1	3	5.00	95.00	44.835	0.515	5.8
2	9	7.00	93.00	44.835	0.515	5.8
3	6	9.00	91.00	59.535	0.536	5.1
4	7	6.01	93.99	35.77	0.342	5.6
5	2	7.99	92.01	43.365	0.491	4.9
6	5	8.50	91.50	64.68	0.626	5.4
7	4	5.50	94.50	34.3	0.479	6.2
8	8	7.49	92.51	32.34	0.418	5.5
9	1	9.00	91.00	28.42	0.498	5.9

**Table 7. Optimum constraints using a numerical optimization method.**

Constraints name	Goal	Numerical optimization solution
Wheat flour	in range	94.192%
HPH-Biji	in range	5.808%
Density	Minimize	0.403
Hardness	Minimize	39.22
Preference	Maximize	5.796
Desirability		0.725

**Fig. 2. Contour plot of desirability of the optimum result.**

경향을 보였다.

## 요 약

두부의 부산물인 비지를 이용하여 식이섬유가 강화된 식빵을 개발하기 위해 HPH 처리를 하고 혼합디자인을 이용한 식빵 최적배합비를 산출하였다. HPH 처리의 결과 압력과 pass의 횟수가 증가함에 따라 수용성 식이섬유함량, 분산안정도, 수분흡착지수가 증가하며 입자 크기는 감소하는 경향을 보였다. 이 결과에서 HPH를 25,000 psi에서 2 pass 처리한 비지 paste를 첨가하여 식빵의 최적배합비를 도출하였다. 최적배합비를 결정하는 주요종속변수로 빵의 밀도, hardness, 기호도로 잡았다. 기호도를 최대로 예측하여 목적범위를 설정하였고, 밀도와 hardness는 최소의 범위를 설정하였다. 그 결과 예상 최적배합비는 밀가루함량 94.2%, 비지함량 5.8%이었고, 이 배합비에 따른 종속변수 값은 hardness 39.22 N, 밀도 0.403 mL/g, 전체적인 기호도 5.796으로 분석되었다.

## 참고문헌

AACC : Approved methods of the AACC. 1983. 8<sup>th</sup> ed, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, M.N.  
Anderson IH, Levine AS, Levitt MD. 1981. Incomplete absorption

of the carbohydrate in all purpose flour. J. Med. 304: 891-892.  
Anderson JW. 1985. Physiological metabolic effects of dietary fiber. Fed. Proc. 44: 2902-2906.  
Andon SA. 1987. Applications of soluble dietary fiber. Food Technol. 41: 74-75.  
A.O.A.C: Approved Methods of the AACC. 1984. 8<sup>th</sup> ed. American Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.  
Blackburn NA, Redfern JS, Jarjis OH. 1984. The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. Clin. Sci. 66: 329-336.  
Butz P, Edenharder R, Garcia AF, Fister H, Merkel C, Tauscher B. 2002. Changes in functional properties of vegetables induced by high pressure treatment. Food Res. Int. 35: 295-300.  
Cheng Q, David JM. 2011. Formation of nano emulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size. Food Hydrocolloid. 25: 1000-1008.  
Chen H, Rubenthaler GL, Schanus EG. 1988. Effect of apple fiber and cellulose on the physical properties of wheat flour. J. Food Sci. 53: 304-305.  
Cho MY, Lee WJ. 1996. Preparation of high-fiber bread with soybean curd residue and *makkolli*(rice wine) residue. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 25: 632-636.  
Derringer G, Suich R. 1980. Simultaneous optimization of several response variables. Technometrics. 12: 214-219.  
Han GH, Kim BY. 2003. Optimization of the extrusion processing conditions of soymilk residue and corn grits mixture. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 32: 1270-1277.  
Jung SJ, Lee SI, Lim HM. 2003. Effect of the concentration of suspension and electrolyte on Zeta potential, Korean J. Cera. Soc. 40: 293-300.  
Lee KC, Kim YS, Ryu GH. 2011. Saccharification characteristics of extruded corn starch at different process parameters. Food Eng. Prog. 15: 155-161.  
McConnell AA, Eastwood MA, Mitchell WD. 1974. Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. J. Sci. Food Agric. 25: 1457-1464.  
Polizzoto LM, Tinsley AM, Weber CW, Berry JW. 1983. Dietary fiber in muffins. J. Food Sci. 48: 111-113, 118.  
Pomeranz Y, Shogren MD, Finney KF, Bechtel DB. 1977. Fiber in bread making effects on functional properties. Cereal Chem. 54: 25-41.  
Prosky L, Asp NG, Furda L, Devries JW, Schweizer TF, Harland BA. 1985. Determination of total dietary fiber in foods and food products. J. Association. Anal. Chem. 68: 677-679.  
Sancho F, Lambert Y, Demazeau G, Largeteau A, Bouvier JM, Narbonne JF. 1999. Effect of ultra high hydrostatic pressure on hydrosoluble vitamins. J. Food Eng. 39: 247-253.  
Schneeman BO. 1989. Dietary fiber. Food Tech. 43: 133-139.  
Selvendran RR. 1984. The plant cell wall as a source of dietary fiber: Chemistry and structure. Am. J. Clin. Nutr. 39: 320-337.  
Sherman P. 1970. Rheology of dispersed systems. In: Industrial Rheology. Academic Press Inc. London, UK. pp. 97-183.  
Shin DH, Lee YW. 2002. Quality attributes of bread with soybean milk residue-wheat flour. Korean J. Food Nutr. 15: 314-320.  
Smelt, JPPM. 1998. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. Trends Food Sci. and Tech. 9: 152-158.

- Tadros T, Izquierdo P, Esquena J, Solans C. 2004. Formation and stability of nano-emulsions. *Adv. Colloid Interfac.* 108: 303-318.
- Wennber M, Nyman M. 2004. On the possibility of using high pressure treatment to modify physico-chemical properties of dietary fibre in white cabbage. *Innovative Food Sci. & Emerging Tech.*, 5: 171-177.
- Yang B, Jiang Y, Wang R, Zhao M, Sun J. 2009. Ultra-high pressure treatment effects on polysaccharides and lignins of longan fruit pericarp. *Food Chem.* 112: 428-431.