

발간등록번호

11-1543000-000816-01

제분부산물의 영양성 증대를 위한 가공기술 개발과 이를
활용한 고부가가치 식품 소재의 상품화

(Development of milling by-products processing technology
for improved nutrition and commercialization of the
technology in value-added food)

동아원(주)

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “제분 부산물의 영양성 증대를 위한 가공 기술 개발과 이를 활용한 고부가가치 식품소재의 상품화에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2015 년 1 월 16 일

주관연구기관명 : 동아원(주)
주관연구책임자 : 김 영 화
세부연구책임자 : 김 영 화
연 구 원 : 노 연 옥
연 구 원 : 최 용 현
연 구 원 : 이 재 강
연 구 원 : 김 영 환
연 구 원 : 안 은 미
연 구 원 : 전 병 옥
연 구 원 : 박 진 아
연 구 원 : 금 혜 임

요 약 문

I. 제 목

제분부산물의 영양성 증대를 위한 가공기술 개발과 이를 활용한 고부가가치 식품 소재의 상품화

II. 연구개발의 목적 및 필요성

제분 부산물로 생산되는 밀기울과 배아는 식이섬유, 비타민, 미네랄 등이 풍부하며, 기능성이 인정되는 페놀성 화합물과 기능성 다당류가 풍부하지만, 식품 소재로서의 가치는 인정받지 못하고 있다. 따라서, 제분부산물의 풍부한 영양성을 활용하고, 기능성을 향상시킬 수 있으며, 식품 소재로서의 가치를 향상시켜 시장 진입이 가능한 기술을 개발한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 밀기울 가공기술 개발

제분 부산물인 밀기울은 식품 소재로서 영양성과 기능성이 우수한 장점을 가지고 있으나, 특유의 이취와 거칠고 질긴 조직감, 미생물 오염 등의 단점으로 인해 식품으로서 용도가 제한적이다. 그러므로 밀기울의 장점을 부각시켜 식이섬유, 미네랄, 비타민 등의 영양성을 높이는 공정과 단점을 개선할 수 있는 가공 공정을 개발하여 부산물로서 밀기울의 부가가치를 높인다.

2. 대량생산 체계 구축

밀기울 가공 기술의 대량 생산 공정을 개발하고 파일럿 설비를 설치, 공정을 최적화하여 빠른 산업화를 준비한다.

3. 영양성 규명

개발 소재에 대한 영양성을 분석하고, 식품 안전성과 안정성을 확보한다.

4. 개발 소재의 응용법 연구 및 제품 개발

개발 소재의 성공적인 산업화를 위하여 다양한 응용법을 연구하고, 이를 원료로 상품성을 갖춘 제품을 개발한다.

5. 산업화

개발 소재는 다양한 식품의 원료로 사용할 수 있으며, 이를 이용한 소비자용 완제품을 생산하여 판매할 수 있도록 유통 및 판매에 필요한 마케팅 전략을 수립하여 산업화를 추진한다.

IV. 연구개발결과

1. 밀기울의 영양성 증대 가공기술 개발

가. 밀기울 가공 기술 개발(WBF-45) : 밀기울의 분쇄 효율을 높이고, 특유의 이취와 미생물을 저감시키며, 다양한 식품에 거친 이물감 없이 적용할 수 있는 밀기울 가공 기술.

나. 식이섬유 함량 증대기술 개발(WBF-60, WBF-70) : 밀기울로부터 식이섬유 함량을 높여 함량이 각각 60%, 70%인 밀기울을 가공하는 기술이며, WBF-70은 고시형 기능성 원료인 ‘밀 식이섬유’에 해당됨.

다. Bran Layer Separator 시제품 개발 - 밀기울로부터 식이섬유 함량이 높은 부분을 분리할 수 있는 분리기 개발.

라. 미네랄 함량 증대 기술 개발 - Fe, Mn 등의 미네랄 함량이 높은 밀기울 부분을 분리하라는 기술 개발.

마. 향산화능, 수용성 아라비노자일란 함량 증대 기술 개발 - 기능성을 향상시키기 위해 밀기울의 향산화능 및 페놀성 화합물을 증대하고, 기능성 다당류에 해당하는 수용성 아라비노자일란 함량을 향상시키는 기술을 개발.

2. 가공 기술의 대량 생산 공정 개발

가. WBF-45 대량생산 공정 개발

나. WBF-70 대량생산 공정 개발

다. 수용성 아라비노자일란 함량 증대 밀기울 대량생산 공정 개발

3. 개발 소재 응용 제품

가. 밀기울 식이섬유(WBF-45) 소재 상품화(애드업™)

나. WBF-45 응용 제품으로 고식이섬유 건면, 프리미엄 통밀가루, 스틱형 분말 차류인 가벼우리™ 등을 개발하였으며, 제과제빵 응용법을 연구하여 다양한 식품에 이용할 수 있게 하였다..

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 산업화 및 계획

가. 기술 실시 - WBF-45 가공 기술을 활용한 고부가가치 밀기울의 산업화

나. 향후 계획 - WBF-70, 수용성 아라비노자일란 함량이 높은 밀기울의 산업화와 다양한 응용제품을 개발하여, 국내 및 해외(중국, 일본) 수출 추진

2. 지적 재산권 확보

가. 특허 1건 등록 - 밀기울을 포함하는 식품 조성물 제조방법 (제 2013-0070051호)

나. 특허 출원

출원명	출원번호	출원일
밀기울 분쇄 및 분급 처리방법	제2013-016612	2013.12.23
수용성 아라비노자일란 및 식이섬유 함량이 높은 밀기울 가공방법	제2014-0168152	2014.11.28
밀기울의 고압균질처리에 따른 항산화성 활성화와 증강을 위한 가공방법	제2014-0168153	2014.11.28

3. 학술 발표

가. 국내 학술등재지 논문 발표

(1) 고압균질처리에 따른 산지별 밀기울의 이화학적 특성(Physicochemical properties of wheat bran in different areas prepared by a high-pressure homogenizer process), 한국식품과학회, 2014, 46:404-409

(2) 초미분쇄 공기분급 시스템으로 분리한 밀기울 분급물의 특성(Characteristics of wheat bran classified by ultra-fine grinding and air-classification system), 산업식품공학회, 2014, 18:186-193

(3) 분쇄 공기분급 공정조건에 따른 밀기울 분급물의 특성(Characteristics of components of wheat bran fractions at various grinding and air classification conditions). 산업식품공학회, 2014, 18:1-7

(4) 밀기울의 고압균질처리에 따른 항산화능 특성, 산업식품공학회 게재 결정

나. 국내외 학술대회 발표 성과

(1) Physicochemical properties of wheat bran in different areas prepared by a high-pressure homogenizer process. 2014.08. 한국식품과학회(광주)

(2) Characteristics of wheat bran with ultra-fine grinding and repeated air-classification process. 2014. 10. 한국식품영양과학회(대전)

SUMMARY

I . Title

Development of Milling By-products Processing Technology for Improved Nutrition and Commercialization of the Technology in Value-added Food

II. Purpose and Necessity of the Research and Development

Wheat bran and germ, which are the flour milling byproducts, are rich in dietary fiber, vitamin and minerals as well as functional phenolic compounds and functional carbohydrates, but their value as food ingredients are not sufficiently recognized. Therefore, this study develops the technology that enables the use of abundant nutrition of milling byproducts and the improvement of their functionality and values suitable for marketable food ingredients.

III. Contents and Scope of the Research and Development

1. Development of the wheat bran processing technology

The milling byproduct wheat bran has excellent nutrition and functionality as a food ingredient, but its use as food is limited because of its unique smell, coarse and tough texture and the risk of microbial contamination. This study highlights the advantages of wheat bran, and develops the processes that improve the dietary fiber, mineral and vitamin and address the disadvantages to improve the added value of the wheat bran as a byproduct.

2. Construction of the mass production system

This study develops the mass production process for wheat bran processing technology and optimizes the process by installing a pilot system to prepare for quick commercialization.

3. Nutritional analysis

This study analyzes the nutritional characteristics of the developed ingredient and ensures its food safety and stability.

4. Research for the ingredient application and product development

This study examines diverse applications for successful commercialization of the developed ingredient, and develops the products that have sufficient marketability.

5. Commercialization

The developed ingredient can be used for diverse foods. The marketing strategy for distribution and sales is established to enable the production and sales of finished goods for consumers.

IV. Results of the Research and Development

1. Development of the wheat bran processing technology for improving its nutrition
 - a. Development of the wheat bran processing technology (WBF-45): The technology improves the grinding efficiency, reduces the unique smell and microorganisms, removes the coarse mouth feel from foods.
 - b. Development of the dietary fiber content improvement technology (WBF-60 and WBF-70): This technology increases the dietary fiber in the wheat bran to 60% and 70%, respectively. WBF-70 is a listed functional ingredient - wheat dietary fiber.
 - c. Development of the bran layer separator prototype - This prototype can separate the portion that has a high dietary fiber content from the wheat bran.
 - d. Development of the high mineral content technology - A technology that can separate the portion that has high mineral contents (including Fe and Mn) from the wheat bran.
 - e. Development of the antioxidative activity and water-soluble arabinoxylan content improvement technology - The antioxidative activity and phenolic compounds of wheat bran are strengthened to improve the functionality, and the water-soluble arabinoxylan content, which is a functional polysaccharide, is increased.
2. Development of the mass production process using the aforementioned processing technology
 - a. Development of the mass production process for WBF-45
 - b. Development of the mass production process for WBF-70
 - c. Development of the mass production process for wheat bran with improved water-soluble arabinoxylan content
3. Application of the developed ingredient to the products
 - a. Commercialization of wheat bran dietary fiber (WBF-45) (Ad-up™)
 - b. As WBF-45 products, high-dietary-fiber dry noodle, premium whole wheat flour and stick-type powder tea Gabyeouri™ were developed, and the baking recipes were devised to use the products in diverse foods.

V. Research results and Application plan

1. Commercialization plan

a. Application of technology - Commercialization of WBF-45(Ad-up™) in value-add food ingredients market

b. Application plan - Commercialization of WBF-70 and wheat bran with high water-soluble arabinoxylan content, and development of diverse applications for domestic use and export (to China and Japan)

2. Intellectual property right

a. A patent registered - A method of producing the food ingredient that contains wheat bran (No. 2013-0070051)

b. Patent application

Application name	Application Number	Application date
A method of grinding and classifying wheat bran	2013-016612	12.23.2013
A method of processing the wheat bran with high water-soluble arabinoxylan and dietary fiber content	2014-0168152	11.28.2014
A method of increasing the antioxidative activity of wheat bran using the high-pressure homogenizer process	2014-0168153	11.28.2014

3. Academic publication

a. Academic journal in Korea

(1) Physicochemical properties of wheat bran in different areas prepared by a high-pressure homogenizer process, Korean Society of Food Science and Technology, 2014, 46:404-409

(2) Characteristics of wheat bran classified by ultra-fine grinding and air-classification system, Korean Society for Food Engineering, 2014, 18:186-193

(3) Characteristics of components of wheat bran fractions at various grinding and air classification conditions, Korean Society for Food Engineering, 2014, 18:1-7

(4) Antioxidative characteristic of wheat bran due to the high-pressure homogenizer process, determined to be included in the Korean Society for Food Engineering Journal

b. Academic conference

(1) Physicochemical properties of wheat bran in different areas prepared by a high-pressure homogenizer process. August 2014, Korean Society of Food Science and Technology (Gwangju)

(2) Characteristics of wheat bran with ultra-fine grinding and repeated air-classification process, October 2014, Korean Society of Food Science and Nutrition (Daejeon)

CONTENTS

Chapter 1	Overview of Research & Development Project	12
Section 1.	Object of the R&D	12
Section 2.	Necessity of the R&D	12
Section 3.	Contents and Scope of the R&D	16
Chapter 2	Present state of R&D in Domestic and Overseas	18
Section 1.	Present state of R&D in Domestic	18
Section 2.	Present state of R&D in Overseas	19
Chapter 3	Major Research and Results Obtained	20
Section 1.	Development of the wheat bran processing technology for improving its nutrition	20
1.	Development of the wheat bran processing technology(WBF-45)	20
2.	Development of the dietary fiber content improvement technology (WBF-60)	33
3.	Development of the 70% dietary fiber content process	44
4.	Development of the Bran Layer Separator prototype	47
5.	Development of the high mineral content technology	51
6.	Development of the antioxidant activity improvement technology	64
7.	Development of the water-soluble arabinoxylan improvement technology	74
Section 2.	Development of the mass production process	80
1.	Development of the mass production process for WBF-45	80
2.	Development of the mass production process for WBF-70	81
3.	Development of the mass production process for wheat bran with improved water-soluble arabinoxylan content	83
Section 3	Application of the developed ingredients to the products	84
1.	Ingredients and application study	84
2.	Products development	95
Chapter 4	Achievement of research purpose and its contribution to the related research field	103
Chapter 5	The results of research and application plan of the results	107

Chapter 6	Scientific and technological information obtained from the study process -----	119
Chapter 7	References -----	126

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	12
제 1 절	연구개발의 목적	12
제 2 절	연구개발의 필요성	12
제 3 절	연구개발 내용 및 범위	16
제 2 장	국내외 기술개발 현황	18
제 1 절	국내 기술개발 현황	18
제 2 절	국외 기술개발 현황	19
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	20
제 1 절	밀기울의 영양성 증대 가공기술 개발	20
1.	밀기울 가공기술 개발(WBF-45)	20
2.	식이섬유 함량 증대기술 개발(WBF-60)	33
3.	식이섬유 함량 70%(WBF-70) 공정 개발	44
4.	Bran Layer Separator 시제품 개발	47
5.	미네랄 함량 증대 기술 개발	51
6.	항산화능 증대 가공기술 개발	64
7.	수용성 아라비노자일란 함량 증대기술 개발	74
제 2 절	가공 기술의 대량생산 공정 개발	80
1.	WBF-45 대량생산 공정 개발	80
2.	WBF-70 대량생산 공정 개발	81
3.	수용성 아라비노자일란 증대 밀기울 대량생산 공정 개발	83
제 3 절	개발 소재 응용제품	84
1.	개발 소재 및 응용 연구	84
2.	응용제품 개발	95
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	103
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	107
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	119
제 7 장	참고문헌	126

제 1 장 연구개발 과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

밀(학명: *Triticum* spp.)은 벼과의 한해살이풀로 소맥(小麥)이라고도 하며 전 세계적으로 재배되는 식량 작물이다. 밀은 옥수수, 쌀과 함께 세계 3위의 생산량을 차지하며, 전 세계 인구의 약 30%가 밀을 주식으로 한다. 국내에서도 밀은 쌀 다음으로 많이 소비하는 곡물로써 1인당 연간 소비량은 약 35kg에 달한다.

밀은 밀가루로 가공되어 다양한 조리법을 통해 빵, 면, 과자 등의 식품에 이용되는데, 밀 단백질은 물과 반죽되었을 때, 글루텐을 형성하기 때문에 빵이나 면 등을 만드는데 적합한 곡물이다. 밀의 주요 구성 성분은 글루텐을 형성하는 단백질과 전분질인 탄수화물로 이루어져 있으며, 그 외에 철, 칼륨, 마그네슘 등의 무기질과 비타민B6, 나이아신, 티아민, 엽산, 리보플라빈, 판토텐산 등의 비타민이 풍부하고, 비타민E와 비타민K도 영양학적으로 가치 있는 함량을 보인다.

그러나, 밀은 밀가루로 가공되었을 때 영양학적인 손실이 나타나는데, 이는 제분 시 영양 성분이 풍부한 부분인 밀기울과 배아가 빠져나가기 때문이다. 밀가루는 밀 곡물의 배유 부분만으로 이루어지기 때문에 양질의 탄수화물(전분질)과 글루텐을 형성하는 단백질로 이루어지지만, 미네랄과 비타민 등의 영양성은 낮을 수 밖에 없다. 반면, 제분 공정에서 분리되는 밀기울과 배아는 식이섬유, 비타민, 미네랄 등이 풍부하며, 기능성이 인정되는 페놀성 화합물과 기능성 다당류가 풍부하다.

제분 부산물인 밀기울과 배아는 일부 식품의 소재로도 이용되지만, 대부분 사료용으로 소비되어 영양적인 가치를 살리지 못하고 있는 실정이다.

이에 제분 부산물의 풍부한 영양학적 가치를 활용하고, 기능성을 향상시킬 수 있는 가공 기술을 개발하여 부가가치가 높은 식품 소재로 활용하는 것이 필요하다.

제 2 절 연구개발의 필요성

밀은 그림 1)과 같이 여러 겹의 외피가 내부의 배유를 둘러싸고 있다. 외피는 밀 종실의 약 14.5%를 함유하고 있으며, 제분할 경우 밀기울에 해당하는 부분이다. 내부의 배유는 밀 전체의 약 83%를 차지하고, 이것이 분쇄되어 밀가루가 된다. 배아는 밀 전체의 약 2.5%를 차지한다.

제분 공정은 원료인 밀로부터 밀가루를 생산하는 과정으로, 한꺼번에 밀을 분쇄하여 가루를 채취하는 것이 아닌 단계식 제분 방법을 사용한다. 제분 공정은 그림 2)와 같이 일련의 조쇄, 분류, 순화, 분쇄, 체질 및 포장 공정으로 이루어지며, 이 과정에서 여러 종류의 밀가루가 생산되고, 부수적으로 밀기울, 배아, 말분 등의 부산물이 분리된다.

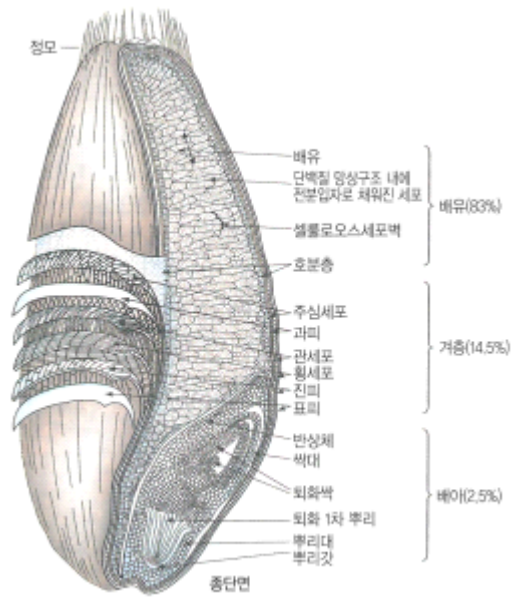


그림 1) 밀의 구조(출처 : 밀과 밀가루, 한국제분협회)

구분	구성비 (%)	단백질 (%)	지방질 (%)	회분 (%)	탄수화물(%)			
					조섬유	Pentosan	녹말	
밀(전립)	100.0	14.4	1.8	1.7	2.2	5.0	74.9	
밀기울	상피	4.0	3.6	0.4	1.4	32.0	35.0	27.6
	교차층	0.9	10.0	0.2	13.0	23.0	30.0	23.8
	중피	0.7	13.7	0.1	15.0	11.0	17.0	43.2
	호분층	8.9	32.0	7.0	8.8	6.0	30.0	16.2
씨눈(배아)	2.5	25.4	12.3	4.5	2.5	5.3	50.0	
씨젓(배유)	83.0	12.8	1.0	0.4	0.3	3.5	82.0	

표 1) 밀알 각층의 화학적 조성(건물 기준) (출처 : 밀과 밀가루(한국제분협회) 자료를 일부 수정)

밀기울은 소맥피라고도 하며, 대부분이 종자의 껍질과 호분층이지만, 소량의 배아를 포함하고 있다. 전체 밀에서 15% 내외를 차지하는 밀기울은 조단백질 함량이 약 16%, 지방질은 약 4%, 식이섬유는 약 45%이며 무기질과 비타민이 풍부하여 영양적 가치가 높다. 많은 연구 결과, 밀기울 무기질과 비타민뿐만 아니라 항산화 화합물, 리그난 등 다양한 생리활성 화합물이 있어, 다양한 기능성이 밝혀지고 있다.

밀배아는 밀종자의 약 2.5%를 차지하고 있으며, 제분 시에 조배아로 분리된다. 배아는 단백질, 지방, 각종 효소, 비타민, 무기질 등이 풍부하고 특히 비타민E의 급원으로 중요하다. 배아는 사료용뿐만 아니라 건강식품용 원료로 효소 불활성화와 가열 처리를 하여 사용한다. 또한 배아에서 추출한 배아유는 캡슐화 하여 상품으로 판매한다.

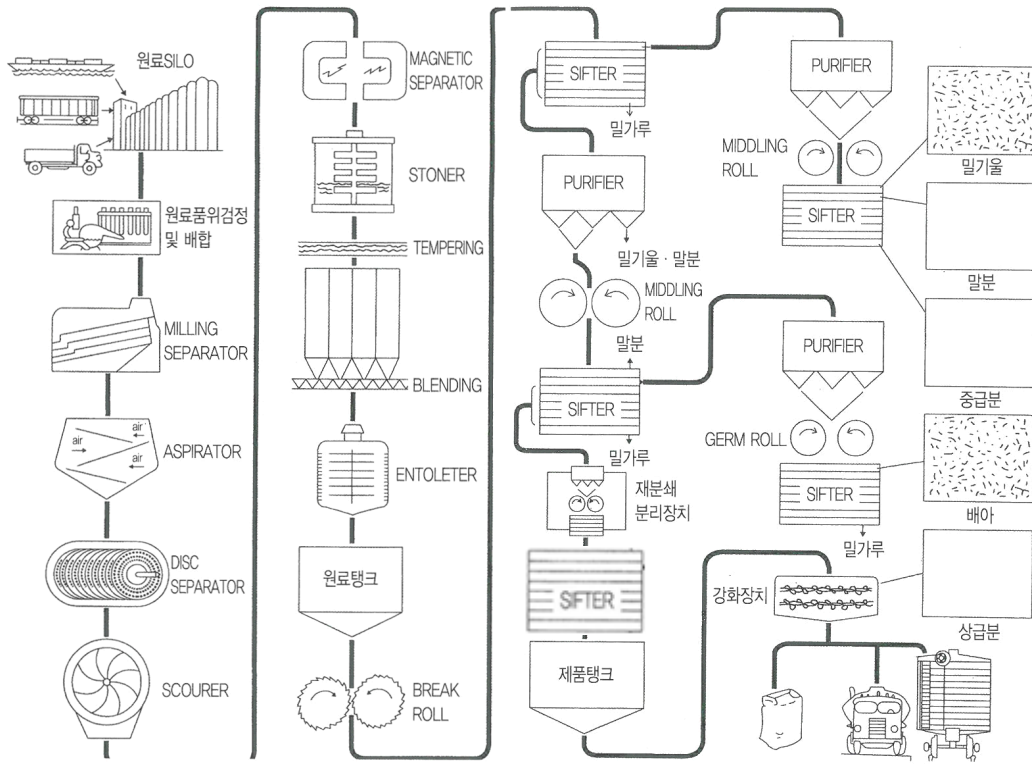


그림 2) 제분 공정도(출처 : 밀과 밀가루, 한국제분협회)



그림 3) 밀기울(좌)과 밀배아(우)

2013년 기준으로 국내에는 총 9개의 제분업체가 총 12개의 공장을 가동하고 있으며, 연간 밀 가공량은 수입밀 약 220만 톤, 국산밀 약 2.7만 톤으로 전체 약 223만 톤으로 집계되었다. 2013년 밀 가공량을 기준으로 부산물의 생산량을 추정하면, 밀기울 약 513,000톤, 밀배아는 약 45,000톤으로 볼 수 있다. 그러나 현재 밀기울, 밀배아와 같은 제분 부산물은 일부 식용으로 사용되지만, 대부분이 사료 원료로 이용되고 있다. 따라서 영양성과 기능성이 풍부한 밀기울과 밀배아를 식품 소재로 활용할 경우 높은 부가가치 창출과 더불어 국민 식생활 개선에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

이에 부산물의 영양성을 향상시키고, 기능성(고식이섬유, 고영양성, 항산화 기능 등)을 발굴하여 부가가치를 높인 소재로 가공하는 기술 개발이 필요하며, 이를 상업화하여 판매함으로써 경제적 가치를 높일 수 있다.

※ 제분부산물로서 밀기울의 식용 근거

그림 2)에서와 같이 밀기울은 밀가루와 함께 생산되는 부산물로서 여러 단계의 정선 공정을 통해 원료를 전처리하고 위생적인 제분 공정을 거쳐 안전과 위생을 확보한 원료이다. 또한 낮은 수분에서 이루어지는 제분 공정은 미생물에 의한 변질의 우려가 거의 없고, 생산품인 밀가루와 부산물 또한 낮은 수분 함량을 가지고 있어, 상온 유통 조건에서도 1년 이상의 유통기한을 갖는다.

국내 제분 업체에서 생산되는 제분 부산물은 단미사료로서 판매되고 있고, 일부는 식용으로 품목 신고하여 판매되고 있으며, 밀가루 제분 사업을 하는 전 세계 어느 나라에서도 국내와 같이 사료와 식품으로 활용하고 있다. 또한, 밀기울의 식품 원료 사용 가능성에 대하여 식품의약품안전처로부터 식용을 목적으로 생산된 밀기울은 식품 원료로 사용이 가능하다는 의견을 받았다.

• 답변일 2013.06.28. 17:49:48

• 처리결과(답변내용)

민원번호 : 2AA-1306-213269
민원내용 : 불임 참조
처리결과 :

1. 안녕하십니까? 우리처 국민신문고를 방문하여 주셔서 감사합니다. 귀하께서 질의하신 내용에 대하여 아래와 같이 답변 드립니다.

가. 밀기울은 통상적으로 식품의 제조·가공에 사용되는 물질로서 식품의 원료로 사용 가능합니다.

나. 다만, 질의하신 밀기울이 현행 식품공전상 식용을 목적으로 채취, 취급, 가공, 제조 또는 관리되지 아니한 것은 식품의 원료로 사용할 수 없음을 알려드립니다.

2. 이 밖에 답변내용이 미비하거나 궁금한 사항이 있으시면 식품의약품안전처 식품기준과 [redacted]로 연락주시면 성심 성의껏 답변하여 드리도록 하겠습니다.

3. 참고로 우리처 홈페이지(<http://www.mfds.go.kr>) 또는 식품나라 홈페이지(<http://www.foodnara.go.kr>)를 이용하시면 보다 편리하게 식품 관련 정보를 얻으실 수 있습니다. 많은 이용 바랍니다. 좋은 하루 되십시오. 감사합니다.

1. 기술적 측면

대표적인 제분 부산물인 밀기울은 우수한 영양성과 기능성에도 불구하고 질기고 거친 특성과 식품 원료로 사용 시 이물감 때문에 사용이 용이하지 않았다. 특히, 가장 일반적인 밀기울 활용 식품인 통밀가루(또는 전립분)의 경우, 균형 잡힌 영양성 때문에 미국과 유럽에서는 상당히 우수한 식품으로 인정받고 있다. 그러나 국내의 경우 통밀가루는 거친 식감과 이취 때문에 이를 이용한 식품 가공에 어려움이 있었다. 그 대안으로 나온 것이 초미분쇄 기술을 적용한 통밀가루 제조가 있는데, 이는 높은 가공비와 낮은 수율 때문에 대량 생산과 상용화에 어려움이 있다.

또한 밀기울은 그 자체로서 이취와 미생물 오염이 식품 소재로서의 활용을 막는 단점으로 작용하고 있다. 따라서 일차적으로 밀기울을 저 비용으로 이취와 이물감을 저감할 수 있는 기술 개발이 필요하고, 아울러 선식과 같은 용도로 이용하기 위하여 미생물 저감 기술 개발이 요구된다.

최근 해외 학계에서는 밀기울을 소재로 기능성을 갖는 각종 성분을 추출하거나, 향상시키는 연구가 활발하며, 산업계에서도 이러한 연구 결과를 사업화하는 움직임이 많다. 이에 국내에서도 밀기울을 기능성 소재로 활용하기 위한 가공 기술 개발, 즉 식이섬유 함량 증가, 미네랄과 비타민, 특정 영양성분을 증가시키는 기술 개발이 요구되고, 밀기울로부터 기능성을 발굴하는 연구도 필요하다.

2. 사회·경제적 측면

국내 밀 가공량은 연간 약 223만 톤(2013년 기준)이며 이와 관련한 밀 사업 규모(수입밀 수입액, 국산밀 매입액 등)는 약 1조원에 달한다. 223만 톤의 밀 가공을 통해 약 513,000 톤의 밀기울 부산물이 생산되는데 이는 밀 원재료의 약 23%에 해당하는 많은 양이다.

이렇게 많은 양의 제분 부산물은 다양한 영양소와 건강기능적인 잠재력을 갖고 있으나, 현재 대부분이 사료의 원료로 소진된다.

부산물이 사료로 판매되면서 발생하는 매출 규모는 밀가루로 판매되는 매출 규모의 40% 수준으로 매우 낮으며, 부산물을 가공하여 식품 소재로 판매하게 되면 약 2,000억원 규모의 부가 가치를 창출할 수 있다.

또한 밀기울과 같은 부산물을 식품 소재로 적합하게 가공하여 밀가루 식품에 활용할 경우 밀가루의 소비를 줄일 수 있고, 더 나아가 밀의 수입량을 줄이며 국산밀 산업을 활성화할 수 있을 것으로 전망한다.

국내 식이섬유 소재 시장은 폴리텍스트로스, 난소화성말토덱스트린, 셀룰로오스 등이 건강기능식품과 일반 식품에 이용되고 있다. 이러한 소재는 대부분 수입에 의존하고 있으며 식이섬유 시장이 성장함에 따라 수입 규모가 증가하고 있다. 이에 밀기울은 영양적인 측면에서 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스와 같은 식이섬유 함량이 풍부하다. 셀룰로오스는 대표적인 식물성 식이섬유로 배변활동 개선과 저칼로리 등의 기능성을 앞세워 다양한 건강기능식품과 건강 지향적 식품에 이용되고 있다.

밀기울을 활용하여 식이섬유 함량이 높은 소재를 개발하면 수입에 의존하는 식이섬유 소재를 대체할 수 있는 효과적인 대안이 될 것이다.

제 3 절 연구개발 범위 및 내용

본 연구는 높은 영양성과 기능성에도 불구하고 사료의 원료로 저평가되어 소진되고 있는 제분 부산물의 가공 기술을 개발함으로써 국민 식생활 개선과 건강증진 향상에 그 목적을 두고 있다. 본 연구진은 식품 소재로서 밀기울을 다양한 용도로 활용할 수 있는 가공 기술을 개발하고 이의 대량 생산을 통한 산업화를 위하여 1) 밀기울 가공 기술 개발, 2) 대량 생산 체계 구축, 3) 영양성 규명, 4) 개발 소재의 응용법 연구 및 제품 개발, 5) 산업화에 중점을 두고 아래

와 같은 내용을 수행하였다.

1) 밀기울 가공기술 개발

식품 소재로서 부가가치를 높이기 위한 가공 기술과 영양성을 향상시킬 수 있는 공정을 개발한다. 이를 위해서는 밀기울 가공을 위한 다양한 공정을 도입하고 세부 목표로 설정한 식이 섬유, 비타민, 미네랄 함량을 증가시키는 최적 공정을 개발한다.

2) 대량생산 체계 구축

밀기울 가공 기술의 대량 생산 공정을 개발하고 파일럿 설비를 설치, 공정을 최적화하여 빠른 산업화를 준비한다.

3) 영양성 규명

개발 소재에 대한 영양성을 분석하고 식품 안전성과 안정성을 확보한다.

4) 개발 소재의 응용법 연구 및 제품 개발

개발 소재의 성공적인 산업화를 위하여 다양한 응용법을 연구하고 이를 원료로 상품성을 갖춘 제품을 개발한다.

5) 산업화

개발 소재는 다양한 식품의 원료로 사용할 수 있으며, 이를 이용한 소비자용 완제품을 생산하여 판매할 수 있도록 유통 및 판매에 필요한 마케팅 전략을 수립하여 산업화를 추진한다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

1. 국내 제품생산 및 시장현황

가. 제분 부산물 생산 현황

밀기울, 밀배아 등 주요 밀가루 제분 부산물은 국내 9개 제분업체, 12개 공장에서 생산되고 있다. 이는 대부분 사료용이며, 극히 일부분만이 식품용으로 생산된다. 2013년 기준으로 연간 51만 톤 이상의 밀기울이 생산되는 것으로 추정되고 있으며, 밀배아는 극소량이 식품용으로 생산되고 있으나 대부분 따로 분리하지 않고 밀기울에 혼합하여 사료로 판매되고 있다.

나. 밀기울 가공 현황

식품용으로 사용하는 밀기울과 밀배아는 주로 볶음과 분쇄와 같은 단순한 공정만 처리하여 생산한다. 더욱이 이러한 공정은 영양성 증대가 목적이 아니라 풍미 증진을 위한 것이며, 가공 밀기울 시장 규모가 자체가 극히 미약하여 생산량이 매우 적다.

다. 가공 밀기울 또는 밀배아 제품 현황

국산밀 밀기울을 원료로 가공한 밀기울 제품이 온라인으로 판매되고 있고, 시리얼 제조 시 Flake 상태의 밀기울을 가공한 제품이 있다.

2. 국내 기술개발 현황

가. 밀기울 미립자화 연구(2011년, 한국식품연구원, 박동준 외)

미립자화(0.5-9 μ m)한 밀기울과 중력밀가루의 혼합체를 제조하여 이를 빵류에 적용할 경우 식이섬유 함량이 높고 지방 함량이 낮으며 식감이 우수한 제품을 제조할 수 있다. 밀기울의 미립자화를 위하여 해당 연구에서는 여러 종류의 분쇄기를 사용하였고, 분쇄 기간을 길게는 180분을 적용하여 대량 생산과 산업화에 적합하지 않은 단점이 있다.

나. 밀기울 기능성 연구

최근 밀과 밀기울을 소재로 다양한 기능성 연구가 수행되고 있다. 특히, 밀기울을 소재로 많은 연구가 이루어지고 있는데 대표적인 사례는 다음과 같다.

밀기울의 혈중 콜레스테롤 완화 효과(Yoon et al.,1999), 유방암 및 결장암 억제 효과(Cho et al., 2003; Om et al., 1999), 장기능 활성 효과(Choi et al., 2000), 항비만 효과(Jeong et al., 2011), 모발 성장 효과 (Kang et al., 2013), 파골 세포 분화억제 효과(Moon et al., 2013) 등이 연구된 바 있다.

제 2 절 국외 기술개발 현황

1. 국외 제품생산 및 시장 현황

미국, 일본, 유럽 등지에서 밀기울을 식품 소재화한 제품들이 출시되어 있으며, 특히 일반 밀기울이 아닌 영양성이 높은 밀기울 분획을 분리하여 소재화한 제품이 출시되어 있다. 제분 공정 중에서 순수한 밀기울을 채취하여 상품화한 Bran Ace 제품 (일본제분, 일본), 제분 공정 중 에서 순수한 밀기울을 채취하여 상품화한 밀브랜 제품 (일청제분, 일본; ConAgra, 미국), 밀기울로부터 호분층을 분리하여 상품화한 Wheat aleurone 제품 (Horizon Mill, 미국), 밀기울을 비교적 미세하게 분쇄하여 제품화한 Wheat bran concentrate(ConAgra, 미국), 밀기울로부터 호분층을 분리하는 설비와 상품 (Buhler, 스위스) 등이 있다.

이와 같이 밀기울의 부가가치를 높이는 기술이 적용된 제품은 비교적 최근 미국과 일본 등지에서 상품화되고 있으며, 지속적으로 시장을 개척하고 있는 것으로 보인다.

2. 연구개발 결과가 국내·외 기술개발 현황에서 차지하는 위치

미국의 Horizon Mill과 스위스 Buhler의 기술은 밀기울로부터 차별된 영양성을 갖는 호분층 (aleurone layer)를 분리하는 기술과 이를 상품화한 사례이다.

본 연구팀은 밀기울을 식품 소재로서 활용할 수 있는 기본적인 기술을 개발하고 현재 가장 각광받는 영양성분인 식이섬유, 기능성을 갖는 수용성 다당류 등을 증대시키는 기술을 연구 개발함으로써 국외 선행 기술과의 차별성을 갖는다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 밀기울의 영양성 증대 가공기술 개발

1. 밀기울 가공 기술 개발(WBF-45 가공 기술)

가. 개요

밀기울(wheat bran)은 소맥분을 생산하면서 얻게 되는 부산물로, 밀을 제분 시 약 15% 수분으로 생산되며, 외피와 내피, 종피, 히알린층, 호분층과 일부 배유 부분의 전분질로 구성되어 있다. 각각의 층은 서로 다른 구조와 구성 성분으로 이루어져있는데, 외피와 내피는 헤테로자일란(heteroxylan)과 불용성 식이섬유인 셀룰로오스로 구성되어 있고, 종피는 지질 성분이 풍부한 소수성 층으로 구성되어 있다. 호분층(aleurone layer)은 아라비노자일란(arabinoxylan)과 베타글루칸(β -glucan)으로 구성된 두꺼운 세포벽으로, 파이테이트(phytate), 단백질 미량 영양소 등의 생리 활성 화합물을 둘러싸는 세포로 구성되어 있어(Key et al., 1997; Mackeown-Eyssen et al., 1985; Schneeman, 1987; Yang S et al., 1987) 영양적 가치가 매우 높다. 그러나 밀기울은 대부분 사료로 이용되고 있는 실정이다(Staniforth et al., 1991).

현대 사회가 산업화, 도시화, 세계화 되어감에 따라 한국인의 식생활은 점점 간편화, 서구화 되어가고 있다. 또한 식품산업의 발달로 인하여 가공식품, 인스턴트식품, 냉동식품 등의 섭취가 많아지면서 식이섬유의 섭취량은 점차 감소하고 있는 현상을 보이고 있다(Kim et al., 2004). 식이섬유는 그 자체로서 열량이 낮고, 섭취 시 암 예방 효과가 있으며(Rhim et al., 2004), 소장 내용물의 점도를 증가시키고 다른 영양소와 음식물 성분이 확산되는 것을 억제하여 흡수를 조절함으로써 포도당이나 콜레스테롤의 흡수 속도를 억제한다(Lee et al., 2005). 또한 변비 증상을 갖고 있는 사람들이 섭취 시 배변 횟수를 증가시키고 대장 체적 시간을 감소시키며, 변의 부피를 증가시키는 등 변비 증상을 호전 시킬 수 있다(Kim et al., 2006; Evers et al., 1998; Fincher et al., 1986; Pomeranz, 1988; Atwell, 2010).

최근 식품소재의 미세화 연구에 의하면 마이크론 기술과 나노 기술이 사람의 건강을 개선시키기 위한 기능성 식품으로의 큰 잠재성을 보이며(Chen et al., 2006), 고 식이섬유 작물의 입자 크기의 감소는 그 구조와 표면적과 기능성 성질을 변화 시켜 장내 건강 향상에 유리한 효과로 작용하였다고 보고하였다(Chau et al., 2007). 또한, 미세하게 분쇄된 식이섬유를 햄스터에게 섭취 시킬 때 triglyceride, 콜레스테롤과 지방간 흡착을 낮춰주는 효과를 보였으며, 이는 불용성 식이섬유의 물리 화학적 성질과 특성에 입자 크기가 중요한 인자로 작용하였다고 보고하였다(Chou et al., 2008; Wu et al., 2009).

이와 같이 밀기울은 식품 소재로서 고식이섬유 저칼로리, 콜레스테롤의 흡수 조절, 배변 활동 개선 등의 효과가 있으며, 미네랄과 비타민이 풍부하다. 최근의 미세화 연구를 응용하여 밀기울 가공 기술을 개발하여 식품 소재로서의 가치를 높이는 연구가 필요하다.

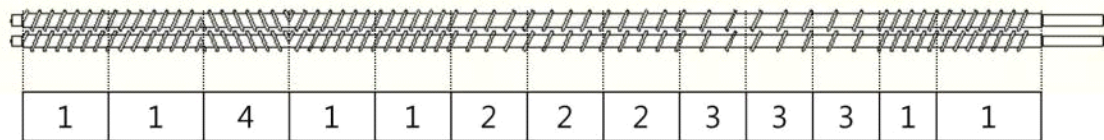
나. 실험재료 및 방법

(1) 실험재료

가공처리를 하지 않은 밀기울 (이하 생 밀기울 이라고 함)과 가열공정을 거친 밀기울의 살균 효과를 확인하기 위하여 단순 가열처리 밀기울 (이하 로스팅 밀기울 이라고 함) 그리고 압출성형 밀기울의 일반세균, 대장균군, 대장균 분석을 실시하였다. 로스팅 밀기울은 150℃에서 3분과 6분을 회전 로스터기를 통하여 가열처리 하였다.

(2) 밀기울 압출성형 공정

피더(Feeder)를 통하여 수분함량 15~25%가 되도록 물과 밀기울을 압출성형기에 투입하고, 압출성형기 바렐의 온도는 60~130℃에서 스크류의 분당 회전속도(RPM)는 200~400으로 압출성형 하였다. 압출 성형된 밀기울 압출성형물은 절삭(Cutting)후 컨베이어 벨트를 통하여 다음 공정으로 이송되며, 압출성형 공정의 스크류 배열은 그림 4)와 같다.



- | | | |
|--------------------|--------------------------|----------------|
| 1. 1/2 Pitch screw | 3. Forward paddle | L/D ratio 23:1 |
| 2. 2/3 Pitch screw | 4. Reverse screw element | Ø : 3.0 cm |

그림 4) 압출성형 공정의 스크류 배열

(3) 기류 분쇄기를 이용한 분쇄 공정

컨베이어 벨트를 통하여 이송된 밀기울 압출성형물은 기류분쇄기의 피더(Feeder)를 통하여 기류분쇄기로 투입 한다. 기류분쇄기 Separator의 분당 회전속도(RPM)는 1,500~2,500 으로 설정하였고, Mill의 분당 회전속도(RPM)는 4,000~6,000으로 압출성형물을 분쇄 하였다.

(4) 입자분석 및 분쇄효율

각 분획의 평균입자 분석은 Laser diffraction particle size analyser(LS I3 320, Beckman Coulter, CA, U.S.A.)를 사용하여 3회씩 반복 실험 하였다. 본 입자분석장치는 입자에 레이저 빛을 조사하면 빛은 투과, 반사, 흡수, 산란되고, 산란된 빛은 다시 반사, 굴절, 회절 현상을 일으키며, 산란된 빛의 세기 및 산란각도가 검출기에 감지되어 측정하는 장비이다. 측정 시 유체는 에탄올을 사용하였으며, 측정 시 초음파 처리를 하여 시료의 분산성을 증가시켰다. 분석 시 에탄올과 시료의 혼합 비율(obscuration)은 11%로 시료에 30초간 레이저를 조사하여 검출되는 산란각도를 측정 후 분석장치 소프트웨어에서 자동으로 계산하였으며, 입자 크기는 0 μm에서 2,000 μm 범위에서 실시하였다.

(5) 미생물 분석

미생물 분석을 위해 밀기울 시료 10g에 멸균생리식염수(0.85% NaCl) 90mL을 혼합하여 균질

화한 원액을 0.85% NaCl 용액으로 100배 희석하여 3M 건조필름배지(3M, USA)에 접종하였다. 35±2℃에서 48±2시간 배양한 후 집락수를 계산하고 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 일반 세균, 대장균군, 대장균수를 산출하였다.

(6) 제면 가공시험 및 평가

생 밀기울, 150℃ 3분 로스팅 밀기울, 압출성형 밀기울을 각각 기류 분쇄 후 제면용 중력 밀가루에 각각 5%, 10%, 15%를 첨가하여 제면 테스트를 실시하였다. 밀가루 혼합분 대비 물 34%, 소금 2% 첨가하여 10분 반죽 후 밀봉하여 1시간 동안 숙성한 다음 제면기를 사용하여 면을 제조 하였다. 제조된 면대와 면 시료는 color meter(Minolta, Japan)으로 색차를 측정하였고, Texture Analyzer(Stable Micro Systems Ltd., UK)를 이용하여 경도를 측정하였다.

(7) 제빵 가공시험 및 평가

생 밀기울, 150℃ 3분 로스팅 밀기울, 압출성형 밀기울을 각각 기류 분쇄 후 제빵용 강력 밀가루에 각각 5%, 10%를 첨가하여 제빵 테스트를 실시하였다. 밀가루 혼합분 대비 물 65%, 생 이스트 3%, 버터 6%, 설탕 6%, 소금 2%, 탈지분유 2%를 넣고 20분간 저속, 중속, 고속 반죽을 실시하여 글루텐을 발현 시킨 후 1시간 20분간 1차 발효를 거쳐 분할, 둥글리기, 성형을 실시한 뒤 1시간 동안 2차 발효 후 26분간 180℃에서 구워 빵을 제조 하였다. 제조한 빵은 60분간 냉각한 후 부피와 색차를 측정하였다.

(8) 쿠키 가공시험 및 평가

생 밀기울, 150℃ 3분 로스팅 밀기울, 압출성형 밀기울을 각각 기류 분쇄 후 제과용 박력 밀가루에 각각 5%, 10%, 15%를 첨가하여 테스트를 실시하였다. 제조방법은 버터와 설탕을 고속으로 4분 동안 혼합 한 후, 전란(27℃)을 2~3회에 나누어 투입하여 고속으로 2분간 혼합하였다. 체에 한번 내린 밀가루 혼합분과 베이킹파우더를 투입하여 1분 간 혼합한 반죽을 1cm로 밀어 펴준 후 지름 5cm 원형 쿠키틀을 이용하여 성형하였다. 윗불 190℃ 밑불 180℃로 예열된 오븐에 밀 철판 한 장을 겹친 다음 13분간 구워준 후 상온에서 30분간 냉각시켜서 시료로 사용한다. 가공시험 원재료 배합비는 표 2)과 같다.

원재료명	쿠키	제빵	제면
	baker's %		
밀가루 혼합분	100	100	100
소금	-	2	2
계란	20	-	-
설탕	50	6	-
버터	50	6	-
베이킹파우더	2	-	-
생이스트	-	2	-
탈지분유	-	2	-
물	-	65, 변화	34

표 2) 제과, 제빵, 제면 가공시험 배합비

(9) 압출성형 밀기울의 물리적 특성

생 밀기울, 150℃ 3분 로스팅 밀기울, 압출성형 밀기울을 각각 기류 분쇄 후 각각의 수분 흡착도(WAI, water absorption index)와 수용성지수(WSI, water solubility index)를 측정하였다. 수분 흡착도는 2차가공 시 보습성을 확인할 수 있으며, 수용성지수는 물 또는 우유에 섞을 경우의 분산성을 확인할 수 있다.

다. 결과 및 고찰

(1) 미생물 분석

가공처리를 하지 않은 생 밀기울과 가열공정을 거친 밀기울의 살균 효과를 확인하기 위하여 단순 가열처리한 로스팅 밀기울, 그리고 압출성형 밀기울의 일반세균, 대장균군, 대장균 분석을 실시하였다.

밀기울의 가열처리에 따른 미생물 분석 결과는 아래 표 3)과 같다. 생 밀기울에서 일반세균이 35,000 CFU/g 이 검출되었으며, 150℃에서 3분 로스팅한 밀기울은 생 밀기울과 동일한 수준의 일반세균이 검출되어 살균효과를 관찰할 수 없었다. 150℃에서 6분 로스팅한 밀기울은 360 CFU/g으로 감소하였지만, 밀기울의 색상이 어두워졌으며 탄 냄새가 발생하기 시작하였다. 압출성형 밀기울은 압출성형 시 내부 압력 및 내부 열에너지의 증가로 인하여 전 구간 미생물의 검출이 확인되지 않아 우수한 살균력을 보였다.

(단위 : CFU/g)

시료명	일반세균	대장균군	대장균
생 밀기울	35,000	음성	음성
150℃ 3분 로스팅 밀기울	35,000	음성	음성
150℃ 6분 로스팅 밀기울	360	음성	음성
압출성형 밀기울	음성	음성	음성

표 3) 시료의 미생물 분석 결과

(2) 입자분포 및 분쇄 효율

압출성형을 통한 분쇄 효율 향상을 위하여 동일한 기류분쇄 조건 (Separator 2,500 RPM, Mill 6,000 RPM)에서 분쇄 후 평균 입자 및 입자 분포를 측정된 결과, 생 밀기울은 188.2 μ m였으며, 150℃ 3분 로스팅 밀기울은 136.3 μ m으로 입자 크기가 감소하는 경향을 보였지만, 150℃ 6분 로스팅한 밀기울은 195.1 μ m으로 내부 수분이 가열과정 중 빠져나가 밀기울의 경도가 증가한 것으로 해석된다. 반면 압출성형 분쇄물은 92.82 μ m로 생 밀기울과 로스팅 밀기울에 비하여 입자 크기가 크게 감소하였다. 이와 같이 밀기울의 입자 크기가 작을수록 식품으로 섭취 시 이물감을 느끼지 못하게 하며 색상이 밝아지는 효과가 있다.

또한 입도 분포에 있어서 압출성형물의 분쇄 시 중형의 그래프를 보여 균일하게 분쇄되는 것을 확인할 수 있었다. 반면 생 밀기울과 로스팅 밀기울의 경우 비대칭 그래프로 나타나 이는 평균입자 크기보다 큰 입자가 존재하여 식감에 이물감을 느낄 수 있게 하는 요인으로 작용할 수 있다. (표 4, 그림 5)

이와 같이 압출성형 후 분쇄한 밀기울은 생 밀기울과 로스팅 밀기울에 비해 상대적인 분쇄 에너지 소비가 적어 효율성이 높다고 볼 수 있다.

구분	평균입자(μ m)	비고
생밀기울	188.2	
로스팅 밀기울(150℃ 3분)	136.3	
로스팅 밀기울(150℃ 6분)	195.1	
압출성형 밀기울	92.82	

표 4) 밀기울 시료의 입자분석 결과

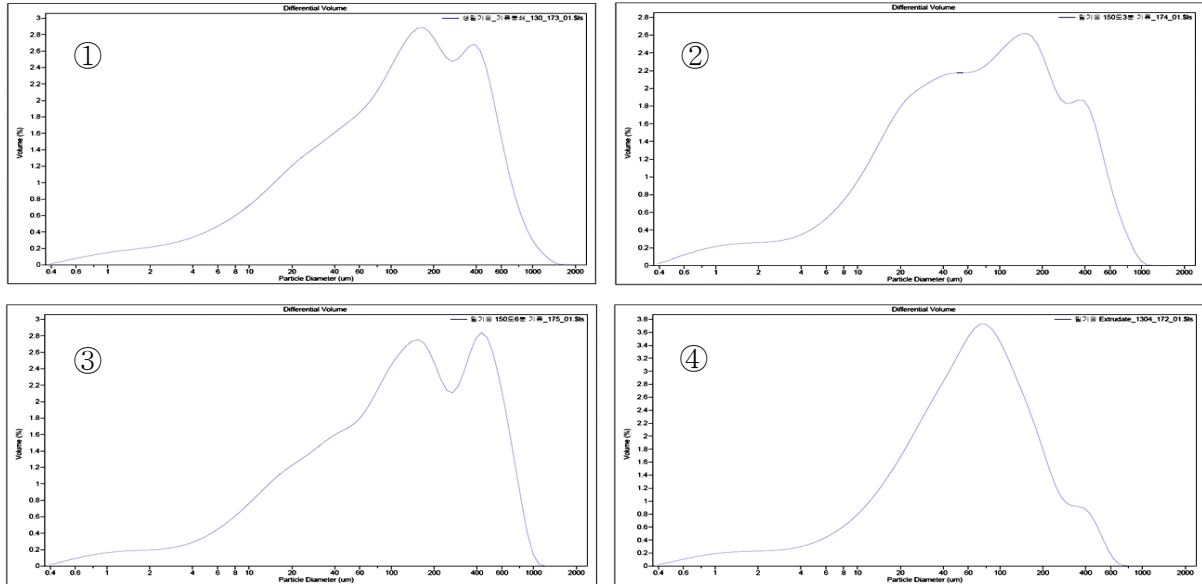


그림 5) 밀기울 분쇄 시료의 입자분포 그래프, ① 생밀기울, ② 로스팅 밀기울(150℃ 3분), ③ 로스팅 밀기울(150℃ 6분), ④ 압출성형 밀기울

(3) 제면 테스트

생 밀기울과 150℃ 3분 로스팅 밀기울을 첨가 시 전 구간에서 이취와 이물감이 확인되었으며, TA (Texture analyser) 분석결과 면의 단단함(Hardness)이 증가하였다. 또한, 면의 색차 분석 및 관찰 결과(그림 6) 색상이 과도하게 어두워 일반적인 제면에 부적합하였다. 반면 압출성형 밀기울 첨가 시, 이취감 및 이물감이 비교적 양호하거나 확인되지 않았으며, 단단함(Hardness)이 밀가루와 유사하여 제면적성이 우수한 것으로 확인되었다.

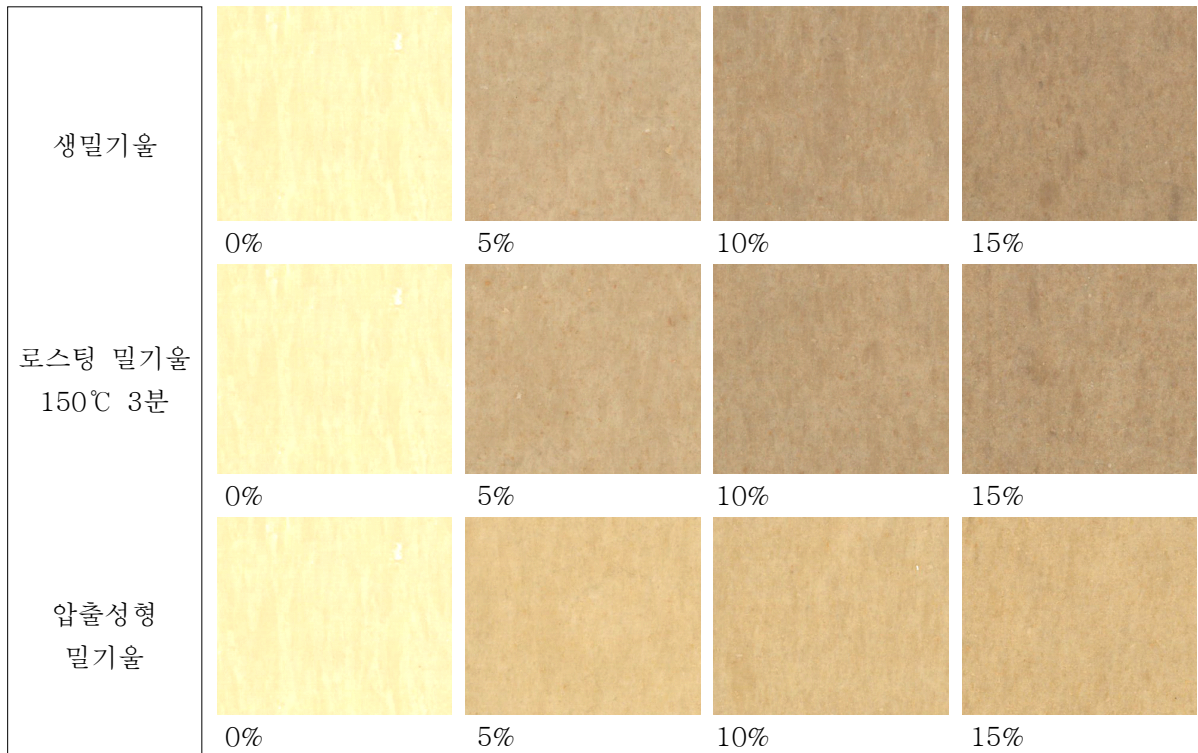


그림 6) 밀기울 시료 첨가 면대 색상

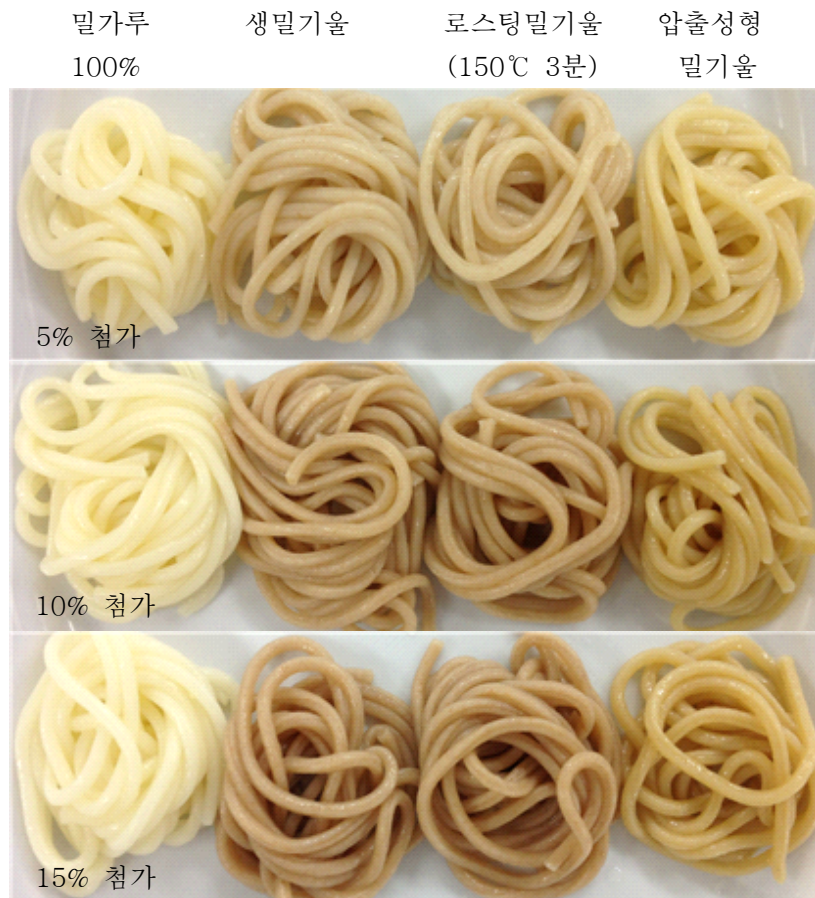


그림 7) 밀기울 첨가 삶은면 색상 비교

아래 표 5)는 밀기울 첨가별 면대의 색차 분석 결과이다. L 값은 밝기 이며, a값은 적색도, b 값은 황색도를 나타낸다.

항목	첨가량	L	a	b
밀가루 100%	-	84.68	-2.25	18.44
생 밀기울	5%	67.63	4.09	18.50
	10%	63.70	5.77	19.36
	15%	60.67	6.95	20.35
150℃ 3분 로스팅 밀기울	5%	68.20	3.62	19.02
	10%	63.48	5.88	20.32
	15%	61.37	6.62	20.24
압출성형 밀기울	5%	74.36	1.18	22.68
	10%	71.64	2.40	23.80
	15%	69.68	3.41	24.60

표 5) 밀기울 첨가 면대의 색차값 비교

면 제조 후 100℃로 5분간 삶은 뒤 50℃의 항온수조에서 1분, 5분, 10분 경과 시 Texture analyzer의 Hardness를 측정 한 결과는 표 6)과 같다.

항목		평균 Hardness(g)
밀가루 100%		318.328
5% 첨가	생 밀기울	363.687
	150℃ 3분 로스팅 밀기울	348.397
	압출성형 밀기울	310.062
10% 첨가	생 밀기울	410.081
	150℃ 3분 로스팅 밀기울	408.600
	압출성형 밀기울	295.704
15% 첨가	생 밀기울	437.352
	150℃ 3분 로스팅 밀기울	411.021
	압출성형 밀기울	298.207

표 6) 밀기울 첨가 삶은면의 hardness값

(4) 제빵 테스트

생 밀기울 첨가 시 빵 부피가 크게 감소하였으나, 150℃ 3분 로스팅 밀기울과 압출성형 밀기울 첨가 시 소폭 감소하였다. 생 밀기울과 150℃ 3분 로스팅 밀기울 첨가 시 이취와 이물감이 느껴졌으며, 빵 내부 식감이 거칠어지고 색상은 짙은 갈색으로 변하였다. 반면, 압출성형 밀기울 첨가 시 이취와 이물감이 느껴지지 않았으며 빵 내부의 촉촉함을 유지하고 내부 색상이 노란색을 나타내어 제빵적성이 생 밀기울과 로스팅 밀기울보다 우수한 것으로 확인되었다.(그림 8, 그림 9)



그림 8) 밀기울 시료 및 함량별 식빵 형태 비교

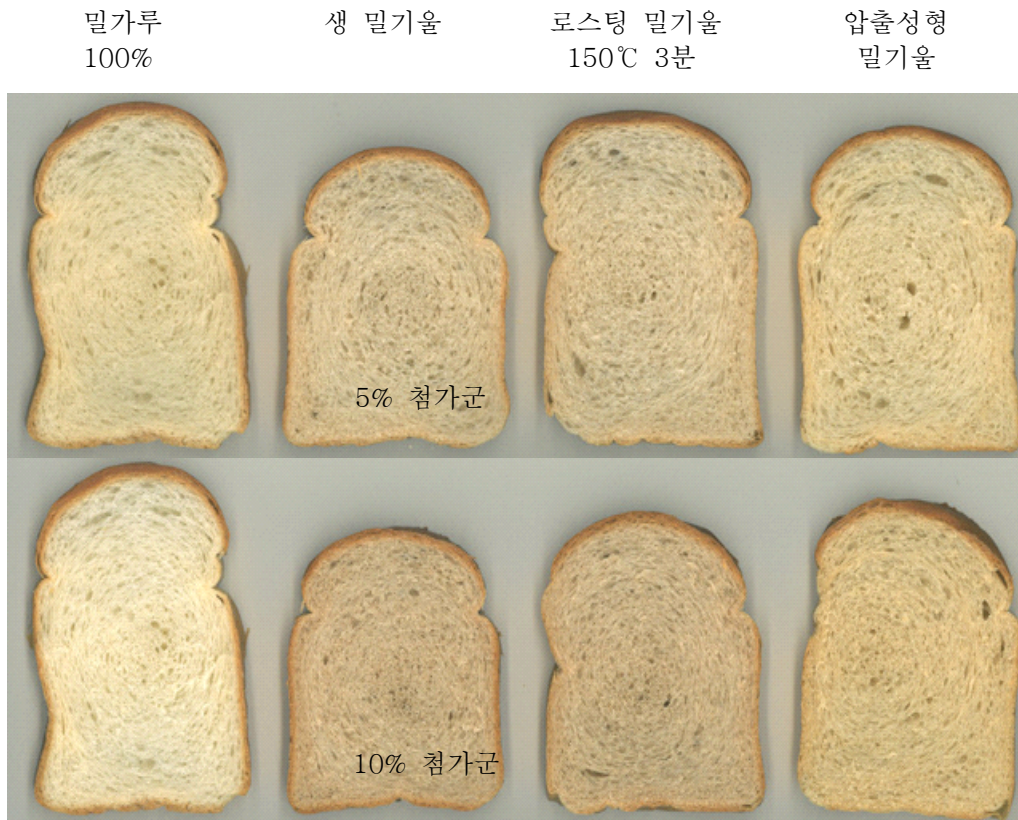


그림 9) 밀기울 시료 및 함량별 식빵 색상 비교

표 7)은 밀기울 첨가에 따른 빵의 부피 변화, 내상의 색차값을 측정한 것이다. 밀기울 첨가량 5% 기준에서 빵의 부피는 압출성형 밀기울이 가장 컸으며, 로스팅 밀기울, 생밀기울 순으로 나타났다. 빵의 색상은 압출성형 밀기울 첨가 빵이 가장 밝은 색을 보였다.

항 목		평균부피 (mL)	색차값		
			L	a	b
Wheat Flour (100%)		1,451	73.29	-2.22	8.72
생 밀기울	5%	1,370	67.85	-0.1	11.53
	10%	1,313	63.93	1.3	13.99
150℃ 3분 로스팅 밀기울	5%	1,453	66.09	-0.19	11.82
	10%	1,363	64.15	1.46	14.69
압출성형 밀기울	5%	1,470	69.75	-1.68	12.83
	10%	1,363	71.68	-0.91	17.68

표 7) 밀기울 첨가 시료의 제빵 부피와 색차값

(5) 쿠키 테스트

생 밀기울 및 로스팅 밀기울 첨가 시 쿠키의 직경이 크게 감소하였으나, 압출성형 밀기울 첨가 시 쿠키의 직경이 증가하였다. 또한 생 밀기울과 150℃ 3분 로스팅 밀기울 첨가 시 이취와 이물감이 느껴지고 짙은 갈색으로 변하여 전반적인 기호성이 떨어지지만, 압출성형 밀기울 첨가 시 이취와 이물감이 느껴지지 않았고, 쿠키의 색상이 밝은 갈색을 나타내 제과적성이 생 밀기울과 로스팅 밀기울보다 우수한 것으로 확인 되었다.

또한 압출성형 밀기울 첨가 쿠키 제조 시 쿠키의 높이가 상대적으로 크게 증가하여 최종 제품의 부피 증가를 통하여 수율 향상과 함께 풍만한 식감을 부여하여 식감에 좋은 영향을 준다.

표 8)은 밀기울 첨가에 따른 쿠키의 경도 변화를 나타낸다. 압출성형 밀기울은 첨가량이 증가함에 따라 쿠키의 hardness가 덜 증가하는 것으로 나타났다.

구분		밀가루 100%	Bran 종류		
			생밀기울	150℃ 3분 로스팅 밀기울	압출성형 밀기울
Hardness (g)	5%	1806.452	1831.248	1915.065	1682.030
	10%		2343.081	2233.116	1928.495
	15%		2516.911	2227.515	1936.069

표 8) 밀기울 첨가 쿠키의 hardness 측정값

표 9)는 밀기울 첨가에 따른 쿠키의 색상 변화와 크기(직경과 높이)를 측정하였다. 쿠키 색상은 제빵에서와 동일하게 압출성형 밀기울이 가장 밝았고, 쿠키의 크기도 압출성형

밀기울이 가장 크게 나타났다.

구분		색차값			사이즈	
		L	a	b	width (mm)	height (mm)
Control		76.27	-1.52	30.53	58.756	9.555
생 밀기울	5%	71.67	2.9	31.16	53.608	9.830
	10%	66.63	3.52	27.3	54.784	10.583
	15%	66.24	5.32	27.95	53.349	11.308
150℃ 3분 로스팅 밀기울	5%	72.33	2.17	30.07	54.089	10.300
	10%	68.24	3.64	28.11	54.725	11.095
	15%	66.27	4.9	27.55	53.041	10.938
압출성형 밀기울	5%	71.48	2.1	32.62	58.940	9.968
	10%	69.35	3.23	33.58	56.790	11.108
	15%	68.26	4.9	33.59	54.285	12.065

표 9) 밀기울 첨가 쿠키 색차값과 크기 측정 결과

(6) 압출성형 밀기울의 물리적 특성 특정

수분흡착도의 경우 압출성형 밀기울이 생 밀기울과 로스팅 밀기울보다 높은 수분 흡착력을 나타냈다. 이는 생 밀기울 또는 로스팅 밀기울로 가공한 빵보다 촉촉한 식감이 증가하고, 쿠키 가공 시 볼륨감이 커지며 부드러운 쿠키를 제조할 수 있는 것으로 추측된다.

또한, 수용성지수 역시 압출성형 밀기울이 생 밀기울 보다 높게 나타나 분산성이 우수한 것으로 파악되고, 나아가 미생물이 제어된 상태이므로 바로 물 또는 우유에 섞어 섭취할 수 있는 식이섭유 보충용 식품으로 사용할 수 있다.

표 10)은 각각의 밀기울의 수분흡착도와 수용해지수를 나타낸다.

구분	수분흡착도 (WSI)	수용해지수(WSI, %)
생 밀기울	3.081	17.07
150℃ 3분 로스팅 밀기울	3.357	16.18
압출성형 밀기울	4.048	18.18

표 10) 밀기울 샘플에 따른 수분흡착도와 수용해지수 측정 결과

라. 결론

본 연구에서는 미세분쇄가 어려운 밀기울을 효과적으로 미분화하는 기술을 개발하였으며, 이를 통하여 밀기울의 미생물 살균, 이취 제거, 이물감 개선, 분쇄 효율 증가와 어두운 색감 개선이 가능하였다.

본 연구의 구체적인 내용은 연속적인 가공 공정이 가능한 압출성형기와 기류 분쇄기를 사용하여 분말화 하여 식품 소재로 사용하는 방법에 관한 것이며, 이를 위하여 압출성형 수분함량이 15~25%, 바렐 온도 60~130℃, 스크류 회전속도 200~400 RPM 조건 하에서 밀기울을 압출성형하고, 이후에 Separator 1,500~2,500 RPM에서 Mill 4,000~6,000 RPM으로 분쇄하는 기류 분쇄 단계로 이루어진다.

연구 결과에 의해 가공된 밀기울은 생 밀기울의 문제점인 미생물의 살균, 이취 및 이물감의 감소, 분쇄효율 증가로 인한 입자 사이즈의 감소, 어두운 색상 감소 등의 개선 효과를 볼 수 있었다. 특히 기존 기술이었던 단순 로스팅과 분쇄와 비교하여 제면 가공 시 이물감이 전혀 없으며, 색상의 변화를 최소화 할 수 있으므로 식이섬유 강화 면류 가공에 매우 우수한 것으로 파악되었고, 제과 및 제빵 첨가 가공 시 또한 종래의 기술로 가공한 것이 비해 이물감과 이취를 최소화할 수 있었다. 아울러 수분 흡착도가 높아 보습성을 높힐 수 있으며, 수용해지수가 높아 분산성이 증가 하므로 액상에 쉽게 분산하는 특성을 부여하였고, 밀가루 식품에 밀가루와 같이 혼합하여 사용하였을 때 물성 변화를 최소화할 수 있었다..

또한, 가공 방법이 기존 기술보다 단순하여 산업화 할 경우 원가 절감이 가능하여 본 연구의 산업화는 밀기울의 식이섬유 식품 소재로서 제면·제과·제빵 및 식이섬유 강화용 웨이크 음료 소재 등으로 다양하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 식이섬유 함량 증대기술 개발(WBF-60)

가. 개요

일반적으로 밀기울은 38~45%의 식이섬유 함량을 가지고 있다. 이는 밀기울에 함유되어 있는 밀가루, 즉 전분질의 함량에 따라 결정되는데, 통상 40% 내외의 식이섬유 함량을 갖는다. 밀기울은 여러 개의 얇은 층(layer)으로 이루어지는데, 가장 많은 부분을 차지하는 것은 aleurone layer이며, 다음으로 pericarp layer이다. 밀기울을 이루는 각 층은 구성 성분 측면에서 각각의 특징을 갖는데, aleurone layer는 미네랄 함량이 높고, 페놀성 화합물과 같은 기능성 물질이 풍부하다. 반면, pericarp layer는 셀룰로오스로 이루어져 불용성 식이섬유 함량이 높은 부분이다. 본 연구는 미세분쇄와 공기분급 기술을 이용하여 밀기울 층의 구성 성분 특성을 활용한 효율적 분리 공정을 개발하며, 최적 공정을 구하고자 한다.

나. 실험재료 및 방법

(1) 실험재료

기류분쇄 공기분급 밀기울의 제조에 사용된 시료는 밀 원맥을 제분하는 과정에서 부산물로 생산되는 밀기울 (밀브랜, DongA One Flour Mills Co., Korea)로 중력분 생산 시 주로 사용되는 원맥인 A.S.W(Australian standard white)의 밀기울을 사용하였다.

(2) 연속식 기류 분쇄 공기 분급 공정

미세분급 밀기울의 제조는 연속식 기류분쇄 공기분급기(DMC-5, Daehyun Eng, Korea)를 이용하였으며, 기류분쇄 조건은 mill grinding speed와 separator reverse wheel speed이며 공기 분급 조건은 공기분급기(air classification)의 reverse wheel speed를 조절하였다. 분쇄 및 분급 조건은 Table 1과 같으며 분쇄 및 분급 장치는 blower를 통하여 공기의 흐름이 생기며, feeder를 통해 투입된 시료는 mill에서 1차 분쇄하였다. blower의 풍압에 의하여 상승하는 시료는 중량 따라 separator에서 1차 선별되어 무거운 시료는 separator를 통과하는 중량이 될 때까지 mill로 반복하여 분쇄되었다. 1차 선별된 시료는 공기분급기(air classifier)의 휠 회전속도에 의하여 비중에 따라 분급되었다. 공기분급기를 통과한 시료는 미분, 통과하지 못한 시료는 조분으로 분급 되었다.(그림 10, 그림 11)

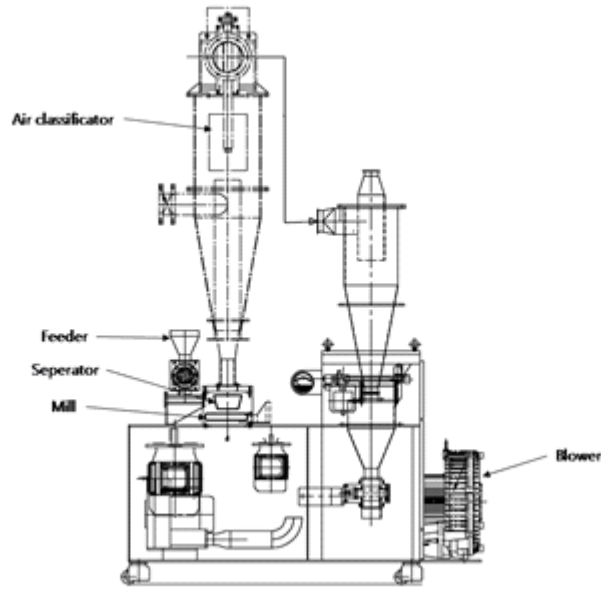


그림 10) 연속식 기류분쇄 공기분급 설비 개략도(모델 DMC-5 대현엔지니어링, 한국)

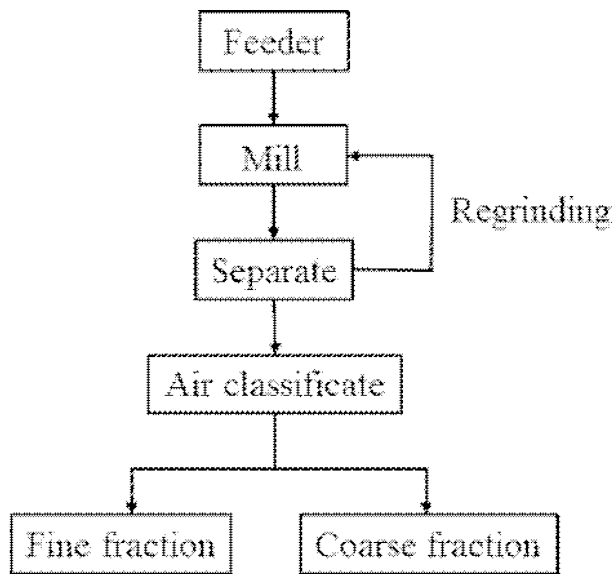


그림 11) 연속식 기류분쇄 공기분급 설비 공정도 표(모델 DMC-5 대현엔지니어링, 한국)

(3) 분급 비율

초미세분쇄 및 공기 분급 시 각각 분급 되는 미분(fine fraction)과 조분(coarse fraction) 각각의 분획을 1분간 샘플링 하였다. 각 분획의 평균 무게를 3회씩 반복 측정하였고, 분급물 총중량에 대한 각 분획물 중량의 비로 분급 비율을 계산하였다.

(4) 평균입자분석

각 분획의 평균입자 분석은 Laser diffraction particle size analyser(LS I3 320, Beckman Coulter, CA, U.S.A.)를 사용하여 3회씩 반복 실험 하였다. 본 입자분석장치는 입자에 레이저 빛을 조사하면 빛은 투과, 반사, 흡수, 산란되고, 산란된 빛은 다시 반사, 굴절, 회절 현상을 일으키며, 산란된 빛의 세기 및 산란각도가 검출기에 감지되어 측정하는 장비이다. 측정 시 유체는 에탄올을 사용하였으며, 측정 시 초음파 처리를 하여 시료의 분산성을 증가시켰다. 분석 시 에탄올과 시료의 혼합 비율(obscuration)은 11%로 시료에 30초간 레이저를 조사하여 검출되는 산란각도를 측정 후 분석장치 소프트웨어에서 자동으로 계산하였으며, 입자 크기는 0 μm 에서 2,000 μm 범위에서 실시하였다.

(5) 총 식이섬유 정량 분석

분급 시료의 총 식이섬유 정량은 AOAC의 방법(1977)을 이용하여 측정하였다. 시료 1 g을 각각의 비커에 넣고, pH 6.0의 인산완충용액 50 mL을 넣은 뒤 0.1 mL의 α -amylase를 혼합한 뒤 95°C 수조에서 15분간 반응시켰다. 실온 냉각 후 pH를 7.5 \pm 0.2가 되도록 0.275 N의 NaOH를 가한 다음, 버퍼에 희석된 5 mg/mL의 protease를 각각의 비커에 넣고 60°C 항온수조에서 30분간 반응시킨 후 실온 냉각을 하였다. pH 4.0~4.6이 되도록 0.325 M의 HCl을 넣어 준 뒤, 0.1 mL의 amyloglucosidase를 넣어주었고 그 후 30분간 반응 시켰다. 반응을 멈추기 위하여 95%의 에탄올을 넣어 주었다. 그리고 미리 규조토를 도포한 유리여과기를 사용하여 여과 후 105°C의 dry oven에서 건조 및 항량시켜 평균 잔사 중량을 측정한 다음 각각의 잔사의 단백질과 회분값 중량을 측정하여 그 값을 감하여 총 식이섬유 함량을 측정하였다.

(6) 완전요인 실험계획

밀기울의 기류 분쇄 및 공기분급 공정변수에 따른 종속변수의 변화를 결정하기 위한 3인자 완전요인계획에 의해 사용하였으며 분쇄 및 분급 공정변수에 따른 압출성형물의 특성은 SAS program(Statistical Analysis System, release 9.3)과 미니탭(Minitab, release 17)을 사용하여 실험계획법 반응표면 회귀분석으로 통계처리 및 공정 최적화를 예측하였다. 반응표면 분석에서 독립변수는 mill grinding speed(X_1), separate reverse wheel speed(X_2), air classification reverse wheel speed(X_3)이며, 각 변수는 -1, 0, 1의 세 가지 수준으로 부호화 하였다. 반응변수(Y_n)로 분급 분획물의 분급 비율, 평균입자, 총 식이섬유 함량으로 하였다. 세 가지 독립변수(X_1, X_2, X_3)에 대한 2차 회귀모형은 식 (1)과 같다.

$$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_{12}X_1X_2+b_{13}X_1X_3+b_{23}X_2X_3+b_{11}X_{12}+b_{22}X_{22}+b_{33}X_{32} \quad (\text{식1})$$

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

다. 결과 및 고찰

(1) 분급 비율

기류식 분쇄기를 이용한 분쇄 조건(mill grinding speed, severate reverse wheel speed)과 공기분급 조건(air classification reverse wheel speed)에 따른 분급 수율의 다중회귀분석(multiple regression analysis)결과는 표 12)와 같다. 분급 비율의 R²는 모두 0.911 으로 높은 상관관계를 보여주며 설정한 모델식으로 결과를 예측할 수 있었다. 또한 분쇄기 회전속도, 분리기 휠 회전속도, 공기분급 휠 회전속도 모두 높은 유의 확률(P<0.05)을 나타내 분급 비율에 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 초미분쇄기를 이용한 분쇄와 공기분급 장치를 사용한 분급에 따른 각각의 반응표면 분석 결과 분획의 수율에 대한 반응표면 회귀식은 표 11)과 같다.

Response		The second order polynomial ¹⁾	R ²
	Classification Ratio (%)	$Y_1 = -60.28889 - 0.0279X_1 + 0.10662X_2 - 0.052X_3 + 0.00000$ $5X_{12} - 0.000019X_{22} + 0.000049X_{32}$	0.9105
	Fine fraction	Average particle size (μm)	$Y_2 = 228.2783 + 0.0102X_1 - 0.0067X_2 - 0.7074X_3 + 0.000000$ $4X_{12} + 0.0000001X_{22} + 0.000693X_{32}$
	Total dietary Fiber (g/100g)	$Y_3 = -6.7915 - 0.005860X_1 + 0.0354X_2 - 0.0034X_3$	0.8461
Coarse fraction	Classification Ratio (%)	$Y_4 = 161.6555 + 0.028X_1 - 0.0177X_2 + 0.0516X_3 - 0.000005X_{12} + 0.000019X_{22} - 0.00005X_{32}$	0.9113
	Average particle size (μm)	$Y_5 = 2098.299 - 0.1488X_1 - 0.177X_2 - 0.0215X_3 + 0.00002X_{12} + 0.000153X_{22} - 0.000073X_{32}$	0.9327
	Total dietary Fiber (g/100g)	$Y_6 = 89.2924 + 0.00088X_1 - 0.0188X_2 - 0.0374X_3$	0.8170

표 11) 공기분급물의 수율에 대한 반응표면 회귀식

¹⁾ X₁ : Mill grinding speed(rpm), X₂ : Separate reverse wheel speed(rpm),
X₃ : Air classification reverse wheel speed(rpm),
Y = b₀ + b₁X₁ + b₂X₂ + b₃X₃ + b₁₂X₁X₂ + b₁₃X₁X₃ + b₂₃X₂X₃ + b₁₁X₁₂ + b₂₂X₂₂ + b₃₃X₃₂

Source	Degree of freedom	Fine fraction		Coarse fraction	
		F value	Prov>F	F value	Prov>F
Model	9	19.22	<0.0001	19.39	<0.0001
Liner	3	49.94	<0.0001	50.32	<0.0001
Quadratic	3	5.32	0.0091	5.41	0.0085
Cross	3	2.41	0.1027	2.45	0.0984
	R ²	0.911		0.911	
X ₁ ¹⁾	4	27.18	<0.0001	27.42	<0.0001
X ₂ ²⁾	4	7.38	0.0012	7.43	0.0012
X ₃ ³⁾	4	10.50	0.0002	10.63	0.0002

표 12) 기류분쇄와 공기분급 조건에 따른 분급 수율의 다중회귀분석 결과

¹⁾X₁ : Mill grinding speed(rpm)

²⁾X₂ : Separate reverse wheel speed(rpm)

³⁾X₃ : Air classification reverse wheel speed(rpm)

미분의 경우 분쇄기 회전속도가 높을수록 물리적 마찰에 의하여 분급 비율이 높아졌으며, 공기분급의 경우 분쇄기 회전속도가 낮고 공기분급 휠 회전속도가 증가할수록 분급 비율이 높아졌으나, 분쇄 속도가 높을 경우 공기분급 휠 회전속도가 증가할수록 분급 비율이 낮아졌다(그림 12). Ku 등(Ku et al., 1996)은 초미세분쇄한 대두피의 경우 각피층(cuticle)은 잘 분쇄되지 않아 큰 입자를 유지하고, 내부층은 비교적 분쇄가 용이하여 공기분급 휠 회전속도가 낮은 경우는 작은 입자로 분쇄된 내부층과 비교적 작게 분쇄된 각피층도 함께 미분획으로 회수된다고 설명 하였고, Ku 등(Ku et al., 1998)은 공기분급 휠 회전속도가 높을수록 조분획의 수율이 높았다고 보고 하여 본 연구 결과와 동일하였다.

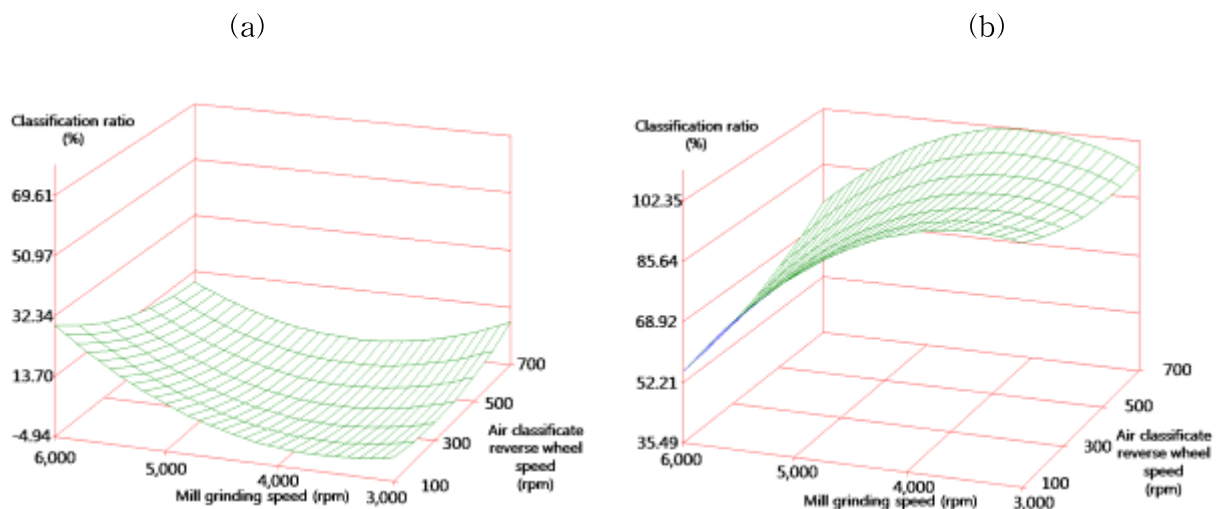


그림 12) 분쇄와 공기분급 조건에 따른 미분(a)와 조분(b) 분급비율의 반응표면 plot

(2) 평균입자

기류식 분쇄기를 이용한 분쇄 조건과 공기분급 조건에 따른 평균입자크기의 다중회귀분석 결과는 표 13)과 같다. 공정 조건에 따른 미분과 조분 분급물의 평균입자 크기의 R^2 는 각각 0.9364와 0.9327로 매우 높은 수준을 보여, 설정한 실험 조건이 자료에 적합됨을 확인할 수 있었다. 분리기 휠 회전속도가 평균입자에 미치는 영향은 미분 분급물($P<0.05$)과 조분 분급물($P<0.01$) 모두 영향을 주었으며, 공기분급 휠 회전속도는 미분 분급물($P<0.01$)의 평균입자 크기에 높은 영향을 주었고 분쇄기 회전속도는 조분 분급물($P<0.01$)의 평균입자 크기에 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 분쇄 및 분급 조건에 따른 분획물의 평균입자 크기의 반응표면 회귀식은 표 11)과 같다.

미분의 경우 분리기 휠 회전속도가 감소할수록 평균입자 크기가 증가하였고 공기분급 휠 회전속도가 증가할수록 평균입자 크기가 감소하다가 400 rpm에서 다시 증가하는 경향을 나타냈다(그림 13). 이는 분리기 휠 회전속도가 증가할수록 재분쇄가 이루어졌으며, 공기분급은 입자의 비중의 차이에 의한 것이므로 외피(pericarp)와 호분(aleurone)의 비중 차이에 의한 것으로 판단되어 진다. Lee 등(Lee et al., 2006)은 메밀의 분쇄 분급 시 분쇄 선속도의 증가로 인해 초미립자의 분급 효율이 원활하게 되어 비표면적이 증가되어 입자가 미립화되는 경향을 볼 수 있었다고 보고하였다. 본 실험에서도 유사한 결과가 나타났으며, 입자 크기별 분리를 위한 최적의 점을 예측할 수 있었다.

조분의 경우 분리기 휠 회전 속도가 증가할수록 평균입자 크기가 증가하였다(그림 14). 이는 밀기울이 분쇄 후 미분 분급의 분획물의 증가와 blower의 풍압으로 인하여 조분 분급물의 크기가 큰 상태로 분급되어진 것으로 판단되었으며, Park 등(Park et al., 1993)에 의하면 분급기 휠 회전속도가 증가 할수록 분획의 입자 모양은 구형에 가까워지므로 유지 대체제로 활용될 가능성을 시사하였다.

Source	Degree of freedom	Fine fraction		Coarse fraction	
		F value	Prov>F	F value	Prov>F
Model	9	27.83	<0.0001	26.20	<0.0001
Liner	3	64.42	<0.0001	70.86	<0.0001
Quadratic	3	18.73	<0.0001	4.94	0.0121
Cross	3	0.33	0.8025	2.80	0.0716
	R ²	0.9364		0.9327	
X ₁ ¹⁾	4	0.26	0.9015	55.61	<0.0001
X ₂ ²⁾	4	3.81	0.0217	4.98	0.0077
X ₃ ³⁾	4	58.79	<0.0001	0.45	0.7686

표 13) 분쇄조건과 공기분급 조건에 따른 평균 입자크기의 다중회귀분석

¹⁾X₁ : Mill grinding speed(rpm)

²⁾X₂ : Separate reverse wheel speed(rpm)

³⁾X₃ : Air classification reverse wheel speed(rpm)

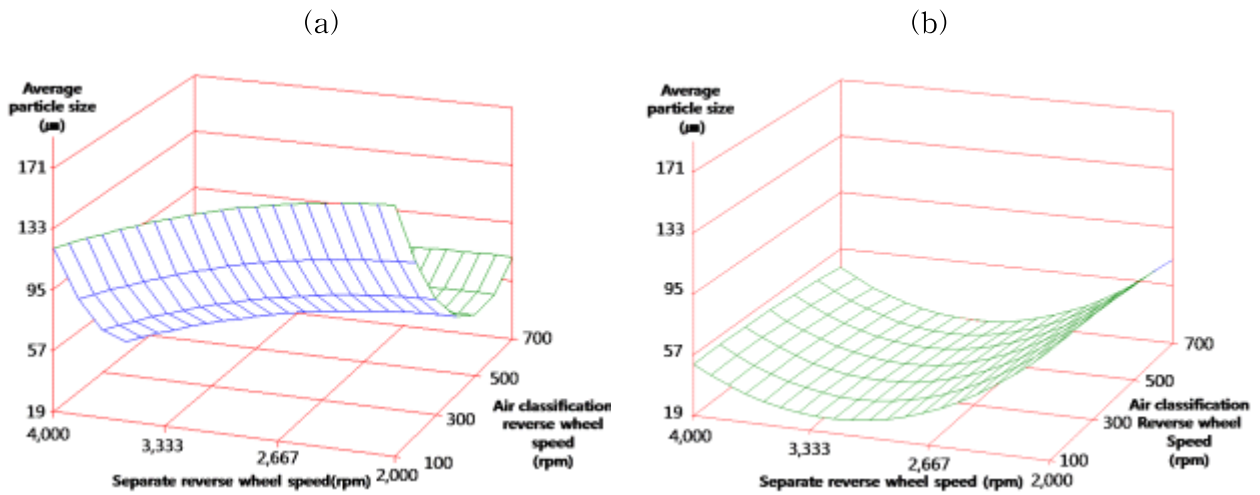


그림 13) 분쇄 분리기와 공기분급 조건에 따른 미분(a)와 조분(b)의 평균 입자크기 반응표면 plot

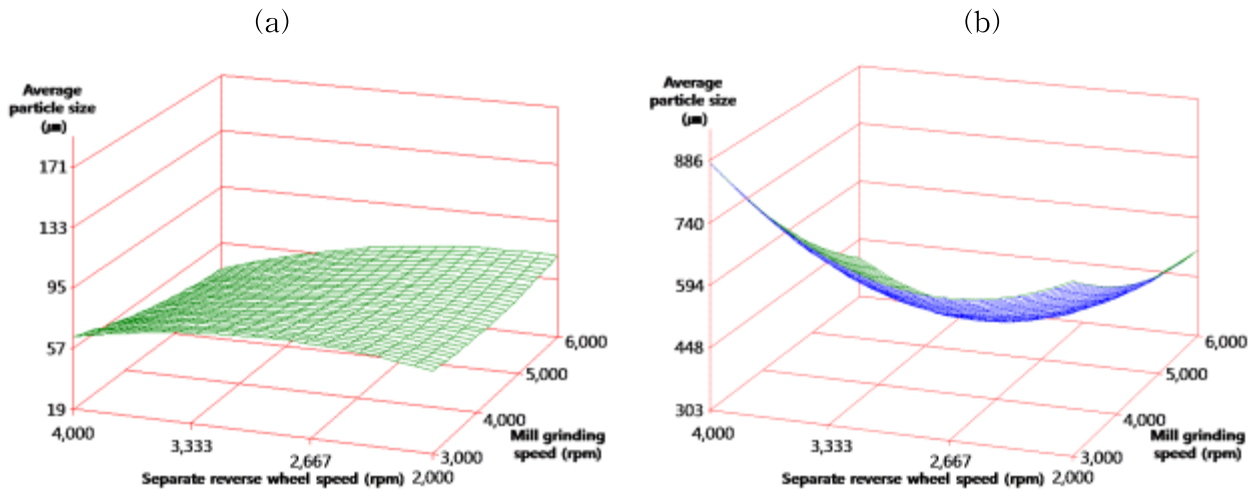


그림 14) 분쇄 분리기와 분쇄 속도 조건에 따른 미분(a)와 조분(b)의 평균 입자크기 반응표면 plot

(3) 총 식이섬유

기류식 분쇄기를 이용한 분쇄 조건과 공기분급 조건에 따른 총 식이섬유 함량의 다중회귀분석 결과는 표 14)와 같다. 공정 조건에 따른 미분과 조분 분급물의 총 식이섬유 함량의 R^2 는 각각 0.8461과 0.8170으로 높은 상관관계를 보여주며 설정한 모델식으로 결과를 예측 할 수 있었다. 분쇄기 회전속도와 공기분급 휠 회전속도는 미분 분급물($P < 0.01$)의 총 식이섬유 함량에 영향을 주었고, 조분 분급물($P < 0.01$)은 세 가지 공정 조건 모두 총 식이섬유 함량에 모두 영향을 주었다. 분쇄 및 분급 조건에 따른 분획물의 평균입자 크기의 반응표면 회귀식은 표 11)과 같다.

미분의 경우 분쇄기 회전속도가 증가하고 공기분급기 회전속도가 감소할수록 총 식이섬유 함량이 증가하였고, 조분의 경우 분쇄기 회전 속도가 증가하고 공기분급 휠 회전속도가 증가할수록 총 식이섬유 함량이 증가하였다(그림 15). 이는 분쇄기 회전속도가 높아 분쇄율이 높아 상대적으로 입자가 작을 경우 분쇄율이 호분보다 낮은 외피의 함량이 높은 것으로 판단되어진다. Park 등(Park et al., 1995)은 초미세 분쇄한 찹쌀분말을 분급할 경우 분급물의 총 식이섬유 함량의 차이가 없다고 보고하였으나, 이는 밀기울의 성분 조성상의 특징과 차이가 있는 것으로 생각되 지고, Ku 등(Ku et al., 1996)에 의하면 조분획에서 총 식이섬유 함량이 미분획보다 높게 나왔으며, 공기분급 휠 회전속도가 증가할수록 총 식이섬유 함량이 증가하여 본 연구 결과와 일치 하였다.

Source	Degree of freedom	Fine fraction		Coarse fraction	
		F value	Prov>F	F value	Prov>F
Model	9	10.38	<0.0001	8.43	<0.0001
Liner	3	25.24	<0.0001	21.80	<0.0001
Quadratic	3	3.07	0.0560	2.78	0.0727
Cross	3	2.84	0.0691	0.72	0.5541
	R ²	0.8461		0.8170	
X ₁ ¹⁾	4	15.03	<0.0001	7.18	0.0014
X ₂ ²⁾	4	2.27	0.1045	7.52	0.0011
X ₃ ³⁾	4	8.19	0.0007	4.81	0.0089

표 14) 분쇄 조건과 공기분급 조건에 따른 총 식이섬유의 다중회귀분석

¹⁾X₁ : Mill grinding speed(rpm)

²⁾X₂ : Separate reverse wheel speed(rpm)

³⁾X₃ : Air classification reverse wheel speed(rpm)

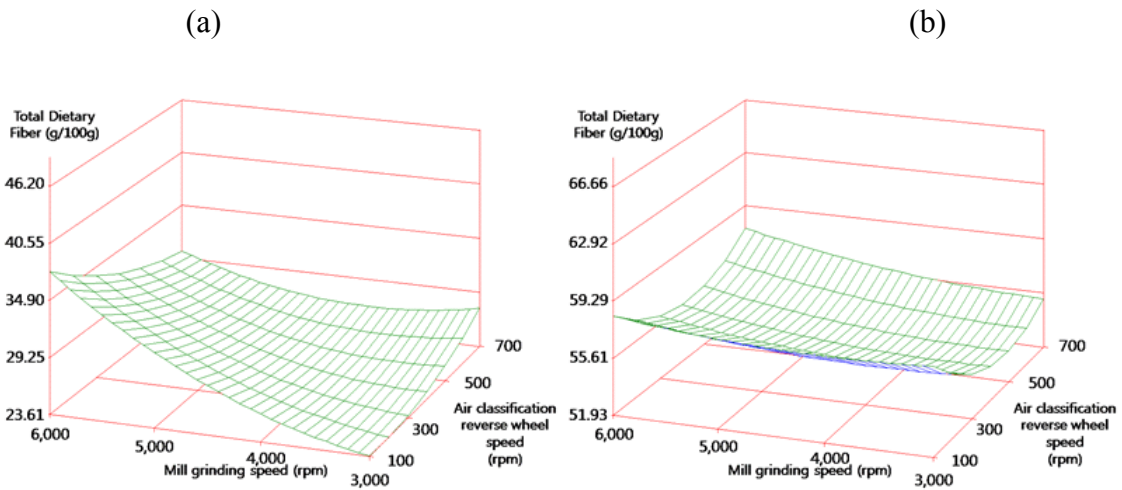
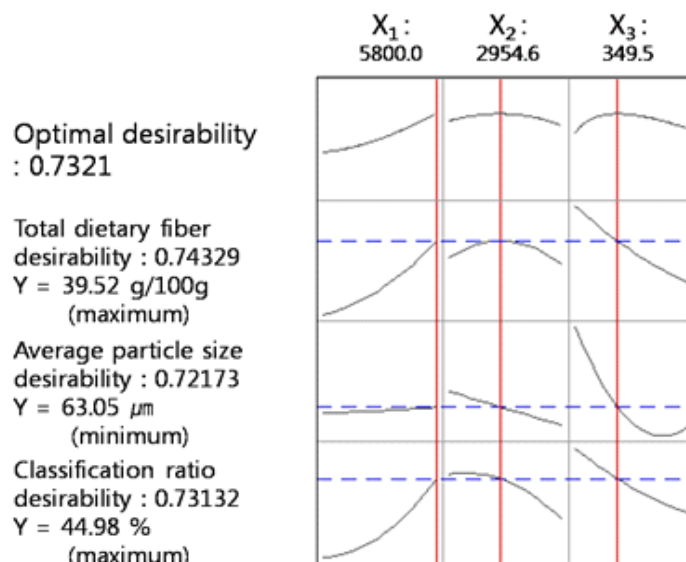


그림 15) 분쇄 속도와 공기분급 조건에 따른 미분(a)와 조분(b)의 총 식이섬유 반응표면 plot

(4) 공정 최적화

식이섬유 소재의 미세화를 위한 대량 생산 공정의 최적화를 위하여 미니탭의 반응 최적화 도구를 사용하여 공정 최적화를 예측 하였다. 식이섬유 함량과 분급 비율을 최고점으로 하고, 평균 입자 크기를 최소점으로 설정한 뒤 예측된 반응 최적점은 그림 16)과 같았다. 미분 분급물은 mill grinding speed 5,800 rpm, separate reverse wheel speed 2954.6 rpm 그리고 air classification reverse wheel speed 349.5 rpm 에서 총 식이섬유 함량 39.52 g/100g, 평균입자 63.05 μm , 분급비율 44.98%로 예측 되었다. 조분 분급물은 mill grinding speed 5,500.3 rpm, separate reverse wheel speed 2,500 rpm 그리고 air classification reverse wheel speed 600 rpm 에서 총 식이섬유 함량 57.48 g/100g, 평균입자 402.62 μm , 분급비율 70.64%로 예측 되었다.

(a)



(b)

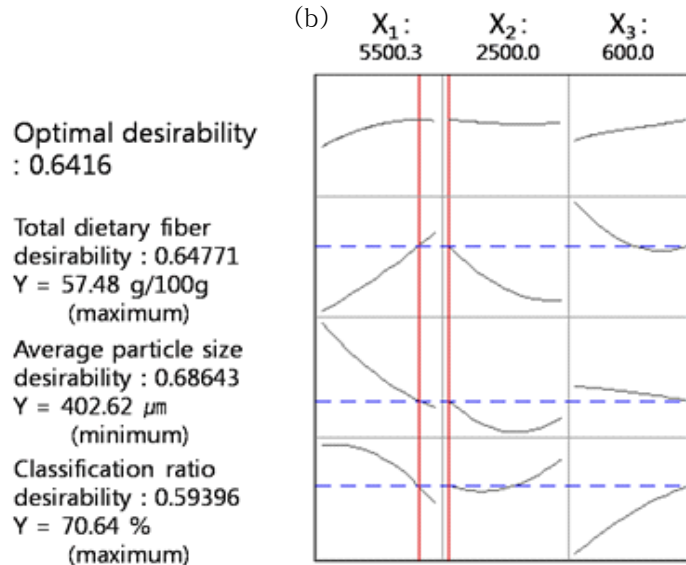


그림 16) 총식이섬유 함량과 분급 비율을 최고점으로 하고, 평균 입자 크기를 최소점으로 설정한 뒤 예측된 반응 최적점

라. 결론

본 연구는 밀기울을 초미분쇄기와 공기분급을 동시에 수행하는 설비를 사용하여 분쇄기 회전속도 3,800, 4,800, 5,800 rpm, 분리기 회전속도 2,500, 3,000, 3,500 rpm으로 분쇄하고, 공기분급기 회전속도 200, 400, 600 rpm으로 분쇄된 밀기울을 공기분급한 각 분급물의 특성을 살펴보았다. 완전요인 실험계획에 의하여 획득한 데이터는 반응표면 회귀 분석법으로 통계처리 후 정준분석을 실시하여 목적변수의 최고값을 결정하였다. 분급 비율은 미분 분급물과 조분 분급물 모두 분쇄기 회전속도($p < 0.01$), 분리기 휠 회전속도($p < 0.01$), 공기분급 휠 회전속도($p < 0.01$)에 유의적으로 영향을 받았다. 분급물 평균입자 크기는 미분의 경우 분급기 휠 회전속도($p < 0.01$)의 영향을 받았지만, 조분의 경우 분쇄기 회전속도($p < 0.01$)와 분리기 휠 회전속도($p < 0.01$)의 영향을 받았다. 총 식이섬유는 미분의 경우 분쇄기 회전속도($p < 0.01$)와 공기분급 휠 회전속도($p < 0.01$)의 영향을 받았고, 조분의 경우 분쇄기 회전속도($p < 0.01$), 분리기 휠 회전속도($p < 0.01$), 공기분급 휠 회전속도($p < 0.01$)의 영향을 받았다. 미세화된 식이섬유 소재의 대량 생산을 위하여 공정 최적화를 실시한 결과 미분 분급물은 mill grinding speed 5,800 rpm, separate reverse wheel speed 2954.6 rpm 그리고 air classification reverse wheel speed 349.5 rpm 에서 총 식이섬유 함량 39.52 g/100g, 평균입자 63.05 μm , 분급비율 44.98%로 예측 되었다. 조분 분급물은 mill grinding speed 5500.3 rpm, separate reverse wheel speed 2,500 rpm 그리고 air classification reverse wheel speed 600 rpm 에서 총 식이섬유 함량 57.48 g/100g, 평균입자 402.62 μm , 분급비율 70.64%로 예측 되어, 조분 분급물을 통한 식이섬유 강화 식품 소재로서의 가능성을 발견할 수 있었다.

3. 식이섬유 함량 70%(WBF-70) 공정 개발

가. 개요

본 과제에서 밀기울을 원료로 식이섬유가 높은 부분을 분리하는 다양한 공정을 연구하였다. 대량 생산이 가능하고 단위 가공비가 높아지지 않도록 분쇄와 건식 분리공정 등 물리적 처리를 이용하여 식이섬유가 가장 높은 부분을 분리한 결과, 위 연구에서와 같이 밀기울의 미세분쇄와 공기분급 공정을 통하였을 때 60% 수준의 식이섬유까지 분리할 수 있었다.

더 나아가 식이섬유 함량이 70% 이상인 부분을 분리하게 되면, 이는 배변활동 원활과 식후 혈당상승 억제 기능성을 표시할 수 있는 고시형 기능성 원료로서 활용할 수 있어, 식이섬유를 70% 이상으로 상승시키는 공정을 개발하였다.

2-39 밀식이섬유

1) 제조기준

- (1) 원재료 : 밀(*Triticum turgidum durum*, 또는 *T. spp*)
- (2) 제조방법
 - (가) 밀가루 제조공정 중 부산물에서 식이섬유를 분리하여 제조하여야 함
 - (나) 상기 (1) 원재료의 외피 또는 줄기를 세정, 건조, 분쇄시켜 제조하여야 함
- (3) 기능성분(또는 지표성분)의 함량 : 식이섬유를 700 mg/g 이상 함유하고 있어야 함

2) 규격

- (1) 색상 : 고유의 색택·향미를 가지고 이미·이취가 없어야 함
- (2) 식이섬유
 - (가) 원료성 제품 : 표시량 이상
 - (나) 최종제품 : 표시량의 80% 이상
- (3) 대장균군 : 음성

3) 최종제품의 요건

- (1) 기능성 내용 : 식후 혈당상승 억제·배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음
- (2) 일일섭취량
 - (가) 식후 혈당상승 억제에 도움을 줄 수 있음 : 밀 식이섬유로서 6~36 g
 - (나) 배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음 : 밀 식이섬유로서 36 g
- (3) 섭취 시 주의사항
반드시 충분한 물과 함께 섭취할 것 (액상제외)

4) 시험법

- (1) 식이섬유 : 제 4.3-26 식이섬유
- (2) 대장균군 : [별표 4] 참조

그림 17) 고시형 기능성 원료인 밀식이섬유 규격

나. 실험재료 및 방법

(1) 실험재료

본 연구에서 사용한 밀기울은 (주)동아원 당진 제분공장으로부터 호주산 ASW 밀 원맥의 제분 과정 중 생산되는 밀기울을 사용하였다. 전분질의 분리를 위하여 사용한 아밀라아제는 NovoZymes A/S의 bacterial 알파-아밀라아제인인 BAN™을 사용하였다.

(2) 밀기울의 성분 분석

밀기울의 수분, 회분, 단백질, 지방 등 일반 성분은 AACC method에 따라 분석하였고, 총전분 함량은 Total starch assay kit(Megazyme, Ireland)을 사용하여 측정하였다.

$$Starch (\%) = \Delta A \times \frac{F}{W} \times FV \times 0.9$$

ΔA = blank 보정을 한 시료의 흡광도

F = 100 (D-glucose의 ug) / glucose 100 ug의 흡광도

FV = 최종 볼륨

W = 분석 시료의 중량 (mg)

(3) 전분 분리 공정

밀기울에 포함되어 있는 전분질을 효과적으로 분리하기 위하여 전분의 수세, 열수 처리, 효소 처리 등의 공정을 활용하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 효율적인 전분 분리 공정 개발

문헌 연구와 시료 분석에 의하면 밀기울은 약 20% 내외의 전분질을 함유하고 있다. 이 전분질은 밀기울의 식이섬유 함량을 희석시키는 가장 큰 성분이므로 이를 효율적으로 제거하기 위한 공정을 개발하였다. 예비 실험에 의하면 전분질은 밀기울에 비교적 견고하게 붙어 있어, 체질과 물리적 충격에 의해 잘 분리되지 않는다.

전분질을 효율적으로 분리하기 위하여 밀기울에 충분한 물을 혼합, 가열하여 전분을 소화시켰다. 전분이 소화된 밀기울 혼탁액을 45℃로 냉각하여 아밀라아제를 혼합하여 전분 소화액을 액화시켰다. 이후 밀기울을 탈수 건조하여 WBF-70 시료를 얻었다.

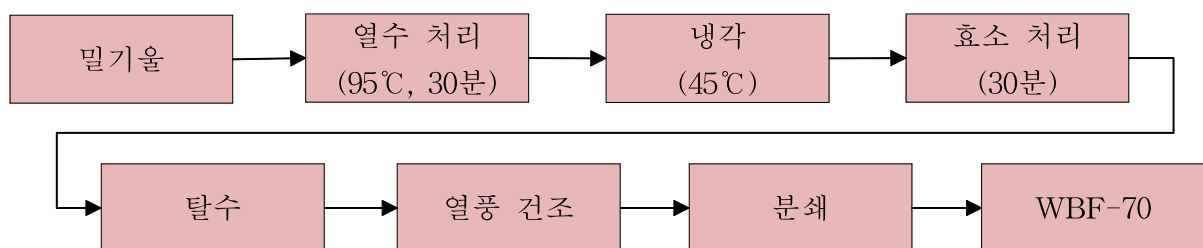


그림 18) WBF-70 공정도

(2) 성분 분석

열수처리와 효소처리를 통해 얻은 WBF-70과 원료인 밀기울을 분석한 결과는 표 15)와 같다. 처리가 되지 않은 밀기울은 총전분이 약 21%이고 식이섬유 함량은 43.4%로 나타났다. 반면 열수처리와 아밀라아제 효소처리한 WBF-70은 대부분의 전분이 제거되었으며, 식이섬유 함량은 70%로 나타났다.

그 외 회분과 단백질, 지방 등은 두 시료 간 차이가 크지 않았다. 이는 열수 처리와 효소 처리에 의해 견고한 세포조직에 쌓여있는 유용한 성분의 손실이 적었음을 알 수 있었다.

구분	밀기울	WBF-70	비고
수분	10.6	6.5	
회분	4.6	5.1	
조단백질	15.8	14.2	
조지방	4.2	3.5	
총전분	21.1	0.6	
총 식이섬유	43.4	70.2	

표 15) 밀기울과 WBF-70 성분 분석

라. 결론

본 연구에서는 밀기울로부터 식이섬유 함량이 70% 이상인 부분을 분리하기 위하여 밀기울의 대량 성분인 전분질을 분리하는 공정을 연구하였다. 밀기울에서 전분질은 약 20%를 차지하여, 단백질과 함께 많은 비중을 차지하고 있어, 전분을 효과적으로 제거하면 밀기울의 식이섬유 함량을 높일 수 있을 것으로 보았다. 이전 연구에서는 공기분급과 같은 물리적 방법을 활용하여 분리하였으나, 분리에 한계가 있어, 본 연구에서는 침지 밀기울에 열수 처리와 아밀라아제 효소 처리를 통하여 효과적으로 전분질을 제거하는 공정을 연구하였다. 연구 결과 밀기울에 물을 혼합하여 열수처리하고, 냉각 후 효소 처리하여 상등액을 제거한 결과, 식이섬유 함량이 70%인 밀기울(WBF-70)을 생산할 수 있었다. 본 WBF-70은 고시형 기능성 원료로 배변활동 개선과 식후 혈당조절 가능성을 갖는 건강기능식품의 원료로 활용할 수 있어, 밀기울의 부가가치를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

4. Bran Layer Separator 시제품 개발

가. 개요

본 개발은 제분 부산물인 밀기울이 여러 층으로 이루어져 있는데, 밀기울 원료 상태에서 층을 물리적으로 분리한 후, 고 식이섬유 또는 고 영양성 등 목적에 적합한 부분을 선택적으로 분리해 내는 것에 목적으로 이에 적합한 공정 설비를 개발하고자 한다.

여러 층으로 이루어진 밀기울은 각 층별로 식이섬유 함량이 높은 부분과 비타민, 미네랄 등의 영양소가 높은 부분 등 각각의 특성을 가지고 있으며, 이 층을 물리적 충격으로 분리한 다음 공기분급을 이용한 구분 공정을 거쳐 분리할 수 있다. 이렇게 분리한 층은 선택한 영양성분을 강조한 밀기울 소재의 원료로 사용할 수 있다.

본 개발은 밀기울 층을 효율적이고 저비용으로 분리할 수 있는 설비와 공정을 개발하여 대량 생산공정에 적용하는 것을 목적으로 하였다.

나. 관련 기술 및 개발 방향 연구

(1) 밀과 밀기울

밀기울은 밀의 껍질에 해당하는 부분으로 크게 두 가지 층, pericarp layer와 aleurone layer으로 이루어지는데, 대부분의 밀기울은 pericarp과 aleurone layer이 붙어 있는 상태로 존재하며, 일부 분리되어 있다. 최근에는 밀기울의 pericarp과 aleurone layer를 물리적으로 분리하는 연구가 이루어지고 있다.

(2) 밀기울의 구성

(가) Pericarp layer

Pericarp layer는 밀기울 중 가장 외곽 층으로 Intermediate cells, cross cells, tube cells로 구성되어 있으며, 통밀 중 약 5% 비중을 차지하고 있다. 이 층은 cellulose 성분이 20%, 단백질이 6%, 회분은 2%, 지방 0.5%로 구성되어 있으며, xylan과 불용성 식이섬유가 풍부한 부분이다.

(나) Testa layer

Pericarp과 aleurone layer 사이에 있는 층으로 통밀 중 약 1%의 비중을 차지한다. 이 층은 arabinoxylan과 lignin으로 이루어져 있으며, pericarp layer보다 cellulose 함량이 낮다.

(다) aleurone layer

밀기울 중 배유 부분에 접해 있는 부분으로 대부분의 항산화 성분이 분포하는 층이다. lignan과 phenolic acid 함량이 높으며, 통밀 중 약 8%의 비중을 차지한다. 대부분의 비타민B군과 미네랄 함량이 aleurone layer에 분포되며, 단백질 함량이 높고 lysine 함량이 높아 아미노산 균형이 우수한 층이다.

parameter	Whole wheat	Pericarp	aleurone layer	Bran	Starchy endosperm	Germ
Weight	100	9	8	17	80	3
Ash	1.5	3	16	9	0.5	5
Protein	12	5	18	11	10	26
Lipids	2	1	9	5	1	10
Crude fiber	2	21	7	14	>0.5	3
Other carbohydrates	82	70	50	61	88	56

표 16) 밀 알곡 조성물의 성분(% d.b.) (출처 : Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement, 2006)

(3) 밀기울 원료 조사

본 연구에서 사용한 원료 밀기울을 광학 현미경으로 확인한 결과 다음과 같은 결과를 보였다. 밀기울을 관찰하면 Pericarp layer와 aleurone layer가 서로 붙어있는 형태가 대부분을 차지하고, 일부 pericarp과 aleurone layer가 분리된 상태로 존재하는 부분이 있었다. 이는 제분 공정 중에 밀기울이 물리적 마찰력에 의해 서로 분리된 것으로 추정된다. 밀기울의 layer를 분리하기 위해서는 pericarp과 aleurone layer를 서로 분리하는 기술이 필요하다.

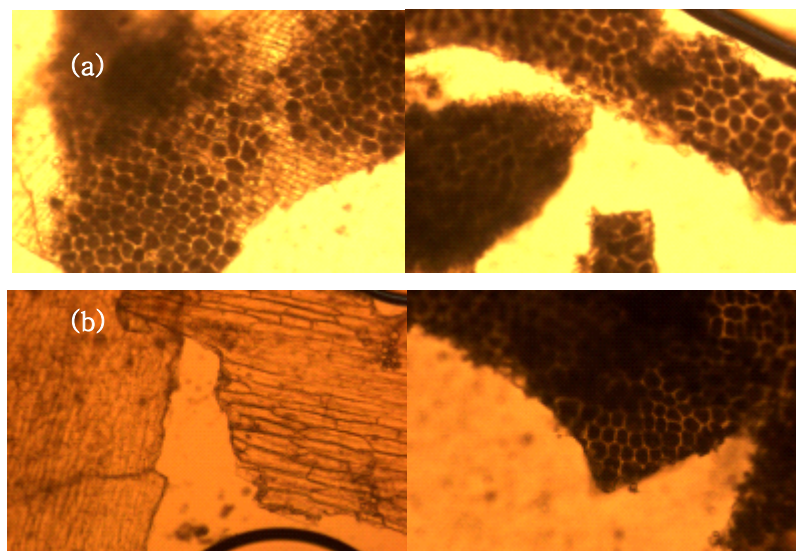


그림 19) (a) pericarp과 aleurone이 붙어있는 형태의 밀기울, (b) 분리된 pericarp(좌)와 aleurone(우) 층 현미경 사진 (Axiovert 40C, Zeiss German)

(4) Bran layer separator 개발 방향

가) 원리

밀기울 중 pericarp과 aleurone layer가 서로 붙어있는 부분을 해리하기 위하여 원료에 물리적 충격을 가하고 두 층이 서로 분리되도록 해야 한다. 이는 충격에 의해 쉽게 깨질 수 있는 aleurone layer와 탄력성이 있어 쉽게 깨지지 않는 pericarp layer의 성질을 이용한다. 물리적 충격에 의해 층을 분리한 밀기울을 공기분급을 이용하여 두 부분이상으로 분리한다. Bran layer separator에서 물리적 충격을 가하는 장비로서 밀가루 제분 공정에서 보조 분쇄장비인 impact mill을 개조하여 사용한다.

나) Impact mill

Impact mill은 고속으로 회전하는 회전판에 impact bolt가 고정되어 있으며, 이 bolt에 분쇄물이 충격하면서 분쇄하는 방식이다. Impact bolt는 대부분 정사각형 모양이지만 용도에 따라 원형인 경우도 있다. 본 연구에서와 같이 2~5mm 크기의 밀기울에 물리적 충격을 주기 위해서는 bolt와 밀기울의 접촉면이 최소화되는 것이 효율적이며 이에 따라 쇄기형이 적합할 것으로 본다. Impact bolt 형태뿐만 아니라 회전판의 속도, Impact 통과 횟수 등에 따른 분리 효율 연구가 필요하다.

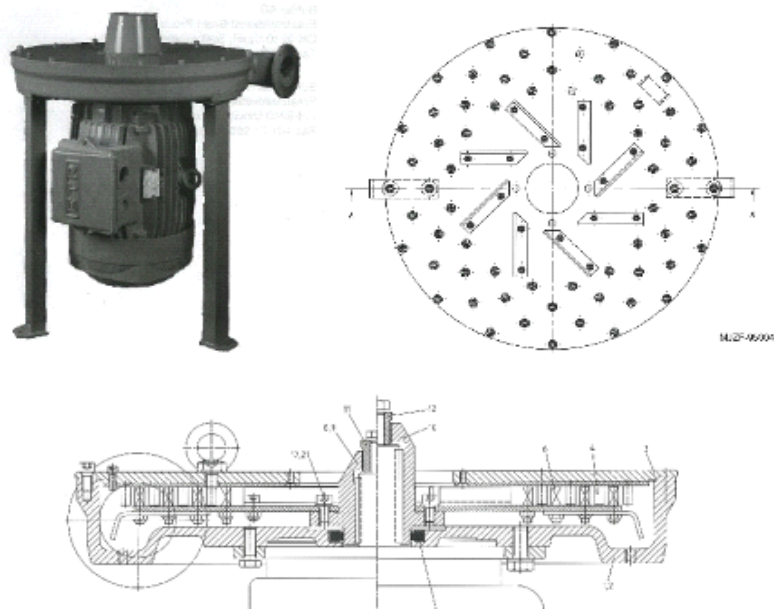


그림 20) Fine impact mill과 구조 (출처 : Buhler AG 매뉴얼)

다) 공기분급

공기분급은 분급물의 비중 차이를 이용한 분리 방법으로 cellulose 함량이 높은 pericarp layer는 가볍고 비중이 낮으며, 미네랄 함량이 높은 aleurone layer는 무겁고 비중이 높은 특징을 이용한다.

다. Bran layer separator 시제품 제작

Bran layer separator는 명우분체시스템(한국)을 통하여 시제품을 제작하였다. Impact mill은 동아원(주) 인천공장에서 사용하였던 장비의 회전판 impact bolt를 개조하였으며, impact mill의 회전 속도를 조정할 수 있도록 컨트롤러를 설치하였다. Impact mill 배출구는 공기분급 사이클론과 연결되었고, 공기분급 설비는 속도 조절을 통해 풍량을 조정할 수 있는 블로어와 연결하였다. 공기분급 설비는 분급 조절을 위하여 separator 속도를 조정하도록 제조하였다.

제작한 시제품은 아래 그림과 같으며, 해당 시제품을 활용하여 밀기울 원료의 목표 영양성분을 높이는데 활용할 수 있었다.



그림 21) Bran Layer Separator 시제품(명우분체시스템, 한국)

5. 미네랄 함량 증대 기술 개발

가. 개요

밀기울(wheat bran)은 밀 중량의 15~20%가량을 차지하는 밀 제분과정의 주요 부산물로, 과피(pericarp)층과 호분(aleurone)층으로 구성된다. 특히 밀기울은 40~50%의 고 식이섬유 소재로, 대부분 cellulose, hemicelluloses, lignin 등의 불용성 식이섬유로 구성되며 그 외에 pectin, gum 등의 수용성 식이섬유를 미량 포함한다. 또한, 무기질, 비타민 B군, Ferulic acid, Arabinoxylan, Alkylresorcinol 등의 생리활성 물질을 함유하고 있다(Elliott et al., 2002; Pruckler et al., 2014).

이러한 밀기울의 영양학적 가치가 주목받으면서 고 식이섬유 소재로 적용하는 몇몇 연구 결과가 보고된 바 있다(Lee et al., 2003; Noort et al., 2010; Hemery et al., 2010). 하지만 적용 분야가 제과, 제빵 류에 국한되어 있으며, 식품 원료로 다량 첨가될 시 거친 입자와 조직감, 이취 등을 발생시켜 대중적인 식품산업의 소재로 응용되기에는 한계가 있다. 이러한 이유로 생산되는 밀기울의 대부분이 대부분 사료로 이용되거나 폐기되고 있는 실정이므로 유효 성분을 집약화하여 소량 첨가로 효율적으로 이용될 수 있는 형태로 가공하는 공정에 대한 연구가 필요한 실정이다(Pruckler et al., 2014).

밀기울을 식품 소재로 가공하는 가장 기본적인 공정은 분쇄를 통한 입자의 미립자화 이다. 기류분쇄는 대표적인 미분 분급물쇄 방법으로 충격판, 해머, 핀 등이 부착된 로터의 고속 회전 및 기류입자의 상호작용으로 분쇄가 진행된다. 식품가공에서 기류분쇄의 이점은 기존 분쇄 방법의 분쇄열에 의한 원료의 변질 및 영양성분 파괴와 분쇄 중의 오염을 방지할 수 있다는 것이다(Kang et al., 2001).

공기분급은 입자의 지름 및 입자와 공기의 밀도 차에 의해 침강 속도가 변하는 것을 이용하여 입자의 지름 및 밀도별로 분리하는 공정으로, 특정 크기 범위의 입자를 생산하기 위해 주로 이용된다(Wang et al., 2013; Lee et al., 2006). 공기분급을 활용하여 제분과정에서 단백질 함량이 증진된 밀가루 분급물 분리 공정 (Wang et al., 2013), 보리 분쇄물에서 β -glucan 함량이 증진된 분급물 분리 공정(Ferrari et al., 2009; Verardo et al., 2011)이 연구된 바 있다. 이 외에도 옥수수 껍질(Wu et al., 2001), 귀리 외피(Wu et al., 2002), 콩 부산물(Challa et al., 2010) 등의 기타 제분 및 곡물 가공 부산물에 분쇄와 공기분급을 병용하여 특정 영양성분이 증진된 분급물을 분리하는 공정에 대한 여러 연구가 이루어진 바 있다. 또한, 잠재적인 영양학적 가치가 높은 밀기울 역시 초미세분쇄 후 공기분급에 의해 식이섬유 함량이 높은 분급물을 분리하는 공정에 대한 연구(Ranhotra et al., 1994)가 이루어진 바 있으나, 기류분쇄 및 공기분급 처리의 반복 횟수 변화에 따른 분급물의 특성에 대한 연구는 이루어진 바 없다.

따라서 본 연구에서는 기류분쇄 및 공기분급을 반복 처리하여 분리한 밀기울 분급물의 특성을 분석하고, 밀기울을 영양성이 증진된 식품 소재로 가공하는 방법으로써 반복 기류분쇄 분급법의 활용 가능성을 모색하고자 하였다.

나. 실험재료 및 방법

(1) 실험재료

기류분쇄 공기분급 밀기울의 제조에 사용된 시료는 A.S.W(Australian standard white) 밀의 밀기울을 사용하였다.

(2) 연속식 기류 분쇄 공기분급 공정

미세 분급 밀기울의 제조는 연속식 기류분쇄 공기분급기(DMC-5, Daehyun Eng, Korea)를 이용하였다(그림 22). 분쇄 및 분급 장치는 기류장치(blower)를 통하여 공기의 흐름이 생기며, 시료투입기(feeder)를 통해 투입된 시료는 분쇄기(mill)에서 1차 분쇄하였다. 기류장치의 풍압에 의하여 상승하는 시료는 중량에 따라 분리기(separator)에서 1차 선별되어 무거운 시료는 분리기를 통과하는 중량이 될 때까지 분쇄기에서 반복하여 분쇄되었다. 1차 선별된 시료는 공기분급기(air classifier)의 휠 회전 속도에 의하여 비중에 따라 분급되었다. 공정 조건은 밀기울의 식이섬유 함량을 증진시키는 초미분쇄 공기분급의 최적 공정 조건을 연구한 Lee et al.(2014)의 결과를 참고하여 몇 가지 공정 조건을 예비 실험한 후 분쇄 속도(Mill grinding speed) 4,500 rpm, 분리 휠 회전 속도(Seperator reverse wheel speed) 2,500 rpm, 공기분급 휠 회전 속도(Air classification reverse wheel speed) 200 rpm으로 하였다. 상대적으로 가볍고 입자 크기가 작은 시료는 공기분급기를 통과하여 미분 분급물로 분리되고, 상대적으로 무겁고 입자 크기가 큰 시료는 공기분급기를 통과하지 못하여 조분 분급물로 분리되었다. 분급된 조분 분급물은 다시 시료투입기에 투입하고 위의 분쇄 및 분급 과정을 5회까지 반복 처리하여 각 처리 횟수별 조분 분급물과 미분 분급물을 채취하였다(그림 23).

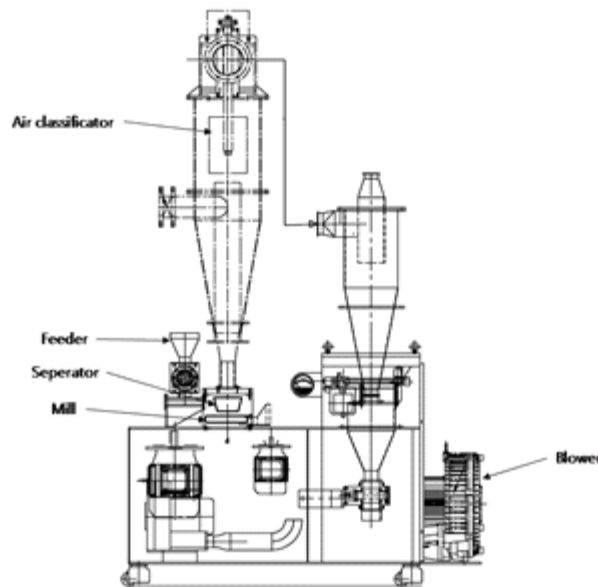


그림 22) 연속식 기류분쇄 공기분급 설비 개략도(모델 DMC-5 대현엔지니어링, 한국)

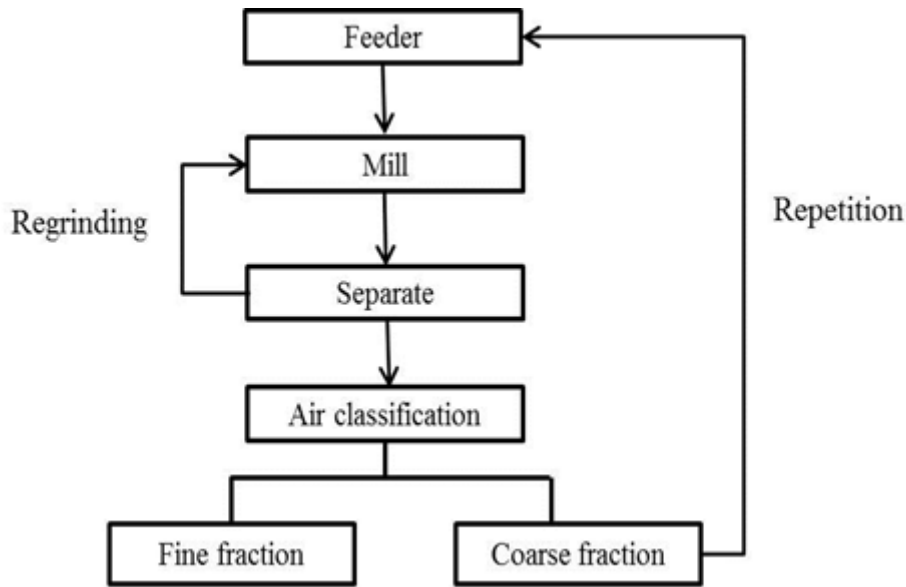


그림 23) 연속식 기류분쇄 공기분급 설비 공정도표(모델 DMC-5 대현엔지니어링, 한국)

(3) 분급 비율

기류분쇄 및 공기분급 시 각각 분급되는 미분 분급물(fine fraction)과 조분 분급물(coarse fraction)을 1분간 채취하였다. 각 분급 시료의 평균 무게를 3회씩 반복 측정하였고, 총 중량에 각 분급 시료의 중량의 비로 분급 비율을 계산하였다.

(4) 입자 분포

각 분급 시료를 진동체(Analysette3, Fritsch GmbH, Germany)로 4분간 분리한 후 180, 425, 1,000, 1180 μm 입자 크기로 분리된 각 분급 시료의 무게를 측정하여 입자의 분포 비율을 계산하였다.

(5) 일반성분 및 총 식이섬유 함량 분석

분급 시료의 일반성분 분석은 AOAC 방법(2000)에 따라 단백질은 Micro-Kjeldahl법, 조회분은 550 $^{\circ}\text{C}$ 회화법으로 분석하였다. 총 식이섬유 정량 역시 AOAC 방법(2000)에 준한 효소법으로 분석하였다. 총 식이섬유 정량은 시료 1 g을 각각의 비커에 넣고, pH 6.0의 인산완충용액 50 mL을 넣은 뒤 0.1 mL의 α -amylase를 혼합한 뒤 95 $^{\circ}\text{C}$ 수조에서 15분간 반응시켰다. 실온 냉각 후 pH를 7.5 \pm 0.2가 되도록 0.275 N의 NaOH를 가한 다음, 버퍼에 희석된 5 mg/mL의 protease를 각각의 비커에 넣고 60 $^{\circ}\text{C}$ 항온수조에서 30분간 반응시킨 후 실온 냉각하였다. pH 4.0~4.6이 되도록 0.325 M의 HCl을 넣어 준 뒤, 0.1 mL의 amyloglucosidase를 넣어 주었고 그 후 30분간 반응시켰다. 95% 에탄올을 넣어 반응을 정지시키고 여과 후 105 $^{\circ}\text{C}$ 에서 건조 및 항량 시켜 평균 잔사 중량을 측정한 다음 각각의 잔사의 단백질과 회분 값 중량을 측정하여 그 값을 빼주어 식이섬유 함량을 측정하였다.

(6) 총 전분 함량 분석

분급 시료의 총 전분 함량은 AOAC 방법(2000)에 따라 측정하였다. GOPOD reagent buffer(K-TSTA 3, Megazyme, Ireland) 48 mL를 증류수 1 L에 용해한 후 GOPOD reagent enzyme(K-TSTA 4, Megazyme, Ireland) 20 mL을 첨가 후 냉장 보관하며 사용하였다. 시료 100 mg을 시험관에 넣고, 0.2 mL의 80% 에탄올을 가하고 α-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℃ 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℃ 항온수조에서 20분간 반응시킨 후 분광광도계(Libra S22, Biochrom, England)를 사용하여 510 nm에서 흡광도를 측정한 다음, 아래 식에 의하여 총 전분 함량을 계산하였다.

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

ΔA : Absorbance (reaction) read against the reagent blank.

$$F : \frac{100(\text{ug of } D - \text{glucose})}{Abs \text{ for } 100 \text{ug of glucose}}$$

FV : Final volume.

(7) 보수력, 보유력, 수분용해지수

분급 시료의 수용성 및 유용성 성질을 분석하기 위해 보수력, 수분용해지수, 보유력을 AACC 방법(1983)에 따라 측정하였다. 수분용해지수는 시료 0.5 g에 증류수 20 mL을 가한 후 30℃ 항온수조(J-MPB2, Jisico Co.,Ltd., Seoul, Korea)에서 3시간 동안 교반하고, 원심분리기(Union 5KR, Hanil Sci. Industrial, Co., Ltd., Incheon, Korea)로 3,000×g에서 10분간 원심분리하였다. 상등액을 알루미늄 접시에 부은 후 105℃ 에서 2시간 동안 건조하여 건조 고형분의 무게를 측정한 후 아래 WSI 수식을 이용하여 계산하였다. 상등액을 제거한 원심분리관은 탈지면 위에 10분간 거꾸로 세워두어 수분을 제거하여 침전물의 무게를 측정한 후 WHC 수식을 이용하여 계산하였다. 보유력은 증류수 대신 콩기름(사조해표)을 사용하여 위와 동일한 방법으로 측정하였다.

$$WSI(\%) : \frac{Dry \ solid \ wt. \ recovered \ by \ evaporating \ the \ supernatant \times 100}{Dry \ sample \ wt.}$$

$$WHC, OHC(g/g) : \frac{(Hydrated \ sample \ wt. - Dry \ sample \ wt.)}{Dry \ sample \ wt.}$$

(8) 무기질 함량 분석

분급 시료의 무기질 함량은 식품공전에 등재되어 있는 마이크로웨이브 법으로 전처리하여 유도결합 플라즈마 방출분광기 측정법(Inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES)법으로 6종의 무기질(Fe, K, Mn, Na) 함량을 측정하였다. 균질화된 시료를 마이크로웨이브용 튜브에 0.5 g을 취하여 질산 8 mL와 과산화수소 2 mL를 가하고 Microwave Digestion system(QWAVE 4000, Questron technologies, Corp., Mississauga, Canada)에서 90°C에서 150분 동안 분해한 뒤 방냉하여 전처리하였다. 표준용액은 Fe, K, Mn, Na 표준품(Plasca CAL, SCP science, Canada)을 0.01, 0.1, 1, 10, 100 ppm 농도범위로 희석하여 이용하였다. 전처리한 시료는 초순수 증류수를 이용하여 50 mL로 정용한 후 ICP-OES(ARCOS FHE16, Spectro Analytical Instruments, Germany)를 이용하여 측정하였다. 각각의 파장으로 측정하였다. Fe, K, Mn, Na 각각의 측정 파장은 396.847 nm, 259.941 nm, 766.491 nm, 257.611 nm, 589.592 nm 이고, 측정 조건은 표 17)과 같다.

Parameters	Conditions
Plasma power	1400 / Watts
Nebulizer	Seaspray
Pump speed	30 rpm
Nebulizer flow	1.0 mL / min
Auxiliary flow	1.0 mL / min
	Fe 259.941 nm
	K 766.491 nm
	Mn 257.611 nm
	Na 589.592 nm

표 17) 무기질 분석을 위한 ICP-OES 기기 조건

(9) 공초점 레이저 주사 현미경(Confocal laser scanning microscope, CLSM) 관찰

분급 시료의 모양 및 미세구조는 공초점 현미경(confocal laser scanning microscopy, D-ECLIPSE C1, Nikon, Japan)을 사용하여 관찰하였다. 일정량의 시료를 slide glass에 점적한 다음 cover glass를 덮고 현미경에 장착하였다. 밀기울에 포함된 자체 형광성을 이미지 프로그램(Eclipse Ti imaging system, Nikon, Japan)을 이용하여 두 개의 레이저 파장인 UV argon ion laser, $\lambda_{exc} = 405$ nm와 blue argon ion laser, $\lambda_{exc} = 488$ nm로 검출하였다.

(10) 통계분석

통계분석은 Minitab 통계프로그램(Minitab, release 17)을 이용하였다. 각 실험군은 평균과

표준편차로 나타내었으며, ANOVA(Tukey method)를 실시하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 분급 비율 및 입자 분포

기류분쇄 및 공기분급 공정을 1회에서 5회까지 반복 처리하여 회수한 조분 분급물 및 미분 분급물의 수율은 표 18)과 같다. 기류분쇄 및 공기분급 공정을 1회 처리하였을 때의 조분 분급물과 미분 분급물의 비율은 약 66:33 이었으나 5회 처리한 조분 분급물과 미분 분급물의 비율은 약 28:72 이었다. Wu et al. (2002)의 연구에서도 기류분쇄한 귀리 외피의 공기분급 횟수가 증가할수록 조분 분급물의 비율이 감소하였다고 보고된 바 있다. 이는 기류분쇄 및 공기분급 처리 횟수가 증가할수록 조분 분급물의 입자 크기가 감소하여 미분 분급물 쪽으로 이동하는 입자가 증가하였기 때문으로 판단된다(표 19). 미처리 및 분급 시료의 입자 크기별 분포 비율은 Table 3과 같다. 미처리 시료는 $1,000\mu\text{m}$ 이상의 큰 입자의 비율이 90% 이상으로 분급 시료에 비해 현저히 높은 반면, 분급 시료에서는 $1000\mu\text{m}$ 미만의 작은 입자들의 비율이 85% 이상으로 증가하였다. 또한, 조분 분급물은 기류분쇄 및 공기분급 처리 횟수가 1회에서 5회까지 증가함에 따라 $425\mu\text{m}$ 이하의 작은 입자들의 비율이 증가하였지만, 미분 분급물의 입자 분포 비율은 처리 횟수 증가에 따른 뚜렷한 증감 경향을 보이지 않았다. 이는 분급물의 입자의 크기를 결정하는 공기분급기 회전 속도가 200 rpm으로 일정하기 때문에 미분 분급물 쪽으로 이동하는 입자 크기는 공정 반복 횟수의 증가에 관계없이 일정하기 때문으로 판단된다.

Process Number	Yield (%)	
	Coarse fraction	Fine fraction
1	66.33	33.67
2	52.28	47.72
3	44.14	55.86
4	31.15	68.85
5	27.61	72.39

표 18) 기류분쇄와 공기분급 반복 공정에 의한 조분과 미분의 수율

Fraction	Process Number	Particle size distribution (%)				
		$\geq 1,180$ μm	1,000~1,179 μm	426~999 μm	181~425 μm	≤ 180 μm
	Raw	89.98	1.58	7.71	0.32	0.41
Coarse	1	9.91	5.11	46.03	19.83	19.12
	2	1.00	1.11	40.03	29.77	28.08
	3	0.20	0.23	34.74	34.09	30.74
	4	0.03	0.10	26.44	35.21	38.22
	5	0.00	0.05	24.99	35.90	39.06
Fine	1	0.21	0.21	44.15	35.52	19.92
	2	0.21	0.21	48.20	28.01	23.38
	3	0.03	0.11	46.31	28.19	25.37
	4	0.13	0.21	49.62	26.46	23.58
	5	0.21	0.21	45.16	24.07	30.35

표 19) 반복 분쇄와 분급에 따른 조분과 미분의 입자 분포

(2) CLSM 표면구조 특징

공초점 레이저 주사 현미경으로 관찰한 분급 시료의 표면 구조는 Fig. 3와 같다. 밀기울의 구조는 크게 외층의 과피(pericarp)층, 내층의 호분(aleurone)층, 호분층에 내층에 붙어있는 미량의 일부 전분질 배유(starchy endosperm)층으로 구성된다. 과피층에는 lignin, arabinoxylan 등의 다당류 및 식이섬유가 주요 구성 성분이고, 호분층에는 단백질, 미네랄, 단당류가 풍부하다(Harris et al., 1994, Jenner et al., 1991). 미처리 시료의 표면구조(그림 24 (A))에서 막대가 배열된 형태의 부분이 과피층이고, 중심 부위에 원형의 망 형태의 부분이 호분층이다. 기류분쇄 및 공기분급을 1회 및 5회 처리하여 분리된 조분 분급물(그림 24 (B), (C))는 큰 덩어리 형태의 과피층 조직이 구조 대부분을 차지하였고, 미분 분급물(그림 24 (D), (E))은 일부 과피층, 호분층, 그리고 전분질 배유층이 작게 분해된 조각들이 불규칙하게 배열된 형태가 관찰되었다. 또한, 5회 반복 처리 조분 및 미분 분급물(그림 24 (C), (E))에서 1회 처리 분급물(그림 (B), (D))보다 과피층 조직 더 많은 비율로 뚜렷하게 관찰되었다.

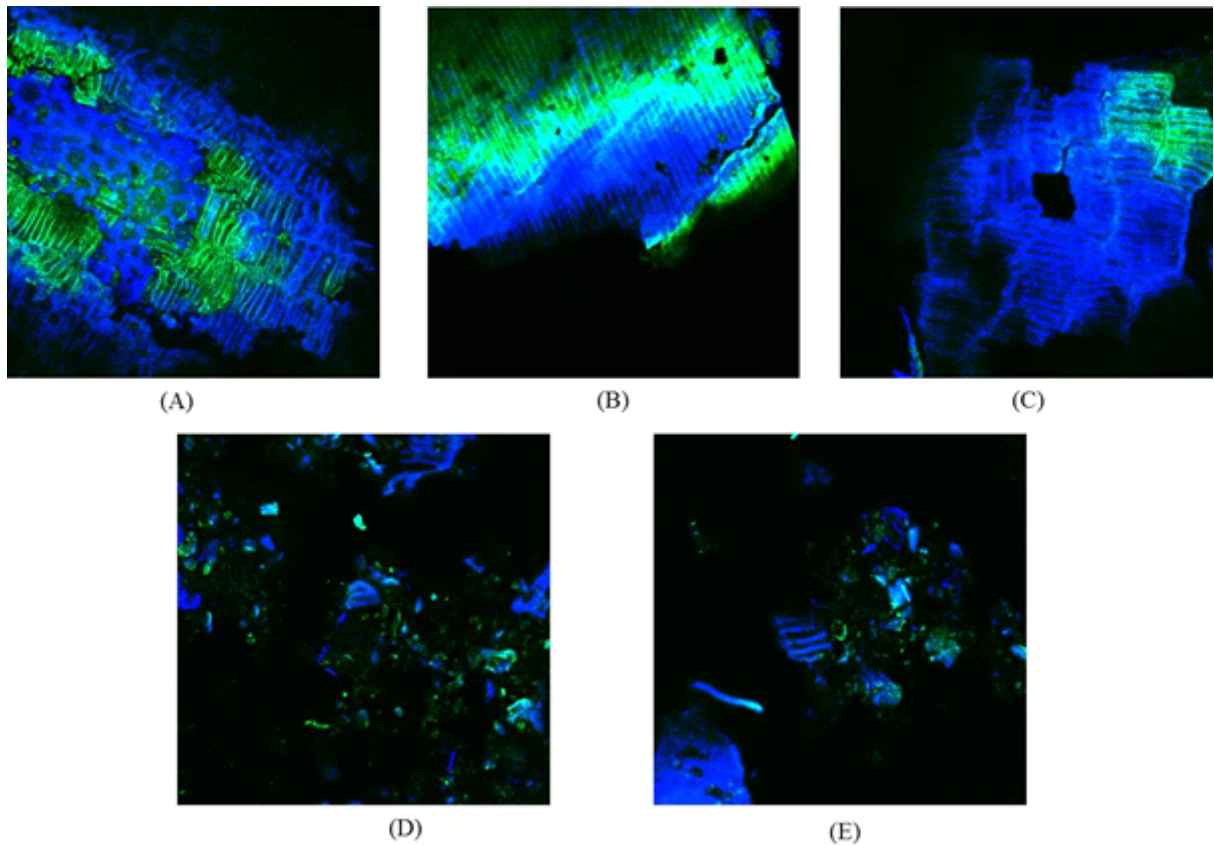


그림 24) 공초점 레이저 주사 현미경으로 관찰한 분급 시료의 표면 구조, raw wheat bran(A), first milled and air-classified coarse fraction(B) and fine fraction(D), 5 times milled and air-classified coarse fraction(C) and fine fraction(E).

(3) 조단백질 함량

분급 시료의 단백질 및 회분 함량은 표 20)과 같다. 단백질 함량은 분쇄 및 공기 분급한 곡류 외피를 실험한 기존의 연구 결과(Wu et al., 2002; Ranhotra et al., 1994; Ku et al., 1996)와 유사하게 본 연구 결과에서도 미처리 시료보다 조분 분급물이 낮고, 미분 분급물이 미처리 시료와 조분 분급물보다 높은 수치를 나타내었다. 이에 대해 Han et al.(1990)과 Park et al.(1993)은 곡류에 포함된 단백질은 protein body 또는 wedge protein 형태로 존재하여 입자가 작고 가벼운 편이어서 미분 분급물 쪽으로 회수된다고 설명하였다. 또한, 조분 분급물에서 단백질이 거의 없는 과피층 조직의 비율이 높은 것 역시 단백질이 낮은 이유 중 하나로 보여진다(그림 24). 더불어 단백질 함량이 높은 호분층 조직 중 더 잘게 분해된 입자들이 미분쪽으로 집약되면서 단백질 함량이 증가한 것으로 판단된다. 그리고 조분 분급물과 미분 분급물 모두 공정 반복 횟수가 증가할수록 단백질 함량이 낮아지는 경향을 보였다. 이는 미분 분급물과 조분 분급물 모두 1회 처리 시료보다 5회 처리 시료에서 단백질 함량이 높은 호분층 조직의 비율은 감소하고 단백질 함량이 낮은 과피층 조직의 비율이 증가했기 때문으로 판단된다(그림 24).

Fraction	Process Number	Total dietary fiber (%)	Crude ash (%)	Crude protein (%)	Total starch (%)
	Raw ²⁾	43.30±0.19 ^{d1)}	5.09±0.07 ^c	14.98±0.65 ^{def}	20.54±0.40 ^d
Coarse	1	49.49±0.43 ^c	6.20±0.16 ^b	14.52±0.77 ^{efg}	10.1±0.26 ^e
	2	53.17±0.21 ^b	6.25±0.13 ^b	14.33±0.30 ^{efg}	4.35±0.24 ^f
	3	53.28±0.63 ^b	7.34±0.32 ^a	14.14±1.20 ^{fg}	4.21±0.35 ^f
	4	57.37±0.35 ^a	6.90±0.29 ^{ab}	13.87±0.89 ^{fg}	2.86±0.22 ^g
	5	58.34±0.40 ^a	7.00±0.15 ^a	13.52±0.40 ^g	2.23±0.14 ^g
Fine	1	26.18±0.18 ^b	3.66±0.31 ^d	17.53±0.34 ^a	41.04±0.32 ^a
	2	29.28±0.37 ^g	4.36±0.18 ^{cd}	17.26±0.5 ^{ab}	31.27±0.39 ^b
	3	33.33±0.40 ^f	4.64±0.43 ^c	16.49±0.35 ^{abc}	31.86±0.16 ^b
	4	36.17±0.44 ^e	4.78±0.23 ^c	16.02±0.29 ^{bcd}	28.57±0.43 ^c
	5	37.17±2.45 ^e	4.90±0.28 ^c	15.57±0.45 ^{cdf}	28.72±0.58 ^c

표 20) 반복 분쇄 분급에 의해 분리한 조분과 미분의 성분 분석

¹⁾ Mean±SD deviation. Values with different superscripts in the same column are significantly different (p<0.05).

²⁾ Not grinded and not air-classified wheat bran.

(4) 총 식이섬유 함량

분급 시료의 총 식이섬유 함량은 표 30)과 같다. 총 식이섬유는 조분 분급물에서 미처리 시료 및 미분 분급물보다 유의적으로 높은 함량을 나타내었다(p<0.05). 이는 분쇄 및 공기분급 처리한 밀기울의 조분 분급물이 미분 분급물보다 불용성 및 총 식이섬유의 함량이 높았다는 기존의 연구 결과와 일치하였다(Lee et al., 2014; Ranhotra et al., 1994). 또한, 공기분급한 귀리 외피와 보리 분쇄물에서 총 식이섬유와 β-glucan의 함량이 조분 분급물에서 미분 분급물보다 현저히 높았다고 보고되었다(Wu et al., 2002; Ferrari et al., 2009). 이는 분급 과정에서 식이섬유 함량이 높은 과피층 부분이 조분 분급물 쪽으로 집약되었기 때문으로 판단된다(그림 24). 그리고 공정 반복 횟수가 1회에서 5회로 증가할수록 총 식이섬유 함량이 각각 조분 분급물은 49.49%에서 58.34%로, 미분 분급물은 26.18%에서 37.17%로 증가하였다(표 30). Ranhotra et al.(1994)의 연구에서도 밀기울 분쇄물을 각각 다른 공기분급 조건으로 4회까지 반복 분급하였을 때 조분 분급물과 미분 분급물 모두에서 식이섬유 함량이 증가했다고 보고하였다.

(5) 총 전분 함량

분급 시료의 총 전분 함량은 표 30)과 같이, 미분 분급물, 미처리 시료, 조분 분급물순으로 낮은 수치를 보였다($p < 0.05$). 이는 공기 분급한 귀리 외피와 보리 분쇄물의 조분 분급물에서 미분 분급물보다 전분 함량이 높았고, 반대로 β -glucan 함량은 조분 분급물에서 미분 분급물보다 3배가량 높았다는 기존의 연구 결과와 유사하였다(Wu et al., 2002; Ferarari et al., 2009). 그리고 조분 및 미분 분급물 모두 공정 반복 횟수가 증가할수록 총 전분 함량이 유의적으로 감소하였는데($p < 0.05$), 이는 총 식이섬유 함량 결과와 반대 경향의 결과였다(Table 4). 표면구조 분석 결과(Fig. 2)를 보면, 조분 분급물에서는 뚜렷하지 않으나 미분 분급물에서 1회 처리 미분 분급물(Fig. 2 D)보다 5회 반복 처리 미분 분급물(Fig. 2 E)에서 과피층 조직의 비율이 증가하였지만, 전분질 배유 부분으로 생각되는 작은 점 형태의 조직은 감소한 것을 확인할 수 있다. 이로 인해 공정 반복 횟수가 증가할수록 총 전분 함량이 감소하고 총 식이섬유 함량을 증가한 것으로 판단된다.

(6) 보수력, 보유력, 수분용해지수

분급 시료의 보수력(water holding capacity, WHC), 보유력(oil holding capacity, OHC), 수분용해지수(water solubility index, WSI)를 측정한 결과는 표 31)과 같으며, 보수력과 보유력 모두 미처리 시료보다 분급 시료에서 낮았고, 분급 시료 중에는 미분 분급물이 조분 분급물보다 낮았다($p < 0.05$). Ku et al.(1996)은 공기 분급한 동부 분말 중 입자가 큰 조분 분급물이 미분 분급물보다 보수력이 높았다는 유사한 결과를 보고하였다. 이를 통해 비교적 입자가 큰 조분 분급물에서 보수력과 보유력이 증가하는 것을 확인하였다. 그러나 조분 및 미분 분급물에서 공정 반복 횟수 증가에 따른 보수력 및 보유력의 유의적인 증감 경향은 보이지 않았다. 보수력 및 보유력 결과와 달리, 수분용해지수는 미처리 시료보다 분급 시료에서 높았고, 분급 시료 중에는 조분 분급물보다 미분 분급물에서 높았다($p < 0.05$). Kum et al.(1999)의 연구에서도 입자 크기가 감소할수록 수분용해지수가 증가했다고 보고하였다. 이는 입자의 감소로 인한 표면적의 증가로 미분 분급물에 다량 함유된 단백질, 전분 등의 친수성 성분이 물에 쉽게 용출된 것으로 판단된다(표 21).

Fraction	Process Number	WHC ³⁾ (mL/g)	OHC ⁵⁾ (mL/g)	WSI ⁴⁾ (%)
	Raw ²⁾	5.77±0.06 ^{a1)}	4.21±0.19 ^a	11.96±0.05 ^h
	1	4.77±0.02 ^b	3.36±0.38 ^b	13.30±0.11 ^g
	2	4.68±0.34 ^b	3.20±0.22 ^b	14.54±0.63 ^f
Coarse	3	4.61±0.13 ^b	2.81±0.18 ^{bcd}	14.86±0.08 ^{df}
	4	4.88±0.14 ^b	2.9a6±0.06 ^{bc}	15.11±0.27 ^{def}
	5	4.72±0.02 ^b	2.94±0.04 ^{bc}	15.27±0.34 ^{cde}
	1	2.45±0.02 ^c	2.12±0.08 ^e	15.74±0.42 ^{bcd}
	2	2.67±0.03 ^c	2.25±0.13 ^{de}	15.95±0.26 ^{bc}
Fine	3	2.71±0.01 ^{cd}	2.54±0.22 ^{cde}	15.88±0.32 ^{bc}
	4	2.89±0.03 ^{cd}	2.48±0.33 ^{cde}	16.28±0.13 ^{ab}
	5	2.84±0.01 ^d	2.54±0.21 ^{cde}	16.75±0.36 ^a

표 21) 반복 분쇄 분급에 의해 분리한 조분과 미분의 WHC, WSI, OHC 분석

¹⁾ Mean±SD deviation. Values with different superscripts in the same column are significantly different ($p<0.05$).

²⁾ Not grinded and not air-classified wheat bran

³⁾ Water holding capacity

⁴⁾ Water solubility index

⁵⁾ Oil holding capacity

(7) 무기질 함량

분급 시료의 철(Fe), 칼륨(K), 망간(Mn), 나트륨(Na) 함량 분석 결과는 표 32)와 같다. 철, 칼륨, 망간, 나트륨은 미처리 시료보다 조분 분급물에서 증가하였고, 미분 분급물에서는 감소하였다($p<0.05$). 기존의 연구에서 철, 칼륨, 망간, 칼슘, 아연, 인, 구리 등의 무기질의 밀 구조 내 주요 저장소는 호분층이라고 보고된 바 있다(Singh et al., 2014; Tanaka et al., 1974). 따라서 분쇄 및 공기분급 과정을 통해 호분층 조직이 조분 분급물쪽으로 분리되어 미분 분급물보다 높은 무기질 함량을 나타내는 것으로 판단된다. 또한, 이는 표 22)의 조회분 함량이 조분 분급물에서 미분 분급물보다 유의적으로 높은 결과와 상응하는 것으로 판단된다($p<0.05$). 그러나 공정 반복 횟수의 증가에 따른 무기질 함량의 비례적인 증감 경향은 뚜렷하지 않았다.

Fraction	Process Number	Fe (ppm)	K (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)
	Raw ²⁾	59.65±2.45 ^{d1)}	7675.00±36.40 ^{ab}	117.46±0.48 ^c	49.82±0.21 ^{fg}
Coarse	1	104.44±6.60 ^b	8776.96±9.58 ^{ab}	147.27±0.78 ^b	58.85±0.42 ^c
	2	150.12±5.58 ^a	9026.30±71.70 ^{ab}	156.28±0.90 ^b	59.48±0.05 ^c
	3	113.27±6.27 ^b	10248.60±82.00 ^a	182.77±3.29 ^a	66.22±0.87 ^a
	4	164.96±8.32 ^a	9633.80±64.20 ^{ab}	180.08±1.52 ^a	61.7±0.44 ^b
	5	85.67±5.18 ^c	9879.00±70.50 ^{ab}	177.4±2.94 ^a	56.81±0.67 ^d
Fine	1	21.28±0.89 ^e	5422.70±66.10 ^b	72.77±0.93 ^f	42.88±0.17 ^h
	2	61.42±5.25 ^d	6431.94±10.09 ^{ab}	78.27±16.99 ^f	49.35±0.55 ^{fg}
	3	82.57±19.18 ^c	6740.90±72.10 ^{ab}	94.92±1.89 ^e	50.98±1.48 ^{ef}
	4	50.88±1.77 ^d	6833.10±56.90 ^{ab}	98.86±0.72 ^{de}	48.39±0.76 ^g
	5	108.05±4.88 ^b	7277.94±18.54 ^{ab}	108.3±0.09 ^{cd}	52.36±0.52 ^e

표 22) 반복 분쇄 분급에 의해 분리한 조분과 미분의 주요 미네랄 분석

¹⁾ Mean±SD deviation. Values with different superscripts in the same column are significantly different (p<0.05).

²⁾ Not grinded and not air-classified wheat bran

라. 결론

본 연구에서는 밀기울을 원료로 기류분쇄 및 공기분급을 1회에서 5회까지 반복 처리하여 분리한 조분 및 미분 분급물의 특성을 분석하였다. 조분 분급물과 미분 분급물의 수율은 공정 반복 횟수가 증가할수록 조분 분급물의 비율이 감소하고 미분 분급물의 비율이 증가하였다. 과피층 조직이 구조의 대부분을 차지하는 조분 분급물에서 미분 분급물보다 총 식이섬유 함량이 높고 총 전분 함량이 낮았다. 조분 분급물과 미분 분급물 모두 공정 반복 횟수가 증가할수록 총 식이섬유 함량이 증가하고 총 전분 함량이 감소하였다. 조분 분급물에서는 무기질(Fe, K, Mn, Na) 및 조회분 함량이 높았고, 미분 분급물에서는 조분 분급물보다 단백질과 전분 함량이 높았다. 공정 반복 횟수의 증가에 따라 미분 분급물과 조분 분급물 모두 조회분 함량은 증가하였고, 그 외의 무기질과 단백질 함량은 뚜렷한 증감 경향을 보이지 않았다. 보수력(WHC)와 보유력(OHC)은 조분 분급물이 미분 분급물보다 크고 수분용해지수(WSI)는 미분 분급물이 더 높았으나 공정 반복 횟수의 증가에 따른 증감 경향은 크지 않았다.

연구 결과를 통해, 기류분쇄 및 공기분급을 2~4회 반복 처리하여 조분 분급물을 분리하는 공정은 식이섬유 및 무기질 함량이 증진된 식품 소재 가공 기술로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 특히 4회 반복 분급하여 얻어진 조분 분급물(coarse fraction)은 Fe와 Mn 함량이 원료 대비 50~150 % 상승하였음을 확인하여 우수한 미네랄 영양 소재로 활용할 수 있을 것이다.

6. 항산화능 증대 가공 기술 개발

가. 개요

오늘날 소비자들의 건강에 대한 관심이 높아져 기능성이 강화된 건강기능식품에 대한 요구와 소비가 증가하는 추세이다. 특히 노화 억제와 성인병 예방을 위한 천연 항산화제를 함유하는 건강기능식품 개발에 대한 관심이 높아짐에 따라 자유 라디칼을 방어하는 항산화 물질에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다(Imai et al., 1994; Valko et al., 2007). 생물체에서는 대사과정 중 생화학 반응 및 환경적 인자에 의해 생체에 해로운 superoxide radical, hydroxyl radical, peroxy radical, hydrogen peroxide 등과 같은 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)이 생성되며, 생체 내 ROS의 생성이 증가한 상태인 산화 스트레스(oxidative stress)에 의해 세포 내 구성성분인 단백질 및 지질성분 등이 기능적으로 손상되어 생체기능이 저하하는 것으로 알려졌다(Halliwell et al., 1999). 이러한 ROS의 작용에 의한 생체기능 저하는 노화, 당뇨병, 심혈관계질환, 자가면역질환 및 알츠하이머 질환 등과 같은 다양한 질환의 원인이 되기도 하며, DNA 손상에 따른 발암 과정에도 깊게 관여하고 있는 것으로 보고되고 있다(Imai et al., 1994; Valko et al., 2007). 산화 스트레스에 의한 세포 구성성분의 산화 손상을 지연시키거나 억제하는 물질을 항산화 물질(antioxidant)이라 하며, 독성 및 발암성이 제거되는 합성 항산화제 대신 기능성과 안전성 면에서 두각을 나타내는 식물기원 천연 항산화제의 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다(Rice-Evans et al., 1997; Kim et al., 2012).

밀은 약 83%의 배유(endosperm), 15%의 겨(bran) 그리고 2%의 배아(germ)로 구성되어 있다. 이 중 밀기울(wheat bran)은 밀의 제분과정에서 생성되는 주요 부산물로서 과외피(epidermis)와 씨껍질(seed coat)로 이루어져 있다. 또한 약 40-50%의 풍부한 섬유소를 함유하는 천연식품 소재로 알려졌으며(D'Appolonia, 1979) 항산화 활성을 나타내는 주된 성분인 페놀성분이 풍부하게 함유되어 있다(Pomeranz et al., 1998). 이러한 밀의 페놀성분은 두 가지 범주로 나눌 수 있다. gallic, vanillic, syringic 및 p-hydroxybenzoic acid와 같은 benzoic acid 유도체와 ferulic, p-coumaric 및 caffeic acids를 포함하는 cinnamic acid 유도체로 나눌 수 있다(Kim 2006; Yu & Cheng, 2007). 이러한 페놀산은 세포의 산화 상태를 조절하고 산화 손상으로부터 DNA, 단백질, 및 막 지질과 같은 생물학적으로 중요한 분자를 보호하는 강력한 항산화 활성을 가지고 있다(Yu et al., 2002). 따라서 전립 밀을 섭취함으로써 건강에 큰 도움이 된다는 것이 많은 역학 연구결과에서 나타나고 있다(Willcox et al., 2004).

최근 식품가공분야에서 micro 및 nanotechnology는 질병의 예방과 치료에 도움을 주는 약용식품 및 건강기능식품 개발에 큰 역할을 하고 있으며(Chen et al., 2006), 여러 미세화 기술 중 고압 균질(High-Pressure Homogenizer, HPH) 처리가 주목받고 있다. 이는 고압 상태의 시료가 미세한 관을 통과할 때 순간적으로 저압 상태로 변하면서 생성되는 cavitation, impact, turbulence 및 shear force에 의해 시료가 매우 미세한 상태로 쪼개지게 되며 이에 따라 구조와 표면적을 변화시켜 기능적 특성이 향상한다(Kasemwong et al., 2011). 또한, 고압유화기의 일종인 microfluidizer는 고압과 전단력에 의한 유화의 안정화 이외에 미생물 살균, 단백질과 전분의 기능성 조절작용 등이 보고되면서 최근 연구활동이 활발히 진행되고 있다. 그 예로 Zhou et al., (2004)은 밀 호분층(aleurone)의 미세화 처리로 항산화 활성이 증가함을 보고한 바 있으며, Rosa et al., (2013)은 밀기울의 ultra-fine grinding 처리를 통해 항산화 활성을 증가시

켰다고 보고 하였다. 또 다른 연구에서는 오렌지 주스의 열 살균에 의한 생리활성물질이나 항산화 활성의 감소를 막기 위해 고압 균질 처리를 통해 저장기간 동안 생리활성물질을 보존하였음을 증명한 연구결과가 있다(Velázquez-Estrada, 2013). 그러므로 초미세화에 의한 입자 크기의 감소가 밀기울의 항산화 특성에 어떠한 영향을 미치는지는 중요하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 고압 균질처리에 따른 밀기울의 입자 크기의 감소가 항산화 활성에 미치는 영향에 대해 분석하고 나아가 천연 항산화제로서의 밀기울의 부가가치 제고 및 식품 소재화를 위한 기초자료를 제시하고 공정을 개발하기 위함이다.

나. 실험재료 및 방법

(1) 시료 및 시약

본 연구에 사용된 시약은 Sigma-Aldrich(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)사에서 구매하였으며 시료로 사용한 HRW 밀기울은 동아원(주) 당진공장에서 제공 받은 것으로 제분 시에 생산된 밀기울을 사용하였다. 밀기울에 잔류 되어 있는 밀가루의 제거와 이물질 분리를 위해 증류수로 세척한 후 30℃에서 24시간 동안 건조하였다. 건조된 밀기울은 Lab scale grinding mill(Laboratory mill 3100, Perten Instruments AB, Huddinge, Sweden)를 이용하여 평균 입자가 약 460 μm 가 되도록 분쇄하였다. 실험에 사용하기 전까지 밀폐유리용기에 넣어 -20℃에서 보관하였다.

(2) 고압 균질(High-Pressure Homogenizer : HPH) 처리 공정

밀기울의 고압 균질 처리를 위해 밀기울과 증류수의 비율을 3.5 : 100 (w/v)으로 고르게 분산시켜 고압 균질기(MINI DeBEE, BEE International Inc., MA, USA)에 투입하였다. 분산액은 지름이 200 μm (IC 200), 100 μm (IC 100)인 노즐을 통과시켰으며 IC 200 노즐에서는 20,000 psi의 압력을, IC 100 노즐에서는 30,000 psi의 압력을 가해주었다. 각각의 처리 조건은 IC 200 노즐 1회와 IC 100 노즐 2회, 5회 및 7회 통과로 HPH 처리하였으며 IC 100 노즐을 통과하기에 앞서 IC 200을 1회 통과시킨 후 처리하였다. HPH 처리를 하는 동안의 시료 온도는 30~40℃였으며, 처리된 각각의 밀기울 시료는 분무건조기(Eyela SD-1000, Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 분말화 하였다. 이때의 분무건조 조건은 inlet temperature를 140~160℃로 조절하였고 out-let temperature를 80~90℃로 하고 시료공급속도는 12 mL/min으로 하였다. 분무건조 한 시료는 실험에 사용하기 전까지 밀폐유리용기에 넣어 -20℃에서 보관하였고, 실험은 2회 반복하였다.

(3) 평균 입도 분석

밀기울 분말 약 0.5g을 취하여 에탄올 약 30 mL에 희석한 후 분산시켜 투입하였으며, 이때 투입되는 시료의 농도는 obscuration 8~12% 내에 있도록 하였다. Laser diffraction particle size analyzer(LS 13 320 SGL, Beckman Coulter, Inc., Anaheim, CA, USA)를 사용하여 입도 분포를 측정하였으며 실험은 3회 반복 측정하였다. 본 입도분석 장비는 시료 입자들에 의해 산란한 빛의 패턴을 측정하여 입자 크기 및 분포를 측정하는 광 산란법에 적합하도록 설계되어 있다. 시료를 투입하면 적정한 농도의 시료가 순환하는 cell에 레이저가 투사되고 이 레이저는

입자에 의해 표면에서 산란하게 되고, 수십 개의 검출기가 산란하는 레이저의 빛의 각도를 측정해 입자의 크기 및 분포를 측정하게 된다.

(4) 표면 반응성 페놀 화합물 함량

시료의 표면 반응성 페놀 화합물 함량은 Serpen et al., (2008)의 직접측정법과 Singleton et al., (1999)의 Foline-Ciocalteau 방법을 일부 변경하여 측정하였다. 원심분리 관에 시료 10 mg 과 10% Foline-Ciocalteau시약 2.5 mL을 취하여 5분간 반응시킨 후 2 mL의 7.5%의 Na_2CO_3 용액을 가한다. 혼합용액을 2시간 동안 상온에서 반응시킨 후 원심분리기(Union 5KR, Hanil Sci. Industrial, Co., Ltd., Incheon, Korea)로 10,000 g에서 15분간 원심분리 하였다. 원심분리 된 상층액을 725 nm에서 흡광도(Libra S22, biochrom Ltd., Cambridge, UK)를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid 용액을 이용하여 검량선을 작성하였고 표면 반응성 페놀 화합물 함량은 mg gallic acid equivalent(mg GAE/g d.w.)로 나타내었다.

(5) DPPH 라디칼 소거활성

항산화 활성으로 DPPH(2,2-diphenyl -1-picrylhydrazyl)에 대한 전자공여능으로 시료에 대한 환원력을 측정하였으며 Serpen et al., (2008)의 직접측정법을 일부 변경하여 측정하였다. 시료 10 mg에 64 μM DPPH 용액을 첨가하여 2시간 후에 515nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 용액은 80% 메탄올로 조제 하였으며 실험 직전에 만들어 사용하였다. 표준물질로 trolox를 이용하여 검량선을 작성하였고, 각 시료의 라디칼 소거능은 건조시료 g당 μM trolox equivalent(μM Trolox equiv/g d.w.)로 나타내었다.

(6) ABTS 라디칼 소거활성

ABTS (2,2'-azino-bis[3-ethylbenz-thiazoline-6-sulphonate]) 라디칼 소거활성을 이용한 항산화 활성 측정은 Serpen et al., (2008)의 방법을 변경하여 측정하였다. 7 mM/L ABTS 용액 과 2.45 mM/L potassium persulfate를 실온의 암소에서 약 14시간 동안 반응시켜 ABTS 양이온을 형성시켜 ABTS stock solution을 제조한 다음, 734nm에서 흡광도가 0.7 ± 0.04 로 희석하였다. 희석한 ABTS stock solution 6mL에 시료 10 mg을 첨가하여 주기적으로 교반하며 60분간 방치하였다. 10,000g에서 10분간 원심분리 한 상층액의 흡광도는 734 nm에서 측정하였다. 표준물질로 trolox를 이용하여 검량선을 작성하였고, 각 시료의 라디칼 소거능은 건조시료 g당 μM trolox equivalent(μM Trolox equiv/g d.w.)로 나타내었다.

(7) Ferrous-ion chelating 효과

시료의 Ferrous-ion chelating 효과는 Decker & Welch(1990)와 Wang et al.(2009)의 방법을 변경하여 측정하였다. 10 mg의 밀기울 시료에 6 mL의 증류수와 2 mM $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 용액 100 μL 를 가한다. 5 mM ferrozine용액 200 μL 를 가해 10분간 교반하여 실온에서 반응시켰다. 10,000 g에서 15분간 원심분리 하여 원심분리 된 상층액을 562 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 EDTA(ethylenedia minetraacetic acid) 용액을 이용하여 검량선을 작성하였고 Ferrous-ion chelating 효과는 건조시료 g 당 EDTA equivalent(μM EDTA equiv/g d.w.)로 나타내었다.

(8) 공초점 레이저 주사 현미경(Confocal laser scanning microscope : CLSM) 관찰

공초점 현미경은 생명과학 분야에서 활용되고 있는 대표적인 광학 계측 장비로써 기존의 광학현미경보다 매우 우수한 공간분해능을 가짐과 동시에 시료의 구조적인 이해뿐만 아니라 생리학적인 기능을 연구하는데 매우 중요한 역할을 하는 첨단 광학 영상장비로 알려졌다(Wilson, 1990). 따라서 고압균질 처리된 밀기울 미세구조의 변화를 관찰하고자 공초점 레이저 주사 현미경을 이용하여 관찰하였다.

각각의 시료들을 슬라이드글라스에 일정량 놓은 후 커버글라스로 덮어 고정하여 관찰용 시료로 준비하였다. 시료의 공초점 이미지는 Nikon D-ECLIPSE C1 현미경(Nikon, Tokyo, Japan)과 Nikon ECLIPSE Ti imaging system(Nikon, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다. 밀기울에 포함된 자체 형광성은 두 개의 레이저 파장인 UV argon ion laser, $\lambda_{exc}=405nm$ 와 blue argon ion laser, $\lambda_{exc}=488nm$ 로 검출하였다.

(9) 통계분석

실험 결과는 3회 반복 측정 후 평균과 표준편차로 나타내었고, 통계 처리 프로그램 SPSS(ver. 21.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 그리고 Duncan 다범위 검증(Duncan's multiple range test)을 통해 $p<0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 평균 입자 크기

표 23)에 각각의 조건에서 고압 균질 처리한 밀기울의 입자 크기 결과를 나타내었다. 대조군 밀기울의 평균 입자 크기는 $463.6 \mu m$ 로 분석되었으며, 표준편차 값이 $190.5 \mu m$ 로 상대적으로 광범위한 입자 크기 분포를 나타내었다. IC 200을 사용하여 1회 고압 균질 처리한 결과 $87.2 \mu m$ 로 감소하였으며 평균적으로 약 81% 감소하였음을 알 수 있었다. IC 100을 사용하여 처리한 결과는 각각 2회 $55.2 \mu m$, 5회 $27.8 \mu m$ 및 7회 $20.9 \mu m$ 였으며, 처리가 증가함에 따라 입자 크기의 감소가 관찰되었고 최종적으로 약 95% 감소하였음을 알 수 있었다. 또한, 입자 크기 분포도를 나타내는 표준편차 값도 처리 횟수가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있었다.

Wheat bran sample	Particle size(μm)	SD ¹⁾ (μm)
Gound raw	463.6 \pm 10.1	190.5 \pm 2.9
IC200,1-pass	87.2 \pm 0.5	67.6 \pm 1.8
IC100,2-pass	55.2 \pm 0.2	36.1 \pm 1.0
IC100,5-pass	27.8 \pm 0.2	20.3 \pm 0.2
IC100,7-pass	19.9 \pm 0.3	18.9 \pm 0.2

표 23) 고압균질 처리 시료의 입자 크기 분포

The values are expressed as mean \pm SD (n=3).

¹⁾ Standard deviation which is one measure of the width of the particle size distribution.

(2) 표면 반응성 페놀 화합물 함량

각각의 조건에서 고압 균질 처리한 밀기울의 표면 반응성 페놀 화합물의 함량은 표 24)에 나타내었다. 고압 균질처리가 증가함에 따라 표면 반응성 페놀 화합물의 함량도 증가하는 것으로 나타났다. 식물계에 널리 분포하는 2차 대사산물인 페놀성 화합물의 함량은 항산화 활성의 간접적인 지표가 되는 것으로 알려졌다. IC 200 노즐을 통과했을 때 3.4 에서 6.9 mg GAE/g d.w.로 증가하였고 IC 200과 IC 100 노즐을 통해 7회 통과 후에는 처리하지 않은 시료에 비해 약 3.6배가 증가하였다. 표면 반응성 페놀 화합물 함량의 증가는 고압 균질 처리가 섬유소 매트릭스를 풀어지게 하고 밀기울 입자의 특정 표면적을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 간접적으로 보여주는 것이다. 그러므로 섬유소에 공유결합 되어 있거나 물리적으로 포획된 불활성 페놀 화합물이 노출되어 반응성 화합물이 되는 것이라고 사료된다. 최근 Rosa et al.(2013) 또한 밀기울의 초미세 분쇄 처리로 페놀산의 함량을 증가시키고 그럼으로써 항산화능 또한 향상되었다고 보고했다. 이는 밀기울 aleurone 세포의 파열과 방출 또는 입자 표면적의 증가로 페놀산의 방출이 촉진되었기 때문으로 사료된다.

Wheat bran sample	Surface-reactive phenolic content (mg GAE /g d.w.)
Gound raw	3.4±0.02 ^{a1)}
IC200,1-pass	6.9±0.03 ^b
IC100,2-pass	9.1±0.03 ^c
IC100,5-pass	11.8±0.04 ^d
IC100,7-pass	12.4±0.03 ^e

표 24) 고압균질 처리 시료의 표면반응성 페놀 화합물 함량

The values are expressed as mean±SD (n=3).

¹⁾ Mean±SD deviation. Values with different superscripts in the same column are significantly different (p<0.05).

(3) DPPH 라디컬 소거활성

표 25)에 각각의 조건에서 고압 균질 처리한 밀기울의 DPPH 라디컬 소거활성을 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 고압 균질 처리의 정도가 증가할수록 DPPH 라디컬 소거활성이 유의적으로 증가하였고(p<0.05), 대조군과 IC 100 7회 처리 밀기울의 DPPH 라디컬 소거활성은 각각 8.2, 37.9 μ M Trolox equiv/g d.w.로 7회 처리한 밀기울이 대조군 보다 약 4.6배 높게 나타났다. 또한, Pearson 상관관계 분석에 따르면 표면 반응성 페놀화합물과 DPPH 라디컬 소거활성 간의 상관계수는 $r^2=0.992$ 로 나타나 고압 균질 처리된 밀기울에서 표면 반응성 페놀화합물은 DPPH 라디컬 소거활성에 정의 상관도가 높은 유효성분으로 나타났다. 이는 고압 균질 처리에 의해 결합 되어 있거나 포획된 페놀 화합물의 노출을 증가시키고 그럼으로써 항산화 작용기의 노출 또한 증가하여 DPPH 라디컬 소거 활성이 증가하는 것이라고 사료된다. 페놀산의 라디컬 소거활성에 영향을 미치는 인자는 수산기의 위치와 수, 페놀성 수산기에 근접해 있는 다른 물질의 존재의 여부 그리고 구조적 특징 등이라고 보고되었다(Carrasco-Pancorbo et al., 2005).

Wheat bran sample	DPPH scavenging activity (umol Trolox equiv/g d.w.)	ABTS scavenging activity (umol Trolox equiv/g d.w.)	Ferrous ion-chelating activity (EDTA umol/g d.w.)
Gound raw	8.2±0.1 ^{a1)}	12.7±0.2 ^a	22.1±0.1 ^a
IC200,1-pass	20.0±0.2 ^b	27.5±0.1 ^b	17.0±0.2 ^a
IC100,2-pass	24.5±0.2 ^c	36.3±0.1 ^c	16.9±0.2 ^b
IC100,5-pass	32.8±0.1 ^d	40.1±0.2 ^d	15.3±0.2 ^b
IC100,7-pass	37.9±0.1 ^e	45.3±0.1 ^e	15.4±0.1 ^c

표 25) 고압균질 처리 시료의 항산화 활성 효과

The values are expressed as mean±SD (n=3).

¹⁾ Mean±SD deviation. Values with different superscripts in the same column are significantly different (p<0.05).

(4) ABTS 라디칼 소거활성

표 35)에 각각의 조건에서 고압 균질 처리한 밀기울의 ABTS 라디칼 소거 활성을 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 밀기울의 ABTS 라디칼 소거 활성에 미치는 고압 균질 처리 효과는 DPPH 라디칼 소거활성과 유사하였다. 고압 균질 처리를 증가시킬수록 ABTS 라디칼 소거 능력이 증가하고 IC 100 7회 통과 후의 밀기울 시료에서 가장 강한 소거 활성을 나타내었으며 대조군 보다 약 3.5배 높았다. Pearson 상관관계 분석에 따르면 표면 반응성 페놀화합물과 ABTS 라디칼 소거활성 간의 상관계수는 $R^2=0.985$ 로 나타나 ABTS 라디칼 소거활성 또한 양의 상관관계를 나타냄을 알 수 있었다.

밀기울의 고압 균질 처리에 따른 ABTS 라디칼 소거활성은 DPPH 라디칼 소거활성보다 더 높게 측정되었는데 그 이유는 페놀 화합물의 구조에 따라 각기 다른 라디칼에 대한 소거능을 나타내기 때문이다. Maqsood & Benjakul(2010)은 ferulic acid가 caffeic acid보다 효과적인 ABTS 라디칼 소거 활성을 갖고 있다고 하였지만, DPPH 라디칼 소거 활성에서는 그와 반대로 caffeic acid이 ferulic acid보다 높은 활성을 가진다고 보고한 바 있다. 따라서 밀기울의 고압 균질 처리로 인해 페놀성 화합물 중 ferulic acid의 함량이 caffeic acid와 비교하여 상대적으로 증가했을 것이라고 사료된다.

(5) Ferrous-ion chelating 효과

표 35)에 고압 균질 처리에 따른 밀기울의 Ferrous-ion chelating 효과를 나타내었다. Ferrous-ion chelating 효과는 처리가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈지만, 그 차이는 통계적으로 유의성은 나타나지 않았다. (p> 0.05) 즉, 고압 균질 처리가 대조군보다 밀기울의 금속 chelating 효과가 개선되지 않았다는 것으로 이는 이전의 연구와 일치한다(Zhou et al., 2004). 본 연구의 결과는 페놀성 화합물의 Ferrous-ion chelating 효과에서 이전의 연구와 마찬가지로 라디칼소거 활성의 효과와 관련이 없는 것으로 나타났다(Maqsood & Benjakul, 2010).

마찬가지로, Graf(1992)는 페룰산의 항산화 활성이 Ferrous-ion chelating 효과보다는 라디칼 소거 능력에 주로 기인한다고 보고했다. 고압 균질 처리가 Ferrous-ion chelating 효과를 감소시키는 것은 금속 chelating에 관여하는 성분의 손실이나 성능 저하가 원인이거나 미세구조의 변화로 섬유소 매트릭스의 금속 이온 결합 부위의 수가 감소했기 때문으로 볼 수 있다.

(6) 고압균질처리에 의한 CLSM 특징

고압 균질 처리에 의한 밀기울의 표면구조 변화를 알아보기 위해 공초점 레이저 주사 현미경으로 관찰한 결과를 그림 25)에 나타내었다. 밀기울은 일반적으로 외층의 pericarp층, 내층 aleurone층 그리고 그 사이의 얇은 seed coat층으로 총 3개의 층으로 구성되어 있다(Harris et al., 2005). 그림 25) (A)에 나타나 있듯이 세로형태의 세포인 황록색을 띠는 pericarp층은 주축이 되는 중심축과 평행하게 교대로 배열되어 있었고, 그림 25) (B)의 파란색을 띠는 aleurone층은 일반적으로 두꺼운 벽을 형성하는 층으로 망 형태가 규칙적으로 배열되어 다각형 모양의 세포를 이루는 것을 관찰할 수 있었다(Antoine et al., 2003). IC 200을 사용하여 1회 고압 균질 처리 후 밀기울 입자는 작은 조각으로 분해 되었고 aleurone세포벽이 부분적으로 파손 되어 서로 부착되어 있거나 분리된 구조의 pericarp 및 aleurone층의 일부가 관찰되었다(그림 25) (C)). IC 100을 사용한 7회 고압 균질 처리한 밀기울은 세포 구조가 거의 분열되거나 분리되어 불규칙한 배열이 관찰 되었다(그림 25) (D)). 고압 균질 처리에 의해 고압 및 높은 전단력이 작용하여 밀기울 입자가 팽창됨으로써 세포벽의 구조를 변형시키고 섬유소 매트릭스를 분열시키는 등 이러한 과정을 통해 표면적뿐만 아니라 항산화 작용기가 노출되어 항산화 활성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

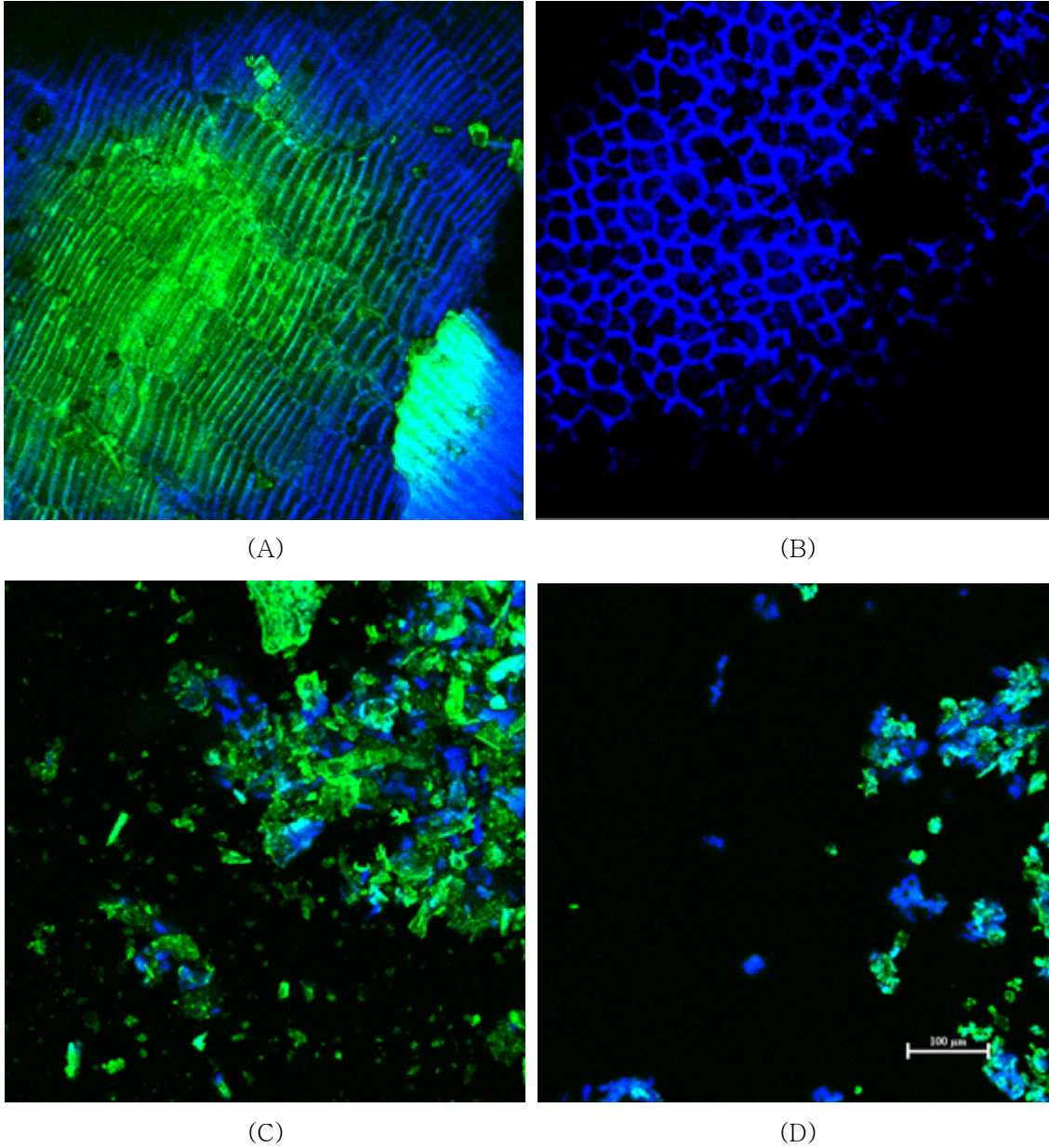


그림 25) 공초점 레이저 주사 현미경으로 관찰한 결과, (A, B) raw wheat bran, (C) HPH wheat bran(IC200, 1-pass), (D) HPH wheat bran(IC100, 7-pass), Images were obtained by superposition of two channels: $\lambda_{exc}=405\text{nm}$ for the blue-red emission; $\lambda_{exc}=488\text{nm}$ for the green-red emission. Scale bar=100 μm .

라. 결론

본 연구에서는 밀기울의 천연 항산화제로서의 식품 소재화를 위하여 밀기울의 고압 균질 처리에 따른 항산화 활성 변화를 연구하였다. 고압균질처리는 밀기울의 입자 크기를 효과적으로 줄일 수 있었고, 처리 정도의 증가에 따라 페놀성 화합물의 노출을 크게 증가시켰으며 항산화 활성 또한 연관성 있게 증가시켰다. 이러한 미세화 처리에 의해 입자 크기가 감소함에 따라 밀기울 매트릭스에 결합하거나 바인딩 된 페놀화합물의 항산화 작용기가 노출되어 항산화 활성이 향상한다는 것을 명확하게 증명했다. 고압 균질 처리가 비록 페놀산과 섬유소 복합체 사이의 공유결합을 풀거나 페놀 화합물을 방출할 정도로 충분히 강하진 않았지만, 이는 밀기울의 표면 반응성 페놀 함량, DPPH 라디칼 소거활성 및 ABTS 라디칼 소거활성을 증가시키는 효과가 있었다. 결론적으로 고압균질처리로 밀기울의 페놀 화합물은 표면반응 메커니즘에 의해 항산화 활성이 향상될 수 있으며, 나아가 천연 항산화제로써 식품산업에서 기능성소재로 활용할 수 있을 것이다.

7. 수용성 아라비노자일란 함량 증대 기술 개발

가. 개요

아라비노자일란(arabinoxylan)이란 hemicellulose를 분해하여 만든 arabinose와 xylose의 혼합물을 말하며, 이 혼합물은 분자량이 지극히 적어 단당류와 수용성 식이섬유의 성질을 갖고 있으며 자연계에서는 몹시 드문 성분이다. 상기 hemicellulose는 cellulose, lignin, 각종 pentosan과 함께 벼, 보리, 옥수수, 밀과 같은 주로 벼과 식물의 세포막을 이루는 구성 성분으로, 그 중에서도 종자껍질, 줄기, 잎에 가장 많이 함유되어 있다.

밀의 아라비노자일란 함량은 품종에 따라 매우 다양하게 나타나며 종실 전체의 4 - 8% 함유하고 있으며, 호분층에 20 - 27%가 분포하고, 밀기울에 23 - 32% 존재하며, 배유에는 2 - 4% 존재한다(Saulnier et al. 1995, Dervilly-Pinel et al. 2001, Antoine et al. 2003, 2004, Ordaz-Ortiz & Saulnier 2005, Finnie et al. 2006, Gebruers et al. 2008, Li et al. 2009).

곡류 등의 세포막 구성 성분을 이루는 아라비노자일란은 다양한 생리 활성을 가지는 것으로 보고되어 있는데, 특히 식이성 섬유소로서의 기능을 지니고 있고, 항암, 항바이러스 및 항당뇨 효과를 포함하여 면역 증강 활성에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Lu et al. 2000, Hughes et al. 2007, Monobe et al. 2008, Vardakou et al. 2008, Neyrinck & Delzenne 2010, Neyrinck et al. 2011).

그러나, 밀기울의 아라비노자일란은 일부는 물로 용해될 수 있으나,(Escarnot, Aguedo, Agneessens, Wathelet, & Paquot, 2011) 세포벽에 있는 많은 부분은 쉽게 물로 추출되지 않는다.(Zhou et al., 2004). 이것은 cellulose와 수소결합으로 이루는 여러 종류들로 이루어진 복합 다당류이고, lignin과 공유결합을 이루고 있기 때문이다.(Ebringerová & Heinze, 2000).

밀기울의 아라비노자일란 추출을 위해 알카리(Bergmans, Beldman, Gruppen, & Voragen, 1996; Deutschmann & Dekker, 2012; García et al., 2013), 산(Aguedo et al., 2013; Wallace et al., 1995, Otieno & Ahring, 2012a), 효소(Collins, Gerday, & Feller, 2005; Moers, Celus, Brijs, Courtin, & Delcour, 2005), 열수 추출(Rose & Inglett, 2010), Leppänen et al., 2011), 마이크로웨이브(Penget et al., 2012), 에탄올(Hongzhang & Liying, 2007) 등의 방법 등이 사용되었으며, 이들의 방법은 추출 후 정제과정을 통해 아라비노자일란의 순도를 높이는 방법으로, 생산 공정이 비교적 복잡하고 수율이 낮아 식품 소재로서 활용하기에 어려움이 있다.

본 연구는 밀기울로부터 열수처리, 효소 및 압출성형 등의 공정을 통해 생산 수율을 높이면서 다양한 생리 활성을 갖는 수용성 아라비노자일란 함량을 증진시킨 가공밀기울의 제조방법에 대해 알아보려고 수행되었다.

나. 실험재료 및 방법

(1) 실험 재료

본 연구에서 사용한 밀기울은 (주)동아원 당진 제분공장에서부터 호주산 ASW 밀 원맥의 제분 과정 중 생산되는 밀기울을 사용하였다. 밀기울은 실험의 목적에 맞게 Hammer mill(스웨덴 등), 연속식 기류분쇄기로 분쇄하여 사용하였다.

효소제는 덴마크 NovoZymes A/S의 복합 효소제인 Celluclast 1.5L를 사용하였다.



그림 26) 밀기울, Hammer mill 분쇄 밀기울, 압출성형 기류분쇄 밀기울

(2) 실험 방법

(가) 효소 처리 시료의 조제

50ml tube에 냉수 30g, 밀기울 3g을 넣고 혼합한다. 고압증기멸균기를 이용하여 121℃, 1시간 동안 열을 가하고, 혼합액의 온도가 40 ~ 50℃가 되도록 냉각한다. 효소의 첨가량을 원료 대비 0%, 2%, 5%, 10%를 넣고, 0시간, 6시간, 24시간, 48시간 동안 교반하며 반응시킨다. 드라이오븐을 이용하여 60℃에서 12시간 건조 한 후, 막자사발로 분쇄하여 시료로 사용한다.

(나) 압출성형 및 효소 처리 시료의 조제

밀기울을 쌍축동방향 압출성형기를 이용하여 압출 성형 한 후, 펠릿 상태의 원료를 연속식 기류 분쇄 공기 분급기(DMC-5, Daehyun Eng, Korea)를 이용하여 분쇄하였다. 50ml tube에 냉수 30g, 상기 분쇄물 3g을 넣고 혼합한다. 고압증기멸균기를 이용하여 121℃, 1시간 동안 열을 가하고, 혼합액의 온도가 40 ~ 50℃가 되도록 냉각한다. 효소의 농도를 원료 대비 2%를 넣고, 4시간 동안 교반하며 반응시킨다. 드라이오븐을 이용하여 60℃에서 12시간 건조 한 후, 막자사발로 분쇄하여 시료로 사용한다.

(다) 산업 스케일의 효소 처리 시료의 조제

밀기울을 쌍축동방향 압출성형기를 이용하여 압출 성형 한 후, 펠릿 상태의 원료를 연속식 기류 분쇄 공기 분급기(DMC-5, Daehyun Eng, Korea)를 이용하여 분쇄하였다. 1톤 추출반응기에 냉수 320ml를 넣고 분쇄물 40kg를 넣는다. 99℃에서 1시간 동안 열을 가하고, 혼합액의 온도가 40 - 50℃가 되도록 냉각한다. 효소의 농도를 원료 대비 2%를 넣고, 1시간, 2시간, 3시간, 4시간 동안 교반하며 반응시킨다. 분무건조기를 이용하여 분말화하여 시료로 사용한다.

(3) 수용성 아라비노자일란의 분석

아라비노자일란 분석은 Douglas (1981) 방법에 따라 수행하였다. 50 mL 튜브에 시료를 125 mg 담고, 증류수 25 mL 첨가하고 30분간 교반 시킨 후, 3000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 상정액 1 mL을 취하여 튜브에 옮겼다. 시료 1점당 2개의 튜브를 만들어 수용성 아라비노자일

란 함량 측정에 이용하였다. 각 튜브에 1mL의 증류수를 첨가하고 10 mL의 반응 용액(Glacial Acetic acid (110 mL) Hydrochloric acid (2 mL), 20% Phloroglucino in absolute Et-OH (5 mL), 1.75% Glucose (1 mL))을 넣고 피펫으로 잘 섞어준다. 25분 동안 끓는 물에 담가 두면서 10분 간격으로 한번씩 흔들여 주었다. 반응을 종결하기 위하여 차가운 물에 담근 후 spectrophotometer (Ultraspec4300pro, Amersham Biosciences Co., USA)를 이용하여 552 nm 와 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 552 nm의 흡광도에서 510 nm의 흡광도를 빼고 자일로 스 표준곡선과 비교하여 아라비노자일란 함량을 산정하였다. 자일로 스 표준곡선을 위하여 10 mg D (+) xylose를 100 mL 증류수에 녹인 후 튜브에 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mL을 분주한 후에 각 튜브에 D.W를 첨가하여 최종 2.0 mL을 맞추었다. 반응용액을 10 mL씩 첨가하고, 끓는 물에 25분간 담근 후 552 nm와 510 nm에서 흡광도를 측정하여 표준 곡선을 작성하였다. 결과 및 고찰에서는 수용성 아라비노자일란 함량은 WE-AX로 표기하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 원료 밀기울의 효소처리에 따른 수용성 아라비노자일란 함량

밀기울의 효소처리 시료에 대한 수용성 아라비노자일란 함량은 표 26)과 같다. 효소의 농도가 2% 이상일 때, 수용성 아라비노자일란의 함량이 증가하였으며, 2% 이상에서 효소 첨가량에 따른 수용성 아라비노자일란 함량의 변화는 크지 않았다. 효소의 반응시간은 6시간에서 수용성 아라비노자일란 함량이 증가하였고, 반응시간이 24시간, 48시간으로 증가하였을 때의 수용성 아라비노자일란의 함량의 변화는 크지 않았다.

Sample	제조공정				WE-AX (mg/g)
	고압증기멸균	효소 처리		건조 및 분쇄	
		효소 첨가량 (%)	반응시간 (h)		
1-1	121℃, 1시간	0	0	70℃, 12시간	3.2
1-2	121℃, 1시간	0	6	70℃, 12시간	3.1
1-3	121℃, 1시간	0	24	70℃, 12시간	2.9
1-4	121℃, 1시간	0	48	70℃, 12시간	3.0
2-1	121℃, 1시간	2	0	70℃, 12시간	3.1
2-2	121℃, 1시간	2	6	70℃, 12시간	54.0
2-3	121℃, 1시간	2	24	70℃, 12시간	47.9
2-4	121℃, 1시간	2	48	70℃, 12시간	45.3
3-1	121℃, 1시간	5	0	70℃, 12시간	5.6
3-2	121℃, 1시간	5	6	70℃, 12시간	64.4
3-3	121℃, 1시간	5	24	70℃, 12시간	54.4
3-4	121℃, 1시간	5	48	70℃, 12시간	50.4
4-1	121℃, 1시간	10	0	70℃, 12시간	6.4
4-2	121℃, 1시간	10	6	70℃, 12시간	53.4
4-3	121℃, 1시간	10	24	70℃, 12시간	40.4
4-4	121℃, 1시간	10	48	70℃, 12시간	59.4

표 26) 효소 농도 및 반응시간에 따른 수용성 아라비노자일란 함량 비교

(2) 분쇄, 압출성형 및 효소처리에 따른 시료의 수용성 아라비노자일란 함량

분쇄, 압출성형 및 효소처리에 따른 수용성 아라비노자일란 함량의 변화는 표 27)과 같다. 압출성형과 효소처리를 실시한 시료에서 가장 높은 수용성 아라비노자일란 함량을 나타내었다.

Sample	제조 공정				WE-AX (mg/g)
	분쇄	고압 열수 처리	효소처리 (효소첨가량 및 시간)	건조 및 분쇄	
1-1	×	×	×	×	3.0
1-2	Hammer mill 분쇄	×	×	×	4.1
1-3	압출성형,기류분쇄	×	×	70℃, 12시간	7.0
2-1	×	121℃, 1시간	×	70℃, 12시간	6.9
2-2	Hammer mill 분쇄	121℃, 1시간	×	70℃, 12시간	9.1
2-3	압출성형,기류분쇄	121℃, 1시간	×	70℃, 12시간	10.9
3-1	×	121℃, 1시간	2%, 4시간	70℃, 12시간	45.7
3-2	Hammer mill 분쇄	121℃, 1시간	2%, 4시간	70℃, 12시간	50.0
3-3	압출성형,기류분쇄	121℃, 1시간	2%, 4시간	70℃, 12시간	64.9

표 27) 분쇄와 압출성형 및 효소 처리에 따른 수용성 아라비노자일란 함량 비교

분석 결과, 분쇄하지 않은 원료 밀기울보다 분쇄한 시료의 수용성 아라비노자일란 함량이 10~36% 향상되었으며, 121℃ 고압 열수 처리한 샘플은 처리하지 않은 것에 비해 56~130% 증가하였다. 압출성형과 기류 분쇄, 고압 열수처리, 효소처리 등 모든 공정을 거친 시료는 수용성 아라비노자일란 함량이 64.9 mg/g으로 가장 높은 수치를 보였다.

(3) 압출성형 및 분쇄, 고압 열수처리, 효소처리 대량 생산 공정 시 수용성 아라비노자일란 함량

산업스케일에서의 효소 반응시간에 따른 수용성 아라비노자일란 함량의 변화는 표 28)과 같다. 생산 효율을 높이기 위해 효소 반응시간을 4시간에서 1시간으로 점차 줄여 갔을 때, 수용성 아라비노자일란의 함량의 변화는 크게 나타나지 않았다.

Sample	제조공정					WE-AX (mg/g)
	분쇄	고압 열수처리	효소처리		건조	
			효소 첨가량	반응시간		
1-1	압출성형, 기류분쇄	99℃, 1시간	×	×	분무건조	13.3
2-1	압출성형, 기류분쇄	99℃, 1시간	2%	1시간	분무건조	66.0
2-2	압출성형, 기류분쇄	99℃, 1시간	2%	2시간	분무건조	68.5
2-3	압출성형, 기류분쇄	99℃, 1시간	2%	3시간	분무건조	68.2
2-4	압출성형, 기류분쇄	99℃, 1시간	2%	4시간	분무건조	68.7
2-5	압출성형, 기류분쇄	99℃, 1시간	2%	4시간	분무건조	65.2

표 28) 산업스케일에서의 효소 반응시간에 따른 수용성 아라비노자일란 함량

라. 결론

본 연구는 밀기울로부터 열수처리, 효소 및 압출성형 등의 공정을 통해 생산 수율을 높이면 서 다양한 생리 활성을 갖는 수용성 아라비노자일란 함량을 증진시킨 가공밀기울의 제조방법 에 대해 알아보았다. 산업스케일에서의 수용성 아라비노자일란 함량이 가장 높은 공정 조건은 압출성형 및 기류분쇄, 열수추출(99℃, 1시간), 효소처리(효소 첨가량 2%, 반응시간 1-4시간)으 로, 그 수용성 아라비노자일란의 함량은 6.8%로 일반 밀기울보다 약 20배 정도 높은 수치를 나타내었다.

제 2 절 가공 기술의 대량 생산 공정 개발

1. WBF-45 대량생산 공정 개발

밀기술의 부가가치를 높이고 다양한 식품의 원료로 활용할 수 있는 WBF-45 대량생산 공정은 Lab scale 연구를 바탕으로 강원웰빙특산물지역혁신센터의 설비를 활용하여 scale-up 테스트를 진행하였으며, 동아원(주) 인천공장에 소규모 플랜트를 설치하였다. 주요 공정도는 그림 27)과 같다.

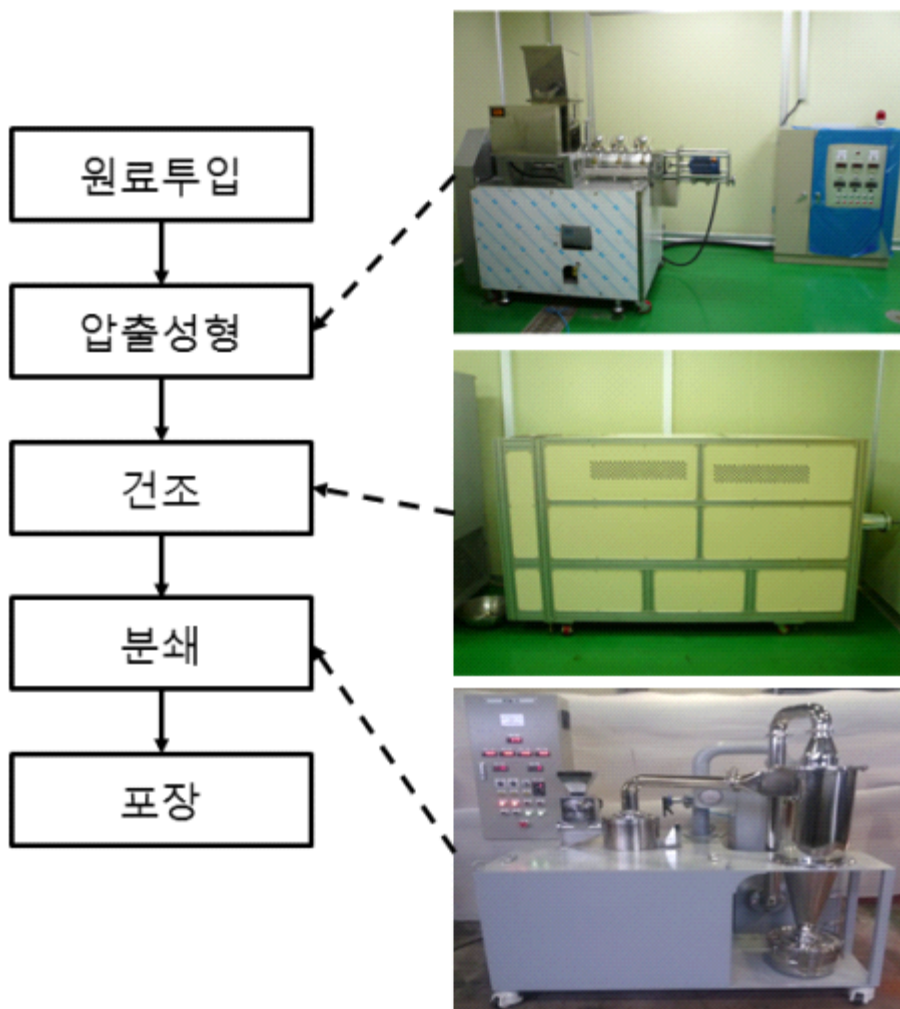


그림 27) WBF-45 대량생산 공정

2. WBF-70 대량생산 공정 개발

밀기울을 원료로 식이섬유 함량이 70% 이상인 밀식이섬유 소재를 만드는 공정은 아래 그림 28)과 같다. Lab scale에서 개발한 공정으로, 춘천바이오산업진흥원과 강원웰빙특산물지역혁신센터의 설비를 활용하여 대량생산 공정을 개발하였다.

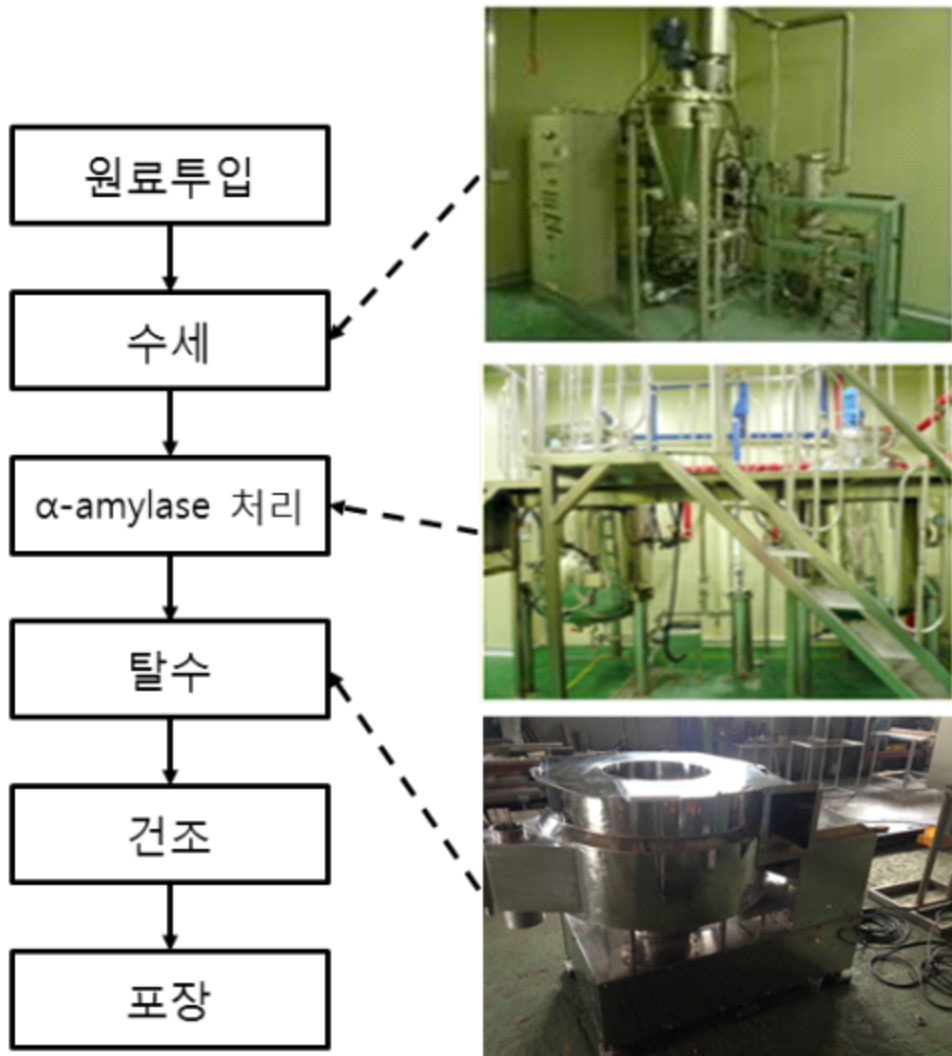


그림 28) WBF-70 대량생산 공정

© WBF-70 영양성분 분석 성적서

제 D2014121061 호		검 사 성 적 서	
검체명	WBF-70	제조일자 (유통기한)	
의뢰인	업체명	동아원(주)당진제분공장	
	주 소	충남 당진시 석문면 내호만로 1221-31	
	성 명	이희상, 김기환	
제조번호		접수년월일	2014-12-17
검사의뢰목적	참고용	검체접수번호	D2014121061
귀하가 우리 연구원에 검사의뢰한 결과는 다음과 같습니다. 검사관련 총 책임자: 김 천 회			
시험항목	결과	검사담당자	
인(mg/100g)	598.32mg/100g	남은진	
마그네슘(mg/100g)	565.92mg/100g	남은진	
비타민B1(mg/100g)	0.08mg/100g	김수희	
비타민B2(mg/100g)	1.73mg/100g	김수희	
나이아신(mgNE/100g)	불검출	김영옥	
판토텐산(mg/100g)	36.72mg/100g	이선정	
비타민E(mg α-TE/100g)	2.50mg α-TE/100g	박상진	
비오틴(μg/100g)	433.04μg/100g	이선정	
칼슘(mg/100g)	151.08mg/100g	남은진	
칼륨(mg/100g)	111.61mg/100g	남은진	
철(mg/100g)	5.24mg/100g	남은진	
아연(mg/100g)	8.36mg/100g	남은진	
망간(mg/100g)	16.38mg/100g	남은진	
조단백질(%)	15.27%	이경민	
조지방(%)	6.82%	주은선	
탄수화물(%)	70.49%(식이섬유 70.48% 함유)	한아름	
식이섬유(%)	70.48%	이경민	
식품공전/제10, 1.1.4.3. 식이섬유(가. 효소-증량법)			
2014 년 12 월 31 일 한국기능식품연구원			
			
(사)한국건강기능식품협회 부설 한국기능식품연구원 http://www.khsi.re.kr 전화번호 031-628-0400 FAX(031)628-0400-1			

3. 수용성 아라비노자일란 증대 밀기울 대량생산 공정 개발

수용성 아라비노자일란은 아라비노자일란의 수용성분으로 식물 조직에 대표적인 구성 성분인 5탄당 탄수화물이다. 최근 연구에서 밀기울의 아라비노자일란은 면역력과 인지능력 개선 등의 기능이 확인되고 있는 등 활발하게 연구가 이어지고 있다. 특히 아라비노자일란의 수용성 부분은 밀기울의 대부분을 차지하고 있는 불용성 아라비노자일란에 비해 생리적 활용성이 높아 지속적으로 연구되고 있다.

수용성 아라비노자일란 증대 공정은 춘천바이오산업진흥원의 설비로 대량생산 공정을 확립 하였으며, lab scale에서와 같은 함량 증대가 확인되었다. 대량생산 공정은 아래 그림 29)와 같다.

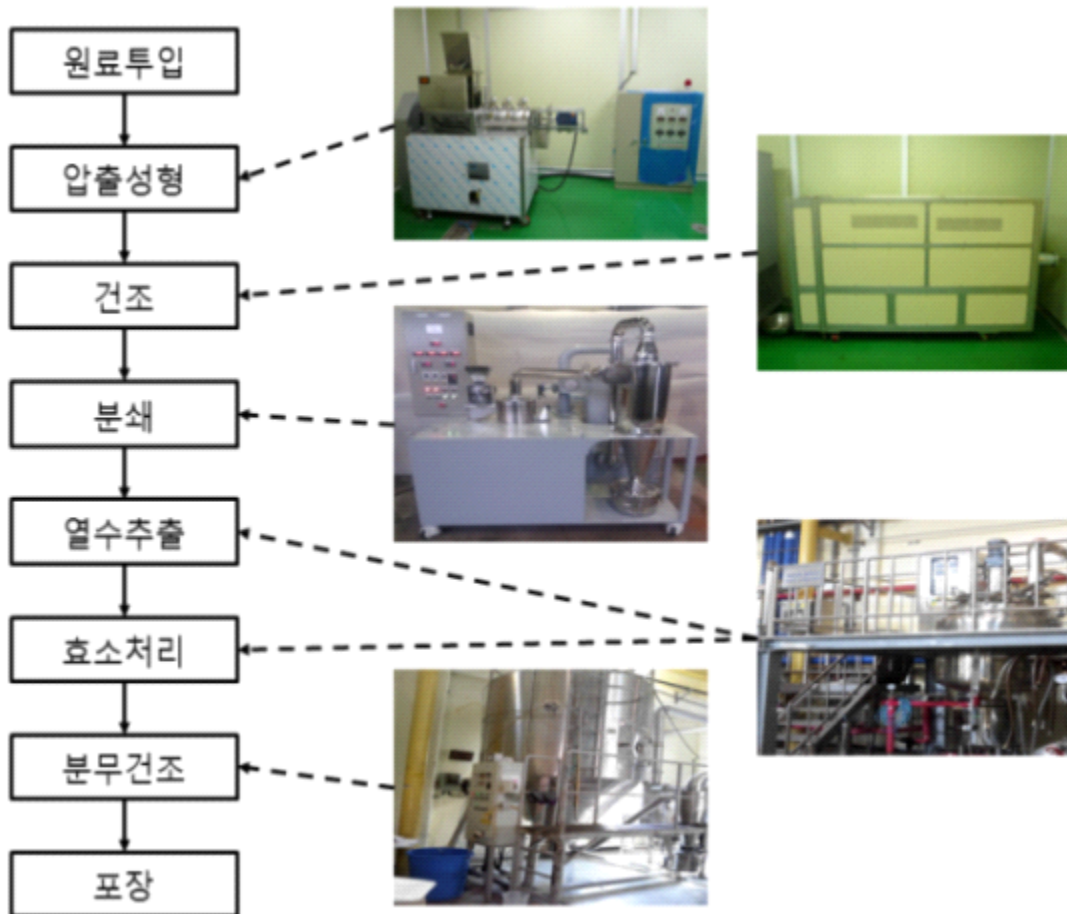


그림 29) 수용성 아라비노자일란 증대 밀기울 대량생산 공정

제 3 절 개발 소재 응용 제품

1. 개발 소재 및 응용 연구

가. WBF-45 (에드업™)

(1) 제품 컨셉트 개발

우수한 영양성과 기능성을 갖고 있음에도 거친 식감과 이취, 미생물 오염 등의 문제점으로 인해 식품 소재로 널리 사용되지 못하고 있는 밀기울을 안전하게 가공하고자 하는 기술은 오래전부터 요구되어왔다. 이렇게 안전하게 가공된 밀기울은 밀가루 식품뿐만 아니라 선식과 같은 분말 음료 등 다양한 식품 분야에서 영양성을 강화할 수 있는 고부가가치 식품 소재로서 널리 활용될 수 있을 것이다.

- 밀기울의 안전성 확보
- 천연 원료로서 화학적 처리를 하지 않은 친환경적인 가공방법
- 밀가루 식품에 가공성을 열화시키지 않는 품질 요구
- 밀가루 식품 이외 다양한 식품에 사용될 수 있는 범용성 필요

(2) 규격

(가) 정의 : 식품에 적합한 밀기울 원료를 열처리, 분쇄, 분리 등의 공정을 거쳐 생산된 황백색의 분말로 이미, 이취가 없어야 함.

(나) 식품의 유형 : 곡류가공품

(다) 규격 : 표 29)와 같음

구분	규격	비고
수분	12 % 이하	수분 측정기
단백질	14 % 이상	Kjeldhal법
식이섬유	40 % 이상	AOAC법
평균입자	80 ± 15 μm	입자분석기
일반 세균	10,000 cfu 이하	페트리필름
대장균	Negative	식품공전법

표 29) WBF-45 규격

(3) 제품 특징

(가) 식이섬유와 미네랄, 비타민 함량이 높다.(식이섬유 함량은 약 45%임)

(나) 입자가 곱고 균일하여 가공성이 우수하며 안정적인 품질을 구현한다.

(다) 밀기울 특유의 이취를 개선하였다.

(라) 미생물과 효소를 효과적으로 제어하여 안전성을 확보하였다.

(마) 단백질, 비타민B1, 비타민B2, 칼륨의 우수한 공급원이며, 식이섬유, 비타민B3, 비타민 B6, 철분, 마그네슘, 인, 아연, 구리, 망간의 훌륭한 공급원이다.

영 양 성 분			
100g 당 함량		* %영양소 기준치	
열량		286kcal	
탄수화물		69.7g	21.1%
당류		1.8g	
식이섬유		46.2g	184.8%
단백질		15.5g	28.2%
지방		4.2g	8.2%
나트륨		9.5mg	0.5%
비타민B1	0.46mg(38%)	비타민B2	4.1mg(293%)
비타민B3	6.4mgNE(43%)	비타민B6	0.23mg(15%)
칼륨	1113mg(32%)	철	6.5mg(54%)
마그네슘	374.4mg(119%)	아연	8.6mg(101%)
구리	1.0mg(125%)	망간	15.2mg(506%)
* %영양소 기준치 : 1일 영양소 기준치에 대한 비율			

표 30) WBF-45 영양성분표

(4) 국내·외 경쟁제품(밀기울) 비교

(가) 요약

당사에서 개발한 밀기울 소재(WBF-45)와 미국, 일본 등에서 출시한 밀기울 제품을 수거하여 비교 분석하였다. 각 제품별로 외형과 색상, 물성 등 특징적인 측면이 있으며, 전반적으로 생 밀기울의 이취는 상당부분 제거된 것으로 확인되었다.

비교 제품 대비 당사 WBF-45는 색상이 밝으며, 곱고 균일한 입자 분포를 가진 것이 특징이었다. 또한 제면 가공 시 품질이 가장 우수하였다. 밀기울 소재를 각각 10% 첨가한 면의 소비자 패널 테스트 결과, 당사 WBF-45는 전체적인 기호도와 향, 식감 등에서 가장 우수하게 평가되었다.

마지막으로 당사 WBF-45는 타 제품에 비해 물 용해성과 분산성이 우수하고, 덜 침전되는 것으로 나타났다. 이는 균일한 입자 분포를 갖고 있기 때문인 것으로 보이며, 이로 인해 선식, 분말 음료와 같은 식품에 적용성이 높을 것으로 보고 있다.

(나) 국내외 제품 분석

① 분석 제품 내역

비교 분석한 제품은 Ultragrain Concentrate(ConAgra, 미국), Bran-Ace P(일본제분, 일본), Wheat Bran(일청제분, 일본)이며, 당사의 WBF-45와 비교하였다.

② 분석 및 가공 시험 항목

비교 분석 사항은 입자분포 분석, 미생물 분석, 현미경 관찰, 제면 가공 시험을 실시하였으며, 제면 관능검사를 병행하였다.





제품명 회사명(제조국)	Ultragrain Concentrate ConAgra(미국)	Bran-Ace P 일본제분(일본)	Wheat Bran 일청제분(일본)	WBF-45(가칭) 동아원
식이섬유 함량 ¹⁾	37.5%	30% 이상	50%	45%
사진				

표 31) 국내외 밀기울 제품

¹⁾ 식이섬유 함량은 각 제조사의 제품소재 자료를 참고하였음.

(다) 분석 결과

평균입자는 WBF-45의 평균입자가 84um로 가장 작았으며, Ultragrain Concentrate는 170um로 입자가 크며 균일하지 않은 분포를 보였다. 일청제분의 Wheat bran은 제분 라인에서 추출한 상태 그대로이며, 입자가 큰 것이 특징이다. 일본시료와 WBF-45는 일반세균과 대장균군이 음성으로 나타났으나, 미국 시료는 대장균군이 500cfu/g으로 측정되었다.

제품명 회사명	Ultragrain Concentrate ConAgra (미국)	Bran-Ace P 일본제분 (일본)	Wheat Bran 일청제분(일본)	WBF-45(가칭) 동아원
일반 세균, 대장균군	4,500, 500	음성, 음성	음성, 음성	음성, 음성
반죽 점성	++	+++	+	+++
평균입자	169.0um	84.1um	551.4um	83.7um
입자 형태	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부정형, 많은 거친 입자 ▪ 입자 분포 균일 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부정형 미세 입자, 큰 입자 분포 많음 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부정형, 크고 거친 입자 많음 ▪ 불균일한 입자 분포 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 사각형 입자가 균일하게 분포 ▪ 미세 입자와 큰 입자가 적음

표 32) 국내외 밀기울 제품 분석 결과

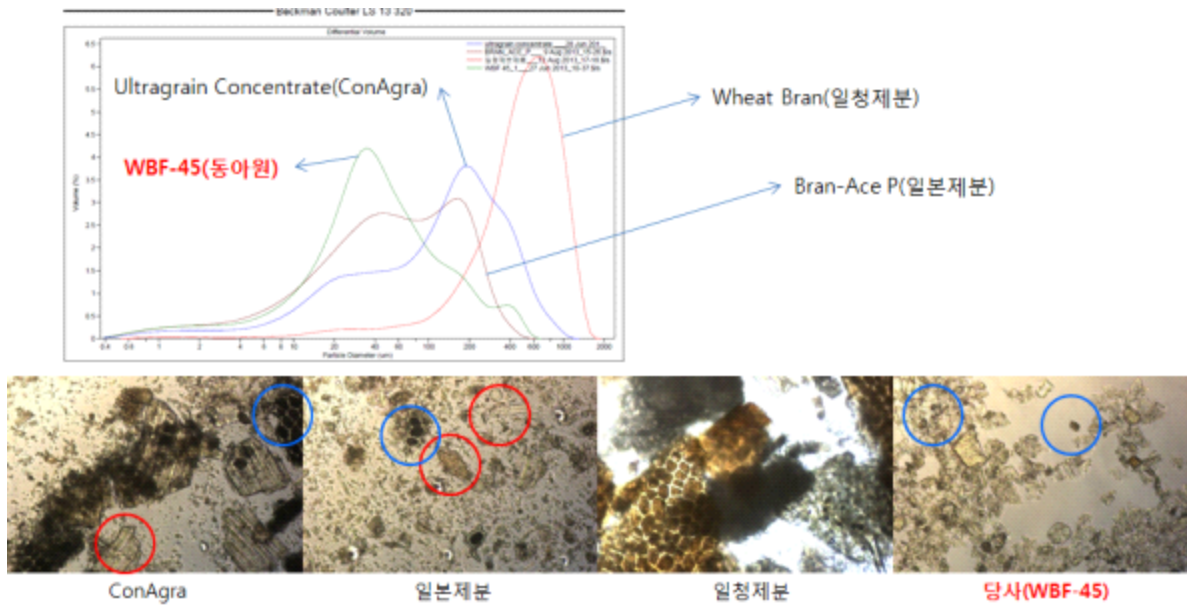


그림 30) 국내외 밀기울 제품의 입자 분포와 현미경 사진

(라) 제면 시험 결과

밀기울 소재를 각각 10% 첨가하여 제면 테스트를 실시한 결과, WB-F-45 첨가 시료의 색상이 가장 밝고 쫄깃한 식감이 우수하고 퍼짐성이 적어 비교 시료 중에서 가장 높은 선호도를 보였다.

일청제분의 wheat bran은 면에 큰 입자가 그대로 나타났으며, 관능 검사 시 면에서 이물감이 크게 느껴졌다.

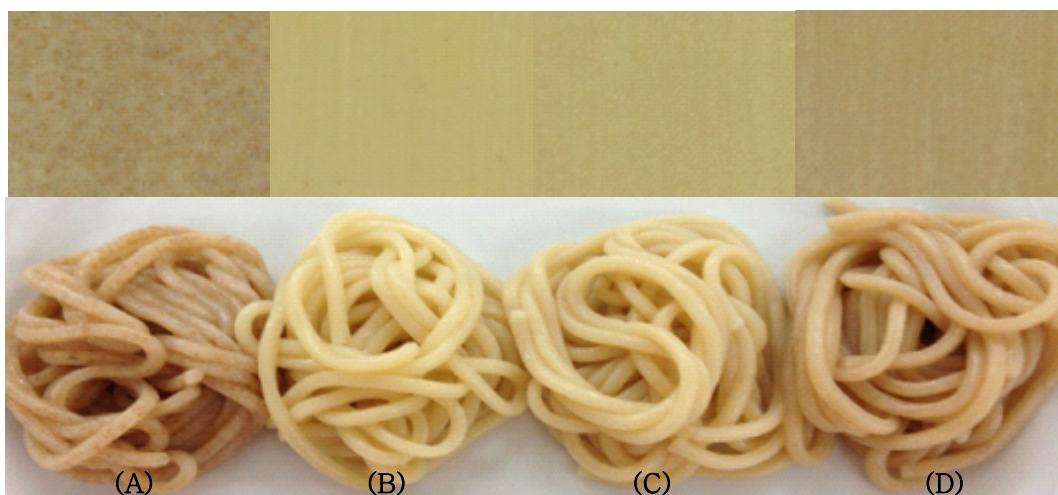


그림 31) 밀기울 10% 첨가 제면 평가, (A) WheatBran(일청제분, 일본), (B) WB-F-45(동아원, 한국), (C) Ultragrain concentrate(ConAgra, 미국), (D) Bran-Ace P(일본제분, 일본)

구 분	Ultragrain concentrate (ConAgra)	Bran-Ace P (일본제분)	Wheat Bran (일청제분)	WBF-45 (동아원)
전체적인 기호도	7.2	4.2	3.2	8.0
향	7.8	8.0	3.8	7.8
색상	6.2	3.2	4.0	7.0
쫄깃함	5.0	5.8	2.4	7.4
단단함	7.4	7.0	3.8	6.6
퍼짐내성	4.2	4.6	2.6	7.4

표 33) 국내외 밀기울 제품의 국수 관능검사 결과, (9점 만점 평가, 평균값, n=5)

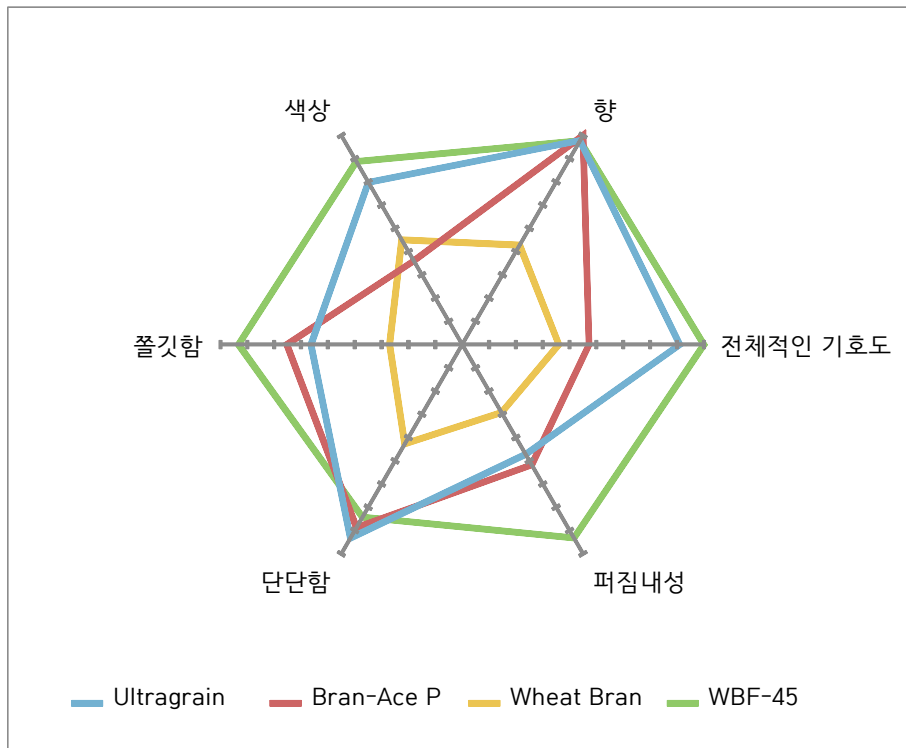


그림 32) 밀기울 제품의 국수 관능검사 결과

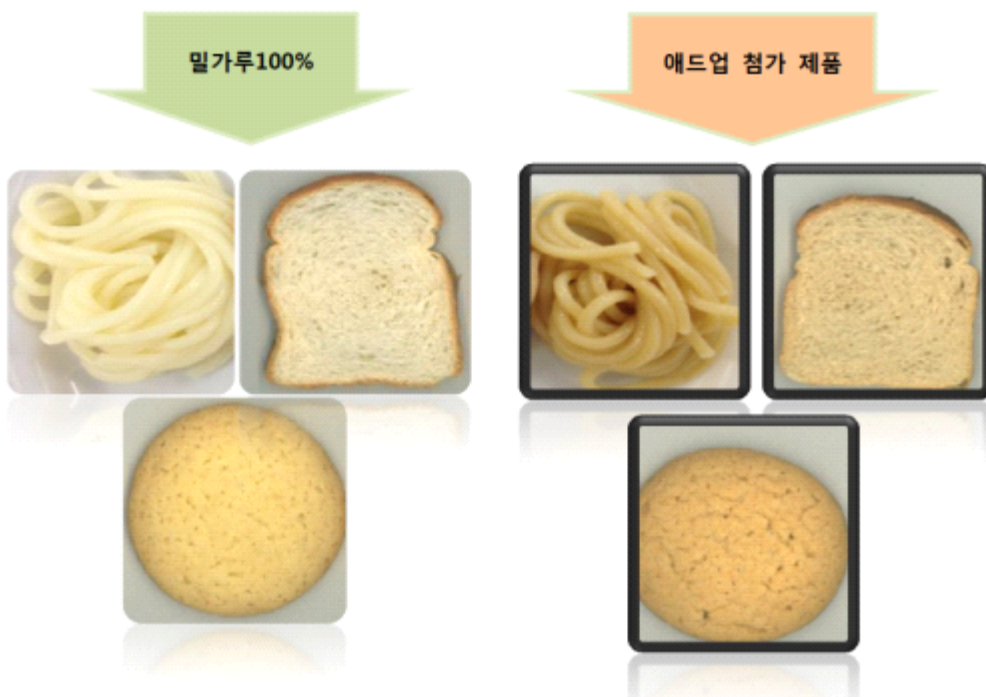
(5) 제품 설명서



동아원(주) 신소재사업부에서 판매중인 **애드업**(식이섬유 45%)을 기존 제품에 5~10% 첨가하면, 배변 활동에 도움을 주고 아래와 같은 특징이 있습니다.

애드업을 첨가한 제품은

- 애드업은 곡류가공품으로 화학적인 처리를 하지 않은 **천연소재**입니다.
- 식이섬유를 함유하여 도우믹스에 첨가시 **장의 배변활동**에 좋습니다.
- 애드업은 **불용성식이섬유**로 섭취 후 기름을 흡수하여 체내로 배출하는데 도움을 줍니다.
- 밀취가 없이 오히려 구수한 맛을 느낄 수 있습니다.
- 황금빛 색상으로 항산화물질인 폴리페놀을 함유하고 있습니다.



◆ 애드업(ad up)이란?

제분 공정중에서 식이섬유, 미네랄, 비타민 등 영양성분이 많은 부분을 분리하여 가공한 천연 소재이며, 화학적인 처리를 일체 하지 않았습니다.

애드업(ad up)은 **밀식이섬유 함량이 45%(불용성 식이섬유)**로 다른 식이섬유에 비해 온화한 성질로 장건강에 도움을 주는 것으로 알려졌습니다.

◆ 3 Up !!!

1 up 식이섬유 함량

밀가루에 비해 **약 20배**, 통밀가루에 비해 **약 5배** 많이 함유되어 있습니다.

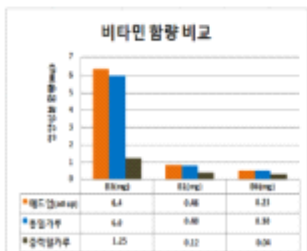
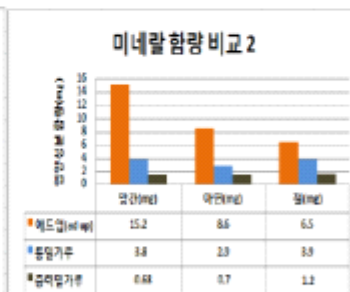
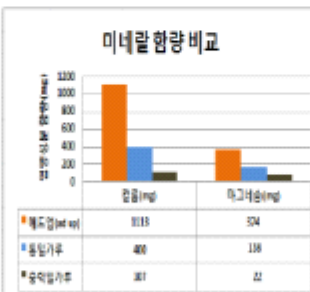
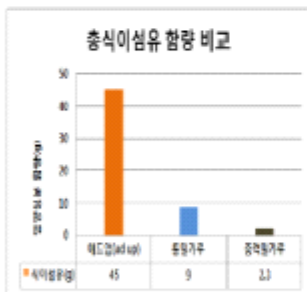
2 up 천연 미네랄 보충에 좋음

밀가루에 비해 **약 10배**, 통밀가루에 비해 **약 3배** 많이 함유되어 있습니다.

특히 칼륨, 마그네슘, 망간, 아연, 철의 함량이 높음.

3 up 천연 비타민 보충에 좋음

밀가루에 비해 비타민B군이 **약 5배** 많이 함유되어 있습니다.



영양성분 100g당 함량

◆ 항산화 성분이 높음

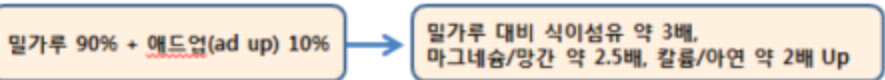
- 항산화 물질인 폴리페놀이 밀가루 대비 5배 이상 높음.



◆ 식품의 안전성을 확보

- 열처리를 통해 일반미생물, 대장균, 효소 등을 제어함

◆ 애드업(ad up)의 응용



품목별	제품별
제면용	<u>건면</u> ✓ 소면, <u>중면</u> , 라면, <u>건냉면</u> 등 • 10% 이상 사용시(식이섬유 약 6.5%) 고식이섬유 로 표시 가능 • 5% 이상 사용시(식이섬유 약 4.5%) 식이섬유 함유 로 표시 가능
	<u>생면</u> ✓ <u>우동면</u> , <u>짜장면</u> , <u>LL면</u> 등
	<u>압출면</u> ✓ 스파게티, 냉면, 수제비 등
제과제빵	✓ <u>식빵류</u> ✓ <u>도너츠</u> , <u>페이스트류</u> , <u>파우드케익류</u> ✓ <u>쿠키류</u> , <u>비스킷류</u>
건강보조식품	✓ <u>선식</u> , <u>씨리얼</u> ✓ <u>체중 조절용 식품</u> , <u>다이어트 식품</u> , <u>음료</u> 등
기타	✓ <u>쿠킹 소스류</u> , <u>다류</u> , <u>스프류</u> , <u>죽</u> 등

나. 애드업™ 응용 연구 및 배합 개발

(1) 제빵 연구

(가) 제빵 컨셉트 개발

애드업™의 제빵 응용법을 연구하기 위하여, 해당 제품의 컨셉트를 개발하였다. 애드업™은 친환경적이며 식이섬유 등의 영양성이 풍부하므로 이를 강조할 수 있는 제품이 필요하다.

- 식이섬유 첨가 또는 함유 문구를 표시할 수 있는 건강빵 제품
- 애드업 함량을 높여 식이섬유 함량이 6g/100g이 될 경우 식이섬유 풍부 또는 고식이섬유 빵 표시 가능
- 건강지향적인 제품 컨셉트로 설탕, 유지를 넣지 않는 바게트, 감빠뉴 등과 같은 하드케일 제품에 적용

(나) 애드업™ 첨가 배합 결정

애드업™은 선행 연구에서 밀가루의 10%를 대체하여 제빵용도에 적용할 수 있으나, 첨가량이 높아질수록 완제품(빵)의 볼륨이 작아지고, 반죽 급수량이 높아지므로 컨셉트에 적합한 첨가량 결정이 필요하다.

① Pan bread 배합에 애드업을 비율별로 첨가하여 제빵 가공성 및 반죽 특성을 비교하고, 적정 배합비율을 결정한다.

② Pan bread 배합비는 밀가루 100%, 설탕 6%, 유지(쇼트닝) 6%, 소금 2%, 탈지분유 2%, 생이스트 3% (밀가루 대비 즉 baker's percent임)이며, 제조 공정은 아래 그림 33)와 같다.

③ 테스트 결과, 반죽 상태와 완제품 품질 부분을 감안하여 애드업™ 최적 첨가량을 결정하였을 때, 3~5%가 적합한 것으로 나타났다.(표 34)

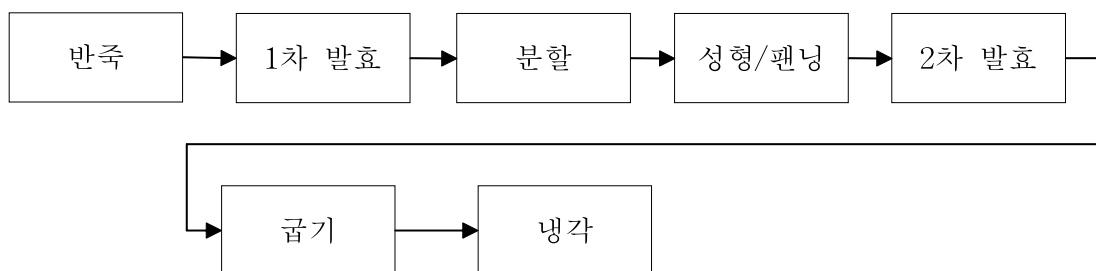


그림 33) Pan bread 표준 제빵 공정도

구분		반죽 급수량	반죽 상태	비고
Control	강력밀가루 100%	66%	[기준] 탄성과 신전성을 갖는 부드러운 반죽	
에드업™ 3%	강력밀가루 97%	69%	다소 단단하나 기준과 유사함	
에드업™ 6%	강력밀가루 94%	71%	탄성과 신전성이 약해짐	
에드업™ 10%	강력밀가루 90%	75%	단단하고 신전성이 부족함	

표 34) 에드업™ 첨가 시 pan bread 반죽 급수량과 특성

(다) 에드업™ 첨가 고식이섬유 저탄수화물 감빠뉴 배합 개발

원재료명	Bkr's%	제조공정
에드업™	12	
호밀가루	49	믹싱 : L2M2 ↓(유지)L1M7H2
귀리가루	17	반죽 온도 : 28℃
탈지대두분	22	발효 시간 : 70분(편칭) 30분
활성글루텐	50	분할 중량 : 150g
샤워중분말	3	성형 : 럭비공 모양 성형
계란	10	휴지 : 20분
쇼트닝	10	발효 : 70분, 35℃, 80% RH
생이스트	5	굽기 : 210℃ 20분(직화로 굽는 것이 불륨
소금	2	과 풍미에 좋음)
스테비아	0.1	
트레할로스	5	
합수결정포도당	2	
급수량	160	

표 35) 에드업™ 첨가 고식이섬유 저탄수화물 감빠뉴 배합비



그림 34) 고식이섬유 저탄수화물 감빠뉴 배합비

(라) 애드업™ 첨가 바게트 배합 개발

원재료명	Bkr's%	제조공정
강력밀가루	96	믹싱 : L2M8H5 반죽온도 : 26℃ 휴지 : 15분 분할 성형 : 350g 분할, 롤링 휴지 : 15분 발효 : 2시간 30분, 26℃, 85% RH 굽기 : 220℃ 25분, 스팀
애드업™	4	
소금	2.0	
맥아분말	0.1	
생이스트	2.2	
반죽수	65	

표 36) 애드업™ 첨가 바게트 배합비



그림 35) 애드업™ 첨가 바게트

제품 특징

- 애드업™ 첨가로 인한 제빵 품질 차이 없음.
- 기존 바게트 대비 맛과 향이 우수해짐.
- 식이섬유 함량이 4% 내외로 '식이섬유 함유' 표시 가능

2. 응용제품 개발

가. 프리미엄 통밀가루

(1) 제품 컨셉트 개발

일반적으로 통밀가루는 전립분이라고도하며, 통 알곡 전체를 분쇄하여 제품화한 것으로 밀의 배유와 밀기울, 배아가 모두 포함되어 영양성이 우수한 제품이다. 미국과 유럽의 경우 통밀가루는 whole grain으로서 다양한 제과제빵, 파스타 제품에 이용되고 있다. 반면, 국내 시장은 통밀가루의 영양성이 우수하다는 인식은 가지고 있으나, 밀기울 특유의 이취와 부드럽지 못한 식감 등으로 인하여 통밀가루 시장은 크게 성장하지 못하였다.

이에 당사에서 개발한 WBF-45는 밀가루와 혼합하였을 때 통밀가루와 동등한 영양성을 갖출 수 있고, 기존 통밀가루의 문제점인 이취와 거친 식감을 개선하였기에, 통밀가루 제품에 활용할 수 있을 것으로 보았다.

- 기존 통밀가루의 단점은 밀기울 부분이 곱게 분쇄되지 않아 이를 원료로 빵, 국수 등을 제조하면 거친 식감으로 인해 상품성이 떨어지므로, 가공성이 우수해야함.
- 밀을 통째로 분쇄하는 제품 특성으로 인해 통밀가루는 미생물 수치가 높아 생면 제품에 적용하기가 어려우므로 이를 개선한 제품 필요.
- 미분쇄 공정을 적용한 통밀가루 제품이 개발되었으나, 공정 중 손실율이 높고 가공비가 높아져 제품 가격이 높아졌는데, 이를 개선한 제품이 요구됨.
- 제면 시장의 경우 통밀가루를 적용한 제품 개발이 많았으나, 여러 가지 문제로 인해 대부분 실패로 돌아갔는데, 특히 제면에 적합한 품질을 확보한 통밀가루 제품 필요.

(2) 제품 개발 및 규격

밀가루에 일정 비율의 애드업™을 첨가하여 혼합하면, 혼합분의 영양성과 구성 성분이 통밀가루와 동일하게 된다. 따라서, 이를 통밀가루라는 식품 유형으로 제품화하는 것이 가능하다. (식약처에 확인한 사항임)

이는 기존 통밀가루와는 특히 가공성 측면에서 차별화된 제품이므로 가칭 ‘프리미엄 통밀가루’라는 명칭으로 개발하였다. 프리미엄 통밀가루는 용도에 따라 면용, 빵용, 과자용, 다목적용 등 제품을 세분화할 수 있다.

원재료	배합비	비고
밀가루	80~85 %	1급, 2급, 3급 제품을 비율별로 혼합한 제품
애드업™	15~20 %	WBF-45

표 37) 프리미엄 통밀가루 제품군 규격

(3) 제품 사진



그림 36) 프리미엄 통밀가루 포장지

나. 고식이섬유 건면(브라운누들)

(1) 제품 컨셉트 개발

국내에서 가장 많이 소비되는 밀가루 식품은 국수이다. 전체 밀가루 식품에서 60% 이상을 차지하고 있는 국수는 건면, 라면, 칼국수, 우동면 등이 있으며, 라면을 제외한 대부분의 국수는 밀가루 함량이 원재료의 95%(건물 기준) 이상으로 밀가루 사용 비중이 매우 높다.

이와 같이 밀가루 국수는 식감과 색상 등을 이유로 순수 밀 배유 부분으로 이루어진 고급 밀가루를 선호하게 되는데, 이로 인해 국수의 영양성은 지속적으로 저하되었다.

선행 연구에 따르면 WBF-45의 체면 품질이 우수하므로, 이를 이용한 국수 제품 개발이 필요하며, 다음과 같은 컨셉트를 적용할 수 있다.

- 국내 시판되는 제품 중 식이섬유를 강조한 국수 제품 부재 - 일반적인 건면의 식이섬유 함량은 약 1.5% 내외로 식이섬유 영양성에 대한 강조를 할 수 없음.
- 영양성이 우수하며 맛과 식감이 떨어지지 않는 제품 필요- 영양성을 강조하기 위해 통밀가루 국수가 시판되고 있으나, 대부분 식감과 맛이 떨어짐.
- 국내 식품 표시기준 상 ‘고식이섬유’ 또는 ‘식이섬유 풍부’를 제품에 표시할 수 있도록 제품 설계
- 애드업™ 또는 WBF-70을 첨가하여 국수의 식이섬유 함량이 6g/100g 이상인 고식이섬유 건면, 천연 식이섬유 소재 첨가를 강조한 제품 개발 필요

(2) 공정 및 배합 개발

(가) 건면 제조 공정

건면은 밀가루를 물과 소금 등을 혼합하여 반죽한 후 면대를 만들어 얇게 압연하고 가늘고 길게 잘라 건조시킨 대표적인 국수의 유형이다. 국내에는 많은 건면 제조업체가 있으며, 다양한 제품을 생산하고 있으나, 제조 공정은 크게 다르지 않으며 아래의 공정을 따른다.

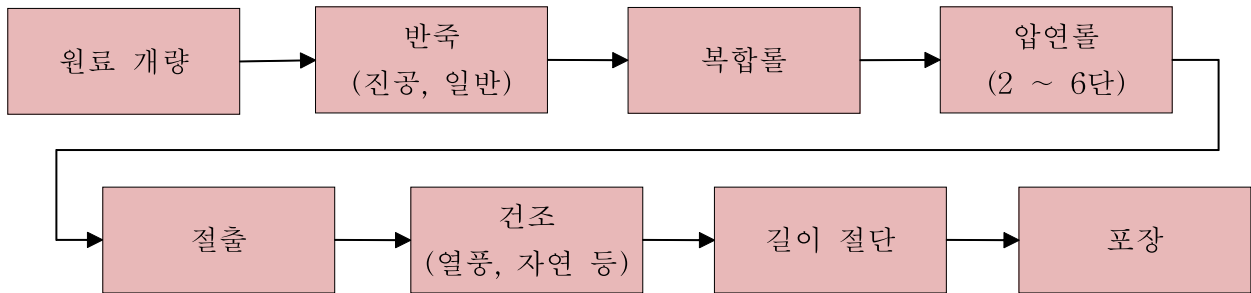


그림 37) 건면 제조 공정도

(나) 배합비 개발

① 건면의 식이섬유 함량이 완제품 상태에서 6g/100g을 만족하기 위한 식이섬유 소재 첨가 함량을 결정

② 식이섬유 건면에 적합한 밀가루 규격 결정(원료 배합비와 단백질 규격 등)

③ 공정 적성 파악 및 필요시 품질 개량제 첨가(밀 글루텐, 검류 등)

원재료명	고식이섬유 1 배합비(%)	고식이섬유2 배합비(%)	비고
에드업 TM	10.0	-	DF 45%
WBF-70	-	7.0	DF 70%
식이섬유 건면용 밀가루	89.0	92.0	
글루텐	1.0	1.0	
소금	2.0	2.0	건조원료 함량 대비 %
반죽수	33.0	33.0	
계	135.0	135.0	

표 38) 고식이섬유 건면 배합비

(3) 시제품 제조 및 사진
 (가) 시제품 제조 업체

업체명(소재지)	공정 및 제품 특이사항	결과
예산국수 (충남 논산)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 배합에 밀전분을 첨가하여 찰진 식감을 부여함 ▪ 자연 건조 방식 ▪ 면 굵기 : 중면 type ▪ 애드업 10% 첨가하여 시제품 생산 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 제조 공정 상 특이사항이 없음. ▪ 브라운 색상과 구수한 맛이 우수하다는 의견
청수식품 (경기 안성)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 진공 반죽 및 자동 건조 설비 ▪ 면 굵기 : 소면 type ▪ 애드업 10% 첨가하여 시제품 생산 	기존 생산 건면 제품과 비교하여 공정 상 품질 차이 없음.
효천푸드 (경기 포천)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 진공반죽 및 자동 건조 설비 ▪ 면 굵기 : 소면 type ▪ 애드업 10% 첨가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 색상과 맛, 향이 우수하며, 수출 제품에 적합한 컨셉이라는 의견.

표 39) 고식이섬유 건면 시제품 제조 업체 현황

(나) 시제품 사진



그림 38) 고식이섬유 건면 시제품 사진

다. 스틱형 분말차(가벼우리™)

(1) 제품 컨셉트 개발

(가) 인스턴트 커피, 녹차와 같이 편리하게 섭취할 수 있으며, 건강지향적인 음료 또는 차류 제품 개발 필요

(나) 종이컵에 물 또는 우유에 넣고 잘 저어서 바로 섭취할 수 있는 제품

(다) 부족한 식이섬유를 보충할 수 있는 제품

(2) 제품 개발

(가) 성상

① 애드업™과 같이 고운 분말은 물에 쉽게 풀리지 않으므로, 물에 잘 풀리는 과립형으로 제품 성상을 만드는 것이 필요함.

② 과립 공정 연구 : 대표적인 과립 방식인 습식과립법은 분말에 결합액과 부형제 등을 혼합하여 일정 크기의 과립망을 통과시키고 이를 건조하여 과립을 만든다. 결합액은 분말 입자가 서로 결합하여 과립을 형성하도록 하는데, 결합액으로 물을 사용하여 애드업™을 과립화할 경우 조직이 조밀해지고 단단해져 물 분산이 용이하지 않았다. 결합액을 에탄올로 하였을 때는, 다공질의 과립이 형성되어 물에 쉽게 풀리는 특성을 부여할 수 있었다.

또한, 과립이 빠른 시간 내에 전체적으로 물에 잘 풀리기 위해서는 과립의 입자를 균일하게 관리하는 것이 중요하다. 이를 위해 과립 건조 후 체 분리를 통하여 목표하는 입자 범위보다 작거나 큰 과립을 제거하는 공정이 필요하다.



그림 39) 과립 공정 시험 시료, 물을 결합액으로 사용한 시료(좌), 에탄올을 결합액으로 사용한 시료(우)



그림 40) 가벼우리™ 시제품 사진

라. 고식이섬유 분말음료

(1) 제품 컨셉트 개발

- (가) 애드업™의 고식이섬유, 비타민과 미네랄 등의 고 영양성을 강조한 제품
- (나) 1포 섭취 시, 식이섬유 일일 섭취량의 30% 이상을 섭취할 수 있도록 설계 필요
- (다) 식사, 특히 아침식사 대용으로 선식과 같이 우유나 물에 타먹는 형태의 제품
- (라) 곡물 분말, 두류(검은콩 등) 분말 등을 활용하여 맛과 향을 향상시킴
- (마) 건강식 컨셉 유지를 위해 감미료 최소화

(2) 컨셉트 보드

(가) 고식이섬유 분말음료

- 일일 섭취량의 40%에 해당하는 식이섬유를 섭취할 수 있으며, 아침 식사 대용 제품.

식이 섬유가 풍부하여 우리 몸 속을 깨끗이 해 주는 **高** 식이섬유 분말음료

하루에 필요한 식이섬유의 40%를 드실 수 있습니다.



- 우유와 함께 즐길 수 있는 고 식이섬유 분말음료로 사계절 건강한 하루를 시작 할 수 있습니다.
- 식이 섬유가 풍부하여 몸 속 노폐물 배출에 도움을 줄 수 있습니다.
- 포만감이 뛰어나, 아침에 한잔으로 든든한 하루를 시작 할 수 있습니다.

용량 및 가격: 용량 40g(30회 분량) / 50,000원

조리법

1. 우유 200ml에 분말음료 한 포(40g)를 동봉된 스푼으로 골고루 섞어 드시면 됩니다.

동아원 

그림 41) 고식이섬유 분말음료 컨셉트 보드

(나) 식이섬유 검은콩 분말두유

- 검은콩과 식이섬유가 함유된 두유 제품

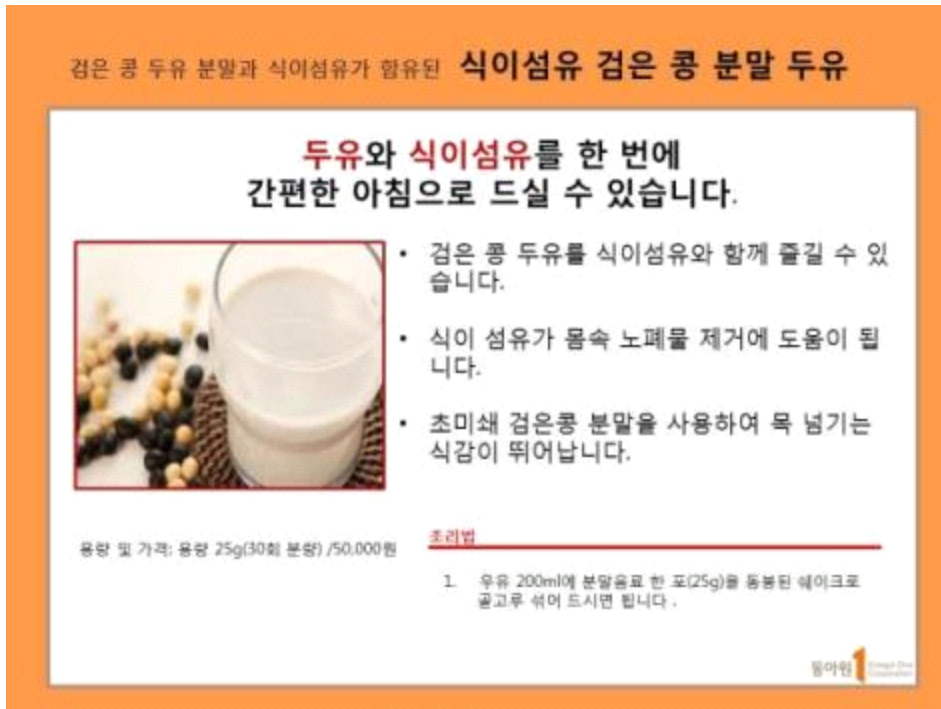


그림 42) 식이섬유 검은콩 분말두유 컨셉트보드

(3) 제품 개발

(가) 고식이섬유 분말음료

원재료명	배합비(%)	비고
애드업™	38.0	밀기울 식이섬유 소재
선식분말	35.4	18곡 분말
함수결정포도당	14.0	
치커리식이섬유	12.0	
오곡분말향	0.5	
스테비아	0.1	소비자 기호에 따라 조정 가능
계	100.0	

표 40) 고식이섬유 분말음료 배합비

(나) 식이섬유 검은콩 분말 두유

원재료명	배합비(%)	비고
애드업™	25.0	밀기울 식이섬유 소재
검은콩분말두유	50.0	
함수결정포도당	15.0	
치커리식이섬유	9.3	
검은콩향	0.3	
믹스너트향	0.3	
효소처리스테비아	0.1	
계	100.0	

표 41) 식이섬유 검은콩 분말두유 배합비

(다) 시제품 사진



그림 43) 분말음료 시제품 사진

高 식이섬유 분말 음료

식이섬유 하루 권장량 (25~30g)의
40%를 한 포에 담았습니다.

add up
adds up to healthy life



- **add up**은 **특허출원 공법**을 적용한 제품으로 식이섬유, 비타민B3, 비타민B6, 철분, 마그네슘, 인, 아연, 구리, 망간의 영양분을 그대로 살리면 **장에 도움을 주는 물에 녹지 않는 불용성 식이섬유를 다량 함유** 하고 있습니다.
- 저지방 우유, 우유, 두유, 물과 함께 섭취가능하며, 포만감이 뛰어나기 때문에 아침 한끼 식사 대용으로 건강한 하루를 시작 할 수 있습니다.
- **섭취방법 : 우유 200ml에 高 식이섬유 분말음료 한 포(40g)를 셰이크 컵에 넣고 흔들어서 드시면 됩니다.**

그림 44) 고식이섬유 분말음료 제품 소개자료

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

구분	연도	세부 연구목표	목표 대비 연구결과	달성도
1차년도	2012	1. 밀기울로부터 식이섬유 함량이 70% 이상인 밀 식이섬유의 분리/정제 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 식이섬유 함량 45%, 60% 밀 식이섬유 소재 가공 기술을 개발하고, 이를 바탕으로 최종적으로 식이섬유 함량 70% 밀 식이섬유 소재 가공 공정을 개발함 	100
		2. 밀 식이섬유 추출 부산물로부터 비타민과 무기질 함량이 원료 대비 100% 이상 증가한 소재의 분리/정제 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 순수 밀기울 대비 무기질 함량이 최대 100% 증가된 밀기울 소재 가공 공정 개발하여 영양성분 및 물성을 검토함 ◆ 수용성 아라비노자일란이 증대된 밀기울 소재를 가공하는 공정을 개발함 	100
		3. 밀기울과 밀 배아의 항산화 성분 생리활성 증대 공정 연구	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 고압균질처리를 이용한 항산화능 향상 공정 연구하고 가공 소재의 항산화 성분 증가 효과를 확인함 	100
2차년도	2013	1. 대량생산 기술 및 공정개발과 시제품 생산	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 식이섬유 함량 45%, 70%인 밀 식이섬유 소재 WBF-45, WBF-70 제품 대량생산 공정 개발과 시제품을 생산함 ◆ WBF-45 가공 plant 설립, 제품을 생산하여 출시함 	100
		2. 개발 소재 응용제품 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 밀 식이섬유 소재 WBF-45를 첨가하여 가공한 국수류, 과자류, 빵류, 프리믹스류, 분말 음료류 응용 제품을 개발하여 품질특성을 연구함 	100
		3. 개발 소재의 안전성, 안정성 분석	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 유해물질 분석 및 유통기한 시험을 통해 소재의 안전성과 안정성을 확인함 	100

본 연구는 높은 영양성과 기능성에도 불구하고 사료의 원료로 저평가되어 소진되고 있는 제분 부산물인 밀기울의 가공 기술 개발, 대량 생산 체계 구축, 영양성 규명, 개발 소재의 응용법 연구를 수행하였다. 이를 통해 관련 기술의 특허, 논문 게재하였으며 최종적으로 제품 출시 및 산업화를 진행하여 밀기울 소재 가공 기술의 발전과 식품 산업에서의 소재다각화에 기여하는 성과를 이루었다. 또한 본 연구 성과는 밀기울뿐 아니라 다양한 식품 소재 가공 기술에 응용할 수 있는 근간 기술을 제공하고 보다 발전된 기술 개발의 연구 기반이 될 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 산업화

가. 기술실시

본 연구는 계획 단계에서부터 주관기관이자 참여기업인 동아원(주)가 산업화, 실용화에 초점을 맞추어 진행하였다. 현재 전문기관과 기술실시 계약을 체결하고 있으며, 밀기울 식이섬유 소재인 WBF-45, WBF-70, 수용성 아라비노자일란 함량이 높은 밀기울 등을 산업화하고자 한다.

나. 향후 계획

과제 종료 이후에도 연구 성과를 활용한 다양한 응용제품을 개발하여, 국내 출시는 물론 2015년 이후에는 중국과 일본 등에 수출을 계획하고 있다.

2. 지적재산권 확보

가. 특허 등록

특허명	밀기울을 포함하는 식품 조성물 제조방법
등록일자	2014년 12월 16일
등록번호	제 2013-0070051호
출원인	동아원 주식회사
발명자	김영화, 최용현, 이재강

나. 특허 출원

출원명	출원번호	출원일	비고
밀기울 분쇄 및 분급 처리방법	제2013-016612	2013.12.23	
수용성 아라비노자일란 및 식이섬유 함량이 높은 밀기울 가공방법	제2014-0168152	2014.11.28	
밀기울의 고압균질처리에 따른 항산화성 활성화 증강을 위한 가공방법	제2014-0168153	2014.11.28	



특 허 증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-1475318 호 (PATENT NUMBER) 출원번호 (APPLICATION NUMBER) 제 2013-0070051 호
출원일 (FILING DATE:YY/MM/DD) 2013년 06월 19일
등록일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD) 2014년 12월 16일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)
밀기울을 포함하는 식품 조성물 제조방법

특허권자 (PATENTEE)
동아원 주식회사(124411-0*****)
서울특별시 영등포구 63로 50 (여의도동)

발명자 (INVENTOR)
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2014년 12월 16일



특 허 청 장 김 영
COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE



연차료폭료는 2017년부터 매년 12월 16일까지 납부하여야 하며, 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

그림 45) 밀기울을 포함하는 식품 조성물 제조방법 특허등록증

3. 학술발표

가. 국내 학술등재지 논문 발표

- (1) 고압균질처리에 따른 산지별 밀기울의 이화학적 특성, 한국식품과학회지, 2014, 46:404-409
- (2) 초미분쇄 공기분급 시스템으로 분리한 밀기울 분급물의 특성, 산업식품공학, 2014, 18:186-193
- (3) 분쇄 공기분급 공정조건에 따른 밀기울 분쇄 분급물의 조성성분 특성, 산업식품공학, 2014, 18:1-7
- (4) 밀기울의 고압균질처리에 따른 향산화능 특성, 산업식품공학 게재 결정

KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 46, No. 4, pp. 404-409 (2014)
http://dx.doi.org/10.9721/KJFST.2014.46.4.404

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

고압균질처리에 따른 산지별 밀기울의 이화학적 특성

안은미 · 이재강 · 최용석 · 김영화 · 신한승^{1,*}
동아원(주) 중앙연구소, ¹동국대학교 식품생명공학과

Physicochemical Properties of Wheat Bran in Different Areas Prepared by a High-pressure Homogenizer Process

Eun-Mi An, Jae-Kang Lee, Yong-Seok Choi, Young-Hwa Kim, and Han-Seung Shin^{1,*}
R&D Center, DongA One Co., Ltd.

¹Department of Food Science and Biotechnology and Institute of Lotus Functional Foods Ingredients, Dongguk University-Seoul

Abstract In this study, the effects of high-pressure homogenizer treatment on the physicochemical properties of wheat bran from different areas were evaluated. The results showed that the high-pressure homogenizer process could effectively decrease particle size and loosen the microstructure of the wheat bran matrix. As the particle size decreased, the bulk density of wheat bran was significantly decreased ($p<0.05$) and the water-holding capacity, swelling capacity, oil-holding capacity, and cation-exchange capacity were substantially increased. In addition, microscopic analysis revealed the gradual disintegration of the original cell wall structure and the dissociation of bran tissues over the course of high-pressure

Food Eng. Prog.
Vol. 18, No. 3, pp. 186-193 (2014,08)
DOI http://dx.doi.org/10.13050/foodengprog.2014.18.3.186

산업식품공학
Food Engineering Progress

초미분쇄 공기분급 시스템으로 분리한 밀기울 분급물의 특성

이재강^{1,2} · 박진아¹ · 최용현¹ · 김영화^{1,2} · 류기형^{2*}
¹동아원(주) 중앙연구소, ²공주대학교 식품공학과

Characteristics of Wheat Bran Classified by Ultra-Fine Grinding and Air-Classification Systems

Jae-Kang Lee^{1,2}, Jin-A Park¹, Yong-Hyun Choi¹, Young-Wha Kim^{1,2}, and Gi-Hyung Ryu^{2*}

¹R&D Center, DongA One Co., Ltd.

²Department of Food Science and Technology, Kongju National University

Abstract

Using an air-classification system equipped with both ultra-fine grinding and air-classification, wheat bran was ground at a mill grinding speed of 3,800, 4,800, 5,800 rpm and a separator reverse wheel speed of 2,500, 3,000 and 3,500 rpm. Ground bran was air-classified with a reverse wheel speed of 200, 400 and 600 rpm. The effects of mill grinding, separation, and classification wheel speeds on the characteristics of air-classified bran were examined by a three-level, three-factor full factorial experimental design and a response surface regression analysis. The highest value of the object variables was determined via canonical analysis. For the fraction ratio of classified bran products, both the fine and coarse fraction of brans were significantly affected by the mill grinding speed ($p<0.01$), separator reverse wheel speed ($p<0.01$), and air-classification reverse wheel speed ($p<0.01$). For average particle sizes of classified bran

분쇄 공기분급 공정조건에 따른 밀기울 분쇄 분급물의 조성성분 특성

이재강^{1,2} · 최용석^{1,3} · 김영화^{1,2} · 강민수² · 류기형^{2*}

¹동아원(주) 중앙연구소, ²공주대학교 식품공학과, ³전남대학교 식품영양학과

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

Jae-Kang Lee^{1,2}, Yong-Seok Choi^{1,3}, Young-Wha Kim^{1,2}, Min-Soo Kang², and Gi-Hyung Ryu^{2*}

¹R&D Center, DongA One Co., Ltd., Dangjin, Chungnam, 343-856, Korea

²Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Choongnam 340-800, Korea

³Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, Kwangju, Chonnam 550-757

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 effect of MS, SRWS and ARWS on the characteristic of air-classified bran was examined by the three-level, three-factor full factorial experimental design and the 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 4.08-4.70% in the fine fraction, and 2.51-4.24% in the coarse fraction. The

밀기울의 고압균질처리에 따른 항산화 특성

안은미¹ · 최용현¹ · 이재강¹ · 최용석¹ · 김영화¹ · 신현승^{2*}

¹동아원(주) 중앙연구소, ²동국대학교 식품생명공학과

Antioxidant Properties of Wheat Bran Prepared by a High-pressure Homogenizer Process

Eun-Mi An¹, Yong-Hyun Choi¹, Jae-Kang Lee¹, Yong-Seok Choi¹,
Young-Hwa Kim¹, and Han-Seung Shin^{2*}

¹R&D Center, DongA One Co., Ltd., Dangjin, Chungnam 343-856, Korea

²Department of Food Science and Biotechnology and Institute of Lotus Functional Foods Ingredients, Dongguk University-Seoul, Seoul 100-715, Korea

Abstract

The purpose of this study was to examine the antioxidant properties resulting from high-pressure homogenization of wheat bran. For this purpose, the researcher compared the radicals clearance of DPPH and ABTS, the ferrous-chelating effects, and the contents of the surface reactive phenol compounds and phenolic compounds. In the course of this study, it was possible to reduce the particle size of the wheat bran effectively by means of high-pressure homogenization. This also resulted in structural changes, such as changes in the cellular structure of wheat bran and dissipated the cellulose matrix. It is believed that this process, in turn, caused the phenol compounds which were entrapped inside the cellulose matrix or bound by polysaccharides to be released, affecting the antioxidation. As the intensity of high-pressure homogenization process increased, the radical clearance of DPPH and ABTS, as

나. 국내 학술대회 발표

- (1) Physicochemical Properties of Wheat bran in Different Area Prepared by High-pressure Homogenizer Process, 2014.08, 한국식품과학회(광주)
- (2) Characteristics of Wheat Bran with Ultra Fine Grinding and Repeated Air-Classification Process. 2004.10, 한국식품영양과학회(대전)

4. 국내외 제품 홍보

가. 홍보물 제작

- WBF-45(애드업™)과 응용 제품(브라운누들) 홍보물 제작 배포



그림 50) 연구성과물(애드업™, 고식이섬유 건면(브라운 누들)) 홍보물

나. 홍보용 지면광고

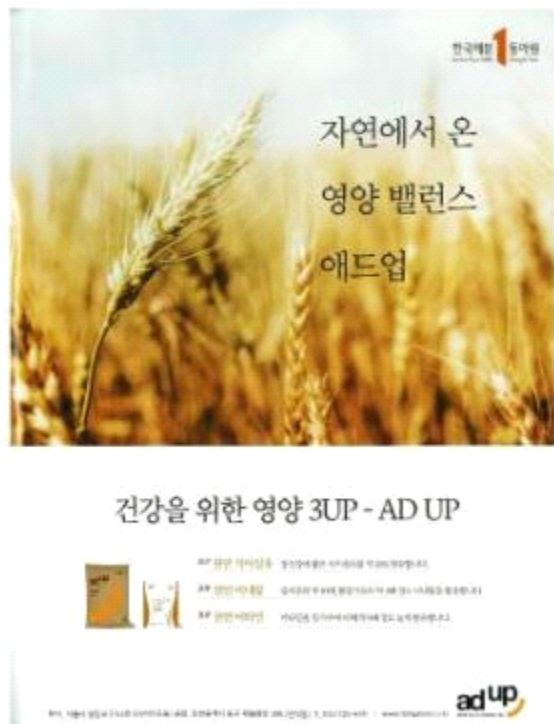


그림 51) 주간지 '시사오늘' 지면 광고 실시

다. WBF-45(애드업™, 가벼우리™) 중국 홍보

(1) 세바차이나 주최 세미나 실시(요성시 아카디아호텔 컨퍼런스룸, 2014년 12월 6일)



그림 52) 중국 홍보 사진

(2) 중국 식이섬유 협회 방문 및 WBF-45관련제품 소개 (상하이 지부, 2014년 12월 8일)



그림 53) 중국 식이섬유 협회 연구성과물 홍보 및 세미나 사진

제 2 절 성과활용 계획

1. 산업화 확대

본 과제의 연구 성과(WBF-45)는 참여기업인 동아원(주)에서 이미 산업화를 진행하고 있으며, 해당 제품의 안정적인 시장 진출을 위하여 마케팅 역량을 집중하고 있다. 추가로 WBF-70 과 수용성 아라비노자일란 함량이 높은 밀기울 또한 상품화하여 연구 성과의 활용도를 높일 계획이다. 산업화로 출시한 제품은 국내 시장뿐만 아니라, 중국과 일본 등 해외 시장에 진출하기 위하여 전사적인 마케팅 전략을 수립하여 전개하고자 한다.

※ 산업화 확대를 위한 마케팅 전략 수립 및 추진 계획

본 연구과제의 성과물이며 기 산업화를 완료한 WBF-45(애드업™)과 추가 산업화 예정인 소재의 용도 개발, 기존 제품과의 차별화를 통하여 안정적인 시장 진입을 위하여 아래와 같은 마케팅 전략을 수립/추진 하고자 한다.

산업화 사업목표 및 전략

2015. 2. 24.

목표 및 전략

1) 목표

- ✓ 단기 : 작년도 시장진입에 이어 15년에는 사업을 정상궤도에 진입시킴
- ✓ 중장기 : 식이섬유 시장 개척 및 신소재 사업의 다각화 완성

2) 전략(단기)

가. BtoB 식품시장의 새로운 시장 개척을 위해 분야별 성공모델을 만든다.

- 식품분야 : 제과 제빵, 제면 분야 등
- 건강식품 분야 : 건강기능성식품, 건강보조식품 등
- ❖ 대기업보다는 도약을 위해 도전하는 중견기업을 성공모델로 함.

목표 및 전략

나. 고 식이섬유 와 프리미엄 통밀가루 컨셉으로 신제품 개발 유도

- 두가지 중 하나를 선택하거나 두가지 컨셉을 모두 사용하는 제품 개발

다. 기존 식이섬유 시장(건강식품)에서 애드업 이나 애드업S로 교체

- 기존의 건강식품에 많이 사용되고 있는 수입산 식이섬유 소재를 당사의 소재로 서서히 바꾸어 나가도록 함

라. 신제품 및 응용 제품의 지속적인 개발

- 밀 식이섬유(Fiber 70%)의 산업화
- 용도 및 다양한 응용제품의 개발

마. 기존 영업조직과의 시너지 효과

- 홍보자료 및 샘플, 판촉 지원
- 인센티브 제도 활용 방안
- 실수요처 신제품 개발에 동참하므로 양사업부에 시너지 효과 기대



목표 및 전략

3) 전략(중장기)

가. 새로운 식이섬유 소재 및 **기능성 신소재 발굴**과 개발

- 배아 제품
- 메밀피를 이용한 소재
- 아라비노자일란(면역증강소재)의 산업화
- 국내외의 천연 기능성 소재 발굴 및 개발

나. 해외 시장 개척

- 애드업과 응용제품(가벼우리 등)의 판로 개척
- 중국, 미국, 유럽, 인도 등으로의 시장 개척

2. 추가 연구 및 타 연구에 활용

밀기울의 항산화 증진과, 수용성 아라비노자일란 증대 기술은 추가 연구를 통하여 부가가치를 더 높일 수 있을 것으로 기대한다. 특히, 수용성 아라비노자일란을 향상시킨 밀기울은 면역력 개선과 항산화 효과 등의 기능성이 기대되므로, 동물실험, 인체적용 시험 등의 후속 연구가 절대적으로 필요하다.

※ 수용성 아라비노자일란 함량증대 밀기울의 기능성소재 개발 추진 계획

본 연구과제의 성과물인 수용성 아라비노자일란 함량 증대 밀기울은 기능성 다당류인 아라비노자일란 함량이 높아 면역력 개선과 항산화 등의 기능성이 기대되어 다음과 같은 계획으로 기능성 소재로 개발할 예정이다.

1. 개발 개요

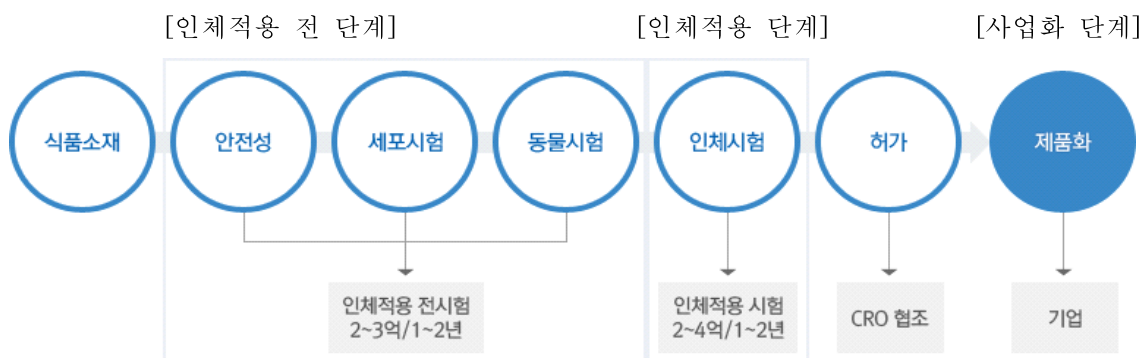
- 가. 고부가가치식품기술개발 사업의 성과물인 수용성 아라비노자일란 함량 증대 기술을 적용한 밀기울의 건강기능성을 밝혀 소재의 부가가치를 높이고 이를 사업화함.
- 나. 개발 소재의 세포, 동물 시험과 인체적용 시험을 거쳐 기능성을 확인하고, 식품의약품안전처로부터 개별인정형 기능성원료로 인정받음.

2. 목표

- 가. 면역기능 개선 또는 항산화 등으로 생리활성기능 2등급 이상의 기능성원료
- 나. 타 기능성 원료 대비 원가경쟁력과 경제성을 갖추

3. 개발 계획

- 가. 기능성원료(개별인정형) 개발 프로세스



나. 단계별 계획

구분	연구 내용	연구비 확보	비고
2014년	◇ 소재 개발(완료) '효소처리 애드업(가칭)'	농기평 고부가가치 과제 연구비 활용	현재는 식품 소재로 사업화 가능
2015년	◇ 인체적용 전단계(세포, 동물시험) ◇ 외부 기관(경희대학교)에 위탁 수행 ◇ 대량 생산 공정 확립(자체)	◇ 인체적용 전단계 연구비 약 1억원 (정부 지원과제 활용) - 정부 지원금: 70% - 자사 부담금: 30%	'효소처리 애드업'은 2015년 식품기능성평가 지원사업에 선정되어 정부 지원금을 받을 수 있음.
2016~ 2017년	◇ 인체적용 단계(인체 시험) ◇ 외부 기관(전북대병원 등)에 위탁 수행	총 연구비: 약 2억원 - 정부 지원 사업 활용 - 자사 부담금: 30% 내외	해당 소재는 식품기능성평가 지원사업(인체적용 시험)에 선정될 가능성이 매우 높음.
2018년	◇ 개별인정 획득(자체) ◇ 사업화		


4. 기대 효과

- 가. 국산 농산물(국산밀 밀기울)을 원료로한 면역 증진, 항산화 기능성을 갖춘 기능성원료 확보.
- 나. 경쟁 제품 대비 원가 경쟁력을 갖추고 있어, 저렴한 건강기능식품과 노인성 건강식의 원료로 활용할 수 있음.
- 다. 국산 농산물을 활용, 제분 부산물의 부가가치를 높임으로써 밀 산업을 활성화할 수 있음.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

<자료 1>


논문명	Wheat bran particle size influence on phytochemical extractability and antioxidant properties
저자	Lauren Renee Brewer, Jittawan Kubola, Sirithon Siriamornpun, Thomas J.Herald, Yong-cheng Shi
학술지	Food Chemistry 152 (2014) 483-490
요약	본 연구에서는 밀기울의 입자 크기 변화를 통한 항산화 특성 및 항산화 성분의 추출 정도를 연구하였다. 실험결과, 밀기울의 입자 크기가 감소할수록 페놀산, 플라보노이드, 안토시아닌, 베타 카로틴, 제아잔틴, 루테인, 카로티노이드 및 활성 산소 흡수수용력값이 증가하였다. 따라서, 밀기울의 입자 크기 변화를 통해 항산화 성분의 추출 및 소재로의 가공에 활용할 수 있음을 확인하였다.



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Food Chemistry


journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodchem



Wheat bran particle size influence on phytochemical extractability and antioxidant properties

Lauren Renee Brewer^a, Jittawan Kubola^b, Sirithon Siriamornpun^b, Thomas J. Herald^c, Yong-Cheng Shi^{a*}

^aDepartment of Grain Science and Industry, Kansas State University, Manhattan, KS 66506, USA
^bDepartment of Food Technology and Nutrition, Mahasarakham University, Mahasarakham 44000, Thailand
^cUSDA-ARS, Center for Grain and Animal Health Research, 1515 College Avenue, Manhattan, KS 66502, USA



ARTICLE INFO

Article history:
 Received 7 May 2013
 Received in revised form 16 October 2013
 Accepted 23 November 2013
 Available online 8 December 2013

Keywords:
 Antioxidant
 Particle size
 Phenolic compounds
 Wheat bran

ABSTRACT

It is unknown if particle size plays a role in extracting health promoting compounds in wheat bran because the extraction of antioxidant and phenolic compounds with particle size reduction has not been well documented. In this study, unmilled whole bran (coarse treatment) was compared to whole bran milled to medium and fine treatments from the same wheat bran. Antioxidant properties (capacity, ability, power), carotenoids and phenolic compounds (phenolic acids, flavonoids, anthocyanins) were measured and compared. The ability of whole bran fractions of differing particle size distributions to inhibit free radicals was assessed using four in vitro models, namely, diphenylpicrylhydrazyl radical-scavenging activity, ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay, oxygen radical absorbance capacity (ORAC), and total antioxidant capacity. Significant differences in phytochemical concentrations and antioxidant properties were observed between whole bran fractions of reduced particle size distribution for some assays. The coarse treatment exhibited significantly higher antioxidant properties compared to the fine treatment; except for the ORAC value, in which coarse was significantly lower. For soluble and bound extractions, the coarse treatment was comparatively higher in total antioxidant capacity (426.72 mg ascorbic acid eq./g) and FRAP value (53.04 μmol FeSO₄/g) than bran milled to the finer treatment (314.55 ascorbic acid eq./g and 40.84 μmol FeSO₄/g, respectively). Likewise, the fine treatment was higher in phenolic acid (7.36 mg FAE/g), flavonoid (206.74 μg catechin/g), anthocyanin (63.0 μg/g), and carotenoid contents (beta carotene, 14.25 μg/100 g; zeaxanthin, 35.21 μg/100 g; lutein 174.59 μg/100 g) as compared to the coarse treatment. An increase of surface area to mass increased the ORAC value by over 80%. With reduction in particle size, there was a significant increase in extracted anthocyanins, carotenoids and ORAC value. Particle size does effect the extraction of phytochemicals.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

<자료 2>

논문명	Effect of bioprocessing and particle size on the nutritional properties of wheat bran fractions
저자	Rossana Coda, Carlo Giuseppe Rizzello, José Antonio Curiel, Kaisa Poutanen, Kati Katina
학술지	Innovative Food Science and Emerging Technologies 152 (2013) 1-8
요약	본 연구에서는 separator를 통한 분획화를 통해 미립자화한 각 입자 크기별 브랜 및 특정 미생물 스타터를 이용한 bioprocessing 처리한 브랜의 영양학적 특성을 측정하였다. 분쇄 및 분획화 공정을 통한 브랜 입자 크기의 감소는 각 유형의 브랜 세포 구성비율에 영향을 주어 화학적 구성에 영향을 미쳤다. Bioprocessing은 브랜 세포벽 구성물의 용해성과 구성을 변화시켰다. 분획화와 bioprocessing 공정은 브랜의 화학적 및 영양학적 특성 변화에 영향을 미쳤고, 입자 크기가 작을수록 bioprocessing 후 영양학적 기능이 향상됨을 확인하였다. 이 연구결과를 통해 작은 입자의 밀브랜이 식이섬유 증진 식품 원료로써뿐 아니라 부가적인 건강기능성 향상 원료로써의 활용 가능성을 발견할 수 있다.



Contents lists available at ScienceDirect

Innovative Food Science and Emerging Technologies

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ifsset



Effect of bioprocessing and particle size on the nutritional properties of wheat bran fractions

Rossana Coda ^{a,*}, Carlo Giuseppe Rizzello ^b, José Antonio Curiel ^b, Kaisa Poutanen ^{a,c}, Kati Katina ^a

^a VTT, Tietäväinen 2, 02044 VTT, Finland

^b Department of Soil, Plant and Food Sciences, University of Bari, 70126 Bari, Italy

^c Department of Clinical Nutrition, University of Eastern Finland, Kuopio Campus, P.O. Box 1627, FIN-70211 Kuopio, Finland

ARTICLE INFO

Article history:
 Received 22 July 2013
 Accepted 27 November 2013
 Available online xxxxx

Editor / Proof Receive Date 27 December 2013

Keywords:
 Lactic acid bacteria
 Yeast
 Fermentation
 Bran
 Bioprocessing
 Micronization
 Fiber
 Antioxidant

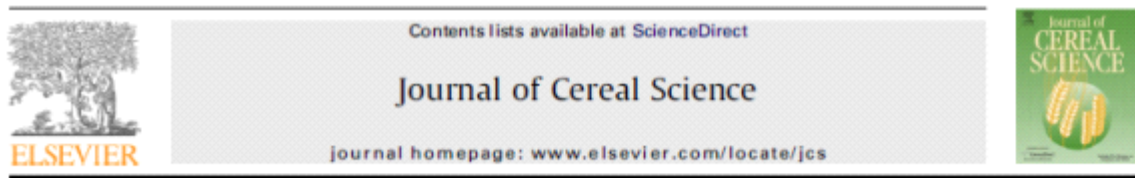
ABSTRACT

In this work, the influence of bioprocessing on the nutritional quality and health effects of wheat bran of different particle sizes (750, 400, 160, 50 μm) was evaluated. Bio processing was carried out by a 24 h-fermentation using *Lactobacillus brevis* E95612 and *Kazachstania exigua* C81116 as starters, with or without the addition of an enzyme mixture with specific carbohydrase activities. Bioprocessing clearly affected the microstructure and chemical and nutritional features of wheat bran depending on the particle size. Bioprocessing significantly improved the antioxidant and phytase activities (up to 3.7 fold, respectively), peptides and total free amino acids and content (up to 40%) and the in vitro digestibility of proteins. The antioxidant power and nutritional indexes were higher for the bioprocessed brans compared to the native, mainly in bran having smaller particle size. In every case, the addition of the enzymes further improved the positive effect of the microbial fermentation. **Industrial relevance:** Wheat bran is a source of nutritionally important compounds such as dietary fibers, minerals, vitamins and phenolic acids. Commonly, processing of bran has mostly been performed for technological purposes, to facilitate its use as a DF rich ingredient in foods improving its structural and organoleptic features. The bioprocessing technology here applied offers a tool to enhance also the nutritional value of wheat bran, especially of finer particle size. As a result, bioprocessed wheat bran showed higher potential compared to the native bran, and qualified as a suitable ingredient for food preparations.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

<자료 3>

논문명	Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part I: Influence of ultra-fine grinding
저자	Youna Hemery, Marc Chaurand, Ulla Holopainen, Anna-Maija Lampi, Pekka Lehtinen, Vieno Piironen, Abdelkrim Sadoudi, Xavier Rouau
학술지	Journal of Cereal Science 53 (2011) 1-8
요약	이 연구의 목적은 브랜의 입자 크기를 효과적으로 감소시키는 방법을 찾는 것이다. 실험을 통해 분쇄 온도에 따른 입자의 입도분포, 입자의 구성성분, 미세구조에 대해 연구하였다. 미저온 분쇄시 입도 분포가 넓은 반면에 극저온 분쇄시, 입도 분포 곡선이 더 좁았다. 미저온 온도와 극저온 분쇄 모두 초미립입자를 얻을 수 있었다. 온도가 낮아질수록 물질의 깨짐성이 증가함으로써 쉽게 분쇄되는 경향이 확인되었다. 잔잔한 온도 조건에서는 극저온 조건에서의 세배 강도의 분쇄와 같은 분쇄 효과를 나타내었다.



Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part I: Influence of ultra-fine grinding

Youna Hemery^a, Marc Chaurand^a, Ulla Holopainen^b, Anna-Maija Lampi^c, Pekka Lehtinen^b, Vieno Piironen^c, Abdelkrim Sadoudi^a, Xavier Rouau^{a,*}

^a INRA, UMR 1208 "Agropolymers Engineering and Emerging Technologies", INRA-CRAD-UMI-Supagra, F-34000 Montpellier, France

^b VTT, Technical Research Centre of Finland, P.O. Box 1000, Tietotie 2, FI-02044 VTT, Finland

^c Department of Food and Environmental Sciences, University of Helsinki, P.O. Box 27, Latokartanonkaari 11, FI-00014 Helsinki, Finland

ARTICLE INFO

Article history:
Received 20 March 2010
Received in revised form
17 September 2010
Accepted 22 September 2010

Keywords:
Wheat
Bran
Aleurone
Fractionation
Ultrafine grinding
Micronization
Cryogenic
Particle
Microstructure
Ingredient

ABSTRACT

Wheat bran is an undervalued by-product of white flour and has great nutritional potential due to its high content in fibres and bioactive compounds. Micronized bran could be used as a food ingredient to improve the nutritional potential of cereal products, or be used as a starting material for other processes (bioactive compound extraction or bran fractionation). The aim of this work was to find a way to efficiently decrease the particle size of bran. The influence of the grinding temperature (ambient or cryogenic grinding) on the granulometric distribution of particles, their composition, and their microstructure was studied, at lab-scale and pilot-scale. It showed that the intrinsic characteristics of bran (glass transition within intermediate layers at -46 °C) had more influence on its grinding behaviour than the type of grinding device used: the particles size distributions obtained after grinding at lab-scale and pilot-scale were very similar. At both scales, the granulometric curves were narrow for cryogenic grinding, while for ambient grinding they were spread over the whole particle size range. Ultrafine particles were obtained in both ambient and cryogenic conditions. Negative temperatures, by increasing the material's brittleness, favoured a fast fragmentation of bran: one step of cryogenic grinding allowed a median particle size of nearly 50 µm to be reached, whereas three successive steps of ambient grinding were needed for the same result. On the other hand, ambient temperature favoured the dissociation of the different constituent layers of wheat bran, and produced less composite particles than cryogenic grinding.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

<자료 4>

논문명	Wheat bran tissue fractionation using biochemical markers
저자	Carole Antonine, Stephane Peyron, Valerie Lullien-Pellerin, Joel Abecassis, Xavier Rouau
학술지	Journal of Cereal Science 39 (2004) 387-393
요약	Phenolic acid 물질 중 DTH(dehydrotrimer of ferulic acid)는 밀브랜 pericarp층에, p-CA(p-coumaric acid)는 aleurone 층에 다량 존재한다. Phytate 역시 aleurone층의 지표물질이고, 전분은 endosperm 층의 지표 물질이다. 본 연구에서는 브랜 분쇄물을 체를 쳐서 분획 (B1, B2, B3 : 450, 200-450, 7-83 μ m)을 분리하고 그중 가장 작은 입자 분획(B3)을 공기분급하여 두가지 다른 입자 분획(B3a, B3b : 83, 7 μ m)을 분리하였다. 연구 결과를 통해 기계적 분획으로 분리된 각각의 브랜 조직의 분리 양상은 각 조직의 입자 크기와 상관성이 있으며 브랜 조직층 각각의 기계적 및 유동학적 특성을 파악할 수 있었다



Journal of Cereal Science 39 (2004) 387-393



Wheat bran tissue fractionation using biochemical markers

Carole Antoine, Stéphane Peyron, Valérie Lullien-Pellerin, Joël Abecassis, Xavier Rouau*

UMR Agropolymer Engineering and Emerging Technologies, INRA, ENSAM, UM II, CIRAD, 2, Place Pierre Viala, 34 060 Montpellier Cedex 1, France

Abstract

Phenolic acid analysis of hand-isolated outer grain layers and endosperm led to the identification of markers of pericarp and aleurone layers, respectively. A new dehydrotrimer of ferulic acid (DHT) was found to be concentrated in the outer pericarp of wheat bran whereas *p*-coumaric (*p*-CA) acid was mainly in the aleurone layer. Phytates were also used as a marker of aleurone layer and starch as a marker of starchy endosperm. Biochemical markers constitute an original method for determining the histological composition of any technological bran fractions. A pin milling process was applied to coarse bran produced by a conventional milling process. Three different fractions (B1, B2 and B3) were obtained by sieving the bran products and then the smallest bran particle fraction (B3) was air-classified to obtain two particle size fractions (B3a and B3b with a D50 of 83 and 7 μ m, respectively). The biochemical composition of these fractions was used to calculate the distribution of tissues according to the sieving process. The dissociation behavior of individual bran tissues upon mechanical fractionation was investigated in relation to particle size and discussed according to their mechanical properties.


© 2004 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Wheat bran; Aleurone layer; Pericarp; Phenolic acids; Phytates; Fractionation behavior

<자료 5>

논문명	Optimisation of ultrasound-assisted enzymatic extraction of arabinoxylan from wheat bran
저자	Jing Wang, Baoguo Sun, Yingli Liu, Huijuan Zhang
학술지	Food Chemistry 150 (2014) 482 - 488
요약	밀기울의 주 식이섬유 성분인 아라비노자일란은 여러 관점에서 매우 중요하다. 이번 연구에서 밀기울로부터 아라비노자일란을 추출하기 위해 초음파를 이용한 효소 추출 기술을 처음 수행되었다. 아라비노자일란 추출과정은 5개의 변수 중심 합성 회전계획법을 사용한 반응표면분석법에 최적화하였다. 최적추출조건은 다음과 같다. 원료농도는 50g/l, 효소량 4.5g/l, 추출온도 50℃, 추출시간 70분, 초음파파워 180W. 위 조건에서, 그 수율은 142.6 ± 0.17 mg/g(밀브랜 기준)로, 예측 수율과 일치하였다. 초음파는 높은 추출 수율로 효소 처리의 효율성을 증가시켰다.

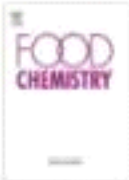
Food Chemistry 150 (2014) 482–488



Contents lists available at ScienceDirect

Food Chemistry


journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodchem



Optimisation of ultrasound-assisted enzymatic extraction of arabinoxylan from wheat bran

Jing Wang^a, Baoguo Sun, Yingli Liu, Huijuan Zhang

^a Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology and Business University, 11 Fuxing Road, Beijing 100048, PR China



ARTICLE INFO

Article history:
 Received 30 March 2013
 Received in revised form 25 September 2013
 Accepted 22 October 2013
 Available online 1 November 2013

Keywords:
 Arabinoxylan
 Central composite rotatable design
 Enzymatic extraction
 Ultrasound
 Wheat bran

ABSTRACT

Arabinoxylan, the major dietary fibre component of wheat bran, is important from both technological and nutritional points of view. In this study, ultrasound-assisted enzymatic extraction technology was first employed to extract arabinoxylan from wheat bran. The process for extraction of arabinoxylan was optimised using response surface methodology, employing a five-level, five-variable central composite rotatable design. The optimum extraction conditions were as follows: raw material concentration, 50 g/l; enzyme dose, 4.5 g/l; extraction temperature, 50 °C; extraction time, 70 min; and ultrasonic power, 180 W. Under the above mentioned conditions, the experimental yield was 142.6 ± 0.17 mg/g of wheat bran, which is well matched with the predictive yield. Ultrasound increased the efficiency of enzymatic treatment with higher extraction yield.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

<자료 6>

논문명	Wheat bran biorefinery - A detailed investigation on hydrothermal and enzymatic treatment
저자	Michael Reisinger, Ozge Tirpanalan, Michael Pruckler, Florian Huber, Wolfgang Kneifel, Senad Novalin
학술지	Bioresource Technology 144 (2013) 179 - .185
요약	<p>제분 산업에서 발생하는 엄청난 밀브랜의 양과 그것의 특징 때문에, 밀브랜은 미래 바이오 정제 원료로 고려될 수 있다. 본 연구에서는 밀브랜의 열수(140-200°C)와 효소 처리에 대한 상세한 연구가 수행되었다. 열수 전처리 및 효소 가수분해하여 각각 65 % 와 90 % 포도당 수율을 나타냈다. 흥미롭게도 헤미셀룰로오스는 약 50% 정도 단량체로 분해 될 수 있다. 단백질의 약 70 %를 용해되었지만, 실제적으로 자유로운 아미노산은 주어진 조건 하에서 수득 되지 않았다. 심한 처리 조건에서 몇몇 아미노산의 높은 손실을 유도하였다. 미네랄은 거의 완전히 추출될 수 있다. 글리세롤과 지방산으로 지방을 분해 하기 위해 과도한 공정 조건이 필요 했다. furfural or hydroxymethylfurfural와 같은 바람직하지 않은 부산물이 약 180°C에서 생성되었다.</p>

Bioresource Technology 144 (2013) 179–185



Contents lists available at ScienceDirect

Bioresource Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech



Wheat bran biorefinery – A detailed investigation on hydrothermal and enzymatic treatment 

Michael Reisinger ^{*}, Özge Tirpanalan, Michael Prückler, Florian Huber, Wolfgang Kneifel, Senad Novalin

Departments of Food Science and Technology, University of Natural Resources and Life Sciences, Murggasse 11, 1190 Vienna, Austria

HIGHLIGHTS

- Hydrothermal and enzymatic pretreatment of wheat bran was investigated in detail.
- By hydrothermal and enzymatic treatment, a glucose yield of 90% was achieved.
- Hemicellulose and proteins could only partially be disintegrated.
- Starting with approx. 180 °C, the formation of undesired by-products occurred.

ARTICLE INFO

Article history:
 Received 17 April 2013
 Received in revised form 20 June 2013
 Accepted 23 June 2013
 Available online 28 June 2013

Keywords:
 Wheat bran
 Biorefinery
 Hydrothermal pretreatment
 Enzymatic hydrolysis

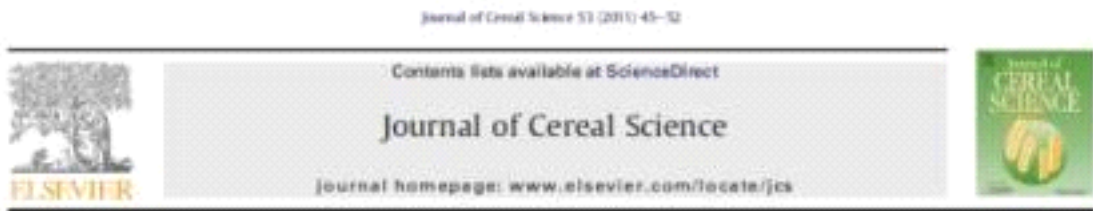
ABSTRACT

Due to the enormous quantities arising in the milling industry and its specific properties, wheat bran can be considered as a feedstock for future biorefineries. In the present work, a detailed investigation was carried out on the hydrothermal (140–200 °C) and enzymatic treatment of wheat bran. After hydrothermal pretreatment and a subsequent enzymatic hydrolysis a glucose yield of 65% and 90% was achieved, respectively. Interestingly, the hemicelluloses could be disintegrated to monomers only to approx. 50%. About 70% of the proteins were dissolved, however, practically no free amino acids were obtained under given conditions. Severe treatment conditions induce elevated losses of some amino acids. Minerals could be extracted almost completely. To disintegrate fat into glycerol and fatty acids severe process conditions were necessary. The formation of undesired by-products such as furfural or hydroxymethylfurfural starts at approx. 180 °C.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

<자료 7>

논문명	Extraction and characterization of water-extractable and water-unextractable arabinoxylans from spelt bran: Study of the hydrolysis conditions for monosaccharides analysis
저자	Emmanuelle Escarnot, Mario Aguedo, Richard Agneessens, Bernard Wathelet, Michel Paquot
학술지	Journal of Cereal Science 53 (2011) 45-52
요약	스펠트밀 (<i>Triticum aestivum</i> ssp. <i>spelta</i>) 브랜의 아라비노자일란 함량과 관련하여 단당류를 분석하고 통계적으로 처리하였다. 그 밀기울 원료의 AX의 함량은 9.2% A/X 비율은 0.39로 나타났다. 그 밀기울 원료는 전분이 41.2%, 단백질이 18.9%였다. 미분쇄한 밀브랜은 효소로 전분과 단백질을 제거한 후, WE-, WU-AXs를 추출하였다. WU-AXs는 4시간동안 60°C에서 2% 알칼리 과산화수소로 두 개의 연속적인 공정에 의해 수득되었다. 3가지 추출 단계를 사용하여 55%의 AX를 추출하였다. (13% WE-, 87% WU-AXs). AX의 비율은 추출공정에 따라 다르게 나타났다. WE-AXs는 WU-AXs보다 아라비노스 함량이 낮았다. 각 분획물은 두가지 분자량의 AX를 포함한다. 하나는 낮은 분자량의 AX(7-8 kDa), 또 하나는 높은 분자량으로 310-415kDa의 WU-AXs와 28 kDa의 WE-AXs이다. 그 추출은 AX의 순도를 위해 정제되어야만 한다. 데이터는 문헌상에 밀브랜에서 얻어진 결과물과 비교하였다. 본 연구는 스펠트밀 브랜의 AX 추출에 대한 첫 번째 연구이다.



Extraction and characterization of water-extractable and water-unextractable arabinoxylans from spelt bran: Study of the hydrolysis conditions for monosaccharides analysis

Emmanuelle Escarnot^{a,*}, Mario Aguedo^b, Richard Agneessens^c, Bernard Wathelet^b, Michel Paquot^b

^aMilieux Agricultural Research Centre, Department of Life Sciences, Breeding and Biotechnology Unit, Rue de Louvain, 4, 5030 Gembloux, Belgium
^bUniversity of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Department of Industrial, Biological Chemistry, Passage des Déportés, 2, 5030 Gembloux, Belgium
^cMilieux Agricultural Research Centre, Valorisation of Agricultural Products Department, Agricultural Product Technology Unit, Rue de Serpont, 100, 5000 Libramont, Belgium

ARTICLE INFO

Article history:
 Received 4 February 2010
 Received in revised form 24 August 2010
 Accepted 9 September 2010

Keywords:
 Alkaline peroxide hydrogen
 Arabinoxylan
 Bran
 Spelt

ABSTRACT

Monosaccharide analyses were performed, statistically treated and adopted for spelt bran fractions; with regard to the arabinoxylan content. The AX content of the initial spelt bran reached 9.2% with an A/X ratio of 0.39. The initial spelt bran was rich in starch (46.2%) and protein (18.9%). WE- and WU-AXs from milled spelt bran were extracted after improved enzymic destarching and deproteinisation treatments. WU-AXs were obtained by two successive extractions with 2% alkaline hydrogen peroxide at 60 °C during 4 h. 55% of the AX present in spelt bran was extracted by using the three extraction steps (WE- and WU-AXs), among AX, 13% were WE and 87% were WU. A/X ratios were different depending on the extraction process. WE-AXs were less rich in arabinose than WU-AXs. Each fraction contained two populations of AX. The first one consisted of low MW AX (7–8 kDa). The second population had a higher MW, 310–415 kDa for WU-AXs and 28 kDa for WE-AXs. The extracts had to be purified in order to improve the AX content. Results were compared to those obtained with wheat bran in the literature. This research was, to the best of our knowledge, the first study on AX extraction from spelt bran.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

제 7 장 참고문헌

- Antoine C, Peyron S, Mabille F, Lapierre C, Bouchet B, Abecassis J. 2003. Individual contribution of grain outer layers and their cell wall structure to the mechanical properties of wheat bran. *J. Agr. Food Chem.* 51: 2026-2033.
- Atwell B. 2010. aleurone definition ready for membership review. *Cereal Foods World.* 55: 149.
- Carrasco-Pancorbo A, Cerretani L, Bendini A, Segura-Carretero A, Del Carlo M, Gallina Toschi T, Lercker G, Compagnone D, Fernández-Gutiérrez A. 2005. Evaluation of the antioxidant capacity of individual phenolic compounds in virgin olive oil. *J. Agr. Food Chem.* 53: 8918-8925.
- Challa R, Srinivasa R, To F. 2010. Fractionation of soybean meal, cottonseed meal and wheat middlings using combination of sieving and air classification. *Animal Feed Science and Technology.* 159: 72-78.
- Chau CF, Wu SC, Lee MH. 2007. Physicochemical changes upon micronization process positively improve the intestinal health-enhancement ability of carrot insoluble fibre. *Food Chem.* 104: 1569-1574.
- Chen HD, Weiss JC, Shahidi F. 2006. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *Food Technol.* 60: 30-36.
- Cho SS, Rickard S, Chung CE. 2003. Wheat bran and breast cancer: plausibility of the estrogen hypothesis. *Nutritional Science* 6: 160-166.
- Choi YS, Jang JH, Bae BS, Seo JS. 2000. Effects of rice bran and wheat bran on intestinal physiology and small-bowel morphology in rats. *Nutrition Science* 3: 3-10.
- Chou SY, Chien PJ, Chau CF. 2008. Particle size reduction effectively enhances the cholesterol-lowering activities of carrot insoluble fiber and cellulose. *J. Agric. Food Chem.* 56: 10994-10998.
- Dappolonia BL. 1979. Uses of nonflour fractions of wheat. *Cereal Foods World.* 24: 326-331.
- Decker EA, Welch B. 1990. Role of ferritin as a lipid oxidation catalyst in muscle food. *J. Agr. Food Chem.* 38: 674-677.

- Elliott DC, Orth RJ, Gao J, Werpy TA, Eakin DE, Schmidt AJ. 2002. Biorefinery concept development based on wheat flour milling. *Fuel Chemistry Division Preprints*. 47: 361–362.
- Evers AD, Reed M. 1988. Some novel observations by scanning electron microscopy on the seed coat and nucellus of the mature wheat grain. *Cereal Chem*. 65: 81–85.
- Ferrari B, Finocchiaro F. 2009. Optimization of air classification for the production of β -glucan-enriched barley flours. *Journal of Cereal Science*. 50: 152–158.
- Fincher GB, Stone BA. 1986. Cell walls and their components in cereal grain technology. In: Pomeranz, Y. (Ed.), *Advances in Cereal Science and Technology*, vol. 8. American Association of Cereal Chem, St Paul, MN 207–295.
- Frolich W. 1990. Chelating properties of dietary fiber and phytate: the role for mineral availability. In: *New Developments in Dietary Fibre*. Furda I, Brine CJ. (eds.). Plenum Press, New York, USA, pp. 83–93.
- Graf E. 1992. Antioxidant potential of ferulic acid. *Free Radical Bio. Med*. 13: 435–448.
- Halliwell B, Gutteridge JMC. 1999. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press, New York, NY, USA. pp. 246–350.
- Han JY, Khan K. 1990. Physicochemical studies of pin-milled and air classified dry edible bean fractions. *Cereal Chem*. 67: 384–390.
- Harris PJ, Chavan RR, Ferguson LR. 2005. Production and characterisation of two wheat bran fractions: an aleurone-rich and a pericarp-rich fraction. *Mol. Nutr. Food Res*. 49: 536–545.
- Hemery YM, Anson NM, Havenaar R, Haenen GR, Noort M, Rouau X. 2010. Dry-fractionation of wheat bran increases the bioaccessibility of phenolic acids in breads made from processed bran fractions. *Food Research International*. 43: 1429–1438.
- Imai J, Ide N, Nagae S, Moriguchi T, Matsuura H, Itakura Y. 1994. Antioxidant and radical scavenging effects of aged garlic extract and its constituents. *Planta Med*. 60: 417–420.
- Jenner CF, Ugalde TD, Aspinall D. The Physiology of Starch and Protein Deposition in the Endosperm of Wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 18: 211–226.
- Jeong WS, Hong SS, Lee JA, Ahn EK, Oh JS. 2011. Inhibitors of adipogenesis in 3T3-L1

cells isolated from wheat bran. *Kor J. Pharamcogn.*42: 302-308.

Kang JI, Moon JS, Kim EJ, Lee YK, Koh YS, Yoo ES, Kang HK, Yim DS. 2013. The hair growth effects of wheat bran. *Kor. J. Pharamacogn.* 44: 384-390.

Kang WS, Choi SG. 2001. Effect of vane shape on air pressure in air fluid mill for food processing. *J of Biosystems Eng.* 6: 245-250.

Kasemwong K, Ruktanonchai UR, Srinuanchai W, Itthisoponkul T, Sriroth K. 2011. Effect of high pressure microfluidization on the structure of cassava starch granule. *Starch.* 63: 160-170.

Key SH, Ha MJ, Lee HS, Yun JS, Kim CI. 1997. Study on food intake and food consumption pattern of adults as a part of total diet study. *Korean J. Nutr.* 30: 61-74.

Kim EJ, Choi JY, Yu MR, Kim MY, Lee SH, Lee BH. 2012. Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 337-342.

Kim JY, Kim OY, Yoo HJ, Kim TI, Kim WH, Yoon YD, Lee JH. 2006. Effects of fiber supplements on functional constipation. *Korean J. Nutr.* 39: 35-43.

Kim KH, Tsao R, Yang, R, Cui SW. 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. *Food Chem.* 95: 466-473.

Kim TI, Park SJ, Choi CH, Lee SK, Kim WH. 2004. Effect of earmushroom (*auricularia*) in functional constipation. *Korean J. Gastroenterol.* 44: 34-41.

King RO, Dietz HM. 1987. Air classification of rape seed meal. *Cereal Chem.* 64: 411-413.

Kon S, Sanchuk DW, Jackson R, Huxsoll CC. 1977. Air classification of bean flour. *J. Food Proc Preserv.* 1: 69-77.

Ku KH, Park DJ, Kim SH. 1996. Characteristics and application of soybean hull fractions obtained by microparticulation/air-classification. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 506-513.

Ku KH, Park DJ. 1998. Cowpea starch extraction process using microparticulation/air classification technology. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 118-124.

Kum JS, Lee HY. 1999. The effect of the varieties and particle size on the properties of rice flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 1542 - 1548.

- Lee BH, Cho KD. 2005. Effects of herb and fiber-rich dietary supplement on body weight, body fat, blood lipid fractions and bowel habits in collegians. *J. Korean Soc Food Sci Nutr.* 34: 644-651.
- 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.
- Mackeown-Eyssen GE, Bright SE. 1985. Dietary factors in colon cancer: international relationship. *Nutr Cancer.* 6: 160-170.
- Maqsood S, Benjakul S. 2010. Comparative studies of four different phenolic compounds on in vitro antioxidative activity and the preventive effect on lipid oxidation of fish oil emulsion and fish mince. *Food Chem.* 119: 123-132.
- Moon JS, Moon SH, Shim BW, Kang TJ, Lee SK, Yim DS. 2013. Inhibition of Osteoclast Differentiation by Wheat Bran Butanol Fraction. *Kor J. Pharamcogn.* 44: 257-262.
- Noort M, Haaster D, Hemery Y, Henk A S, Hamer RJ. 2010. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality Evidence for fibre protein interactions. *Journal of Cereal Science.* 52: 59-64.
- Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, volI, section 12.1.07, method 960.52.1997.
- Om AS, Miyagi YM, Chae KM, Bennink MR. 1999. Chemoprevention of azoxymethane induced colon cancer in rats by feeding orange juice, soy, wheat bran and flaxseed. *Nutritional Science* 2: 71-75.
- Park DJ, Ku KH, Mok CK. 1993. Microparticulation/air classification of rice bran: characteristics and application. *Korean J. Food Sci. Technol.* 25: 769-774.
- Park DJ, Ku KH, Mok CK. 1995. Characteristics of glutinous rice fractions and improvement of Yoogwa processing by microparticulation/ air-classification. *Korean J. Food*

Sci. Technol. 27: 1008–1012.

Pomeranz Y. 1988. Chemical composition of kernel structures. In: Pomeranz Y. (Ed.), *Wheat: Chemistry and Technology*. AACC, St Paul, MN 97–158.

Pomeranz, Y. 1998. Chemical composition of Kenel structures. In: *Wheat “Chemistry and Technology”*. Pomeranz T. (ed). AACC, Inc., St. Paul, MN, Vol.1, p110

Prückler M, Siebenhandl-Ehn S, Apprich S, Höltinger S, Haas C, Schmid E, Kneifel W. 2014. Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization. *LWT–Food Science and Technology*. 56: 211–221.

Ranhotra GS, Gelroth JA, Glaser BK, Reddy PV. 1994. Nutritional profile of a fraction from air classified bran obtained from a hard red wheat. *Cereal Chem*. 71: 321–324.

Rhim YT, Kang SY, Kim JD, Kim SS, Kim JW, Lee CY, Kim JM. 2004. Effects of functional food including dietary fiber supplementation on body composition concerning obesity and defecation satisfaction of women. *Korea Sport Research*. 15: 903–910.

Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci*. 2: 152–159.

Rosa NN, Barron C, Gaiani C, Dufour C, Micard V. 2013. Ultra-fine grinding increase the antioxidant capacity of wheat bran. *J. Cereal Sci*. 57: 84–90.

Schneeman BO. 1987. Soluble vs insoluble fiber–different physiological responses. *Food Technol*. 41: 81–82.

Seo MC, Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Kwak DY, Oh BG, Yoon YN, Nam MH, Jeong HD, Woo KS. 2011. Antioxidant compounds and activities of foxtail millet, proso millet and sorghum with different pulverizing method. *Korean Soc Food Sci Nutr*. 40: 790–797.

Serpen A, Gömen V, Pellegrini N, Fogliano V. 2008. Direct measurement of the total antioxidant capacity of cereal products. *J. Cereal Sci*. 48: 816–820.

Singh SP, Katarina VM, Primoz V, Luka J, Primoz P, jitendra K, Rakesh T. 2014. Spatial X-ray fluorescence micro-imaging of minerals in grain tissues of wheat and related genotypes. 240: 277–289.

Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM, 1999. Analysis of total phenols and other

oxidation substrates and antioxidants by means of Foline-Ciocalteau reagent. *Methods Enzymol.* 299: 152-178.

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.

Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MT, Mazur M, Telser J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int. J. Biochem. Cell B.* 39: 44-84

Velázquez-Estrada RM, Hernández-Herrero MM, Rüfer CE, Guamis-López B, Roig-Sagués AX. 2013. Influence of ultra high pressure homogenization processing on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice. *Innov. Food Sci. Emerg.* 18: 89-94

Verardo V, Ana Maria GC. 2011. Air classification of barley flours to produce phenolic enriched ingredients: Comparative study among MEKC-UV, RP-HPLC DAD-MS and spectrophotometric determinations. *LWT-Food Science and Technology.* 44: 1555-1561.

Verma B, Hucl P, Chibbar RN. 2008. Phenolic content and antioxidant properties of bran in 51 wheat cultivars. *Cereal Chem.* 85: 544-549.

Wang J, Xie A, Zhang C. 2013. Feature of air classification product in wheat milling: Physicochemical, rheological properties of filter flour. *Journal of Cereal Science.* 57: 537-542.

Wang T, Jónsdóttir R, Ólafsdóttir G. 2009. Total phenolic compounds, radical scavenging and metal chelation of extracts from Icelandic seaweeds. *Food Chem.* 116: 240-248.

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: S618-S621.

Willcox JK, Ash SL, Catignani GL. 2004. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Crc. Cr. Rev. Food. Sci.* 44: 275-295.

Wilson T. 1990. Confocal microscopy. Academic Press, San Diego, Calif, USA, pp. 27-32

Worthen RA. 2001. Centrifugal air classification of fine particles using rotating disks. PhD Thesis, The University of Florida. 1-101.

Wu SC, Wu SH, Chau CF. 2009. Improvement of the hypocholesterolemic activities of two common fruit fibers by micronization processing. *J. Agric Food Chem.* 57: 5610-5614.

- Wu YV, Doehlert DC. 2002. Enrichment of β -glucan in Oat Bran by Fine Grinding and Air Classification. *Lebensm.-Wiss U-Technol.* 35: 30 - 33.
- Wu YV, Norton RA. 2001. Enrichment of protein, starch, fat, and sterol ferulates from corn fiber by fine grinding and air classification. *Industrial Crops and Products.* 14: 135-138.
- Yang S, Yu SJ. 1996. Effect of dietary fiber supplement on antidepressant induced constipation in depressed inpatients. *J. Korean Acad Psych Mental Health Nurs.* 5: 13-26.
- Yoon CG, Chae SN, Huh NE, Kim HS, Yu TS. 1999. Effect of Nuruk or wheat bran supplemented diet on the serum levels of cholesterol and activities of hepatic oxygen free radical metabolizing enzymes in rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28: 212-217.
- Yu BH, Kies C. 1993. Niacin, thiamin, and pantothenic-acid bioavailability to humans from maize bran as affected by milling and particle-size. *Plant Foods Hum Nutr.* 43: 87-95.
- Yu L, Cheng Z. 2007. Antioxidant properties of wheat phenolic acids. In: *Wheat Antioxidants*. Yu L. (ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, pp. 54-73.
- Yu L, Haley S, Perret J, Harris M. 2002. Antioxidant properties of hard winter wheat extracts. *Food Chem.* 78: 457-462.
- Zhou K, Laux JJ, Yu LL. 2004. Comparison of Swiss red wheat grain and fractions for their antioxidant properties. *J. Agr. Food Chem.* 52: 1118-1123.
- Zhou KQ, Yu L. 2004. Effects of extraction solvent on wheat bran antioxidant activity estimation. *LWT-Food Sci. Technol.* 37: 717-721.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.