

## 수분주입량에 따른 압출성형 옥수수 섬유질의 물리화학적 특성

김철현 · 류기형<sup>†</sup>

공주대학교 식품공학과

### Effects of Feed Moisture on the Physicochemical Properties of Extruded Corn Fibers

Cheol-Hyun Kim and Gi Hyung Ryu<sup>†</sup>

Dept. of Food Science and Technology, Kongju National University, Chungnam 314-701, Korea

#### Abstract

This study was designed to examine changes in the physicochemical properties of extruded corn fibers with different amounts of feed moisture (30, 40, and 50%). The screw speed and die temperature were fixed to 200 rpm and 140°C, respectively. The crude ash, fat, and protein in corn fiber decreased from the extrusion process. The insoluble dietary fiber in corn fibers decreased, while soluble dietary fiber increased at a feed moisture of 30%. The specific length of the extruded corn fiber increased while the specific mechanical energy input, density, breaking strength, and elastic modulus decreased. The water absorption index (WAI) and reducing sugar content of the corn fibers did not significantly change, but the water soluble index (WSI) decreased as the feed moisture content of the corn fiber increased. On the other hand, the WAI of de-starched corn fiber decreased while WSI and reducing sugars increased as the feed moisture content of the corn fiber increased.

**Key words:** corn fiber, extrusion, moisture content, dietary fiber, SME input

#### 서 론

옥수수(*Zea mays* L.)는 쌀, 밀과 함께 전세계에서 식량으로 사용되고 있는 주요 작물이다. 옥수수 낱알은 크게 외피, 내배유, 호분, 배아로 구성되어 있으며 주로 무수아황산 용액에 침지하여 습식제분을 통해 전분을 분리하는 과정에서 생산된 부산물로 옥수수 섬유질(corn fiber)이 생산된다.

습식제분을 통하여 생산된 부산물인 옥수수 섬유질은 주로 사료로 많이 사용되지만 옥수수 섬유질에는 cellulose 15%, hemicellulose 35%, lignin 8%로 구성되어 있으며 주요 불용성 식이섬유 급원으로서 포만감을 주고, 생리활성을 가지고 있다(1,2). 또한 수용성 식이섬유에 의해 형성된 3차원의 겔이 장내 통과 시간을 지연시키고 포도당의 흡수를 저해하며 혈중 콜레스테롤 함량을 저하시키는 역할을 한다(3).

옥수수 섬유질에는 소량의 lignin과 phenolic compounds 등이 함유되어 있으며, 생리활성 물질로 알려져 있다. 그중 옥수수 섬유질에 함유된 phenolic compounds는 arabinoxylan의 구성성분인 ferulic acid로서 그 기능성은 항암, 항염증, 항고혈압 등이 알려져 있으며 이들은 일부 다당류와 연결되어 상당량의 “DF-antioxidant”의 형태의 phenolic compounds로 존재한다(1,4,5).

대부분의 곡류의 세포벽은 cellulose, hemicellulose, pectin, lignin 등의 고분자 화합물로 구성되어 있고 이들 대부분은 주로 공유결합, 이온결합, 수소결합 등으로 강하게 결합되어 있어 수용화 효율과 소화를 방해한다(6). 옥수수 섬유질의 세포벽을 수용화 하기 위해서 Ning 등(7)의 연구에 따르면 옥수수 섬유질을 산(6 N HCl), 알칼리(6 N NaOH), 압출성형(원료수분 함량 50%, 사출구 온도 120°C, 스크루 회전 속도 300 rpm, 원료투입량 200 g/min)을 병행하였을 때 수용성 식이섬유 함량이 증가하는 것으로 보고되었으며, Hwang 등(3)의 연구 결과 역시 고온, 고압, 강한 전단력 등이 발생하는 압출성형공정을 이용하였을 때 식물 세포 구조의 단순화로 인해 식물조직의 결합력을 약화시켜 수용화가 이루어진다고 보고되었다.

압출성형에서 발생하는 고온, 고압, 고전단력은 식품 원료의 분자적 구조 특성을 효율적으로 변화시켜 조직의 다양한 특성을 유도할 수 있다. 그리고 Lee와 Schwarz(8)에 의하면 압출성형은 원료의 배합과 공정변수를 조절할 수 있으므로 다양한 방법으로 물리적 효과를 주어 원료의 구조를 단순화할 수 있다고 하였다.

따라서 본 연구는 습식제분을 통해 생산된 옥수수 섬유질의 수용화 및 유용성분을 얻기 위한 최적의 압출성형 조건을

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: ghryu@kongju.ac.kr  
Phone: 82-41-330-1484, Fax: 82-41-335-5944

탐색하기 위하여 옥수수 섬유질과 탈전분 옥수수 섬유질을 수분투입량(30, 40, 50%)의 변화에 따른 압출성형 옥수수 섬유질의 물리화학적 특성 변화를 알아보았다.

## 재료 및 방법

### 재료

옥수수 섬유질은 Samyang Genex(Incheon, Korea)에서 습식제분 한 옥수수 섬유질을 사용하였다. 옥수수 섬유질의 일반성분은 Table 1과 같다. 탈전분 옥수수 섬유질은 옥수수 섬유질에 포함된 전분을 Gáspár 등의 방법(9,10)으로 전분을 제거하여 제조하였다.

### 압출성형

실험에 사용한 압출성형기는 자체 제작한 실험용 동방향 쌍출 압출성형기(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)를 사용하였다. 스크루 배열은 Fig. 1과 같다. 스크루 직경은 30.0 mm로 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1이었고, 배럴온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였다. 압출성형 조건은 배럴온도 140°C, 스크루 회전속도 200 rpm, 사출구 직경 3.0 mm, 원료투입량 120 g/min으로 고정하였으며 수분함량을 30, 40, 50%로 조절하였다. 제조된 압출성형 옥수수 섬유질은 열풍건조기(DS-FCPO250, Dongseo Sci. Co., Seoul, Korea)에서 50°C로 건조하여 물리적 특성 연구에 사용하였다. 압출성형 옥수수 섬유질을 Micro Hammer-cutter Mill(Type 3, Culatti AG Co., Zürich, Switzerland)로 분쇄하여 직경이 0.5 mm인 체를 통과한 분말을 화학적 특성 연구에 사용하였다.

### 옥수수 섬유질의 물리적 특성

**비기계적 에너지:** 압출성형 옥수수 섬유질의 비기계적

Table. 1 Proximate component of corn fiber

Proximate component (% , dry basis)	
Crude ash	12.42±0.06
Crude protein	10.52±0.16
Crude fat	4.24±0.01
Reducing sugar	2.84±0.10
IDF <sup>1)</sup>	61.73±0.59
SDF <sup>2)</sup>	1.12±0.18
TDF <sup>3)</sup>	62.94±0.91
Total starch	15.50±0.53

<sup>1)</sup>IDF: Insoluble dietary fiber. <sup>2)</sup>SDF: Soluble dietary fiber.

<sup>3)</sup>TDF: Total dietary fiber.

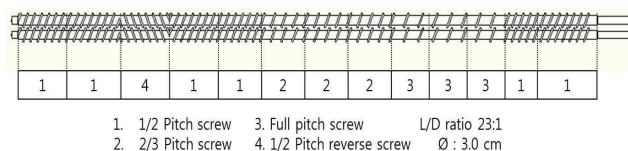


Fig. 1. Screw configuration used in this experiment.

에너지 투입량(SME input)은 Ryu와 Ng의 방법(11)을 이용하여 원료가 투입되어 압출성형기를 통과할 때 원료 단위 질량당 소비된 전기 에너지로 나타내었다. 원료투입 시 전력에서 모터 공회시의 전력을 감한 것으로 비기계적 에너지 투입량의 계산식은 식 (1)과 같다.

$$\text{SME input} = \frac{(E - E_0)}{P_R} \quad (1)$$

E: Electric power when input to material (kJ/s)

E<sub>0</sub>: Electric power when idling (kJ/s)

P<sub>R</sub>: Production rate (kg/s)

**직경 팽화율 및 비길이:** 압출성형 옥수수 섬유질의 직경 팽화율과 비길이는 Alvarez-Martinez 등의 방법(12)으로 10회 반복 측정 후 식 (2)와 (3)을 이용하여 평균값과 오차를 구하였다.

$$\text{Expansion ratio} = \frac{D_e}{D_d} \quad (2)$$

D<sub>e</sub>: Diameter of extrudate

D<sub>d</sub>: Diameter of die hole

$$\text{Specific length (cm/g)} = \frac{\text{Length of extrudate (cm)}}{\text{Weight of extrudate (g)}} \quad (3)$$

**체적 밀도:** 압출성형 옥수수 섬유질의 밀도는 차조를 이용한 종자 치환법으로 10회 반복하여 식 (4)를 이용해 평균값을 산출하였다(11,13).

$$\rho_e \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{M}{M + M_0 - M_1} \times \rho_m \quad (4)$$

ρ<sub>e</sub>: Bulk density of extrudate

ρ<sub>m</sub>: Bulk density of millet

M: Mass of extrudate

M<sub>0</sub>: Mass of millet in cup

M<sub>1</sub>: Mass of extrudate and millet in cup

**겉보기 탄성계수와 파괴력:** 압출성형 옥수수 섬유질의 겉보기 탄성계수와 파괴력은 Sun Rheometer(Compac-100 II, Sun Sci., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여 평균값을 산출하였다. 측정조건은 probe angle type(65°), 최대응력 2 kg, 지지대 이동속도 120 mm/min, 지지대간의 거리 3 cm이었다. 측정된 결과를 Ryu와 Ng(11)이 제시한 아래의 식을 이용하여 겉보기 탄성계수(E<sub>app</sub>)와 파괴력(F<sub>bs</sub>)을 각각 식 (5)와 (6)으로 계산하였다.

$$E_{app} = (dF/dl) (64d^3/48\pi D^4) \quad (5)$$

E<sub>app</sub>: Apparent elastic modulus

dF/dl: Slope of the linear section of the force-distance curve

D: Diameter of extrudate

d: Distance between two supports

$$F_{bs} = F_s/S \quad (6)$$

F<sub>s</sub>: Maximum stress of extrudate

S: Cross-sectional area of extrudate

**수분흡착지수와 수분용해지수:** 압출성형 옥수수 섬유질과 탈전분 압출성형 옥수수 섬유질의 수용성 성질을 비교하고자 AACC 방법(14)을 응용하여 수분흡착지수(water absorption index, WAI)와 수분용해지수(water soluble index, WSI)를 식(7)과 (8)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{WAI (g/g)} = \frac{\text{Hydrated sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \quad (7)$$

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{Dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant}}{\text{Dry sample wt.}} \times 100 \quad (8)$$

**미세구조:** 압출성형 옥수수 섬유질과 탈전분 압출성형 옥수수 섬유질의 표면 구조를 알아보고자 고분해능 주사전자현미경(MIRA LMH, Tescan, Brno, Czech)을 이용하여 압출성형 옥수수 섬유질의 단면을 250배, 500배로 하여 관찰하였다.

#### 화학적 특성

**일반성분:** 압출성형 옥수수 섬유질과 탈전분 압출성형 옥수수 섬유질의 조회분, 조단백질(N×6.25), 조지방은 AACC 방법(15)에 따라 측정하였으며, 옥수수 섬유질의 전분함량은 AOAC(16)에 따라 측정하였다. 그리고 환원당은 Miller의 DNS법(17)을 응용하여 측정하였으며, 식이섬유 함량은 AOAC 효소-중량법(18)에 따라 측정하였다.

**DPPH에 의한 전자공여능:** 압출성형 옥수수 섬유질과 탈전분 압출성형 옥수수 섬유질의 전자공여능 또는 라디칼 소거능은 DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical)로 Brand-Williams 등의 방법(19)을 응용하여 측정하였다. 시료추출물은 Serpen 등의 방법(20)을 응용하여 1차 추출은 증류수로, 2차 추출은 99% 에탄올로 추출하였다. DPPH에 의한 전자공여능은 식 (10)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Scavenging activity (\%)} = \frac{\text{Abs}_{\text{blank}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{blank}}} \times 100 \quad (10)$$

Abs<sub>blank</sub>: Absorbance of the control

Abs<sub>sample</sub>: Absorbance of the sample

**Total phenolic compound:** 압출성형 옥수수 섬유질과 탈전분 압출성형 옥수수 섬유질의 total phenolic compound는 Dewanto 등(21)과 Waterhouse(22)의 방법을 응용하여 실험하였으며, 765 nm에서 흡광도를 측정하여 0.1% gallic acid 표준곡선을 이용하여 계산하였다.

## 결과 및 고찰

### 압출성형 옥수수 섬유질의 팽화 및 물성

수분함량에 따른 비기계적 에너지 투입량은 수분함량 30%에서 354.16±7.87 kJ/kg, 40%에서 236.71±4.17 kJ/kg, 50%에서 137.95±30.37 kJ/kg으로 측정되었으며, 수분함량이 증가함에 따라 옥수수 섬유질에 가해진 비기계적 에너지 투입량이 감소하는 경향을 보였다. Ryu와 Ng(11)은 수분함량이 독립변수일 때 원료 수분함량이 낮을수록 비기계적 에너지 투입량이 증가한다고 보고하였으며, Mahsa와 Asgar(23)은 옥수수, 멥쌀, 밀가루를 수분함량 변화에 따라 압출성형 하였을 때 수분함량이 증가함에 따라 압출성형 공정에서 가해지는 비기계적 에너지 투입량이 감소하였다는 보고와 일치하였다.

비밀이와 직경팽화율, 밀도, 겉보기 탄성계수와 파괴력의 결과는 Table 2와 같다. 비밀이는 수분함량이 30%에서 50%로 증가함에 따라 155.76±1.47 cm/g에서 293.59±9.53 cm/g으로 증가하였지만 직경팽화율, 밀도, 겉보기 탄성계수, 파괴력은 감소하였다. Shin 등(6)의 보고에 따르면 수분함량이 많은 경우 팽화 후에도 압출성형물 내에 수분이 존재하여 형성된 기공이 수축하여 곡류의 조직이 단단해진다고 하였다. 그리고 Ryu와 Lee(24)는 수분함량이 높으면 압출성형기 내부물질의 점탄성과 충전물 양의 감소에 의해 압력이 낮아져 팽화율이 감소한다고 하였다. 본 연구에서는 기존 연구 결과와는 달리 수분함량을 50%로 증가시켜 옥수수 섬유질을 압출성형 하였을 때 직경팽화율, 밀도, 파괴력, 탄성계수 모두 감소하는 경향을 보였는데 이는 Stojceska 등(25)의 보고에 따르면 수분함량이 증가할수록 내부 반죽 흐름이 원활하게 되어 압력이 감소하여 팽화가 저하된다고 하였다. 또한 Alvarez-Martinez 등(12)은 압출성형 시 수분함량을 증가시켰을 때 아밀로펙틴 분자 배열이 느슨해지고 탄력성이 저하되어 직경 팽화율이 감소한다고 하였다. 그리고 Mahasukhonthachai 등(26)에 의하면 직경 팽화율은 반죽상태인 원료가 압출성형기를 통하여 배출되면서 수증기가 증발하여 기공이 생기는데 수분주입량이 증가할수록 수분 증발이 감소하여 기공형성이 잘 되지 않아 비밀이가 증가한다고 하였다.

### 압출성형 옥수수 섬유질과 압출성형 탈전분 옥수수 섬유질의 수용성 지수

압출성형 옥수수 섬유질의 수분흡착지수와 수분용해지수는 Fig. 2와 같다. 수분함량이 증가할수록 수분흡착지수는 유의적인 변화를 보이지 않았으나, 수분용해지수는 원료에

Table 2. Physical properties of extruded corn fiber at different feed moisture content

Feed moisture content (%)	Specific length (cm/g)	Expansion ratio	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Breaking strength (N/cm <sup>2</sup> )	Apparent elastic modulus (N/cm <sup>2</sup> )
30	155.76±1.47	1.10±0.08	0.52±0.05	100.21±2.65	80.88±2.18
40	197.78±1.23	0.85±0.13	0.51±0.01	82.13±3.25	32.56±2.04
50	293.59±9.53	0.61±0.04	0.45±0.03	57.70±1.30	5.56±0.35

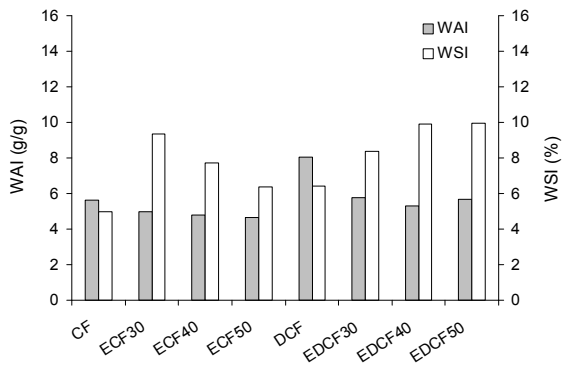


Fig. 2. Water absorption index (WAI) and water soluble index (WSI) of extruded corn fibers at different moisture content. CF, corn fiber; ECF, extruded corn fiber; DCF, destarched corn fiber; EDCF, extruded destarched corn fiber.

비해 수분함량 30%일 때 약 2배 정도 증가하였고 수분함량이 증가할수록 감소하였다. Tie 등(27)의 보고에 의하면 옥수수 섬유질에 포함된 전분이 압출성형공정을 거치면서 호화와 전단력에 의한 전분 사슬의 절단이 아밀로펙틴의 분획화로 인한 아밀로오스 함량이 증가하여 수용성지수가 증가하였다는 결과와 일치하였다. 그리고 본 연구에서 수분주입량을 30%에서 50%로 증가하여 압출성형 하였을 때 옥수수 섬유질의 수분용해지수가 감소하였는데 이는 수분주입량의 증가에 따라 수분용해지수가 감소하였다는 Stojceska 등(28)의 보고와 일치하였다. 압출성형 탈전분 옥수수 섬유질은 압출성형 옥수수 섬유질과 마찬가지로 수분흡착지수는 압출성형 후 큰 변화는 없었으며, 수분용해지수에서는 수분

함량이 30%에서 50%로 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여 대조되는 결과를 보였다. Ning 등(7)의 보고에 의하면 수분흡착지수의 감소는 압출성형 시 옥수수 섬유질에 가해지는 고온, 고전단력에 의해 섬유질 구조의 붕괴를 일으켜 원료에 비해 감소하였다는 결과와 일치하였다. 압출성형 탈전분 옥수수 섬유질의 수분용해지수의 증가는 탈전분 옥수수 섬유질을 제조하는 과정 중 옥수수 섬유질의 전분을 효소를 이용하여 분해하고 세척과정에서 제거되지 않은 잔류 효소에 의하여 수분주입량이 증가함에 따라 압출성형기 내에서 효소의 작용으로 반응물이 수용화 되어 증가한 것으로 사료된다.

### 압출성형 옥수수 섬유질과 압출성형 탈전분 옥수수 섬유질의 미세구조

시차주사 현미경으로 압출성형 옥수수 섬유질과 압출성형 탈전분 옥수수 섬유질의 미세구조를 관찰한 결과는 Fig. 3과 같다. 압출성형 옥수수 섬유질의 수분함량이 30%일 때 (Fig. 3a)의 기공의 구조가 수분함량 40%와 50%일 때 (Fig. 3b, c)에 비해 기공의 형성이 잘 되었다. 수분함량이 증가함에 따라 그 구조가 붕괴되어 층을 이루는 것으로 나타났다. 하지만 탈전분 옥수수 섬유질을 압출성형 하였을 때는 수분함량 30%에서는 압출성형 옥수수 섬유질 표면의 손상이 이루어졌으나, 수분함량이 증가할수록 옥수수 섬유질이 영긴 형태로 사출구를 통과하여 수분함량 30%에 비해 세포벽의 손상이 심하게 일어나지 않았다 (Fig. 3d-f). 이는 낮은 수분함량에서 압출성형공정을 통하면 고온, 고압, 고전단력이 동

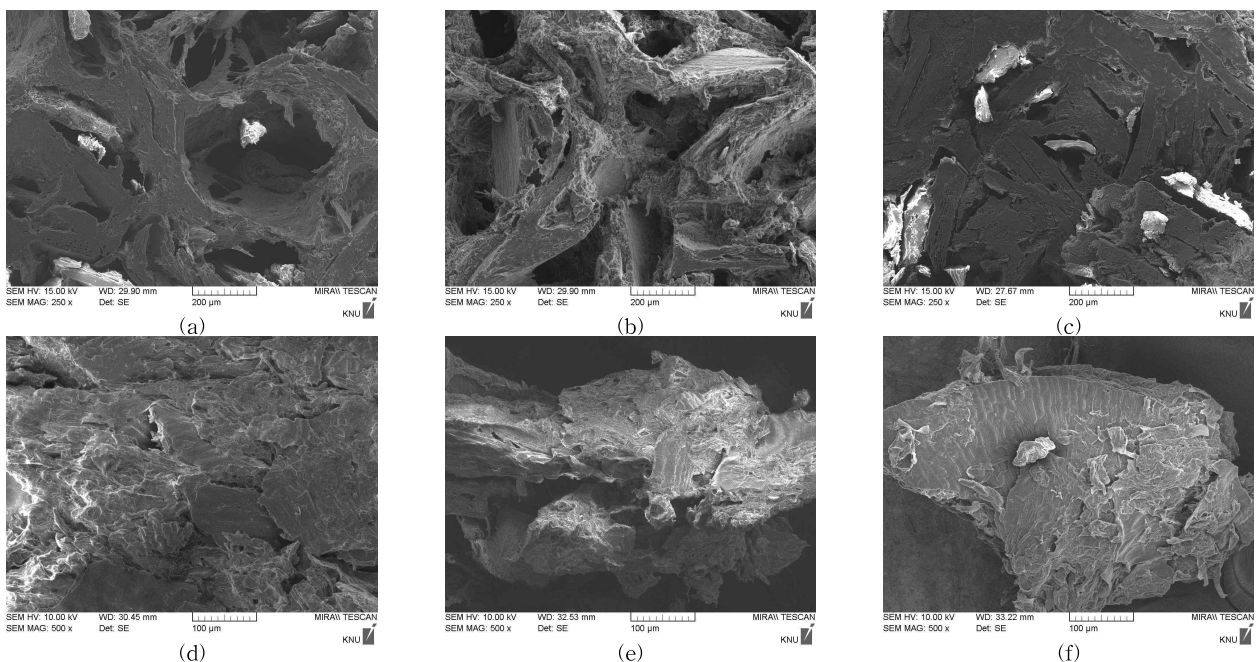


Fig. 3. Scanning electron micrographs of cross section of extruded corn fibers at different moisture content. (a) Extruded corn fiber at M.C. 30% (250 $\times$ ), (b) extruded corn fiber at M.C. 40% (250 $\times$ ), (c) extruded corn fiber at M.C. 50% (250 $\times$ ), (d) extruded destarched corn fiber at M.C. 30% (500 $\times$ ), (e) extruded destarched corn fiber at M.C. 40% (500 $\times$ ), (f) extruded destarched corn fiber at M.C. 50% (500 $\times$ ).

Table 3. Proximate component of corn fiber at different feed moisture content (% , dry basis)

Feed material	Feed moisture content (%)	Crude ash	Crude protein	Crude fat	IDF <sup>3)</sup>	SDF <sup>4)</sup>	TDF <sup>5)</sup>	Reducing sugar
CF <sup>1)</sup>	—	12.42±0.06	10.52±0.16	4.24±0.01	61.73±0.59	1.12±0.18	62.94±0.91	2.84±0.10
	30	11.74±0.57	10.91±0.24	3.56±0.02	60.69±0.67	1.79±0.33	62.61±0.51	2.99±0.07
	40	11.63±0.15	10.65±0.06	3.34±0.01	61.46±0.59	1.72±0.04	63.44±0.28	3.04±0.04
	50	11.93±0.77	10.55±0.15	3.00±0.01	61.84±0.35	1.64±0.21	62.10±0.56	3.07±0.04
DCF <sup>2)</sup>	—	5.86±0.49	9.34±0.29	3.05±0.04	77.50±0.56	0.95±0.01	79.12±0.41	4.49±0.09
	30	5.93±0.32	9.79±0.01	4.28±0.03	74.70±0.57	1.55±0.04	76.07±0.85	4.12±0.12
	40	6.05±0.66	9.38±0.06	4.31±0.09	74.92±0.52	1.50±0.13	76.12±0.56	5.14±0.10
	50	5.82±0.71	9.20±0.04	4.17±0.07	75.41±0.29	1.47±0.02	76.87±0.51	6.36±0.44

<sup>1)</sup>CF: Corn fiber. <sup>2)</sup>DCF: Destarched corn fiber. <sup>3)</sup>IDF: Insoluble dietary fiber.

<sup>4)</sup>SDF: Soluble dietary fiber. <sup>5)</sup>TDF: Total dietary fiber.

시에 작용하여 식물세포벽의 구조를 효율적으로 변형시킨다는 Hwang 등(29)의 보고와 유사한 결과를 보였다.

#### 화학적 특성

압출성형 옥수수 섬유질과 탈전분 옥수수 섬유질의 일반 성분 변화는 Table 3과 같다. 압출성형 옥수수 섬유질의 일반 성분(조회분, 조단백질, 조지방)의 변화는 Kim 등(1)의 연구결과와 같이 압출성형물의 일반 성분 함량이 감소하였다. 전분을 제거한 옥수수 섬유질에서는 조단백질과 조지방 함량이 약간 증가하였는데 이는 압출성형 시 발생하는 고온, 고전단력에 의하여 섬유질 내에 미량 포함되어 있는 성분이 용출된 것으로 사료된다.

압출성형 옥수수 섬유질의 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber, IDF), 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber, SDF)의 함량은 수분함량 30%일 때 IDF의 함량이 낮게 측정되었으며, 수분함량 50%일 때는 원료와 유의적인 차이가 없었다. SDF 함량은 수분함량 30%일 때 1.79±0.33%로 높았으나, 수분함량 50%일 때 1.64±0.21%로 낮았다. 압출성형 탈전분 옥수수 섬유질의 IDF 함량은 30%일 때 원료 77.50±0.56%에 비해 74.70±0.57로 감소하였으나, 수분함량 50%일 때 75.41±0.29%로 수분함량 30%와 비교하였을 때 유의적인 차이는 없었다. SDF 함량은 옥수수 섬유질과 마찬가지로 수분함량 30%일 때 1.55±0.04%로 원료에 비해 증가하였으나 수분함량 50%에서는 1.47±0.02%로 수분함량 30%와 비교하였을 때 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 그리고 총 식이섬유 함량은 압출성형 후 원료에 비해 감소하였으나 수분주입량의 증가에 따른 유의적인 변화는 없었다. 이는 Lee와 Schwarz(8)에 의하면 압출성형 시 발생하는 고온, 고전단력에 의해 세포벽의 분해가 일어나 불용성 식이섬유는 감소하고 수용성 식이섬유는 증가한 결과와 일치하였다. 그리고 Kim 등(30)의 보고에 의하면 일반적으로 불용성 식이섬유의 주요 성분인 셀룰로오스와 리그닌이 압출성형 시 발생하는 고온과 전단력의 영향으로 섬유질 구조의 파괴로 수용성 식이섬유가 증가하였다고 하였으며, 총식이섬유의 감소는 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유가 압출성형 공정을 통하여 당류로 전환되어 총식이섬유 함량이 감소하

Table 4. Antioxidant activity of extruded corn fibers at different feed moisture content

Feed material	Feed moisture content (%)	DPPH radical scavenging activity (%)	Polyphenolic compound (mg/g)
CF <sup>1)</sup>	—	92.30±0.11	3.59±0.01
	30	92.01±0.45	3.61±0.03
	40	91.69±0.90	3.60±0.04
	50	90.63±0.60	3.55±0.01
DCF <sup>2)</sup>	—	91.13±0.23	3.42±0.01
	30	82.16±1.49	3.50±0.01
	40	79.75±0.92	3.49±0.02
	50	74.35±1.12	3.43±0.03

<sup>1)</sup>CF: Corn fiber. <sup>2)</sup>DCF: Destarched corn fiber.

게 되었을 것이라고 하였다.

압출성형 옥수수 섬유질의 환원당은 원료 옥수수 섬유질과 비교하였을 때 압출성형을 통하여 증가하는 경향을 보였다. 옥수수 섬유질을 압출성형 하였을 때 수분함량이 30%에서 50%로 증가할 때 2.99±0.07%에서 3.07±0.04%로 유의적인 변화는 없었고, 탈전분 옥수수 섬유질의 환원당은 수분함량이 증가함에 따라 4.12±0.12%에서 6.36±0.44%로 증가하였다. 탈전분 옥수수 섬유질의 경우 수분주입량의 증가로 인하여 압출성형기 내에서 고온, 고전단력에 의하여 옥수수 섬유질의 전분 제거 과정에서 세척되지 않은 잔류효소에 의하여 환원당이 증가하였을 것으로 판단된다.

압출성형 조건에 따른 옥수수 섬유질의 항산화 활성은 Table 4와 같다. DPPH를 이용한 radical 소거능은 항산화 물질의 전자공여능으로 인하여 DPPH가 환원되어 자색이 탈색되는 정도를 지표로 하여 측정하였다(31). 옥수수 섬유질과 탈전분 옥수수 섬유질의 DPPH radical 소거능은 수분주입량이 증가함에 따라 옥수수 섬유질은 92.01±0.45%에서 90.63±0.60%로, 탈전분 옥수수 섬유질은 82.16±1.49%에서 74.35±1.12%로 각각 감소하는 경향을 보였다. Polyphenolic compound는 수분함량이 30%에서 50%로 증가함에 따라 옥수수 섬유질은 3.61±0.03 mg/g에서 3.55±0.01 mg/g으로 감소하였고, 탈전분 옥수수 섬유질 역시 3.50±0.01 mg/g에서 3.43±0.03 mg/g으로 감소하였다. 이는 옥수수 섬유질이 높은 수분함량에 의해서 충분한 전단력을 받지

못해 세포벽의 구조가 단순화되지 않아 감소한 것으로 사료된다.

본 연구에서 수분주입량 30%로 압출성형 하였을 때 옥수수 섬유질의 수용성 식이섬유와 환원당, 항산화물질 함량이 증가한 것으로 보아 수분주입량을 30%로 고정하고 스크루 회전속도를 비롯한 압출성형 공정변수의 변화에 따른 옥수수 섬유질의 구조 및 화학적 특성 변화에 대한 실험이 필요한 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 옥수수 섬유질을 수분주입량의 변화에 따라 압출성형 옥수수 섬유질과 탈전분 압출성형 옥수수 섬유질의 물리화학적 특성 변화를 측정하였다. 원료의 수분주입량은 30, 40, 50%로 조절하였으며 스크루 회전속도와 사출구 온도는 각각 200 rpm, 140°C로 고정시켜 압출성형 하였다. 일반성분 함량은 원료에 비해 감소하였으며, 수분주입량이 30%일 때 옥수수 섬유질과 탈전분 옥수수 섬유질의 불용성 식이섬유 함량은 감소하고 수용성 식이섬유 함량은 증가하였다. 압출성형 옥수수 섬유질의 비기계적 에너지, 직경팽화율, 밀도, 파괴력, 탄성계수는 수분함량이 증가할수록 감소하였고, 비길이는 증가하였다. 압출성형 옥수수 섬유질의 수분흡착지수와 환원당은 수분주입량이 증가할수록 변화가 없었으며 수분용해지수는 감소하였다. 반면에 탈전분 옥수수 섬유질의 수분흡착지수는 감소하고 수분용해지수와 환원당은 증가하였다. 수분주입량 30%일 때 유용성분의 추출이 미량 증가하는 것으로 보아 압출성형공정의 적용하여 섬유질에 포함된 유용성분의 추출이 용이할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 2012년도 지역혁신인력양성사업(2012-12-대-05-050)에 의하여 수행된 연구결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

## 문 헌

- Kim MH, Gil SK, Kim CH, Lee KC, Tie J, Ryu GH. 2012. Effects of extrusion conditions on change in properties of corn fiber. *Food Eng Prog* 16: 40-46.
- Saha BC. 2003. Hemicellulose bioconversion. *J Ind Microbiol Biotechnol* 30: 279-291.
- Hwang JK, Kim CT, Hong SI, Kim CJ. 1994. Solubilization of plant cell walls by extrusion. *J Korean Soc Food Nutr* 23: 358-370.
- Saulnier L, Vigouroux J, Thibault JF. 1995. Isolation and partial characterization of feruloylated oligosaccharides from maize bran. *Carbohydr Res* 272: 241-253.
- Vitaglione P, Napolitano A, Fogliano V. 2008. Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends Food Sci Technol* 19: 451-463.
- Shin HH, Lee SH, Park BS, Rhim TS, Hwang JK. 2003. Solubilization of whole grains by extrusion and enzyme treatment. *Korean J Food Sci Technol* 35: 849-855.
- Ning L, Villota R, Artz WE. 1991. Modification of corn fiber through chemical treatments in combination with twin-screw extrusion. *Cereal Chem* 68: 632-636.
- Lee WJ, Schwarz PB. 1994. Effect of twin-screw extrusion on physical properties and dietary fiber content of extrudates from barley/corn blends. *Food Sci Biotechnol* 3: 169-174.
- Gáspár M, Juhász T, Szegey ZS, Réczey K. 2005. Fractionation and utilisation of corn fibre carbohydrates. *Process Biochem* 40: 1183-1188.
- Gáspár M, Kálmán G, Réczey K. 2007. Corn fiber as a raw material for hemicellulose and ethanol production. *Process Biochem* 42: 1135-1139.
- Ryu GH, Ng PKW. 2001. Effects of selected progress parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Starch* 53: 147-154.
- Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Harper JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J Food Sci* 53: 609-615.
- Barrett A, Kaletunç G, Rosenberg S, Breslauer K. 1995. Effect of sucrose on the structure, mechanical strength and thermal properties of corn extrudates. *Carbohydr Polymers* 26: 261-269.
- AACC International. 1999. *Approved Methods of Analysis*. 11<sup>th</sup> ed. Method 56-20. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- AACC International. 1999. *Approved Methods of Analysis*. 11<sup>th</sup> ed. Method 08-01, 30-25, 46-10. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- AOAC International. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18<sup>th</sup> ed. Method 996.11. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal Chem* 31: 426-428.
- AOAC International. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18<sup>th</sup> ed. Method 991.43. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1994. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Sci Technol* 28: 25-30.
- Serpen A, Gökmen V, Pellegrini N, Fogliano V. 2008. Direct measurement of the total antioxidant capacity of cereal products. *J Cereal Sci* 48: 816-820.
- Dewanto V, Wu X, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
- Waterhouse AL. 2003. Unit II.1 Determination of total phenolics. In *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. DOI: 10.1002/0471142913.faa0101s06
- Mahsa M, Asgar F. 2010. Comparison of the effects of extrusion cooking on some cereal starches. *Int J Food Eng* DOI: 10.2202/1556-3758.1456
- Ryu GH, Lee CH. 1988. Effects of moisture content and particle size of rice flour on the physical properties of the extrudate. *Korean J Food Sci Technol* 20: 463-469.
- Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoğlu Ş. 2008. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *J Cereal Sci* 47: 469-479.
- Mahasukhonthachat K, Sopade PA, Gidley MJ. 2010. Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-

- screw extruded sorghum. *J Cereal Sci* 51: 392-401.
27. Tie J, Park HY, Ryu GH. 2005. Characteristics of cereals prepared by extrusion-cooking and freeze-drying. *Korean J Food Sci Technol* 37: 757-762.
28. Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoğlu Ş. 2009. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chem* 114: 226-232.
29. Hwang JK, Kim JT, Cho SJ, Kim CJ. 1995. Effects of various thermal treatments on physicochemical properties of wheat bran. *Korean J Food Sci Technol* 27: 394-403.
30. Kim DE, Hong SY, Kang WS, Yu CY, Lee BG, Chung IM, Lim JD. 2009. Influence of extrusion on dietary fiber profile and bioactive compound in different parts of tatar buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). *Korean J Medicinal Crop Sci* 17: 379-387.
31. Choi CH, Song ES, Kim JS, Kang MH. 2003. Antioxidative activities of *Castanea Crenata Flos*. methanol extracts. *Korean J Food Sci Technol* 35: 1216-1220.

(2012년 12월 13일 접수; 2013년 1월 2일 채택)