

## 분쇄 공기분급 공정조건에 따른 밀기울 분쇄 분급물의 조성성분 특성

이재강<sup>1,2</sup> · 최용석<sup>1,3</sup> · 김영화<sup>1,2</sup> · 강민수<sup>2</sup> · 류기형<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>동아원(주) 중앙연구소, <sup>2</sup>공주대학교 식품공학과, <sup>3</sup>전남대학교 식품영양학과

### Characteristics of Components of Wheat Bran Fractions at Various Grinding and Air Classification Conditions

Jae-Kang Lee<sup>1,2</sup>, Yong-Seok Choi<sup>1,3</sup>, Young-Wha Kim<sup>1,2</sup>, Min-Soo Kang<sup>2</sup>, and Gi-Hyung Ryu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>R&D Center, DongA One Co., Ltd., Dangjin

<sup>2</sup>Department of Food Science and Technology, Kongju National University

<sup>3</sup>Department of Food and Nutrition, Chonnam National University

#### Abstract

Using an air-classifier system equipped with both ultra-fine grinding and air-classification, wheat bran was ground at a mill speed (MS) of 3,800, 4,800, 5, 800 rpm and a separator reverse wheel speed (SRWS) of 2,500, 3,000, 3,500 rpm. Ground bran was classified by air classifier reverse wheel speed (ARWS) of 200, 400, 600 rpm. The effects of MS, SRWS and ARWS on the characteristic of air-classified bran were examined by a three-level, three-factor full factorial experimental design and a response surface regression analysis. The crude protein content was 11.87-14.08% in the coarse fraction. In addition, it was significantly influenced by the MS ( $P<0.05$ ) and the SRWS ( $P<0.01$ ). The crude ash content was 4.08-4.79% in the fine fraction, and 3.51-4.24% in the coarse fraction. The fine fraction had a significant probability ( $P<0.01$ ) in terms of the MS, SRWS and ARWS. The coarse fraction was influenced by the MS ( $P<0.01$ ), SRWS ( $P<0.01$ ) and ARWS ( $P<0.05$ ). The fat content was 4.56-5.05% in the fine fraction, which had a high significant probability ( $P<0.01$ ) in terms of the MS, SRWS and ARWS. The total starch content was 22.47-30.94% in the fine fraction, and 9.35-16.83% in the coarse fraction. In both the fine and coarse fractions, the total starch content was significantly influenced by the MS and ARWS ( $P<0.01$ ). The relationship between the ultra-fine grinding air classification process parameters for wheat bran and the components of the fractions were investigated in this study.

**Key words:** ultra-fine grinding mill, air classification, wheat bran, response surface regression analysis

## 서 론

밀기울(wheat bran)은 밀의 제분과정 중 발생하는 주요 부산물로서 상업적 가공공정에서 약 14-19%가 생산되고 (Antoine et al., 2002), 밀의 종피(seed coat), 주심층(nuclear epidermis), 호분층(aleurone layer) 등으로 이루어져 있으며, 제분 시 전분으로 이루어진 배유(endosperm)가 포함된다(Kamal-Eldin et al., 2009). 밀기울의 조성은 생산 공정에 따라 차이가 있으나 일반적으로 전분함량이 22-34% 내외이며(Lee, 2003; Antoine et al., 2002), 수분 9-

14%, 지방 4-6%, 단백질 14-18%, 회분 5-7%, 탄수화물 50-70%로 구성되고, 특히 40-50%의 식이섬유가 포함되어 있으며(Pomeranz, 1988), 무기질 및 비타민이 함유된 천연 식품소재로 알려져 있다(Bass, 1988; Piironen et al., 2009). 그러나 제분직후 밀기울 호분층 내 잔존하는 효소와 이에 따른 이취, 어두운 색상, 불량한 식감 및 조적감 등이 밀기울을 활용하여 섬유질 강화식품 제조 시 큰 장애요인이 되고 있어(Pomeranz, 1988; O'Connor et al., 1992) 대부분 사료로 사용되고 있다(Staniforth et al., 1991; Tahir et al., 2002).

미세 분쇄기법은 물리적인 작용에 의하여 식품 구성성분이 갖는 물리적 특성을 부분적으로 변형시킬 수 있으며(Wilczek et al., 2007), 섬유질을 초미세분쇄 시 입자크기의 감소에 의한 조적감 개선뿐 아니라 기능성도 부여할 수 있다(Ang et al., 1991). 특히 기류식 분쇄기는 식품 재료의 미분화를 통해 재료의 표면적 증가를 유도하고, 유효성분의 추출 및 혼합을 용이하게 한다(Kang et al., 2001a).

\*Corresponding author: Gi Hyung Ryu Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Choongnam 340-800, Korea

Tel: +82-41-330-1484, +82-41-412-1182; Fax: +82-41-335-5944, +82-41-412-1179

E-mail: ghryu@kongju.ac.kr

Received August 21, 2014; revised October 13, 2014; accepted October 14, 2014

또한 기류의 흐름에 따른 냉각 효과로 인하여 원료의 색, 향, 풍미의 변화, 영양성분 파괴를 방지하고 고 섬유질 함유 원료식품의 미분화가 가능하다(Kang et al., 2001b). 공기 분급기에서 공기로 운반되는 입자들은 입자의 크기, 밀도 또는 유동장에서 입자들에 작용하는 관성력과 유체의 힘 사이의 균형에 기초한 모양에 따라 분급되고(Lee et al., 2006), 단백질(Kon et al., 1977; Wu et al., 1992), 전분(Han et al., 1990), 무기질(Park et al., 1993) 등 특정 성분을 농축 또는 감소시킬 수 있다고 보고되어 있다. Lee et al.(2014)에 따르면 초미 분쇄 및 공기 분급 시 분쇄기 회전속도, 분리기 휠 회전속도, 공기분급 휠 회전속도의 조절을 통한 분급 비율, 평균 입자 크기, 총 식이섬유 함량의 조절이 가능하였으며, 공기분급법을 이용하여 농축단백질과 전분을 제조하는 연구는 대부분 두류(Vose, 1976; Kohnhorst, 1989), 밀가루(Wu et al., 1992)에 대한 연구이므로, 분쇄 및 공기분급 공정변수와 밀기울 공기분급물 조성성분의 공정 연구를 통하여 밀기울의 식품 소재화 가공 공정 개발이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 기류분쇄와 공기분급을 동시에 수행할 수 있는 장치를 사용하여 분쇄 분급하여 분쇄분급물의 조성 성분을 살펴보고, 분쇄기 회전속도와 분리기 휠 회전속도를 조절하여 밀기울을 미분쇄한 뒤 공기분급 휠 회전속도를 제어하여 공기분급 후 회수된 미분 및 조분 분급물의 구성 성분의 반응표면 분석을 통하여 분쇄 및 공기분급 공정조건과의 상관관계를 규명하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

기류분쇄 공기분급 밀기울의 제조에 사용된 시료는 중력 분 생산 시 사용하는 밀 원맥인 A.S.W(Australian standard white) 제분하는 과정에서 부산물로 생산되는 밀기울 (Wheat bran, DongA One Flour Mills Co., Korea)을 사용하였다.

### 연속식 기류분쇄 공기분급 공정

미세 분급 밀기울의 제조는 연속식 기류분쇄 공기분급기(DMC-5, Daehyun Eng, Korea)를 이용하였으며, 기류분쇄 조건은 분쇄기 회전속도(mill speed, MS)와 분리기 휠 회전속도(separator reverse wheel speed, SRWS)이며 공기분급 조건은 공기분급 휠 회전속도(air classifier reverse wheel speed, ARWS)를 조절하였다. 분쇄 및 분급 조건은 Table 1과 같으며 분쇄 및 분급 장치는 송풍기를 통하여 공기의 흐름이 생기며, 시료 투입기를 통해 투입된 시료는 분쇄기에서 1 차 분쇄되었다. 송풍기의 풍압에 의하여 상승하는 시료는 중량 따라 분리기에서 1 차 선별되어 무거운 시료는 분리기를 통과하는 중량이 될 때까지 분쇄기로 반복하여 분쇄되었다. 1 차 선별된 시료는 공기 분급기의

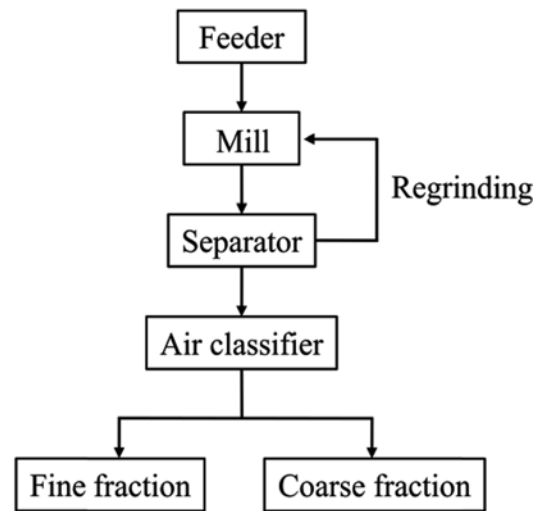


Fig. 1. Diagram of ultra-fine grinding and air-classifier system (Model DMC-5, Daehyun Eng, Korea).

휠 회전속도에 의하여 비중에 따라 분급되었으며, 공기 분급기를 통과한 시료는 미분 분급물, 통과하지 못한 시료는 조분 분급물로 분급되었다(Fig. 1).

### 일반성분

일반성분은 AOAC 방법(2000)에 따라 수행하였으며 3 반복한 평균의 값으로 결정하였다. 조단백은 Micro-Kjeldahl 법으로 시료에서 측정된 질소량을 측정하였으며, 밀기울은 백밀가루와 단백질 조성에 차이가 있으므로 (Johnes, 1931), 일반적인 식품에 적용하는 질소 단백질 환산계수 6.25를 곱하여 계산하였다. 회분은 시료를 600°C에서 2시간 회화 후 중량 변화로 계산하였으며, 조지방은 Soxhlet법으로 에테르를 사용하여 추출하여 추출된 지방 중량으로 계산하였다.

### 총 전분

분급 시료의 총 전분 함량은 AOAC 방법(2000)을 이용하여 3 회 측정후 평균값으로 결정하였다. 실험에 사용된 GOPOD 시약은 GOPOD reagent buffer(K-TSTA 3, Megazyme, Ireland) 48 mL를 증류수 1 L에 용해한 후 GOPOD reagent enzyme(K-TSTA 4, Megazyme, Ireland) 20 mL를 첨가 후 냉장 보관하며 사용하였다. 시료 100 mg을 시험관에 넣고, 0.2 mL의 80% 에탄올을 가하고  $\alpha$ -amylase (K-TSTA 1, Megazyme, Ireland)가 1:30(v/v)로 희석된 100 mM의 sodium acetate buffer(pH 5.0)를 3 mL 넣어주고, 끓는 항온수조에서 12분간 배양하였다. 배양이 끝난 시료에 amyloglucosidase(K-TSTA 2, Megazyme, Ireland)를 0.1 mL 가해주고 50°C 항온수조에서 30분간 반응시켜주었다. 반응이 끝난 시료 전량을 용량플라스크에 넣고 증류수를 사용하여 100 mL로 정용한 뒤 3,000 rpm에서 10분간

원심분리하였다. 테스트튜브에 원심분리 상등액 0.1 mL과 3 mL의 GOPOD 시약을 넣어주고, 정량 표준품과 공시험 용액의 제조를 위하여 테스트튜브에 D-glucose(K-TSTA 5, Megazyme, Ireland) 표준용액(1 mg/mL)과 증류수를 각각 0.1 mL 첨가하고, 3 mL의 GOPOD 시약을 각각 넣어주었다. 시료와 표준용액, 그리고 공시험 용액을 50°C 항온수조에서 20분간 반응시킨 후 분광광도계(Libra S22, Biochrom, England)를 사용하여 510 nm에서 흡광도를 측정한다. 식 (1)에 의하여 총 전분 함량을 계산하였다.

$$\text{Starch(\%)} = \Delta A \times F \times \frac{FV}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \quad \text{식(1)}$$

$\Delta A$  = Absorbance (reaction) read against the reagent blank.

$$F = \frac{100 (\mu\text{g of D-glucose})}{\text{Absorbance for } 100 \mu\text{g of glucose}}$$

FV: Final volume.

완전요인 실험계획

밀기울의 기류분쇄 및 공기분급 공정변수에 따른 종속변수의 변화를 결정하기 위하여 3 인자 완전요인계획에 의해 사용하였으며(Table 1), 분쇄 및 분급 공정변수에 따른 분급물의 특성은 미니탭(Minitab, release 17)을 사용하였으며, 독립변수와 종속변수간의 상관관계를 조사하기 위하여 실험 계획법 반응표면 회귀분석으로 통계적으로 처리하였다. 반응표면 분석에서 독립변수는  $MS(X_1)$ ,  $SRWS(X_2)$ ,  $ARWS(X_3)$ 이며, 각 변수는 -1, 0, 1의 세 가지 수준으로 부호화하였다. 반응변수( $Y_n$ )로 분급 분획물의 분급 비율, 평균입

Table 1. Coded level for independent variables used in experimental design.

$X_i$ Independent variables	Levels		
	-1	0	1
$X_1$ Mill speed (rpm)	3,800	4,800	5,800
$X_2$ Separator reverse wheel speed (rpm)	2,500	3,000	3,500
$X_3$ Air classifier reverse wheel speed (rpm)	200	400	600

Table 2. Experimental data of wheat bran ground and classified under different conditions based on full factorial design for response surface analysis.

Coded level <sup>1)</sup>			Fine fraction				Coarse fraction			
$X_1$	$X_2$	$X_3$	Crude protein (%)	Crude ash (%)	Crude fat (%)	Total starch (%)	Crude protein (%)	Crude ash (%)	Crude fat (%)	Total starch (%)
		-1	16.54±0.13	4.62±0.02	5.93±0.15	24.72±0.25	12.48±0.04	3.72±0.05	4.65±0.12	13.64±0.18
	-1	0	17.65±0.12	4.77±0.08	5.93±0.12	23.39±0.21	12.85±0.02	3.97±0.04	4.88±0.11	12.48±0.14
		1	16.10±0.11	4.31±0.07	5.60±0.11	22.90±0.17	12.98±0.07	3.82±0.04	4.65±0.13	12.45±0.11
		-1	17.49±0.17	4.30±0.08	5.80±0.14	30.75±0.13	13.02±0.10	4.24±0.03	4.56±0.07	13.37±0.24
-1	0	0	17.18±0.14	4.25±0.08	5.82±0.11	29.42±0.14	13.27±0.13	4.17±0.05	4.58±0.12	13.42±0.17
		1	16.73±0.13	4.11±0.07	5.63±0.11	28.12±0.21	13.53±0.09	4.24±0.02	4.58±0.09	13.85±0.23
		-1	17.01±0.12	4.25±0.07	5.75±0.13	30.94±0.18	13.56±0.12	4.11±0.01	4.66±0.11	12.94±0.14
	1	0	17.21±0.14	4.29±0.03	5.77±0.14	30.86±0.10	13.50±0.13	4.14±0.04	4.68±0.07	12.76±0.09
		1	17.12±0.13	4.08±0.02	5.52±0.14	30.39±0.11	13.61±0.11	4.23±0.01	4.69±0.04	13.16±0.17
		-1	16.26±0.15	4.73±0.07	5.88±0.13	24.91±0.13	12.17±0.10	3.56±0.02	4.63±0.13	14.68±0.24
	-1	0	16.85±0.12	4.79±0.03	5.97±0.09	25.78±0.11	12.60±0.11	3.75±0.03	4.77±0.12	12.72±0.11
		1	16.40±0.11	4.63±0.03	5.73±0.14	22.81±0.14	12.35±0.14	3.80±0.05	4.74±0.07	11.65±0.13
		-1	16.73±0.14	4.62±0.04	5.85±0.05	27.82±0.10	12.86±0.11	3.66±0.04	4.86±0.04	15.56±0.23
0	0	0	17.33±0.10	4.66±0.06	6.00±0.14	27.07±0.07	12.97±0.13	3.66±0.07	5.05±0.08	13.39±0.21
		1	16.28±0.14	4.33±0.03	5.79±0.04	24.77±0.09	12.66±0.10	3.70±0.05	4.93±0.11	12.10±0.25
		-1	17.11±0.11	4.48±0.07	5.65±0.12	30.42±0.12	14.08±0.09	3.68±0.04	5.01±0.07	16.83±0.17
	1	0	16.89±0.13	4.45±0.01	5.62±0.10	28.81±0.14	13.37±0.14	4.05±0.03	4.95±0.05	14.42±0.23
		1	16.59±0.09	4.29±0.05	5.50±0.14	28.70±0.11	13.45±0.10	4.16±0.01	5.00±0.04	14.10±0.22
		-1	17.41±0.14	4.58±0.01	5.62±0.07	29.01±0.13	12.16±0.08	3.51±0.05	5.00±0.11	11.79±0.21
	-1	0	16.54±0.11	4.57±0.04	5.67±0.13	27.94±0.11	12.92±0.11	3.56±0.07	4.94±0.13	11.73±0.17
		1	16.47±0.13	4.49±0.01	5.50±0.03	22.47±0.07	11.87±0.10	3.65±0.02	5.04±0.10	9.35±0.18
		-1	16.99±0.10	4.65±0.04	5.69±0.07	29.85±0.03	13.38±0.13	3.83±0.08	4.93±0.09	13.83±0.22
1	0	0	17.65±0.10	4.72±0.07	5.76±0.03	26.50±0.12	12.88±0.12	3.84±0.04	5.01±0.10	13.34±0.20
		1	16.87±0.12	4.60±0.03	5.58±0.11	26.00±0.21	12.89±0.05	3.91±0.04	4.89±0.11	12.6±0.07
		-1	17.38±0.13	4.53±0.02	5.73±0.13	27.45±0.08	13.59±0.10	4.00±0.07	4.70±0.13	14.20±0.24
	1	0	17.12±0.11	4.37±0.05	5.67±0.15	28.64±0.24	13.33±0.07	4.05±0.03	4.56±0.11	13.15±0.13
		1	16.76±0.14	4.36±0.03	5.43±0.13	28.64±0.19	13.38±0.04	4.05±0.04	4.69±0.14	12.15±0.15

<sup>1)</sup> $X_1$ : Mill speed (rpm),  $X_2$ : Separator reverse wheel speed (rpm),  $X_3$ : Air classifier reverse wheel speed (rpm).

자, 총 식이섬유 함량으로 하였다. 세 가지 독립변수( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ )에 대한 2차 회귀모형은 식(2)와 같다.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \quad \text{식(2)}$$

여기서  $Y$ 는 반응변수,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ 은 독립변수,  $b_0$ 는 절편,  $b_n$ 은 회귀계수이다.

### 결과 및 고찰

#### 조단백질 함량

기류식 분쇄기를 이용한 분쇄 조건과 공기분급 조건에 따른 각 분획의 조단백질 함량은 Table 2와 같고, 반응표면회귀식은 Table 3과 같으며, 다중회귀분석결과(multiple regression analysis)는 Table 4와 같다. 미분 분급물과 조분 분급물 조회분 함량의 반응표면회귀식 결정계수( $R^2$ )는 조분 분급물의 경우 0.832로 반응모형의 적합성을 확인할 수 있었으나, 미분 분급물의 경우 0.577로 모델이 적합하지 않았다. 조분 분급물의 경우  $MS(P < 0.05)$ ,  $SRWS(P < 0.01)$ 가 조단백질 함량에 유의적으로 영향을 주었다. 조단백 함량은 미분 분급물의 경우 ARWS가 증가할수록 높은 함량을 나타냈다. 반면 조분 분급물은 SRWS가 증가할수록 높아졌으나, MS가 증가할수록 낮아졌다(Fig. 2). Park et al.(1995)의 ARWS가 높은 미분획에서 단백질 함량이 높았다는 보고와 일치 하였고, Han et al.(1990)은 단백질의 경우 썬기형의 단백질 형태로 곡류에 존재하며 다른 성분에 비해 입자가 작고 가벼운 편이어서 미분 분급물로 회수된다고 설명하였다.

미분 분급물의 조단백 함량(16.10-17.65%)이 조분 분급물의 조단백 함량(11.87-14.08%)보다 높게 나타났다. 이는 대두를 공기분급 하였을 때 단백질 함량은 미분 분급물이 54.2% 였으며, 조분 분급물이 50.5%로 거의 분리되지 않았다는 Klumpar et al.(1986)의 보고와 일치 하였고, Park

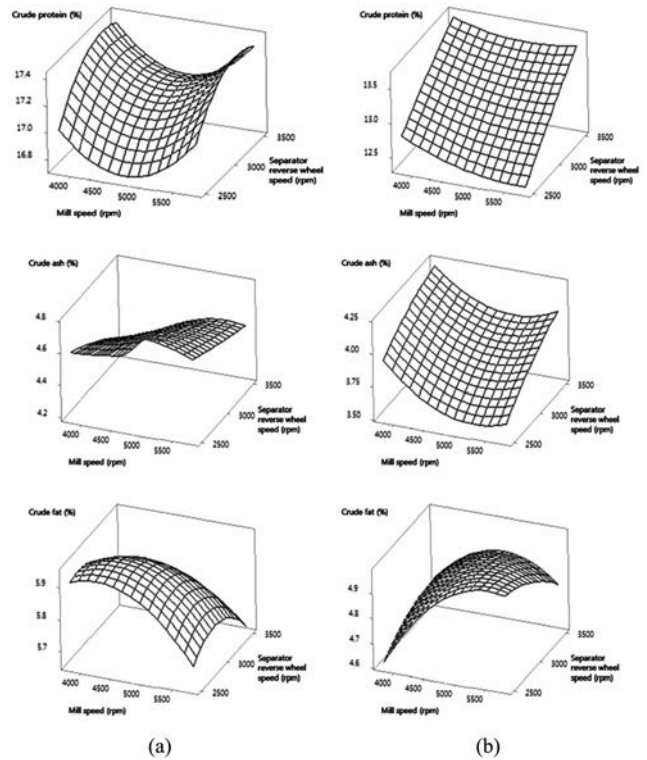


Fig. 2. Response surface plot of crude protein, crude ash and crude fat content in fine (a) and coarse (b) fraction as input function of mill and separator reverse wheel speed at constant air classifier reverse wheel speed (400 rpm).

et al.(1993)은 쌀의 미강내 단백질도 다른 성분에 비하여 입자가 작으며 비중이 작았음을 의미 한다고 설명 하였으며, Choi et al.(1994)은 미분획의 일부 단백질체는 분리된 것도 있고 일부는 조직화되어 부서진 것도 있고, 조분 분급물의 경우 단백질 일부는 그대로 남아있고, 상당부분 조직화되었으므로, cut size를 10  $\mu$ m 이하로 분쇄할 경우 단백질을 더 많이 분리할 가능성이 있을 것으로 예상하였다.

Table 3. Polynomial equation calculated for chemical composition of air-classified fractions of wheat bran.

Response <sup>1)</sup>		The second order polynomial <sup>2)</sup>	R <sup>2</sup>
Fine fraction	Crude protein (%)	$Y_1 = 14.93 + 0.007X_3 + 0.000001X_1^2 - 0.000009X_3^2$	0.577
	Crude Ash (%)	$Y_2 = 4.20 + 0.000822X_1 - 0.001X_2 + 0.00087X_3 - 0.0000001X_1^2 - 0.000002X_3^2$	0.810
	Crude fat (%)	$Y_3 = 2.68 + 0.000522X_1 + 0.001365X_2 + 0.00183X_3 - 0.000001X_1^2 - 0.000001X_2^2 - 0.000003X_3^2$	0.818
	Total starch (%)	$Y_4 = -19.3 + 0.0299X_2 - 0.0141X_3 - 0.000003X_1X_2 + 0.000008X_2X_3$	0.863
Coarse fraction	Crude protein (%)	$Y_5 = 11.22 - 0.00144X_1 + 0.00157X_2 - 0.000001X_1X_3$	0.832
	Crude ash (%)	$Y_6 = 6.76 - 0.001931X_1 + 0.00089X_2 + 0.00039X_3 + 0.000001X_1^2$	0.800
	Crude fat (%)	$Y_7 = -1.83 + 0.001710X_1$	0.487
	Total starch (%)	$Y_8 = -17.1 + 0.00745X_2 - 0.0031X_3 - 0.000001X_1^2 + 0.000001X_1X_2$	0.800

<sup>1)</sup>Y<sub>1</sub>:Crude protein of fine fraction (%), Y<sub>2</sub>:Crude ash of fine fraction (%), Y<sub>3</sub>:Crude fat of fine fraction (%), Y<sub>4</sub>:Total starch of fine fraction (%), Y<sub>5</sub>:Crude protein of coarse fraction (%), Y<sub>6</sub>:Crude ash of coarse fraction (%), Y<sub>7</sub>:Crude fat of coarse fraction (%), Y<sub>8</sub>:Total starch of coarse fraction (%).

<sup>2)</sup>X<sub>1</sub>: Mill speed (rpm), X<sub>2</sub>: Separator reverse wheel speed (rpm), X<sub>3</sub>: Air classifier reverse wheel speed (rpm).

**Table 4. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear, quadratic terms and interaction effects on response variables of crude protein.**

Source	Degree of freedom	Fine fraction		Coarse fraction	
		F value	Pr>F	F value	Pr>F
Model	9	2.58	0.044	9.37	<0.001
Liner	3	3.37	0.043	24.92	<0.001
Quadratic	3	4.25	0.021	0.61	0.617
Cross	3	0.11	0.955	2.56	0.089
R <sup>2</sup>		0.577		0.832	
X <sub>1</sub>	4	0.01	0.913	4.51	0.049
X <sub>2</sub>	4	4.09	0.059	70.01	<0.001
X <sub>3</sub>	4	6.02	0.025	0.25	0.626

<sup>1)</sup> Mill speed (rpm), Separator reverse wheel speed (rpm), Air classifier reverse wheel speed (rpm).

**조회분 함량**

기류식 분쇄기를 이용한 분쇄 조건과 공기분급 조건에 따른 각 분획의 조회분 함량은 Table 2과 같고, 반응표면 회귀식은 Table 3과 같으며, 다중회귀분석결과는 Table 5와 같다. 분급 비율의 R<sup>2</sup>는 미분 분급물은 0.810, 조분 분급물은 0.800로 비교적 높은 상관관계를 보여주며 설정한 모델 식으로 결과를 예측할 수 있었다. 또한, 미분 분급물의 경우 MS, SRWS, ARWS 모두 높은 유의성을 나타내 조회분 함량에 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다(P<0.01). 조분 분급물은 MS(P<0.01), SRWS(P<0.01), ARWS(P<0.05)가 높은 유의성을 나타냈다. 조회분 함량은 미분 분급물의 경우 MS와 ARWS가 증가할수록 높아지는 경향을 보였으며, SRWS가 증가할수록 낮아졌고, 조분 분급물의 경우 SRWS와 ARWS가 증가할수록 높아졌으나, MS가 높아질수록 감소하였다(Fig. 2). 이는 ARWS가 높아질수록 회분은 농축되고 주로 미분획으로 회수된다는 Ku et al.(1998)의 결과와 일치하였다.

미분 분급물의 조회분 함량(4.08-4.79%)이 조분 분급물의 조회분 함량(3.51-4.24%)보다 높게 나타났지만, 큰 차이를 보이지는 않았다. Choi et al.(1994)의 참깨박 공기분급의 분획 연구 결과 회분 함량이 미분 분급물은 12.51%였고 조분 분급물이 11.63%로 거의 분리가 되지 않아 본 연구 결과와 일치하였다. Park et al.(1993)은 무기질은 대부분 단백질과 결합한 상태로 존재하며 단백질이 회수되는 분획으로 농축되었다고 설명하였고, Park et al.(1993)은 phytic acid와 이를 구성하는 Phosphorus가 이 분획에서 많이 회수되었기 때문이라고 설명하였는데, 본 실험의 각 분획물의 Phosphorus함량을 분석하여 동일한 결과 확인이 필요할 것으로 사료된다.

**조지방 함량**

기류식 분쇄기를 이용한 분쇄 조건과 공기분급 조건에 따른 각 분획의 조지방 함량은 Table 2와 같고, 반응표면

**Table 5. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear, quadratic terms and interaction effects on response variables of crude ash.**

Source	Degree of freedom	Fine fraction		Coarse fraction	
		F value	Pr>F	F value	Pr>F
Model	9	8.04	<0.001	7.30	<0.001
Liner	3	18.54	<0.001	18.01	<0.001
Quadratic	3	4.06	0.024	3.58	0.036
Cross	3	1.51	0.247	0.30	0.826
R <sup>2</sup>		0.810		0.800	
X <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	4	16.77	0.001	16.53	0.001
X <sub>2</sub>	4	27.30	<0.001	32.26	<0.001
X <sub>3</sub>	4	11.54	0.003	5.24	0.035

<sup>1)</sup> Mill speed (rpm), Separator reverse wheel speed (rpm), Air classifier reverse wheel speed (rpm).

회귀식은 Table 3과 같으며, 다중회귀분석결과는 Table 6과 같다. 공정 조건에 따른 미분 분급물 조지방 함량의 R<sup>2</sup>는 0.818로 적합하였으나, 조분 분급물의 조지방 함량은 0.487로 반응표면 회귀 모델이 적합하지 않았다. MS, SRWS, ARWS 모두 미분 분급물의 조지방 함량에 높은 유의성을 주는 것으로 조사되었다(P<0.01). MS, SRWS, ARWS가 증가할 경우 미분 분급물의 조지방 함량이 증가하는 것으로 나타났으며, 조분 분급물의 경우 MS가 증가할수록 높게 나타났(Fig. 2). 이는 입자 크기가 작을수록 지방 함량이 증가한다는 것을 의미 하며(Vose et al., 1976), 미분 분획에 지방함량이 높고(Ku et al., 1998), ARWS가 증가할수록 지방 함량이 높아진다는 여러 연구 결과(Park et al., 1995; Park et al., 1993)와 일치하였다.

미분 분급물의 조지방 함량(5.43-6.00%)도 조분 분급물의 조지방 함량(4.56-5.05%)보다 높게 나타났지만, 조회분과 마찬가지로 높은 차이를 나타내지 않았다. Park et al.(1993)에 따르면 미강의 지방의 경우도 회분과 마찬가지로 대부분 단백질과 결합되어 존재한다고 설명하였으며,

**Table 6. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear, quadratic terms and interaction effects on response variables of crude fat.**

Source	Degree of freedom	Fine fraction		Coarse fraction	
		F value	Pr>F	F value	Pr>F
Model	9	8.51	<0.001	1.79	0.144
Liner	3	15.21	<0.001	2.90	0.065
Quadratic	3	9.23	0.001	1.49	0.253
Cross	3	1.10	0.375	0.99	0.421
R <sup>2</sup>		0.818		0.487	
X <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	4	10.09	0.006	8.31	0.010
X <sub>2</sub>	4	12.46	0.003	0.29	0.599
X <sub>3</sub>	4	23.08	<0.001	0.10	0.761

<sup>1)</sup> Mill speed (rpm), Separator reverse wheel speed (rpm), Air classifier reverse wheel speed (rpm).

**Table 7. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear, quadratic terms and interaction effects on response variables of total starch.**

Source	Degree of freedom	Fine fraction		Coarse fraction	
		F value	Pr>F	F value	Pr>F
Model	9	11.88	<0.001	7.14	<0.001
Liner	3	27.07	<0.001	13.15	<0.001
Quadratic	3	1.80	0.186	5.09	0.002
Cross	3	6.79	0.003	3.16	0.033
R <sup>2</sup>		0.863		0.800	
X <sub>1</sub>	4	0.94	0.345	3.05	0.099
X <sub>2</sub>	4	63.46	<0.001	15.46	0.001
X <sub>3</sub>	4	16.81	0.001	20.95	<0.001

<sup>1)</sup> Mill speed (rpm), Separator reverse wheel speed (rpm), Air classifier reverse wheel speed (rpm).

밀기울의 조지방 함량도 미분 분급물과 조분 분급물의 차이가 크지 않은 것으로 사료된다.

### 총 전분 함량

기류식 분쇄기를 이용한 분쇄 조건과 공기분급 조건에 따른 각 분획의 총 전분 함량은 Table 2와 같고, 반응표면 회귀식은 Table 3과 같으며, 다중회귀분석결과는 Table 7과 같다. 공정 조건에 따른 미분 분급물 및 조분 분급물의 총 전분 함량의 R<sup>2</sup>는 각각 0.863과 0.800으로 비교적 모델에 적합하였다. SRWS와 ARWS 모두 미분 분급물 및 조분 분급물에 높은 영향을 주는 것으로 조사되었다( $P<0.01$ ). 총 전분 함량은 미분 분급물의 경우 SRWS가 증가할수록 증가하며 ARWS가 증가할수록 감소하였고, 조분 분급물의 경우 SRWS가 높을 경우 증가하였고 ARWS 증가할수록 감소하였다(Fig. 3).

미분 분급물의 총 전분 함량(22.47-30.94%)은 조분 분급물의 총 전분 함량(9.35-16.83%)보다 높았다. 기존 공기분급을 통한 전분 분리의 연구사례(Park et al., 1995; Ku et al., 1998)에서 비교적 미분쇄가 용이한 동부와 찹쌀을 초미 분쇄 후 분급 하였고, 이때 전분은 주로 조분 분획으로

분급되었는데 이때 미분 분급물의 ARWS와 입자 크기는 각각 9,000-15,000 rpm에 3.43-4.53  $\mu\text{m}$  그리고, 15,000-20,000 rpm에 7.50-23.13  $\mu\text{m}$  이었다. Wu et al.(2003)의 연구 결과에 따르면 미분 분급물의 입자 크기가 30  $\mu\text{m}$  이상일 경우 조분 분급물의 전분 함량과 유사한 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 밀기울의 ARWS가 200-600 rpm이었으며, 미분 분급물의 평균입자크기는 37.55-129.2  $\mu\text{m}$ 으로 작은 입자의 전분은 미분 분급물로 분획되고, 상대적으로 큰 입자의 전분이 미분 분획으로 분급되지 못하고 조분 분획으로 분급된 것으로 판단된다.

## 요 약

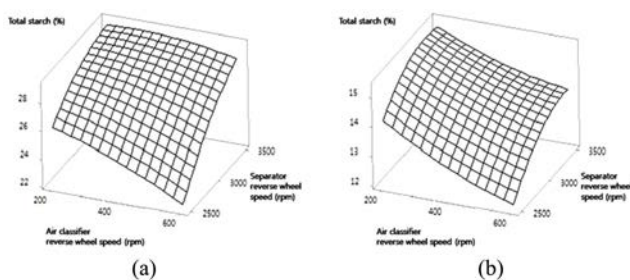
본 연구는 밀기울을 초미 분쇄기와 공기분급을 동시에 수행하는 설비를 사용하여 분쇄기 회전속도(MS) 3,800, 4,800, 5,800 rpm, 분리기 회전속도(SRWS) 2,500, 3,000, 3,500 rpm으로 분쇄하고, 공기분급기 회전속도(ARWS) 200, 400, 600 rpm으로 분쇄된 밀기울을 공기분급 후 각 분급물의 조성 성분을 살펴보았다. 완전요인 실험계획에 의하여 획득한 데이터는 반응표면 회귀 분석법으로 통계처리 후 각 조성분에 영향을 미치는 공정 변수를 살펴보았다. 조단백질 함량은 조분 분급물의 경우 11.87-14.08%로 조사되었다. 또한, MS( $P<0.05$ )와 ARWS( $P<0.01$ )에 유의적으로 영향을 받았다. 조회분 함량의 경우 미분 분급물은 4.08-4.79%였고, 조분 분급물은 3.51-4.24%로 조사되었다. 미분 분급물은 MS, SRWS, ARWS 모두 유의적인 영향을 나타냈다( $P<0.01$ ). 조분 분급물은 MS( $P<0.01$ ), SRWS( $P<0.01$ ), ARWS( $P<0.05$ )의 영향을 받았다. 조지방 함량은 미분 분급물의 경우 4.56-5.05%로 조사되었고, MS, SRWS, ARWS에 높은 유의성을 나타냈다( $P<0.01$ ). 총 전분 함량의 경우 미분 분급물은 22.47-30.94%였으며, 조분 분급물은 9.35-16.83%로 조사되었고, 미분 분급물과 조분 분급물 모두 SRWS와 ARWS에 유의적으로 높은 영향을 주는 것으로 조사되었다( $P<0.01$ ). 본 연구를 통하여 밀기울의 초미분쇄 공기분급 공정변수와 분급물의 구성성분에 대한 연관성을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업(과제번호: 112117-02-SB010)의 지원에 의한 연구결과 일부로 이에 감사 드립니다.

## References

Ang JF, Miller WB. 1991. Multiple functions of powdered cellulose as a food ingredient. Cereal Food World. 36: 558.



**Fig. 3. Response surface plot of total starch content in fine (a) and coarse (b) fraction as input function of mill speed and air classifier reverse wheel speed at constant mill speed (4,800 rpm).**

- Anotoine C, Lullien-Pellerin V, Abecassis J, Rouau X. 2002. Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sci. Aliment.* 22: 545-556.
- AOAC: Official Methods of Analysis of AOAC. 2000. 2000. 17<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C. USA.
- Bass EJ. 1988. Wheat flour milling. In *Wheat: Chemistry and Technology*, Pomeranz Y.(ed). AACC, Inc, St. Paul, MN, Vol. II.
- Choi KS, Im MH. 1994. Nutritional quality of air classified sesame seed press cake fractions. Yeungnam university, Korea. 13: 105-115.
- Han JY, Khan K. 1990. Physicochemical studies of pin-milled and air classified dry edible bean fractions. *Cereal Chem.* 67: 384.
- Johnes DB. 1931. Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of proteins. *USDA Circ.* No., 183, 1-21.
- Kamal-Eldin A, Lærke HN, Kundsén KE, Lampi AM, Piironen V, Adlercreutz H, Katina K, Poutanen K, Aman P. 2009. Physical, microscopic and chemical characterization of industrial rye and wheat brans from the nordic countries. *Food Nutr. Res.* 53: 1-11.
- Kang WS, Choi SG. 2001a. Effect of the grindability on grinding condition in liquorice milling using turbo mill. *J. Biosystems Eng.* 6: 220-225.
- Kang WS, Choi SG. 2001b. Effect of vane shape on air pressure in air fluid mill for food processing. *J. Biosystems Eng.* 6: 245-250.
- Klumpar IV, Currier FN, Ring TA. 1986. Air classifiers. *Chem. Eng.* 93:77-92.
- Kohnhorst. AC. 1989. Production and functional properties of high-protein food ingredients from *Phaseolus vulgaris*. PhD thesis. Michigan State University.
- Kon S, Sanchuk DW, Jackson R, Huxoll CC. 1977. Air classification of bean flour. *J. Food Proc. Preserv.* 1: 69-77.
- Ku KH, Park DJ. 1998. Cowpea starch extraction process using microparticulation/air classification technology. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 118-124.
- Lee JK, Park JA, Choi YH, Kim YW, Ryu GH. 2014. Characteristics of wheat bran classified by ultra-fine grinding and air-classification systems. *Food Eng. Prog.* 18: 186-193.
- Lee KY, Jang TG, Kang WS. 2006. Air classification of buckwheat using impeller of turbo mill. *Food Eng. Prog.* 10: 14-22.
- Lee YT. 2003. Quality characteristics of high-fiber breads added with domestic wheat bran. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 46: 323-328.
- O'Connor J, Perry HJ, Harwood JL. 1992. A comparison of lipase activity in various cereal grains. *J. Cereal Sci.* 16: 153-163.
- Park DJ, Ku KH, Mok C. 1993. Microparticulation/air classification of rice bran: characteristics and application. *Korean J. Food Sci. Technol.* 25: 769.
- Park DJ, Ku KH, Mok CK. 1995. Characteristics of glutinous rice fraction and improvement of yoo-gwa processing by microparticulation/air-classification. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27:1008-1012.
- Piironen V, Lampi AM, Ekholm P, Salmenkallio-Marttilä M, Liukkonen KH. 2009. Micronutrients and phytochemicals in wheat grain. In *Wheat: Chemistry and Technology*. AACC, Inc, St. Paul, MN. 179-120.
- Pomeranz Y. 1988. Chemical composition of kernel structures. In *Wheat: Chemistry and Technology*, Pomeranz Y.(ed). AACC, Inc, St. Paul, MN, Vol. I, 97-117.
- Staniforth DH, Baird IM, Fowler J, Lister RE. 1991. The effect of dietary fibre on upper and lower gastro-intestinal transit times and faecal bulking. *J. Int. Med. Res.* 19: 228-233.
- Tahir MI, Khaliq A, Pasha TN, Bhatti JA. 2002. Comparative evaluation of maize bran, wheat bran and rice bran on milk production of Holstein Friesian cattle. *Int. J. Agr. Biol.* 4: 559-560.
- Vose JR. 1976. Air classification of field peas and horse bean flours: Chemical studies of starch and protein fractions. *Cereal Chem.* 5: 928-936.
- Wilczek M, Bertling J, Hintemann D. 2007. Particle size reduction effectively enhances the intestinal health-promotion ability of an orange insoluble fiber in hamsters. *J. Food Sci.* 72: 618-621.
- Wu YV, Thomas PA. 2003. Protein enrichment of defatted salicornia meal by air classification. *JAOCS.* 80:167-169.
- Wu. YV and Stringfellow C. 1992. Air classification of flours from wheats with varying hardness: protein shifts. *Cereal Chem.* 69: 188-191.