

스크류 조합과 공정변수 조절에 따른 밀기울 압출물의 특성

김종태 · 황재관 · 조성자* · 김철진 · 김해성**

한국식품개발연구원, *서울시 보건환경연구원, **명지대학교 화학공학과

Effect of Screw Configurations and Process Parameters on Characteristics of Wheat Bran Extrudates

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

Korea Food Research Institute

*Seoul Environmental and Sanitary Research Institute

**Department of Chemical Engineering, Myongji University

Abstract

Target parameters such as water solubility index (WSI), intrinsic viscosity (IV), water holding capacity (WHC), oil holding capacity (OHC), soluble dietary fiber (SDF) and microstructure were investigated on three different screw configurations during twin-screw extrusion of wheat bran. WSI of raw wheat bran (RWB) was 13.7%, while that of extrudates ranged 16.3~23.2% when extruded using screw configurations with 5 reverse screw elements (RSE). It was found that the moisture content of RWB greatly affected WSI of extrudates. IV of wheat bran extrudates increased from 10.6 ml/g of RWB to 37.86~44.37 ml/g of extrudates extruded using 3, 4 and 5 RSE, whose trend was highly related to the moisture content of RWB and the extrusion pressure. Multiplication of IV and soluble solid (SS) content exhibited good correlation ($R^2=0.85$) with specific mechanical energy (SME). The results suggested that SS and molecular size are an important factor governed by the SME in solubilization of wheat bran. WHC increased with increasing feed rate and moisture content, while OHC decreased. SDF increased from 2.68% of RWB to 4.32~6.48% of extruded wheat bran, indicating the significant breakdown of cell wall components. Microstructure of the extrudates showed the distinct patterns of degradation and solubilization of cell wall structure, depending on the moisture content of RWB.

Key word : wheat bran, target parameters, twin-screw extrusion, screw configuration, microstructure

서 론

곡류의 강층에 존재하는 식이섬유원은 변비의 해소, 대장암의 예방, 혈중의 콜레스테롤 함량의 저하, 전분의 가수분해 억제 및 포도당의 흡수 지연, 대변의 용적 증가 및 장내 통과시간 단축 등의 역할을 통하여 영양학적인 잇점을 제공하므로써 고섬유질 식품의 수요를 증가시키게 하는 원인이 되고 있다⁽¹⁾. 밀기울(wheat bran)은 제분시 부산물로 얻어지는데, 밀중량에 대하여 15~20% 정도로 회수되며 곡피, 종피, 배유,

호분층 및 배아등이 혼합되어 있는 상태로 다량의 섬유질과 무기질 및 비타민이 함유된 천연 식품소재로 알려져 있다⁽²⁾. 또한 1980년 국제곡물화학협회(ICC) 회의에서 발표된 논문에 따르면 일상적으로 섭취 가능한 식이섬유원 중에서 밀기울내에 함유되어 있는 식이섬유의 함유량이 가장 많고, 인체에 미치는 효과가 매우 유효하다고 보고하였다⁽³⁾.

그러나 제분후 바로 얻어지는 밀기울은 호분층 내에 잔존하는 효소와 이에 따른 이취, 외양, 어두운 색상, 불량한 식감 및 조직감 등을 초래하여 섬유질 강화식품 제조시 큰 장애 요인이 되고 있다⁽⁴⁾. 밀기울의 품질개선과 저장성 증진을 위하여 Vetrinani와 Rao⁽⁵⁾는 175°C의 온도로 40분간 roasting할 경우 지방분해

Corresponding author: Chong-Tai Kim, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Seongnam-si, Kyonggi-do 463-420, Korea

효소의 활성을 실패시켜 산패를 지연시킴으로써 저장 기간을 연장시킬 수 있음을 보고하였다.

밀기울의 식이섬유 물질은 세포벽 다당류인 셀룰로스나 헤미셀룰로오스가 주성분을 이루고 있으나 이들 성분들은 세포조직 내에서 이온결합, 공유결합, 수소결합 등의 복잡하고 강한 결합상태를 유지하고 있어서⁽⁸⁾, 생체내에서의 흡수 또는 가공공정에 있어서 이용율이 저하되기 때문에 물리화학적 및 열처리 공정을 통하여 밀기울 세포벽 구성성분의 용해화를 증대시켜 추출하거나 농축하여 활용도 및 기능성을 높일 수 있다. 기계적인 방법으로는 밀기울을 초미세분쇄 후 공기분급에 의하여 식이섬유 함량이 높은 분획을 분리함으로써 원료 밀기울보다 수용성 섬유질과 미량 원소의 함량이 높은 기능적 특성을 갖는 소재를 생산할 수 있는 공정이 있으며^(9,10), Caprez 등⁽¹¹⁾은 끓임, 수증기 증자, 가압증자, 볶음, 마이크로파 및 압출공정 등의 다양한 열처리를 통한 밀기울의 이화학적 변화를 관찰하였다. 그리고 여러가지 가열처리 공정중 압출공정은 단일 반응기내에서 가열, 압축, 전단력 및 팽윤 등의 복합적인 작용을 이룰 수 있을 뿐만 아니라 가공에 따른 변형정도를 효율적으로 조절할 수 있기 때문에 여러가지 곡류⁽¹¹⁻¹⁵⁾와 곡류가공 부산물인 밀기울과 미강 등의 안정화 및 물리화학적 변형을 위한 공정기술로 많이 이용되고 있다^(16,20). 그러나 이들의 결과는 압출공정 효과가 압출물의 물리화학적인 특성에 다양하게 작용하고 있음을 보고하고 있으나, 곡류 세포벽을 이루고 있는 중요 구성성분인 다당류중 수용성 식이섬유의 함량변화에 대하여는 압출공정 조건에 따라서 크게 증가하거나 변화하지 않는 결과가 상반되게 제기되고 있다. 이러한 각기 다른 결과의 주된 요인은 압출제품 물성의 변형정도는 압출공정의 조건에 좌우되며, 적정가공 정도를 조절할 수 있는 압출공정의 임계조건이 존재하고 이는 제품의 특성에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구는 밀기울 유용성분의 수용화를 증대시키기 위하여 압출공정에 의한 밀기울의 물리화학적인 변형을 유도함에 있어 압출물을 생산하는 생산조건과 특성변화를 관찰하는데 목적을 두고 있다. 전보에서⁽²¹⁾ 밀기울의 압출공정에 의한 가공중 스크류의 조합과 공정변수 조절을 통하여 얻어지는 시스템 변수의 변화를 보고한 것에 이어, 스크류의 조합과 공정변수의 조절에 따른 압출물의 특성(수분용해지수, 고유점도, 보수력과 보유력, 식이섬유의 함량, 압출물의 미세구조) 변화를 관찰하여 보고하고자 한다.

재료 및 방법

재료

밀기울은 전보⁽²¹⁾에서 사용한 것과 같은 우리밀 가공공장에서 수거한 원료를 사용하였다.

압출성형

본 연구에 사용한 압출성형 장치는 전보⁽²¹⁾에서와 같이 동방향 완전 맞물림형 이축압출성형기(Corotating, intermeshing type twin-screw extruder, Biex-DNDL 44, Buhler Brothers Co., Switzerland)로서 L/D의 비가 20이고 바렐의 가열온도는 180°C로 유지하였다. 또 역방향 스크류(Reverse screw element : RSE)의 갯수를 3, 4 및 5개로 달리 조합한 3가지 형태의 스크류와 3 mm 크기의 orifice type의 die를 사용하였으며, 스크류의 배열에 따른 실험실시는 전보⁽²²⁾에 자세히 나타내었다.

실험설계

전보⁽²¹⁾와 같이 공정변수 즉, 스크류의 회전속도(X_1) 280~380 rpm, 원료의 공급량(X_2) 22~38 kg/hr 및 원료의 수분함량(X_3)이 17~33%인 범위에서 central composite design⁽²³⁾에 의하여 실시하였다.

통계처리

전보⁽²¹⁾에서와 같이 STATGRAPHICS⁽²³⁾를 사용하여 다중회귀 방정식에 의하여 공정변수의 변화에 따른 종속변수(수분용해지수, 고유점도, 보수력, 보유력, 식이섬유 함량)와의 관계를 분석하여 종속변수의 변화에 큰 영향을 미치는 독립변수를 2차 다항식으로 표현하여 contour plot 곡선으로 표현하였다.

수분용해지수

수분용해지수(water solubility index : WSI)는 Anderson⁽²⁴⁾의 방법에 의하여 측정하였다. 시료 10 g에 물 100 ml를 가하여 상온에서 1시간 동안 교반한 후 2,000×g에서 10분간 원심분리하였다. 이 때 상등액 10 ml를 취하여 수분침량병에 넣은 후 105°C에서 4시간 동안 건조하여 고형분함량을 측정한 후 WSI를 다음 식으로 결정하였다.

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

고유점도

밀기울 압출물의 고유점도(intrinsic viscosity)는 동

결건조한 수용성 분획을 1~2% 농도의 용액으로 제조하여 25°C에서 Ostwald 점도계(N0.50)를 사용하여 용매와의 비교점도(relative viscosity)와 환원점도(reduced viscosity)를 구한 다음 환원점도와 용액농도의 관계직선을 구하여 절편으로부터 구하였다.

보수력과 보유력

보수력(water holding capacity : WHC)과 보유력(oil holding capacity : OHC)은 황 등⁽²⁵⁾에 의하여 설정된 방법에 의하여 측정하였다.

식이섬유

식이섬유 함량은 Prosky 등⁽²⁶⁾의 방법에 의한 dietary fiber assay kit (Sigma Chemical Co.)를 사용하여 결정하였다. 식이섬유는 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber : SDF)와 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber : IDF)로 나누어 측정하였으며, 총 식이섬유(total dietary fiber : TDF)는 수용성과 불용성 식이섬유의 합으로서 계산하였다.

압출물의 미세구조

밀기울 압출물의 미세구조는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, Model 1820, AMRAY Inc., Bedford, MA, USA)으로 2,000배 확대하여 관찰하였다.

결과 및 고찰

수분용해지수(WSI)

스크류의 회전속도, 원료의 공급량 및 원료반죽의

수분함량 변화가 밀기울 압출물의 수용성 성분의 수분용해지수(WSI)에 미치는 영향을 선택적 다중회귀 분석한 함수식의 결과를 Table 1에 나타내었는데 다중회귀 방정식의 상관계수는 스크류 조합의 변화에 따른 실험 CONFIG I~III에 있어서 0.71~0.91의 범위를 보였다. 공정변수의 조절에 따른 압출물의 특성인 target parameters중 WSI의 상수값의 변화를 보면 RSE의 갯수를 3, 4 및 5개 조합한 실험에 있어서 RSE의 갯수를 3개 및 4개 조합한 CONFIG I과 II의 경우는 상수값이 비슷한 값을 보였으나, 5개의 RSE를 분리조합하여 사용한 CONFIG III은 보다 높은 상수값을 보이고 있어 WSI의 증가에 가장 효과적임을 알 수 있었다. 그리고 스크류의 형태에 따른 WSI에 대한 공정변수의 영향을 살펴보면 원료의 수분함량이 1차적으로 음의 영향을 주고, 2차적으로 원료의 공급량이 음의 영향을 미치며, 스크류의 회전속도는 양의 영향을 주는 것으로 나타났다.

각 스크류의 조합에 따른 원료의 공급량과 원료반죽의 수분함량에 따른 WSI의 변화를 contour plot하여 Fig. 1에 나타내었는데 원료반죽의 수분함량이 낮고 원료의 공급량이 적은 조건에서 WSI는 증가하였으며, RSE를 4개 조합한 CONFIG II와 5개의 RSE를 3개 및 2개로 분리 조합한 CONFIG III이 RSE를 3개 조합한 CONFIG I에 비하여 큰 전단력과 체류시간의 증가로 인하여 높은 WSI를 보이고 있다. 이러한 WSI의 증가는 처리하지 않은 원료 밀기울의 WSI가 13.7%인데 비하여 압출성형후 15.5%~23.2%의 수준으로 용해도 증가를 가져온 것으로서 밀기울 세포벽의 수용화를 위한 가공기술로서 압출성형공정이 효과적으로 작용하였음을 입증하는 결과이다.

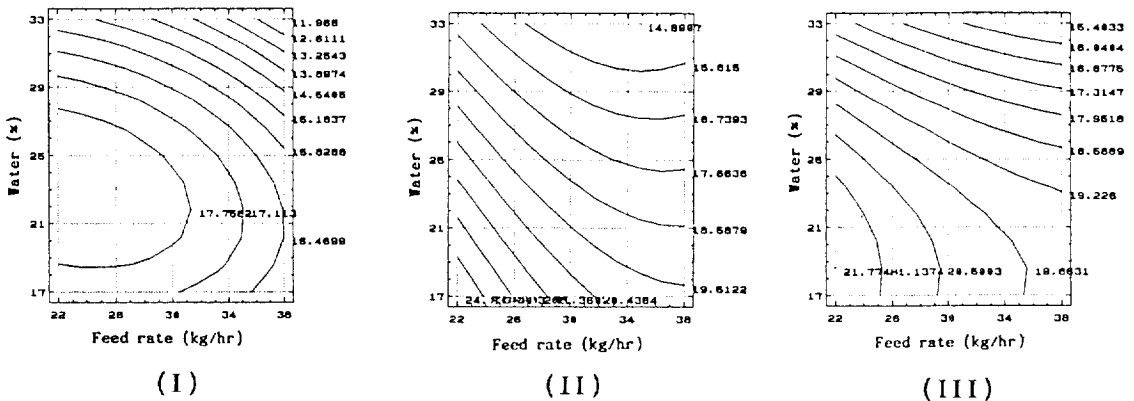


Fig. 1. Contour plots of feed rate and dough moisture content on the water solubility index (WSI) of wheat bran extrudates Screw configurations, CONFIG I: 3 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die; CONFIG II: 4 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die; CONFIG III: 5 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die

WSI의 증가는 밀기울을 구성하고 있는 전분과 헤미셀룰로오스의 복합적인 용해현상에 의하여 나타나는 결과로 예측되는데, Aoe 등⁽²⁷⁾도 밀기울의 압출성형시 수용성 섬유질 함량의 증가를 보고하면서 식이섬유의 용해화와 수용성 헤미셀룰로스 분획의 유출이 이를 뒷받침 한다고 하였다. 반면, 밀가루와 쌀을 fababean과 혼합하여 압출성형하는 실험을 통하여 원료의 수분함량을 증가시키거나 바렐의 온도와 스크류의 회전속도를 증가시킬 경우 용해도가 감소하였다고 하였는데⁽²⁸⁾, 이러한 원인은 압출가공중 용해화를 최대로 이룰 수 있는 공정변수의 범위에 접근하지 못한 가공조건에서 실시한 결과로 해석된다. 그런데 이러한 판단은 밀기울을 격렬한 조건으로 압출성형 처리할 경우에는 수용성 식이섬유의 양이 증가하거나, 다른 성분들의 이화학적 특성 변화가 일어남을 보고한 연구^(11,20)가 압출공정 조건이 다당류 성분의 용해화 반응에 크게 작용함을 보고하고 있다. 한편, Ralet 등⁽²⁹⁾은 사탕무 펄프의 세포벽 다당류를 압출성형 공정에 의하여 처리할 경우 다당류의 용해도를 16.6%에서 47.5%까지 증가시킨 결과를 보고하였다.

압출물의 고유점도

각기 다른 스크류의 조합에 따른 스크류의 회전속도, 원료의 공급량 및 원료반죽의 수분함량 변화가 밀기울 압출물 수용성 분획의 고유점도에 미치는 영향을 다중회귀 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. RSE의 갯수가 다른 스크류의 조합에 따른 CONFIG I~III에 있어서 CONFIG I보다는 CONFIG II와 III이 높은 상수값을 보이고 있는데, 이것은 RSE의 갯수가 많음으로써 전단력의 증가를 초래하여 밀기울

성분의 용해도 증가와 밀기울 세포벽의 붕괴정도가 커지면서 수용성 전분이나 헤미셀룰로오스 성분의 용출이 보다 용이하게 이루어진 것으로 예측된다.

Fig. 2에는 사용한 스크류의 조합에 따른 원료의 공급량 및 원료반죽의 수분함량 변화에 따른 고유점도의 변화를 나타내고 있는데, 원료의 공급량보다는 원료에 가해 주는 수분함량에 영향을 받아 저수분 조건에서 압출물 수용성 분획의 고유점도가 높게 나타나고 있다. 그리고 CONFIG I, II 및 III의 고유점도는 각

Table 1. Model equation fitted by selective multiple regression for target parameters of WSI and IV depending on the process parameters

Dep. Var. ¹⁾	WSI ²⁾			IV ³⁾		
	I	II	III	I	II	III
CONFIG ⁴⁾						
Constant	17.42	17.95	19.5	39.88	40.5	40.8
X ₁	0.678	0.771	0.953	0.926	0.217	0.15
X ₂	-0.723	-1.023	-0.639	-0.74	-0.972	-0.668
X ₃	-0.987	-1.902	-1.347	-1.991	-5.471	-1.984
X ₁ ²	-	-	-	0.684	1.294	-
X ₂ ²	-	0.503	-	1.322	1.537	-
X ₃ ²	-0.702	-	-0.413	-	1.2	0.156
X ₁ *X ₂	-	-0.736	-0.566	1.625	-	-0.288
X ₁ *X ₃	-	-	-	-	-	-
X ₂ *X ₃	-0.225	-	-	1.925	-	-
R2	0.91	0.71	0.72	0.79	0.94	0.94

¹⁾Dependent variables are noted as coded values
 X₁=(screw speed-330)/30, X₂=(feed rate-30)/5, X₃=(dough moisture-25)/5

²⁾WSI: water solubility index (%)

³⁾IV: intrinsic viscosity (ml/g)

⁴⁾Screw configurations

CONFIG I: 3 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die ; CONFIG II: 4 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die ; CONFIG III: 5 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die

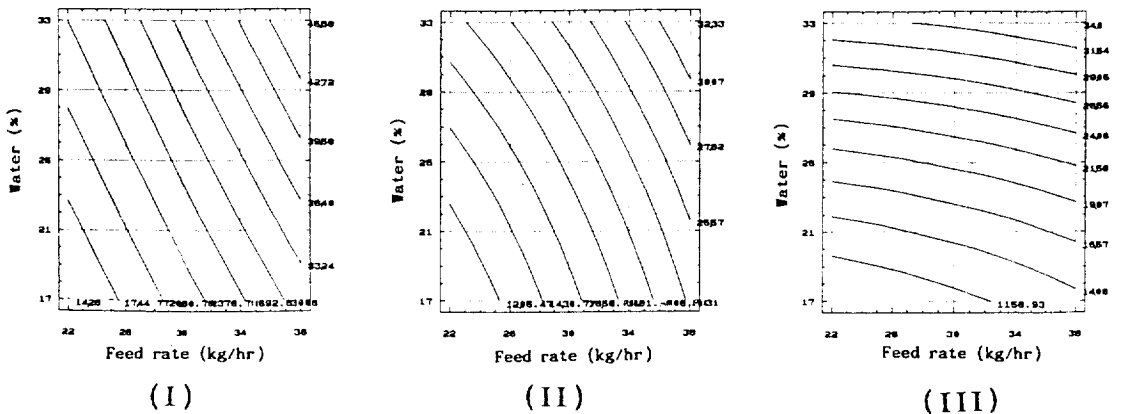


Fig. 2. Contour plots of feed rate and dough moisture content on the intrinsic viscosity (IV) of wheat bran extrudates Screw configurations, CONFIG I: 3 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die; CONFIG II: 4 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die; CONFIG III: 5 Reverse screw elements, 3 mm orifice type die

각 39.83~45.44 ml/g, 36.42~44.37 ml/g 및 37.86~43.8 ml/g의 범위를 보여 원료 밀기울이 10.6 ml/g인 것에 비하여 고유점도의 값이 높아졌음을 알 수 있으며, RSE의 갯수가 증가함에 따라서 전체적인 고유점도의 값이 약간씩 낮아진 경향을 보였다.

고유점도(IV), 수용성 고형분(SS) 및 기계적 에너지 소모율(SME)의 상관관계

일반적으로 압출반응 공정에 의한 식품재료의 가공 후 압출반응 조건에 따른 압출물의 변형정도를 예측하는 데는 고유점도의 측정법이 거대분자의 붕괴수준에서 아주 정확한 지표로 널리 이용되고 있다. 그리고 압출성형 공정에 있어서 물질의 수용화 정도와 고유점도같은 변형인자는 물질의 변형에 작용한 SME와 깊은 함수관계를 가지고 있어 물질 변형정도의 척도로 사용되고 있다⁽³⁰⁾. 따라서 본 절에서는 압출성형 공정에 의한 밀기울 세포벽 성분의 수용화 연구를 스크류의 조합을 달리한 CONFIG I~III에 있어서 원료의 공급량과 수분함량 및 스크류의 회전속도가 다른 조건에서 생산한 압출물 수용성 분획의 고유점도 및 SS를 SME와의 상관관계를 살펴 보았다.

먼저 Fig. 3(a)은 CONFIG I~III에 있어서 IV와 SME와의 상관관계를 나타내고 있는데, 그림의 직선 부근에 위치한 CONFIG I~III에 의하여 생산한 압출물의 고유점도는 37.9~44.4 ml/g의 수준으로 낮은 상관관계($R^2=0.338$)를 보이고 있다. 또 SS와 SME와의 관계는(Fig. 3(b)) CONFIG I~III에 있어서 SS는 0.134~0.217 g/ml의 수준에서 SME가 185~321 kwh/ton의 범위를 갖으며 비교적 높은 상관관계($R^2=0.81$)를 보였다.

한편, Fig. 3(c)에 나타낸 CONFIG I~III의 무차원 변수 IV x SS와 SME와의 관계는 상관계수 0.85로 높은 상관관계를 보이고 있어 밀기울 구성성분의 압출 반응 후 수용화에 의하여 생성되는 SS와 그 분자량 크기의 상관관계가 SME에 의하여 지배되는 인자가 됨을 알 수 있었다.

실제로 전분이나 셀룰로오스는 압출성형중 수분이나 전단력 등의 영향으로 부분적 또는 완전하게 결정구조의 붕괴를 동반하며 압출공정의 조건에 따라서 고유점도가 크게 변화하게 되는데, 압출가공된 전분질 물질에 있어서 고유점도의 감소는 전분구조의 붕괴에 의한 것이라고 알려져 있다^(31,32).

보수력(WHC)과 보유력(OHC)

높은 WSI와 IV를 갖는 CONFIG III에 의하여 생산

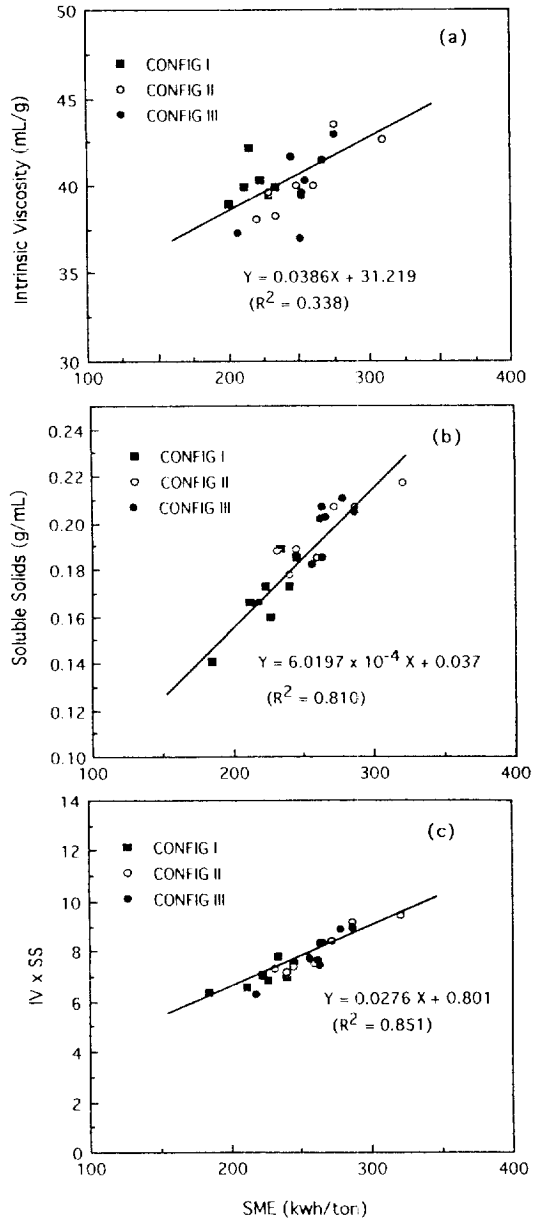
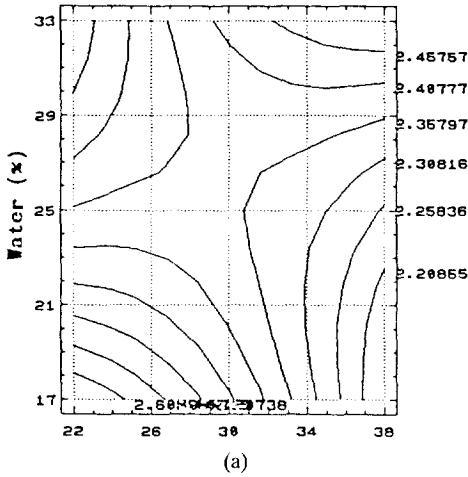
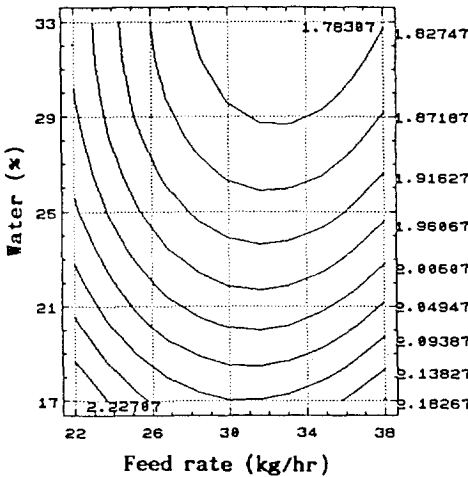


Fig. 3. Correlation of specific mechanical energy (SME) with (a) intrinsic viscosity (IV), (b) soluble solids (SS) and (c) intrinsic viscosity (IV) x soluble solids (SS)

한 밀기울 압출물에 있어서 원료의 공급속도와 원료반죽의 수분함량에 따른 WHC와 OHC의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. WHC (a)의 경우 원료의 공급량과 반죽의 수분함량이 증가할수록 높은 값을 보였으나, OHC (b)는 원료의 공급량에는 큰 영향을 받지 않고 반죽의 수분함량이 감소할수록 높은 값을 보여 WHC와 OHC가 상반되는 결과를 보이고 있다. 이러한 원인은



(a)



(b)

Fig. 4. Contour plots of feed rate and dough moisture content on the water holding capacity (a) and oil holding capacity (b) for wheat bran extrudates extruded by screw configuration III which assembled with 5 reverse screw elements and 3mm orifice type die nozzle

원료의 공급량과 수분함량이 낮은 조건에 있어서 WSI가 높게 나타난 것과 연계시켜 볼 때 WSI가 큰 경우는 재구성된 섬유질체의 입자가 너무 작게 형성되어 수분과 결합할 수 있는 기공(pore)의 수와 표면적이 감소함으로써 WHC가 감소되며, 기름의 경우는 입자가 작아도 쉽게 결합하는 특성을 보여 원료의 공급량에는 큰 변화없이 수분함량이 낮은 조건에서 생산된 압출물과 비교시 OHC가 커지게 되는 것으로 판단된다.

WHC는 원료 밀기울이 1.33 ml/g인데 비하여 압출성형후 2.22~2.48 ml/g으로 증가한 값을 보였으며, OHC는 전체 실험구간에서 1.8~2.13 ml/g의 범위로 원료 밀기울의 경우 2.60 ml/g을 보인 결과와 비교할

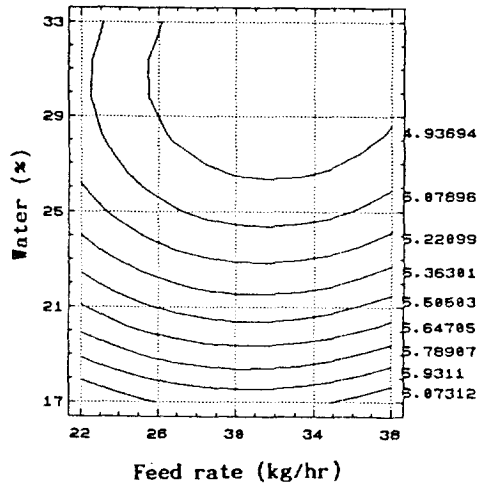


Fig. 5. Contour plots of feed rate and dough moisture content on the soluble dietary fiber(SDF) for wheat bran extrudates extruded by screw configuration III which assembled with 5 reverse screw elements and 3mm orifice type die nozzle

때 낮은 값을 보인 것으로서 WHC의 증가 현상과는 다른 결과를 보였다. 이러한 원인은 압출성형 가공중에 전단력과 높은 온도 및 압력의 작용을 받아 섬유구조의 직접 수준 이상의 변화에 이은 붕괴로 인하여 기름의 포집능력이 감소하였기 때문인 것으로 판단되며 밀기울의 압출가공후 WHC와 OHC의 증가 또는 감소 현상은 압출성형 처리중 열과 전단력에 의한 밀기울의 주요 성분인 헤미셀룰로오스와 세포벽 당류 및 셀룰로오스의 용해화에 원인이 있는 것으로 예측할 수 있다. 또한 WHC의 증가는 전분의 호화와 섬유질 성분의 결정도(crystallinity) 감소가 동시에 발생함으로써 일어나는 현상이며, 압출성형중 고온에 의한 팽화로 형성된 기공의 증가가 WHC를 증가하게 하는 원인으로 설명되고 있다⁽³⁰⁾.

식이섬유

WSI를 높게 보인 CONFIG III에 의하여 생산한 압출물에 있어서 원료의 공급량 및 원료에 가해지는 수분함량에 따른 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber : SDF)의 변화를 Fig. 5에 contour plot으로 나타내었다. 압출성형중 SDF는 원료의 공급량에는 크게 영향을 받지 않고 원료의 수분함량이 적을수록 SDF의 함량이 증가한 경향을 보였다. 즉, SDF는 가공전 원료 밀기울내에 2.68%를 함유하고 있었으나 압출성형후 모든 가공조건에서 SDF가 증가하여 최소 4.32%에서 최고 6.48%까지 증가한 결과를 보였고 이에 따라 불용

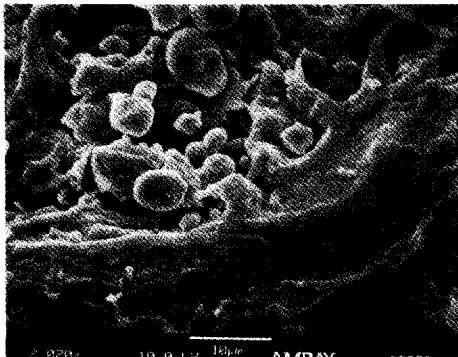
성 식이섬유(IDF)의 감소와 총 식이섬유(TDF)의 증가를 가져왔다.

곡류와 이들의 가공 부산물을 열처리 가공을 통한 물리화학적 변형을 유도하여 안정성의 증가와 유용성분의 추출 및 수용성 증가에 대한 연구가 다양한 측면에서 보고되고 있다. Björck⁽¹⁴⁾ 등은 밀가루와 통밀가루를 격렬한 조건으로 압출성형 처리할 경우 각각 원료에 비하여 40~75% 및 15~20%로 SDF가 증가하였음을 보고하였고, Siljeström 등⁽¹⁵⁾은 autoclaving, popping 및 스팀 후레이킹 등의 열처리 공정을 통하여 밀가루나 통밀에 있어서 SDF의 함량의 변화를 유도할 수 있었다고 하였다. 한편, 밀기울의 압출성형 처리를 통하여 SDF가 증가하는 현상은 밀기울내에 함유되어 있는 식이섬유로부터 수용성 헤미셀룰로오스 분획이 용출됨으로써 일어나는 결과라고 하였고⁽²⁷⁾, 보리가루의 압출성형후 SDF와 TDF가 증가하는 현상에 대해서는 전분과 1,6-anhydro-D-glucopyranose 단위를 포함하는 당류의 반응에 의하여 blanched glucan으로

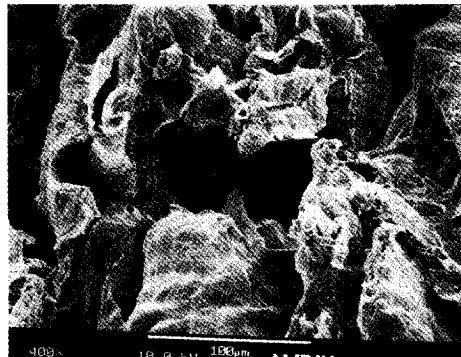
구성된 retrograded resistant starch의 형성과 다른 변형에 의하여 glucan양이 증가되기 때문이라고 한다⁽¹⁷⁾.

Wang 등⁽²⁰⁾도 밀기울을 이축압출성형기에 의하여 가공처리한 후 SDF가 1.72%에서 4.25%로 증가한 결과를 통하여 SDF의 증가는 TDF와 IDF의 감소에 의한 것이며, 이는 탄수화물과 단백질체의 공유결합이나 비공유결합의 파괴로 인하여 소립자화되고 용해성있는 분자단위로 변화하기 때문인 것으로 예측하였다.

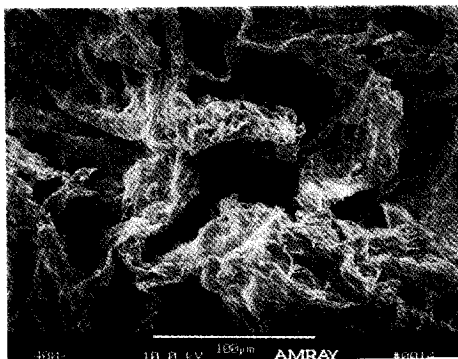
그러나, Schweizer과 Reimann⁽³⁵⁾은 밀가루의 압출성형후 TDF의 변화가 없었음을 보고하였고, Varo 등⁽⁴²⁾과 Sandberg 등⁽⁴⁶⁾도 밀기울-글루텐-밀전분 혼합물과 통밀가루와 밀가루의 압출성형 가공시 식이섬유의 변화가 없었음을 보고하여 본 연구와 다른 연구자들의 보고와는 상반되는 결과를 보이고 있다. 이러한 이유는 상기의 연구자들에 의하여 제시되는 격렬한 혹은 강렬한 압출성형 조건이 중요한 요인이라고 생각되어진다. 왜냐하면 본 연구의 결과를 종합해 보면 압출성형 공정변수 즉, 스크류의 회전속도, 원료의 투입량,



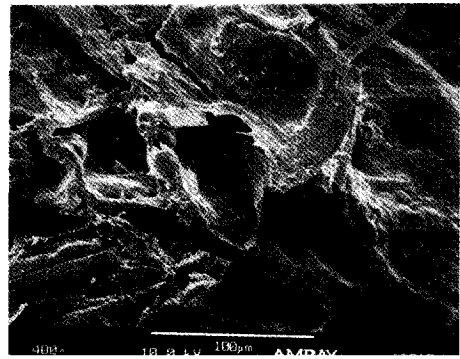
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6. Scanning electron micrographs (SEM) of wheat bran (a) and wheat bran extrudates extruded by screw configuration III at a screw speed of 330 rpm and feed rate of 30 kg/hr with different dough moisture content: (b) 17% ; (c) 25% ; (d) 33%

원료에 가해지는 수분의 양, 스크류의 조합과 시스템 변수 즉, 압출성형 온도, 압력, 체류시간 및 기계적 에너지 소모율 등의 변수가 가공정도나 생산물의 특성에 큰 영향을 미치기 때문에 이들 변수의 조절을 통한 최적공정의 확립이 뒷받침되어야만 요구하는 물성을 갖는 제품을 얻을 수 있기 때문이다.

따라서, 압출성형 공정을 이용한 곡류와 가공 부산물 원료중의 식이섬유 소재의 변형기술은 복잡한 공정변수의 조절을 통한 최적공정의 확립이 요구되며, 식품 생산공정 측면에서는 다양한 식품원료의 가공과 식품소재의 기능성 향상을 위한 식품가공 공정으로서 활용할 수 있는 효율적이며 경제적인 기술이라고 판단된다.

미세구조

CONFIG III에 의하여 압출가공 조건이 스크류의 회전속도 330 rpm, 원료의 공급속도 30 kg/hr 및 원료의 수분함량을 17, 25 및 33%의 수준으로 달리하면서 생산한 밀기울 압출물의 미세구조를 주사전자 현미경 (Scanning electron microscopy : SEM)에 의하여 촬영한 사진을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6(a)의 원료 밀기울은 전분과 세포벽이 원래의 상태를 유지하고 있는 것을 보여 주고 있는 반면에 Fig. 6(b)와 Fig. 6(c)의 상태는 전분과 세포벽이 물리적 전단력과 열에 의한 호트리짐과 용융이 된 상태를 보이고 있으며, Fig. 6(d)는 물리적 변형을 받아 원래의 조직상태가 무질서하게 파괴되었으나 용융은 덜 진행되고 딱딱한 형태를 보이고 있어 수분함량이 적은 조건으로 처리된 시료와는 약간 다른 형상을 보이고 있다. 이러한 세포벽 구조의 변형은 앞절에서 설명한 바와 같이 밀기울 압출물의 수분이 17~25%의 범위에서 수분용해지수와 고유점도가 증가한 결과를 뒷받침해 주는 것으로서 압출공정중 밀기울을 구성하는 전분질과 세포벽 구성물질의 기본 골격과 구조는 용융과 물리적 전단력에 의하여 완전하게 재배치되는 것을 알 수 있다. Lue 등^(19,37)은 옥수수 분말과 밀기울 혼합원료의 압출가공시 밀기울의 공급량이 증가하면 압출물의 형태가 크게 확장되고 둥근 지붕같은 구조를 보인다고 하였다. 일반적으로 압출성형중 압출물은 원료 구성물질의 특성, 스크류의 회전속도 및 원료입자의 크기 등에 따라서 팽윤과 용융되는 상태가 달라진다. 즉 전분질과 식이섬유질이 포함된 원료의 경우는 식이섬유질의 양이 증가함에 따라서 압출물의 지름이 작아지고 길이는 길어지게 되며, air cell의 크기도 반경방향 팽화가 작아지면 감소하게 된다. 또 스크류의 회전속도를

증가시킬 경우 압출물의 팽화가 증가하나 어느 수준 이상에서는 팽화가 감소하게 되는데, 이것은 스크류의 회전속도가 증가함에 따라서 물질의 체류시간이 짧아져 완전한 cooking이 일어나지 않음으로써 호화도가 감소하게 되어 발생하는 결과이다.

요 약

밀기울의 압출가공시 스크류의 조합과 공정변수 조절에 따른 압출물의 특성을 나타내는 target parameters (수분용해지수, 압출물의 고유점도, 보수력과 보유력, 식이섬유, 압출물의 미세구조)의 변화를 연구하였다. 수분용해지수(WSI)는 원료의 수분함량에 가장 큰 영향을 받았고, 역방향 스크류(RSE)를 5개 사용한 경우 밀기울이 13.7%인 것에 비하여 압출물은 16.3~23.2%의 범위로 높은 WSI를 보였다. 밀기울 압출물의 고유점도는 RSE가 3~5개로 증가할수록 높아져 원료 밀기울이 10.6 ml/g인 것에 비하여 37.86~45.44 ml/g의 수준으로 증가하였으며, 원료의 수분함량과 압출압력에도 큰 영향을 받았다. 고유점도(IV) X 수용성 고형분(SS)의 무차원 변수와 기계적 에너지 소모율(SME)과의 관계는 높은 상관관계($R^2=0.85$)를 보여 밀기울 세포벽 수용화 반응에 SS와 분자량 크기의 상관관계가 SME에 의하여 지배받는 인자임이 확인되었다. 압출물의 보수력은 원료의 공급량과 수분함량이 높을수록 원료 밀기울보다 높은 값을 보였고, 보유력은 원료 밀기울에 비하여 낮았다. 압출물의 수용성 식이섬유는 원료의 수분함량이 적은 조건에서 4.32~6.48%의 분포를 보여 원료 밀기울 2.68%보다 크게 증가하였다. 이는 압출공정이 밀기울 세포벽의 수용화에 효과적으로 작용하였음을 의미한다. 압출물의 미세구조는 원료의 수분함량에 따라서 붕괴와 용융정도의 차이를 보여 주었다.

문 헌

- Schneeman, B.O.: Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. *Food Technol.*, **41**, 81 (1987)
- Ebihara, K. and Kiriya, S.: Physico-chemical property and physiological function of dietary fiber. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **37**, 916 (1990)
- Asp, N.G., Björck, I. and Nyman, M.: Physiological effects of cereal dietary fiber. *Carbohydr. Polym.*, **21**, 183 (1993)
- Bass, E.J.: Wheat flour milling. In *Wheat: Chemistry and Technology*, Pomeranz, Y.(ed.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, Vol. II. p.1 (1988)
- Takao, S.: 小麦系食物纖維の特性と應用. *食品と科學*,

- 435, 104 (1989)
6. Pomeranz, Y.: Chemical composition of kernel structures. In *Wheat: Chemistry and Technology*, Pomeranz, Y.(ed.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, Vol. II, p.97 (1988)
 7. Vetrmani, R. and Rao, P.H.: Studies on stabilization of wheat bran. *J. Food Sci. Technol.*, **27**(5), 332 (1990)
 8. Bett, C. and Waldron, K.: *Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls*. Unwin Hyman, London, p.4 (1990)
 9. Posner, E.S.: Mechanical separation of a high dietary fiber fraction from wheat bran. *Cereal Foods World*, **36**, 553 (1991)
 10. Ranhotra, G.S., Gelroth, J.A., Glaser, B.K. and Reddy, P.V.: Nutritional profile of a fraction from air-classified bran obtained from a hard red wheat. *Cereal Chem.*, **71**, 321 (1994)
 11. Carpez, 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. Food Sci.*, **4**, 233 (1986)
 12. Varo, P., Laine, R. and Koivistoinen, P.: Effect of heat treatment on dietary fiber: Interlaboratory study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **66**, 933 (1983)
 13. Björck, I., Asp, N.G., Birkhed, D. and Lundquist, I.: Effects of processing on an availability of starch for digestion *in-vitro* and *in-vivo*. I. Extrusion cooking of wheat flours and starch. *J. Cereal Sci.*, **2**, 91 (1984)
 14. Björck, I., Nyman, M. and Asp, N.G.: Extrusion cooking and dietary fiber: Effects on dietary content and on degradation in the rat intestinal tract. *Cereal Chem.*, **61**, 174 (1984)
 15. 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)
 16. Oda, T., Aoe, S., Nakaoka, M., Ido, K., Ohta, F. and Ayano, Y.: Changes in the dietary fiber content of oats with extrusion cooking and their effect on the cholesterol metabolism in rats. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*, **41**, 449 (1988)
 17. östergard, K., Björck, I. and Vainionopää, J.: Effects of extrusion cooking on starch and dietary fibre in barley. *Food Chem.* **34**, 215 (1989)
 18. Camire, M.E. and Flint, S.I.: Thermal processing effects on dietary fiber composition and hydration capacity in corn meal, oat meal, and potato peels. *Cereal Chem.*, **68**, 645 (1991)
 19. Lue, S., Hsieh, F. and Huff, H.E.: Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: Effect of expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. *Cereal Chem.*, **68**, 227 (1991)
 20. Wang, W.M., Klopfenstein, C.F. and Ponte, J.G.: Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chem.*, **70**, 707 (1993)
 21. 김종태, 황재관, 조성자, 김철진, 김해성 : 이축 압출성형 공정에 의한 밀기울의 물리화학적 변형. I. 스크류의 조합과 공정변수 조절에 따른 시스템 변수의 변화. 한국 식품과학회지, **27**, 404 (1995)
 22. Cui, W., Mazza, G., Oomah, B.D. and Biliaderis, C.G.: Optimization of an aqueous extraction for flaxseed gum by response surface methodology. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, **27**, 472 (1994)
 23. Statistical Graphics Corporation : *User 's guide, Statgraphics*. Statistical Graphics System, STSC Inc., USA (1987)
 24. Anderson, R.A.: Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked grain products. *Cereal Chem.*, **59**, 265 (1982)
 25. 황재관, 김종태, 조성자, 김철진 : 밀기울에 대한 열처리 이화학적 특성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, **27**, 393 (1995)
 26. 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)
 27. 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)
 28. Abdel-Aal, E.S.M., Sosulski, F.W., Adel, A., Shehata, Y., Youssef, M.M. and Ave, J.L.: Effect of extrusion cooking on the physical and functional properties of wheat, rice and fababean blends. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, **25**, 21 (1992)
 29. Ralet, M.C., Thibault, J.F. and Della Valle, G.: Solubilization of sugar-beet pulp cell wall polysaccharides by extrusion-cooking. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, **24**, 107 (1988)
 30. Meuser, F., Pfaller, W. and van Lengerich, B.: Technological aspects regarding specific changes to the characteristic properties of extrudates by HTST-extrusion cooking. In *Extrusion Technology for the Food Industry*, O'Connor, C., (ed.), Elsevier Applied Science, New York, pp.35-53 (1987)
 31. Colonna, P. and Mercier, C.: Macromolecular modification of manioc starch components by extrusion-cooking. *Carbohydrate Polymers*, **3**, 87 (1983)
 32. Kim, K. and Handy, M.K.: Depolymerization of starch by high pressure extrusion. *J. Food Sci.*, **52**, 5 (1987)
 33. Björck, I., Nyman, M. and Asp, N.G.: Extrusion cooking and dietary fiber: Effects on dietary content and on degradation in the rat intestinal tract. *Cereal Chem.*, **61**, 174 (1984)
 34. 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)
 35. Schweizer, T. F. and Reimann, S.: Influence of drum-drying and twin-screw extrusion cooking on wheat carbohydrates. I. A comparison between wheat starch and flours of different extrusion. *J. Cereal Sci.*, **4**, 193 (1986)
 36. Sandberg, A., Anderson, H., Kivist, B. and Sandström, B.: Extrusion cooking of a high-fiber cereal product. I.

Effects on digestibility and absorption of protein, fat, starch, dietary fiber and phytate in the small intestine. *Brit. J. Nutr.*, **55**, 245 (1986)

37. Lue, S., Hsieh, F., Peng, I.C. and Huff, H.E.: Expansion of corn extrudates containing dietary fiber: A mi-

crostructure study. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie*, **23**, 165 (1990)

(1995년 10월 12일 접수)