

밀기울에 대한 열처리가 이화학적 특성에 미치는 영향

황재관 · 김종태 · 조성자 · 김철진

한국식품개발연구원

Effects of Various Thermal Treatments on Physicochemical Properties of Wheat Bran

Jae-Kwan Hwang, Chong-Tai Kim, Sung-Ja Cho and Chul-Jin Kim

Korea Food Research Institute

Abstract

Various thermal treatments such as toasting, roasting, drum drying, autoclaving + drum drying, microwaving + drum drying and extrusion were attempted to investigate their effects on chemical composition (proximate composition, Klason lignin, neutral sugar, uronic acid, starch, free sugar, dietary fiber, phytic acid, etc) and functional properties (water solubility index, water absorption index, water holding capacity, oil holding capacity, bulk density, swelling, etc) of wheat bran. Thermal treatments on wheat bran increased soluble dietary fiber (SDF) content from 2.7% (raw sample) to 4.6% (toasted), 4.5% (roasted), 4.6% (drum dried), 5.2% (autoclaved), 3.7% (microwaved), 5.6% (extruded). In contrast, total dietary fiber (TDF) content remained nearly constant regardless of thermal treatments, reflecting the concomitant decrease in insoluble dietary fiber (IDF). It was also found that water holding capacity (WHC) increased 20~75% due to thermal treatments employed in this research. Both bulk density and swelling were not directly relevant to WHC, but their multiplication exhibited good correlation ($R^2=0.94$) with WHC. Scanning electron microscopy (SEM) exhibited that structure of raw wheat bran was significantly modified, whose degree and shape well reflected the types of thermal treatments.

Key words: wheat bran, dietary fiber, thermal processing, function

서 론

밀기울(wheat bran)은 밀의 제분과정에서 발생하는 주요 부산물로서 상업적 가공공정에서는 일반적으로 약 15~20%가 생산된다⁽¹⁾. 밀기울은 주로 밀의 종피(seed coat), 주심층(nuclear epidermis), 호분층(aleurone layer) 등으로 이루어져 있으며, 제분 및 선별과정에서 일부 배유(endosperm) 성분이 포함된다⁽²⁾. 밀기울의 구성성분은 밀의 종류나 가공방법에 따라 차이가 있으나 대개 수분 9~14%, 지방 4~6%, 단백질 14~18%, 회분 5~7%, 탄수화물 50~70% 등으로 이루어져 있으며, 특히 약 40~50%의 식이섬유 성분이 포함되어 있는 것으로 알려져 있다^(3,4).

지금까지 밀기울은 대부분 사료의 원료로서 이용되어 왔으나, 최근 식이섬유의 뛰어난 생리활성과 각종 질병 예방 효과가 알려지면서 밀기울을 이용한 식이섬유 제품의 생산이 활발히 진행되고 있다^(5,6). 밀기울의 식이섬유는 대개 불용성 성분으로 이루어져 있어 지금까지

수용성을 필요로 하지 않는 제빵, 제과류에 많이 응용되어 왔다⁽⁷⁾. 식이섬유는 수용성에 따라 매우 다른 생리활성을 제공한다. 즉, 수용성 식이섬유는 혈중 콜레스테롤 저하효과가 잘 알려져 있으며, 불용성 식이섬유의 경우에는 변비예방 및 장기능 증진효과가 뛰어난 것으로 보고되고 있다^(8,9). 국내의 경우 식이섬유의 이용은 대부분 저분자량의 수용성 식이섬유를 이용한 음료의 형태가 주류를 이루고 있다⁽¹⁰⁾. 따라서, 날로 증가하고 있는 국내의 대장암, 변비 등의 장질환 예방을 위해서는 불용성 식이섬유의 활용기술이 필요한 것으로 사료된다.

현재 국내에서는 약 5,000톤(1994년도 기준)의 밀이 생산되고 있으며, 우리밀의 제분과정에서 약 1,000톤의 밀기울이 발생하고 있다. 그러나 현재 우리밀 밀기울은 대부분 사료로서 이용되고 있기 때문에 밀기울의 식이섬유 소재를 활용한 가공식품의 개발이 필요하다. 특히, 국내에서 생산되고 있는 밀은 농약의 사용없이 재배되고 있기 때문에 밀의 외피에서 발생하는 밀기울은 무공해 식이섬유 원료로서의 가치가 큰 것으로 판단된다.

그러나 밀기울의 주요 구성부위인 호분층에는 다량의 지방분해효소(lipase)가 함유되어 저장과정에서 밀기울이 쉽게 산패되는 문제점이 있다⁽¹¹⁾. 따라서 밀기울이 발효 후 실제 이용시까지 안정성을 유지할 수 있는 가

Corresponding author: Jae-Kwan Hwang, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-gu, Songnam-si, Kyonggi-do 463-420, Korea

공공정의 적용이 필요하다. 일반적으로 가열공정은 곡류의 bran 층에 존재하는 효소를 불활성화시켜 저장성을 크게 연장시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 지금까지 곡물 bran류의 안정화에 대한 연구로서 가장 대표적인 예는 미강을 압출성형하여 지방분해효소를 불활성화함으로써 저장성을 크게 향상시킨 것이다^(12,13).

가열처리는 공정의 종류나 처리조건에 따라 식물조직의 구조나 기능에 큰 영향을 미친다⁽¹⁴⁾. 본 연구에서는 국내산 밀기울을 식이섬유 소재로 개발하기 위하여 밀기울에 대한 여러가지 열처리 공정이 밀기울의 구조적 특성과 물성에 미치는 영향을 구명하였다.

재료 및 방법

재료

밀기울은 우리밀 가공공장(전남 무안)에서 수거한 것으로 -10℃ 냉동창고에 저장하면서 실험에 사용하였다.

열처리공정

본 연구에 사용한 열처리공정의 운영조건을 Table 1에 나타내었다. 시료 TO는 밀기울 300g을 40×30 cm 스텐레스 강판에 넣은 후 150℃ 건조기에서 2시간 동안 가열하였다. 시료 RO는 100g의 밀기울을 회전원통볶음기(Hesse, Andre & Co., Model Re-1, Hamburg, Germany)에 넣은 후 150℃에서 15분간 가열하였다. 시료 DR은 먼저 밀기울과 물을 중량비 1:3으로 섞은 후 120℃의 드럼온도에서 가열건조하였다. 시료 AU+DR은 밀기울 페이스트(밀기울:물=1:3 w/w)를 121℃, 1.2기압의 autoclave에서 2시간 동안 가열한 후 위의 시료 DR과 동일한 조건에서 드럼건조하였다. 시료 MI+DR은 앞의 밀기울 페이스트를 마이크로웨이브(Samsung, Model RE-888BR)를 이용하여 가열한 후 드럼건조하였다. 시료 EX는 2축 압출성형기(Büler Brothers Co., Swiss)를 이용하여 Table 1의 조건에서 생산되었다. 모든 시료는 전기분쇄기(Goldstar, Model GEM-350B)를 이용하여 1분간 분쇄하여 사용하였다.

일반성분

수분은 105℃ 건조법으로, 조지방은 Soxhlet법으로, 조단백은 micro-Kjeldahl법으로, 회분은 550℃ 회화로법 등 표준 AOAC법⁽¹⁵⁾에 따라 결정하였다.

Klason 리그닌, 중성당 및 우론산(uronic acids)

Diethylether에 의하여 탈지된 시료 0.5g에 24 N(72% w/w) 황산을 10 ml 가하여 30℃ 수조에서 2시간 동안 교반하였다. 그 다음 증류수 110 ml를 가하여 2 N 황산 용액으로 만든 후 3시간 동안 환류하면서 가수분해시켰으며, 이를 내산성 여과지(Whatman GF/C)를 이용하여 여과하였다. 여과지에 남아 있는 잔유물을 약 500 ml의 뜨거운 물로 씻어준 후 105℃에서 건조하여 항량으로

Table 1. Experimental conditions for thermal treatments

Thermal Treatments	Sample Codes	Operating Conditions
Raw	RAW	None
Toasting	TO	Dry oven, 150℃, 2 hr
Roasting	RO	Rotating roaster, 150℃, 15 min
Drum drying	DR	Steam pressure: 520 kPa Drum speed: 3 rpm
Autoclaving+ Drum drying	AU+DR	121.1℃, 1.2 atm, 2 hr + Drum drying
Microwaving+ Drum drying	MI+DR	2,450 MHz, 10 min + Drum drying
Extruding	EX	Screw speed: 270 rpm Extrusion temperature: 190℃ Pressure: 17 bar Feed rate: 30 kg/hr Dough moisture: 25%

Klason 리그닌을 결정하였다⁽¹⁶⁾. 이 때, 여과액을 적당량 희석하여 phenol-sulfuric acid법⁽¹⁷⁾에 의하여 중성당을, m-hydroxydiphenyl법⁽¹⁸⁾에 의해 우론산을 측정하였으며, 이 때 표준물질로서 각각 glucose와 glucuronic acid를 이용하였다.

유리당(Free Sugars)

시료 5g에 80% 에탄올 150 ml를 가하여 30분 동안 환류하면서 가열한 후 3,000×g에서 10분간 원심분리하였다. 상등액을 여과한 후 유리당 함량을 phenol-sulfuric acid법⁽¹⁷⁾에 의하여 결정하였으며, 표준물질로서 glucose를 이용하였다.

전분

시료 중의 전분 함량은 Dintzis and Harris⁽¹⁹⁾의 방법과 AACC법⁽²⁰⁾을 약간 수정하여 측정하였다. 시료 0.5g에 25 ml의 증류수를 가한 후 121℃, 1.2기압하에서 1시간 동안 autoclaving 하였다. 여기에 20 ml의 0.2 M acetate buffer (pH 4.5)와 5 ml의 glucoamylase(77 mg/ml; Sigma Chemical Co.)를 첨가하여 55℃에서 2시간 반응시킨 후 2,000×g에서 15분 동안 원심분리하였다. 다음 상등액을 여과한 후 여과액을 적당히 희석하여 glucose assay kit (Sigma Chemical Co.)을 이용하여 전분함량을 결정하였으며, 표준물질로는 glucose를 사용하였다.

피틴산(Phytic Acid)

피틴산 함량 측정을 위한 시료의 제조는 Hartland and Oberleas⁽²¹⁾에 의한 이온 교환수지 방법을 이용하였으며,

피틴산 함량은 Latta and Erskin⁽²²⁾에 의한 비색법으로 측정하였다. 건조 시료 5g에 0.667 N HCl 100 ml를 가하여 2시간 동안 실온에서 교반하였다. 이를 6,500×g에서 10분 동안 원심분리한 후 상등액을 여과하여 여과액을 냉장 보관하여 사용하였다. 여과액을 Dowex-1 resin column(0.8×15 cm; Sigma Chemical Co.)에 주입하고 증류수로 미흡착 분획을 세척하였다. 그 후 0.1 M 용액 10 ml를 이용하여 inorganic phosphate를 제거한 후 0.7 M NaCl용액 15 ml로 피틴산을 용출하였다. 피틴산 함량은 Wade's reagent(0.03g FeCl₃+0.3g sulfosalicylic acid/1 ml distilled water)를 이용하여 500 nm에서 비색법으로 결정하였다. 이 때, 표준 물질로는 피틴산(Sigma Chemical Co.)을 사용하였다.

식이섬유(Dietary Fiber)

식이섬유 함량은 Prosky 등⁽²³⁾의 방법에 의한 dietary fiber assay kit(Sigma Chemical Co.)를 사용하여 결정하였다. 식이섬유는 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber: SDF)와 불용성(insoluble dietary fiber: IDF)로 나누어 측정하였으며, 각각 2회 측정하여 그 평균값으로 나타내었다. 총 식이섬유(total dietary fiber: TDF)는 수용성과 불용성 식이섬유의 합으로서 계산하였다.

수분용해지수(Water Solubility Index: WSI) 및 수분흡착지수(Water Absorption Index: WAI)

WSI와 WAI는 Anderson⁽²⁴⁾의 방법에 의하여 측정하였다. 시료 10g에 물 100 ml를 가하여 상온에서 1시간 동안 교반한 후 2,000×g에서 10분간 원심분리하였다. 이 때 상등액 10 ml를 취하여 수분칭량병에 넣은 후 105℃에서 4시간 동안 건조하여 고형분함량을 측정한 후 WSI를 다음 식으로 결정하였다.

$$WSI = \frac{(\text{soluble solids g}/10 \text{ ml}) \times 100 \text{ ml}}{100\%} \times 100\%$$

한편, WAI는 원심분리한 침전물의 3부분을 일정량 취하여 수분함량을 측정한 후 평균하여 결정하였다. 즉, 본 연구에서 WAI는 시료의 수용성 부분을 제외한 불용성 부분 1g당 흡착되는 수분의 함량(ml/g)을 나타낸다.

보수력(Water Holding Capacity: WHC)

보수력은 AACB법⁽²⁵⁾으로 측정하였다. 이 방법은 원료 시료에 물을 가하여 교반한 후 원심분리하여 상등액이 발생하지 않을 때까지 가해진 물의 양으로서 보수력을 결정하는 것이다. 따라서 WHC는 시료의 수용성성분을 포함한 전체 시료의 수분보유능력을 나타낸다.

투명한 50 ml 원심분리관에 넣은 시료 5g에 물을 가한 후 유리막대를 이용하여 교반하였으며, 물과 시료가 완전히 섞인 후 30℃ 항온조에서 2시간 동안 방치하였다. 본 연구에서 사용한 초기 물의 양은 5 ml로서 1 ml씩 증가시키면서 2,000×g에서 10분간 원심분리하여 상등

액의 생성유무를 관찰하였다. 최초로 상등액이 발생하였을 때 상등액을 제거한 후 다음 식에 의하여 근사보수력(approximate WHC)를 구하였다.

$$\text{근사보수력} = \frac{(\text{원심관무게} + \text{침전물무게}) - (\text{원심관무게} + 5.0) \text{ ml/g}}{5}$$

근사보수력을 구한 후 50 ml 원심분리관 4개에 아래의 식에 의해 시료와 물을 각각 넣었다.

$$\begin{aligned} \text{시료량} &= \frac{15}{\text{근사보수력}} \\ \text{물량} &= (15 - \text{시료량}) \pm 0.5, 1.0 \text{ ml} \end{aligned}$$

각 관의 시료와 물을 유리막대로 골고루 섞고, 이를 30℃에서 2시간 정치시킨 후에 2,000×g에서 10분간 원심분리하였다. 이 때 4개의 원심분리관 중 상등액이 발생한 관과 상등액이 발생하지 않은 인접한 관의 물량과의 중간값을 시료량으로 나누어 보수력(ml/g)으로 하였다.

보유력(Oil Holding Capacity: OHC)

시료 3g에 콩기름(체질제당) 15 ml를 넣고 유리막대를 이용하여 잘 섞은 후 30℃ 항온조에서 4시간 동안 방치하였다. 이를 2,000×g에서 10분간 원심분리한 후 상등액은 버리고 원심관을 여과지 위에 거꾸로 1시간 동안 방치하여 관벽에 남은 기름을 제거하였다. 이 때 기름과 함께 유출되는 침전물은 여과지 위에 남게 되므로 이를 수거하여 다시 원심관에 넣었다. 보유력은 시료 1g당 잔류하는 기름의 양(ml/g)으로 나타내었다.

수화시간(Hydration Time) 및 팽화도(Degree of Swelling)

시료 1g을 25 ml 눈금실린더에 넣은 후 실린더 밑바닥을 가볍게 두드려 시료의 높이를 일정하게 유지하였다. 시료에 증류수 15 ml를 가한 후 시료의 바닥이 완전히 젖을 때까지의 시간을 수화시간으로 하였다. 시료가 수화된 후 증류수 5 ml를 더 가해 30℃ 항온실에 방치하면서 더 이상 부피 변화가 없을 때 시료에 의해 차지된 부피(displaced volume)를 측정하였다. 팽화도는 시료 1g이 차지하는 부피(ml/g)로 나타내었다.

용적밀도(Bulk Density)

시료 25g을 25 ml 눈금실린더에 넣은 후 실린더의 밑바닥을 딱딱한 표면에 대하여 15초 동안 두드린 후 시료가 차지하는 부피를 측정하였다. 용적밀도는 단위용적당 시료의 무게(g/ml)로 나타내었다.

주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy: SEM)

밀기울의 표면구조는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope Model 1820: AMRAY Inc, Bedford, MA, USA)으로 2,000배 확대하여 관찰하였다.

Table 2. Chemical composition of wheat bran samples

Components (%)	Treatments						
	RAW	TO	RO	DR	AU+DR	MI+DR	EX
Moisture	12.6	0	0.7	2.4	2.3	1.6	6.0
Crude fat ¹	3.9	3.7	4.2	3.0	2.7	2.8	2.1
Crude protein ²	16.6	14.9	13.9	13.8	14.2	14.1	13.8
Ash	4.2	4.9	4.8	4.7	4.8	4.8	4.7
Carbohydrates ³	52.8	64.4	59.5	55.8	60.7	64.0	61.7
Neutral sugars	49.4	60.1	56.1	53.4	58.2	61.4	58.6
Uronic acid	3.4	4.3	3.4	2.4	2.5	2.6	3.1
Starch	20.4	25.3	26.2	24.6	28.0	23.0	26.2
Free sugars	3.7	2.6	3.0	3.9	4.6	7.9	3.3
Klason lignin	5.9	8.6	10.6	8.1	7.4	8.3	8.1
Phytic acid	5.9	4.9	4.9	4.0	3.4	3.7	4.0

¹Diethylether extract; ²N×5.7; ³Sum of neutral sugars and uronic acid

결과 및 고찰

밀기울의 화학적 성분에 대한 열처리 효과

Table 2에 밀기울 원료의 화학적 구성성분과 가열처리에 따른 성분의 변화를 나타내었다. 원료 밀기울의 수분함량은 12.6%로 이는 Cadden⁽²⁶⁾에 의하여 보고된 밀기울의 흡착등온곡선(sorption isotherm)에 의하면 일반 저장온도인 25°C에서 수분활성도가 약 0.62에 해당된다. 따라서, 원료 밀기울에 대한 적절한 안정화 처리가 없을 경우 미생물에 의한 부패나 밀기울 자체에 함유되어 있는 리파아제 등에 의하여 쉽게 산패가 일어날 수 있는 수분활성도의 범위 내에 있는 것으로 판단된다.

밀기울의 열처리에 의한 성분상의 가장 큰 변화는 수분함량이다. Table 2에 나타난 바와 같이 열처리에 의하여 수분함량이 50% 이상 감소하는 것을 알 수 있다. 열처리 가운데 가장 수분함량이 높은 압출성형 시료(6.0%)의 경우 Cadden⁽²⁶⁾의 흡착등온곡선에 의하면 수분활성도가 약 0.15에 불과하다. 따라서, 열처리는 가열과정에서 미생물 살균, 효소 불활성화 및 수분활성도의 감소에 따라 밀기울의 안정성에 기여할 수 있다.

수분함량 다음으로 차이를 보이는 성분은 Klason 리그닌으로서 원료 밀기울에 비하여 약 10~55% 증가하였다. 실험방법에서 서술한 바와 같이 Klason 리그닌은 24 N H₂SO₄에 의한 가수분해와 2 N H₂SO₄에 의한 가열처리에 불해되지 않는 부분으로서, 순수한 리그닌 성분 이외에 메일라드 반응생성물(Maillard reaction products), 탄닌 등의 polyphenols, 일부 세포벽 단백질 등을 포함하고 있다^(27,28). 즉, 가열과정에서 밀기울내의 단백질과 당성분의 반응생성물에 의하여 Klason 리그닌 함량이 증가한 것으로 보인다. Anderson과 Clydesdale⁽²⁹⁾은 밀기울을 100°C에서 30~60분간 toasting 했을 때, Theander⁽³⁰⁾, Theander와 Westerlund⁽³¹⁾, Siljeström⁽³²⁾ 등은 밀가루를 압출성형, 드럼건조, autoclaving 했을 때 Klason 리그닌이 증가하였다고 보고하였다. 또한, 이같은

현상은 곡류 뿐만 아니라 과채류에서도 관찰된 바 있다^(29,33).

한편, 유리당의 결과를 살펴보면 마이크로웨이브로 처리한 시료가 다른 시료에 비하여 많은 증가를 보여 원료 시료에 비해 약 90% 가량 증가하였다. 이는 마이크로웨이브에 의한 가열과정에서 식물 세포벽의 구성성분이 상당량 저분자화된 것으로 보인다. 마이크로웨이브의 이 같은 특성은 당분석시 일반적인 가열처리 대신에 세포벽을 가수분해하는 데 이용되기도 한다.

피틴산은 최근에 항암작용 등 일부 긍정적인 생리작용에 대한 효과가 있는 것으로 보고되고 있으나⁽³⁴⁾, 일반적으로 단백질 및 칼슘, 마그네슘, 철분, 아연 등 무기질의 이용을 저해시키는 것으로 알려져 있다^(35,36). Table 2의 결과에서 알 수 있듯이 원료 밀기울의 피틴산(6.8%)은 가열처리에 의하여 30~50% 가량 감소하는 경향을 보였으며, autoclaving에 의한 효과가 가장 크게 나타났다.

밀기울의 식이섬유 성분에 대한 가열처리 효과

열처리공정에 따른 식이섬유 함량의 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구에 사용한 원료 밀기울의 수용성 식이섬유(SDF)와 불용성 식이섬유(IDF)는 각각 37.1%, 2.7%로서 총 식이섬유 39.8%에 대한 비율이 각각 6.8%, 93.2%였다. 즉, 밀기울의 식이섬유 성분은 대부분 불용성으로 구성되어 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 1을 보면 가열처리 공정에 따라 차이가 있으나 모든 시료의 SDF의 함량이 원시료에 비해 현저히 증가한 것을 알 수 있다. 증가율을 보면 마이크로웨이브 처리한 시료가 약 40%로 가장 낮았으며, 반면에 압출성형 시료는 약 110%로서 가장 높은 증가를 보였다. 수용성 식이섬유의 증가는 불용성 세포벽의 수용화에 의하여 일어나는데, 수용화 과정에서 식물조직의 구조적인 변화가 발생하여 결과적으로 물성에 많은 영향을 미치게 된다⁽³⁷⁾. 이러한 식물 세포벽의 수용화는 식이섬유의 생

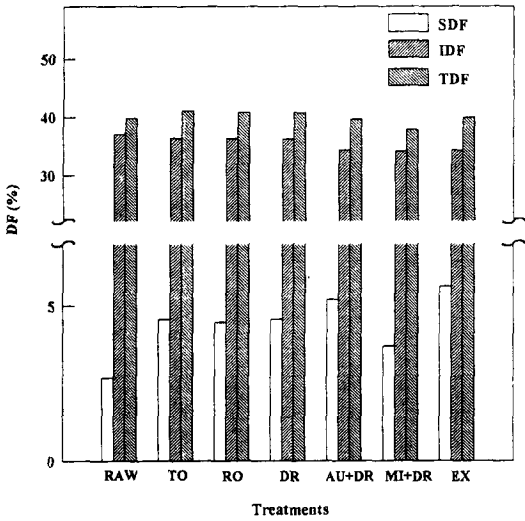


Fig. 1. Effect of thermal treatments on dietary fiber (DF) content of wheat bran (dry basis)

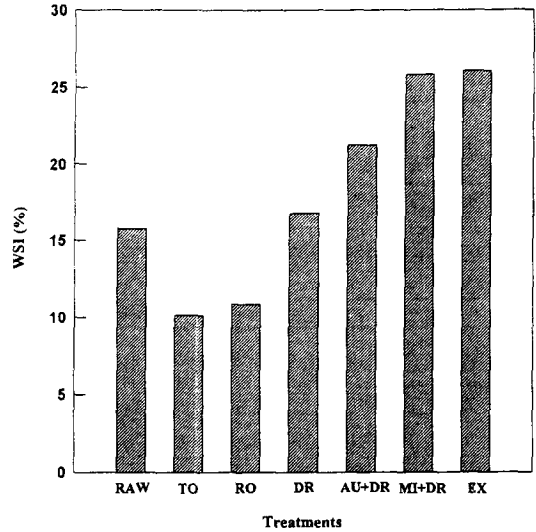


Fig. 2. Effect of thermal treatments on water solubility index (WSI) of wheat bran (dry basis)

리활성^(10,38,39)과 관능특성⁽⁴⁰⁾에도 영향을 미치는 중요한 현상이다.

열처리 과정에서 식이섬유 성분의 변화는 크게 두가지 요인 즉, 가열처리과정에서 불용성 식물세포벽으로부터 식이섬유 성분이 용해(solubilization)되거나 혹은 저항전분(resistant starch), 메일라드 반응물 등에 의한 새로운 식이섬유성분의 생성으로 해석될 수 있다. 전자의 경우에는 강한 결합력의 세포벽을 깨기 위한 높은 에너지를 필요로 하는데, 대표적으로 압출성형⁽⁴¹⁻⁴³⁾이나 autoclaving^(29,44)이 이에 해당한다고 볼 수 있다. 특히, 압출성형에 의한 경우 가열효과 이외에도 고압과 강한 전단력을 수반하여 보다 효율적으로 세포벽을 용해시키는 것으로 알려져 있다⁽³⁷⁾. 반면에 후자의 경우는 상대적으로 격렬한 가열조건이 아닌 때에도 발생하는 것으로 알려져 있다. 예를 들어 toasting, roasting, baking 등에서와 같이 제한된 수분조건하에서 건열(dry heat) 처리하면 전분은 소입자화(small fragmentation)되고 또한, 이들이 서로 결합하면서 transglycosidation이 발생하여 새로운 식이섬유 성분이 생성되는 것으로 알려져 있다⁽⁴⁵⁻⁴⁷⁾. 한편, 앞에서도 언급한 바와 같이 메일라드 반응생성물의 형성에 의한 Klason 리그닌 성분의 생성도 식이성분의 변화에 기여한다. 대개 전자는 수용성 식이섬유를 증가시키는 반면에, 후자는 불용성 식이섬유를 증가시킨다.

시료 DR과 시료 MI+DR을 비교해 보면 SDF함량은 각각 4.55%, 3.70%로서 드럼건조한 시료에 비하여 마이크로웨이브 처리한 후 드럼건조하였을 때 오히려 수용성 식이섬유의 성분이 감소한 것을 알 수 있다. 그런데 시료 MI+DR의 용해도는 시료 DR보다 훨씬 높다(Fig. 2). 이 같은 결과는 마이크로웨이브 처리에 의하여 수용성 성분이 증가하지만 이들 성분이 Prosky 등⁽²³⁾의

SDF 측정법에 적용되는 80% 에탄올에는 침전되지 않는 저분자 성분이기 때문으로 해석된다.

밀기울의 물성에 대한 가열처리 효과

Fig. 2는 가열처리에 따른 밀기울의 수분용해지수(WSI)의 변화를 나타낸 것이다. 원료 밀기울의 15.76%에 비하여 시료 TO, RO의 WSI는 각각 10.16%, 10.87%로서 약 35% 정도 감소하였다. 건열처리한 시료의 수용성 성분을 분석해 보면 원료에 비하여 단백질의 함량이 크게 감소한 것으로 나타났다⁽⁴⁸⁾. 즉, 건열처리에 의한 단백질의 변성과 그에 따른 불용화는 시료 TO, RO의 WSI가 감소하게 된 주원인으로 생각된다. 반면에 습열처리한 다른 시료의 경우에는 WSI가 증가하였고 특히, 시료 MI+DR, EX의 경우 약 65%의 WSI 증가율을 보였다. 습열 조건인 경우 전분입자의 팽윤에 의한 수용화가 뚜렷하게 발생하게 된다. 그러나 앞에서 가열에 따른 식이섬유 성분의 증가를 고려할 때 전분의 호화 이외에 가열과정에서 비전분계 식물세포벽 성분의 수용화도 동시에 일어난 것으로 보인다. 습열처리에서도 단백질이 변성되나 전분, 식이섬유 성분 등 단백질 이외의 성분이 많이 수용화되어 전체적인 용해도가 증가된 것으로 생각된다. 시료 MI+DR의 경우 수용성 식이섬유의 함량이 적음에도 불구하고 WSI가 매우 높은 것은 저분자량의 수용성 성분이 다량 발생하기 때문인 것으로 보이는데, 이 같은 결과는 Table 2에서 저분자량의 유리당이 다량 발생한 결과와 일치한다.

Fig. 3은 가열처리에 따른 밀기울의 수분보유능력을 나타낸 것으로, 실험방법에서 설명했듯이 WHC와 WAI는 각각 전체시료와 불용성 성분의 수분보유능력을 나타낸

다. 시료 RO, TO의 WAI를 제외하면 전체적으로 가열처리에 의하여 수분보유능력이 증가한 것을 알 수 있다. 이는 크게 두가지 요인에 대하여 생각할 수 있는데 첫째 요인은 앞에서 가열처리에 의하여 WSI가 증가한 것으로 보아 수용성 성분이 보수력에 상당한 영향을 미친다는 것과, 둘째 요인으로는 가열처리에 의하여 식물 세포벽의 구조가 변형되면서 수분의 포집능력이 높아진다는 점이다⁽³⁷⁾. 특히, 압출성형한 시료를 보면 WHC가 가장 크나 수용성 성분을 배제한 WAI는 크게 감소한 것을 알 수 있다. 이는 압출성형에 의한 수용성 성분의 증가가 보수력에 크게 기여한다는 것을 의미한다. 또한, Fig. 3에서 건열처리보다 습열처리한 경우가 보수력을 더 증가시키는 것을 알 수 있다.

Table 3은 가열처리에 따른 용적부피, 수화시간 및 팽화도의 변화를 나타낸 것이다. 먼저 용적부피를 살펴보면 원료시료의 값이 가장 낮은 반면에 가열처리에 의해 용적부피가 증가한 것을 알 수 있다. 용적부피는 입자

크기에 의하여 영향을 받아 입자의 분포가 조밀할수록 용적부피가 증가하게 된다⁽⁴⁹⁾. 본 연구에 사용된 시료가 동일한 조건하에서 분쇄된 것을 고려하면, 가열처리는 여러가지 화학적 구조의 변화를 일으키며, 결과적으로 분쇄특성에도 영향을 미쳐 입도의 분포가 달라진다는 것을 알 수 있다. 수화속도의 경우 대부분의 시료가 1시간 이내에 완전한 수화가 이루어지나 압출성형한 시료는 상당히 긴 수화시간을 보였다. 수화시간의 차이는 미세구조의 구조와 흡착-탈착현상, 확산속도 등과 밀접한 관계가 있어 앞으로 속도론적 고찰(kinetic consideration)을 통한 더 상세한 연구를 필요로 한다^(26,50,51). 한편, 압출성형된 시료는 수화속도가 가장 낮은 반면에 최종 팽화도는 가장 높은 값을 보였다. 또한, 용적밀도와 팽화도의 단위가 서로 반대이므로 이 두 요인의 곱을 Table 3에 나타내었다.

Fig. 4는 용적밀도×팽화도와 WHC, WAI와의 상관관계를 나타낸 것이다. 용적밀도×팽화도와 WHC와의 상관계수(R^2)는 0.938로서 WAI와의 상관계수 0.568보다

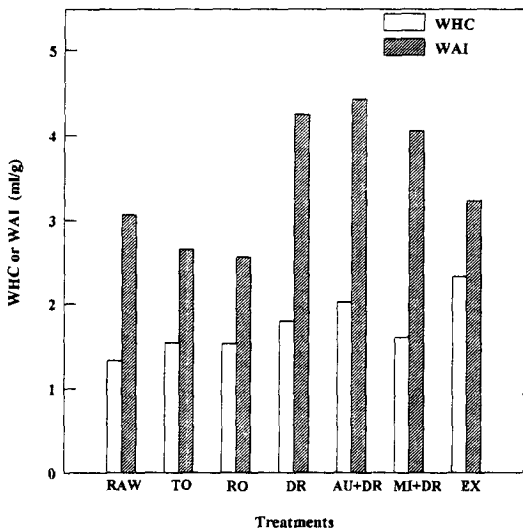


Fig. 3. Effect of thermal treatments on water holding capacity (WHC) and water absorption index (WAI) of wheat bran (dry basis)

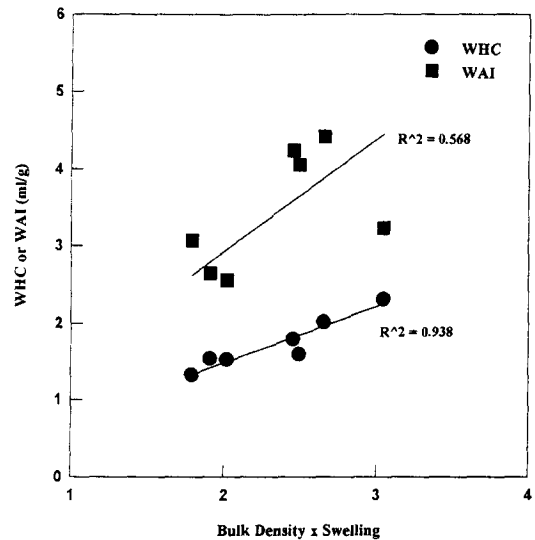


Fig. 4. Correlation of bulk density x swelling with WHC and WAI

Table 3. Effect of thermal treatments on bulk density, hydration time and swelling of wheat bran (dry basis)

Treatments	Bulk Density (g/ml)	Hydration Time (sec/g)	Swelling (ml/g)	Bulk Density × Swelling ¹⁾
RAW	0.39	340	4.58	1.79
TO	0.49	1,550	3.90	1.91
RO	0.51	970	3.97	2.02
DR	0.51	2,550	4.82	2.45
AU+DR	0.54	1,590	4.91	2.65
MI+DR	0.57	820	4.37	2.49
EX	0.55	7,890	5.53	3.04

¹⁾dimensionless

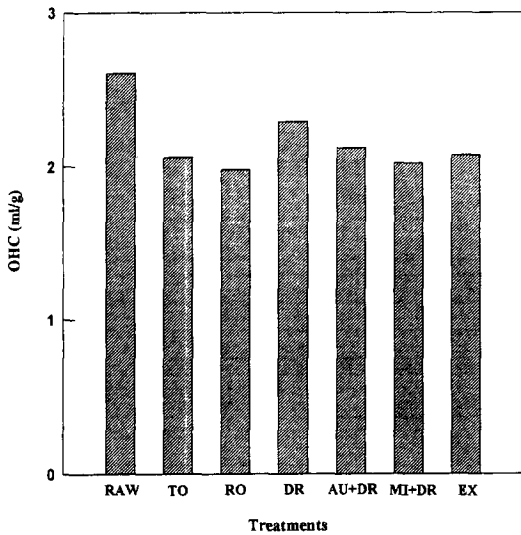


Fig. 5. Effect of thermal treatments on oil holding capacity (OHC) of wheat bran (dry basis)

훨씬 높은 값을 보였다. 한편, 그림에는 나타나 있지 않으나 용적밀도와 팽화도의 WHC에 대한 상관계수는 각각 0.821, 0.636으로서, 두 인자의 곱과의 상관계수 (0.938)보다는 낮은 값을 보였다. 즉, 전체시료의 보수력 (WHC)은 입자크기에 의하여 결정되는 용적밀도와 밀기울의 구조적 특징에 의하여 지배를 받는 팽화도의 두 요인 모두에 의하여 영향을 받는다는 것을 의미한다. 반면에, Fig. 4에 나타난 바와 같이 용적밀도×팽화도는 WAI와 매우 낮은 상관관계를 보이고 있기 때문에 WAI 즉, 수용성 성분을 배제한 보수력은 식이섬유의 실제적인 기능성을 나타낼 수 없다는 것을 의미한다.

용적밀도나 팽화도는 각각 식이섬유 물질의 생리활성이나 제품특성에 매우 중요한 요인으로서 알려져 있으나 이들의 정확한 역할에 대한 연구가 명확하게 설정되어 있지 못하여 연구자에 따라 상이한 결과가 보고 되고 있다^(52,53). 그런데 식이섬유의 기능성은 입자크기 뿐만 아니라 구조적 특징에 의하여 영향을 받게 되므로 본 연구에서의 용적밀도×팽화도는 식이섬유의 기능성을 나타내는 하나의 척도로서 이용될 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 앞의 실험방법에서 나타난 바와 같이 WHC는 시료전체의 수분보유능력을 나타내는 것으로 실제로 측정하기 위해서는 많은 시간과 시료량을 요한다는 단점이 있다. 따라서 Fig. 4에서 처럼 비교적 측정이 용이한 용적밀도와 팽화도를 측정하므로써 WHC와 이에 따른 각종 기능성 및 생리활성의 예측이 가능할 것으로 보인다. 이같은 상관관계는 본 연구에서 밀기울에 대하여 처음으로 관찰된 것으로 다른 종류의 식이섬유에의 적용 가능성 여부는 좀 더 연구를 필요로 한다.

보수력의 경우는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 열처리에

의하여 오히려 보수력이 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 앞의 Fig. 3에서 설명한 보수력과는 정반대의 결과를 나타낸다. Arrigoni 등⁽⁵⁴⁾은 식이섬유의 기름흡착능력은 입자의 표면특성에 의하여 결정된다고 하였다. 한편, Caprez 등⁽⁵⁵⁾은 보수력이 전분의 호화와 일부 관련이 있으며, 밀기울을 열처리하였을 경우 보수력이 증가하였다고 보고하였다. 이는 본 연구의 결과와 상반된 것으로, 보수력에 영향을 미치는 표면특성이 화학적 친유성 (lipophilicity)에 의한 것인지, 혹은 표면의 3차원적인 구조에 의한 것인지에 대해서는 더 체계적인 연구가 필요하다. 최근 저지방 식품의 개발이 활발한 것을 고려할 때 열처리 밀기울의 낮은 보수력은 식품체계의 종류에 따라 유익할 것으로 보인다.

열처리에 의한 SEM 특징

Fig. 6은 열처리에 따라 밀기울 시료의 표면구조가 변화한 것을 주사전자현미경(SEM)에 의하여 관찰한 결과이다. 원료시료의 경우 전분입자의 형태가 원형 그대로 유지되고 있으며, 세포벽의 표면도 매끄러운 것을 알 수 있다. 시료 TO와 RO의 경우 전분입자의 외곽부분이 건열처리과정에서 손상된 것을 알 수 있다. 시료 DR을 보면 전분입자가 드럼건조 동안 압착력에 의하여 납작한 형태로 존재하는 것을 나타내고 있다. 시료 AU+DR의 경우에는 autoclaving 과정에서 전분입자나 세포벽의 구조가 상당히 변형된 것을 나타내고 있다. 특히, 시료 MI+DR의 경우에는 표면에 많은 구멍이 관찰되고 있는데, 이는 마이크로웨이브에 의한 국지적 분해에 의한 것으로 추측되며, 이러한 과정에서 앞서서도 설명한 바와 같이 유리당 특히 저분자성분이 증가한 것으로 해석된다. 마지막으로 시료 EX의 경우에는 고온, 고압, 고전단력이 동시에 작용하여 식물세포벽의 구조를 효율적으로 변형시키기 때문에 그림 6에 나타난 것처럼 세포벽 표면이 다른 시료에 비하여 상당히 거칠어진 모습을 뚜렷하게 보여주고 있다. Aoe 등⁽⁵⁶⁾과 Ning 등⁽⁵⁷⁾도 밀기울과 옥수수 브랜의 매끄럽고 조밀한 표면구조가 압출성형에 의하여 거칠고 다공성의 표면구조로 변화하였다고 보고하였다.

요 약

밀기울의 각종 열처리에 따른 밀기울의 화학적 구조 및 기능특성의 변화를 연구하였다. 사용한 열처리의 종류는 toasting, roasting, drum drying, autoclaving+drum drying, microwaving+drum drying, extrusion이었다. 열처리 공정에 의하여 가장 뚜렷한 차이를 보인 것은 수용성 식이섬유의 함량으로서 원료밀기울에 비하여 약 40~110%의 수용성 식이섬유가 증가하였다. 반면에 상대적으로 불용성 식이섬유의 함량도 감소하기 때문에 총 식이섬유 함량은 큰 차이를 보이지 않았다. 또한, 열처리에 의하여 용해도와 보수력이 증가한 반면에

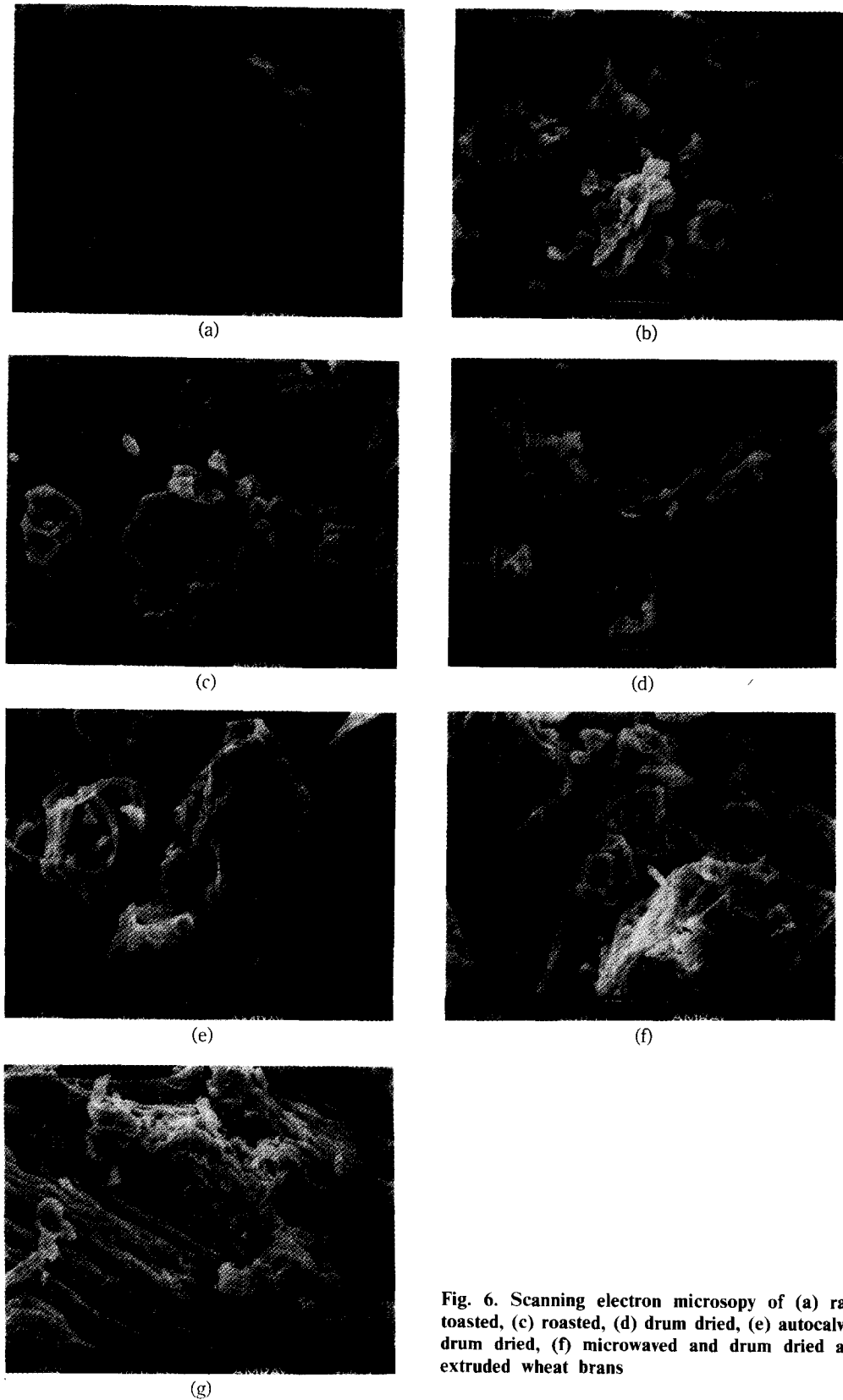


Fig. 6. Scanning electron microscopy of (a) raw, (b) toasted, (c) roasted, (d) drum dried, (e) autoclaved and drum dried, (f) microwaved and drum dried and (g) extruded wheat brans

보유력은 오히려 감소하는 경향을 보였다. 용적밀도와 팽화도는 각각 보수력과 밀접한 관계를 보이지 않았으나, 이들의 곱은 보수력과 높은 상관관계($R^2=0.94$)를 보였다. 그러나 수용성 성분을 배제한 불용성 성분의 보수력은 용적밀도와 팽화도와 곱에도 거의 상관관계를 보이지 않았다. 주사전자현미경에 의한 밀기울의 외형적 구조변화에 대한 관찰은 열처리에 따른 밀기울의 화학적 및 기능적 특징에 대한 결과를 잘 반영해주었다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 농수산 특장연구 사업비에 의한 연구비지원(B-36-23)으로 수행된 연구결과의 일부로서 이에 감사드리는 바입니다.

문 헌

- Vetrimani, R. and Haridas Rao, P.: Studies on stabilization of wheat bran. *J. Food Sci. Technol.*, **27**, 332 (1980)
- Posner, E.S.: Mechanical separation of a dietary fiber fraction from wheat bran. *Cereal Foods World*, **36**, 553 (1981)
- 正田孝雄: 小麦系食物纖維の特性と應用. *食品と科學*, **31**, 104 (1989)
- Pomeranz, Y.: Chemical composition of kernel structures. In *Wheat: Chemistry and Technology*, Pomeranz, T.(ed), AACC, Inc., St. Paul, MN, Vol. I, pp. 110-117 (1988)
- D'Appolonia, B.L.: Uses of nonflour fractions of wheat. *Cereal Foods World*, **24**, 326 (1979)
- Przybyla, A.E.: Formulating fiber into foods. *Food Eng.*, **60**, 77 (1988)
- Leelavathi, K. and Haridas Rao, P.: Development of high fibre biscuits using wheat bran. *J. Food Sci. Technol.*, **30**, 187 (1993)
- Schneeman, B.O.: Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. *Food Technol.*, **41**, 81 (1987)
- Gordon, D.T.: Functional properties vs physiological action of total dietary fiber. *Cereal Foods World*, **34**, 517 (1989)
- 황재관: 식이섬유의 구조, 기능성 및 산업적 이용전망. *식품기술*, **6**, 12 (1993)
- Ziegler, E. and Greer, E.N.: Principles of milling. In *Wheat: Chemistry and Technology*, Pomeranz, T.(ed), AACC, Inc., St. Paul, MN, Vol. I (1988)
- 김철진: 압출성형을 이용한 미강 리파제의 열불활성화. *한국과학기술원 박사학위논문* (1987)
- Hargrove, K.L.: Processing and utilization of rice bran in the United States. In *Rice Science and Technology*, Marshall, W.E. and Wadsworth, J.I.(ed), Marcel Dekker, Inc., New York, pp.394-396 (1994)
- Nyman, M., Palsson, K.E. and Asp, N.G.: Effect of processing on dietary fibre in vegetables. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **20**, 29 (1987)
- A.O.A.C.: Official Methods of Analysis, 14th ed., Association of Official Agricultural Chemists, Washington DC (1980)
- Pearl, I.A.: Determination of lignin, In *The Chemistry of Lignin*, Marcel Dekker, Inc., New York, pp.39-40 (1967)
- Chaplin, M.F.: Monosaccharides, In *Carbohydrate Analysis*, Chaplin, M.F. and Kennedy, J.F.(ed), IRL Press, Washington DC, p.2 (1986)
- Blumenkrantz, N. and Asboe-Hansen, G.: New method for quantitative determination of uronic acid. *Anal. Biochem.*, **54**, 484 (1973)
- Dintzis, F.R. and Harris, C.C.: Starch determination in some dietary fiber sources. *Cereal Chem.*, **58**, 467 (1981)
- A.A.C.C.: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th ed., AACC Inc., St. Paul, MN, Method 76-11 (1983)
- Hartland, B.F. and Oberleas, D.C.: A modified method for phytate analyses using an ion-exchange procedure. Application to textured vegetable proteins. *Cereal Chem.*, **54**, 837 (1977)
- Latta, M. and Eskin, M.: A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *J. Agric. Food Chem.*, **28**, 1313 (1980)
- Prosky, L., Asp, N.G., Schweizer, T.F., DeVries, J.W. and Furta, I.: Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *JAOAC*, **71**, 1017 (1988)
- Anderson, R.A.: Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked grain products. *Cereal Chem.*, **59**, 265 (1982)
- A.A.C.C.: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th ed., AACC Inc., St. Paul, MN, Method 88-04 (1983)
- Cadden, A.M.: Moisture sorption characteristics of several food fibers. *J. Food Sci.*, **53**, 1150 (1988)
- Theander, O., Westerlund, E. and Aman, P.: Structure and components of dietary fiber. *Cereal Foods World*, **38**, 135 (1993)
- Dreher, M.L.: Dietary fiber ingredients and food uses. In *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L.(ed), Marcel Dekker, New York, pp.62-63 (1987)
- Anderson, N.E. and Clydesdale, F.M.: Effects of processing on the dietary fiber content of wheat bran, pureed green beans, and carrots. *J. Food Sci.*, **45**, 1534 (1980)
- Theander, O.: Advances in the chemical characterization and analytical determination of dietary fibre components. In *Dietary Fiber*, Birch, G.G. and Parker, K.J.(ed), Applied Science Publishers, London (1983)
- Theander, O. and Westerkund, E.: The effects on aqueous ethanol-soluble carbohydrates and protein in heat-processed whole grain and white flour. *J. Cereal Sci.*, **5**, 145 (1988)
- Siljeström, M., Westerlund, E., Björck, I., Holm, J., Asp, N.G. and Theander, O.: The effects of various thermal processes on dietary fibre and starch content of whole grain wheat and white flour. *J. Cereal Sci.*, **4**, 315 (1986)
- Brandt, L.M., Jeltema, M.A., Zabik, M.E. and Jeltema, B.D.: Effects of cooking in solutions of varying pH

- on the dietary fiber components of vegetables. *J. Food Sci.*, **49**, 900 (1984)
34. Caragay, A.B.: Cancer-preventive foods and ingredients. *Food Technol.*, **46**, 65 (1992)
 35. Davies, N.T.: Anti-nutrient factors affecting mineral utilization. *Proc. Nutr. Soc.*, **38**, 121 (1979)
 36. Cheryan, M.: Phytic acid interactions in food systems. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **13**, 297 (1980)
 37. 황재관, 김종태, 홍석인, 김철진: 압출성형에 의한 식물 세포벽의 수용화. *한국영양식량학회지*, **23**, 358 (1994)
 38. Nyman, M., Schweizer, T.F., P lsson, K.E. and Asp, N.G.: Effects of processing on fermentation of dietary fibre in vegetables by rats. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **24**, 433 (1991)
 39. Gourgue, C., Champ, M., Guillon, F. and Delort-Laval, J.: Effect of extrusion-cooking on the hypoglycaemic properties of citrus fibre: an in-vitro study. *J. Sci. Food Agric.*, **64**, 493 (1994)
 40. Fulger, C.V. and Bradbury, A.G.: Modification of bran by extrusion. U.S. Patent 4,500,558 (1985)
 41. Ralet, M.C., Della Valle, G. and Thibault, J.F.: Raw and extruded fibre from pea hulls. Part I: Composition and physico-chemical properties. *Carbohydr. Polym.*, **20**, 17 (1993)
 42. Ralet, M.C., Thibault, J.F. and Della Valle, G.: Influence of extrusion-cooking on the structure and properties of wheat bran. *J. Cereal Sci.*, **11**, 249 (1990)
 43. Ralet, M.C., Thibault, J.F. and Della Valle, G.: Solubilization of sugar-beet pulp cell wall polysaccharides by extrusion-cooking. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **24**, 107 (1991)
 44. Guillon, F., Barry, J.L. and Thibault, J.F.: Effect of autoclaving sugar-beet fibre on its physico-chemical properties and its in-vitro degradation by human faecal bacteria. *J. Sci. Food Agric.*, **60**, 69 (1992)
 45. Björck, I., Nyman, M., Pedersen, B., Siljeström, M., Asp, N.G. and Eggum, B.O.: On the digestibility of starch in wheat bread studies in vitro and in vivo. *J. Cereal Sci.*, **4**, 1 (1986)
 46. Wolfrom, M.L., Thomson, A. and Ward, R.B.: Composition of pyrodextrins. *Ind. Eng. Chem.*, **53**, 217 (1961)
 47. Bornet, F.: Technological treatments of cereals. Repercussions on the physiological properties of starch. *Carbohydr. Polym.*, **21**, 195 (1993)
 48. Hwang, J., Kim, J.T., Jo, S.J. and Kim, C.J.: Unpublished data (1995)
 49. Cadden, A.: Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. *J. Food Sci.*, **52**, 1595 (1987)
 50. Dural, N.H. and Hines, A.L.: Diffusion of water in cereal-bread type food fibers. *J. Process Eng.*, **15**, 115 (1992)
 51. Dural, N.H. and Hines, A.L.: Adsorption of water on cereal-bread type dietary fibers. *J. Food Eng.*, **20**, 17 (1993)
 52. Dreher, M.L.: Dietary fiber ingredients and food uses. In Handbook of Dietary Fiber, Dreher, M.L.(ed), Marcel Dekker, New York, p.148 (1987)
 53. Posner, E.S.: Mechanical separation of a high dietary fiber fraction from wheat bran. *Cereal Foods World*, **36**, 553 (1991)
 54. Arrigoni, E., Caprez, A., Amado, R. and Neukom, H.: Chemical composition and physical properties of modified dietary fibre sources. *Food Hydrocoll.*, **1**, 57 (1986)
 55. Caprez, A., Arrigoni, E., Amado, R. and Neukom, H.: Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *J. Cereal Sci.*, **4**, 233 (1986)
 56. Aoe, S., Nakaoka, M., Ido, K., Tamai, Y., Ohta, F. and Ayano, Y.: Availability of dietary fiber in extruded wheat bran and apparent digestibility in rats of coexisting nutrients. *Cereal Chem.*, **66**, 252 (1989)
 57. Ning, L., Villota, R and Artz, W.E.: Modification of corn fiber through chemical treatments in combination with twin-screw extrusion. *Cereal Chem.*, **68**, 632 (1991)

(1995년 2월 20일 접수)