

## 탈지 대두박 소재 가식성 생고분자 필름의 개발

이하나 · 백희정 · 민세철\*  
서울여자대학교 식품공학과

### Defatted Soybean Meal-Based Edible Film Development

Hanna Lee, Hee Jeong Paek, and Sea Cheol Min\*

Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

#### Abstract

Edible films were developed from defatted soybean meal (DSM), a byproduct from the soy product industry, investigating the effects of the concentrations of DSM and glycerol and the treatment of high pressure homogenization (HPH) on color, water vapor permeability, and tensile properties of the films. The physical properties of the developed films (DSM films) were compared to those of the films made of soy proteins isolated from the DSM. DSM films were obtained by drying film-forming solutions prepared with DSM powder, glycerol, and water and with and without HPH at 152 MPa. HPH resulted in the formation of continuous and uniform films. Water vapor permeability of the films increased with increase in the concentration of glycerol and decreased by high pressure homogenization. The increase in the glycerol concentration in the film-forming solution prepared without HPH decreased the tensile strength and elastic modulus of the films. However, this effect was not observed with the HPH-treated solution. DSM films possessed higher tensile strength and percentage elongation than the film of soy protein, implying the potential for the DSM film to be applied to food product as an edible film.

**Key words:** defatted soybean meal, edible film, biopolymer film, high pressure homogenization, soy protein isolate

#### 서 론

가식성 필름은 주로 생분해가 가능한 천연 생고분자를 통해 제작되며 식품에 적용되어 외관을 좋게 하고, 식품 표면에서 산소와 수분의 이동을 막아주어 식품의 변화 속도를 늦춰준다. 또한, 목적에 따라 영양성분, 향미성분, 항산화제 등의 생리활성 물질을 함유하고, 식품을 물리적 충격으로부터 보호하는 등의 역할을 하여 초콜릿 제품, 소시지, 과일 등 다양한 식품에 적용되고 있다(Kester & Fennenma, 1986; Krochta et al., 1997). 하지만 대부분의 생고분자 필름은 합성 플라스틱 필름보다 인장 특성, 수증기 투과율 등의 물리적 특성이 열등하고, 대부분 합성 고분자보다 고가이므로 대량 생산되어 식품에 널리 적용되는 데에 어려움이 있다(Sablani et al., 2009). 이러한 어려움을 극복하기 위해 고분자 분쇄 방법(depolymerization)들을 적용할 수 있는데 이들 중 고압 균질(high pressure homogeniza-

tion, HPH) 처리는 고분자 물질들의 뭉침을 풀거나(deagglomeration) 연결을 끊음으로써(depolymerization) 조밀하고 균일한 필름을 형성시킨다고 보고되었다(Sanchex et al., 1997; Hayes & Kelly, 2003; Bouaouina et al., 2006; Kang et al., 2010).

탈지 대두박(defatted soybean meal, DSM)은 대두로부터 기름을 추출한 후 생겨나는 부산물로 전 세계적으로 연간 7천만 톤 이상, 국내에서는 60만 톤 이상 발생된다(Park et al., 1996). 이들의 일부는 가공되어 식품에 이용되기도 하나 대부분 사료로 이용되고 있다(Park et al., 1996). 현재로서는 높은 섬유질 함량에 의해 나타나는 거친 조직감 등이 걸림돌이 되어 식품 소재로 직접 이용되는 경우는 적다(Park et al., 1996). 이를 식품 소재로 이용하기에 적합한 전처리 방법과 활용 형태를 찾는다면 식품 소재로서의 이용이 많아질 것으로 기대된다(Park et al., 1996). 과거 DSM 으로부터 단백질을 추출해서 필름을 제조했던 연구는 보고된 바 있지만(Yang et al., 1997; Cunningham et al., 2000; Rhim et al., 2000; Cho & Rhee, 2002; Tang et al., 2005), DSM 으로부터 단백질의 추출 없이 DSM 자체를 사용하여 생고분자 필름을 제작하는 연구는 발표된 적이 없다. DSM 으로부터 다른 추출이나 정제 없이 필름을 제조하면 필름 기본 재료의 비용을 최소화시켜 앞서 언급된 천연 고분자

\*Corresponding author: Sea Cheol Min, Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, 623 Hwarangno, Nowon-gu, Seoul, 139-774, Korea

Tel: +82-2-970-5635; Fax: +82-2-970-5977

E-mail: smin@swu.ac.kr

Received July 6, 2011; revised October 2, 2011; accepted October 4, 2011

필름 생산에 있어서의 경제성 문제를 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 알코올을 제조 용매로 사용하는 필름 코팅과 달리 물을 용매로 사용하므로 친환경적 필름 제조 환경을 갖는다는 장점도 있다. 따라서 본 연구의 목적은 DSM으로부터 직접 DSM의 농도, 글리세롤 농도, 그리고 HPH 처리를 변수로 두어 그 재료 자체로부터 가식성 필름을 개발하는 것이었고, 그 변수들의 필름 형성과 필름의 색, 인장 특성, 수증기 투과율에 미치는 영향에 대하여 연구하는 것이었다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에서 사용된 건조 탈지 대두박(defatted soybean meal, DSM)은 CJ 제일제당 (Seoul, Korea)에서 제공받았고, 수분, 지방, 단백질, 회분, 그리고 탄수화물을 각각 10.0 g/100 g, 0.9 g/100 g, 45.7 g/100 g, 6.0 g/100 g, 37.4 g/100 g 포함하고 있었다(Korea Food Research Institute, Seongnam, Korea). 불규칙한 크기의 DSM을 믹서기(HMF-345(E), Hanil Electric Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 분쇄하였고, 분쇄물을 250  $\mu\text{m}$ 의 크기로 체질하여 분말화해 DSM 재료로 사용하였다. 유연제로 사용된 글리세롤은 Samchun Pure Chemical Co., Ltd.(Pyeongtaek, Korea)에서 구입하였고, 유화제로 사용된 Polysorbate 20(Hydrophilic-lipophilic balance(HLB): 16.7)은 Ilshinwells Co., Ltd (Seoul, Korea)에서 제공받았다.

### 탈지 대두박 필름 제조

DSM 5, 7, 또는 10%(w/w 필름 형성 용액) 용액을 HPH 처리(152 MPa, 1 pass)를 하거나 하지 않고, 글리세롤을 10, 14, 30, 50, 70, 또는 100%(w/w DSM) 혼합한 후, polysorbate 20을 1%(w/w DSM)로 첨가하고 균질화(5,000 rpm, 5 min) 한 용액을 90°C에서 30 분간 가열하고, 냉각 후 탈기 하여 필름 형성 용액을 제조하였다. 필름 형성 용액을 평형이 맞춰진 Teflon 플레이트 위에서 23±2°C에서 48 시간 동안 자연 건조시켜 필름을 얻었고(DSM 필름) 만들어진 필름을 플레이트에서 벗겨낸 후 질산 마그네슘(Samchun pure chemical Co., Ltd., Pyeongtaek, Korea) 포화 용액이 들어있는 항습 상자(Tenney-10 Model TTUFR-40240, Tenney Engineering, Inc., Union, NJ, USA)에 넣어 상대습도(relative humidity, RH) 52±2% 상태에서 보관하며 필름의 색(Minolta L, a, b), 수증기 투과율(water vapor permeability, WVP), 인장 강도(tensile strength, TS), 신장률(percentage elongation at break, %E), 그리고 탄성계수(elastic modulus, EM)를 측정하였다.

### 대두 단백질 필름 제조

대두 단백질 필름은 Yang et al.(1997)의 방법 중 pH를 2.0으로 조절하여 단백질을 추출해 필름을 만드는 방법을 사용하여 제작하였다.

### 두께

필름의 두께는 1  $\mu\text{m}$ 의 정밀도를 갖는 micrometer (Digimatic micrometer Model CR-200, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)를 사용하여 측정되었다. 각 필름 시료당 6 번씩 측정한 후 얻어낸 평균값들을 수증기 투과율과 인장 특성 결정에 사용하였다.

### 색

필름 표면의 색은 색차계(Minolta Chroma Meter CR-200, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 이용하여 C와 2° Observer를 사용해 Minolta L(lightness), a(redness), 그리고 b(yellowness)값으로 측정되었다. 필름 시료를 색 좌표 값이 L=97.83, a=-0.47, b=2.24인 표준 백색판(Calibration Plate CR-200)위에 놓고 필름 중심과 주변 세 부분을 포함하여 총 네 부분의 색을 측정하였다.

### 수증기 투과율

필름의 수증기 투과율(water vapor permeability, WVP)은 American Society of Testing and Materials (ASTM) E96-92를 이용한 Gravimetric Modified Cup 방법(McHugh, 1993)에 따라 측정되었다. Polymethylmethacrylate (Plexiglas™)로 만들어진 원형 투습컵을 사용하였고, 항습 상자의 내부는 황산칼슘(Drierite, W.A. Hammond Drierite Co. Ltd., Xenia, OH, USA)을 이용해 RH 3-8%로 평형화 시켰다. 온도는 23±2°C로 유지하였고, 팬(fan)의 속도는 152 cm/분 이었다. RH는 Dickson hydrometer (Model THDx, Dickson, Addison, IL, USA)를 이용하여 측정하였다.

### 인장 특성

TS, %E 그리고 EM은 American Society of Testing and Materials(ASTM) 표준 방법 D882-01(ASTM, 1997)을 이용해 측정되었다. 50 mm×8 mm의 크기를 갖는 필름 시료들은 측정 전 23±2°C, RH 52±2%에서 48 시간 동안 저장되었다. Tensile property tester(Withlab. Co., Ltd, Anyang, Korea)를 사용하였고, 초기 그립(grip)간의 거리는 50 mm이었으며, cross head speed는 30 mm/분 이었다.

### 통계처리

필름의 TS, %E, EM은 필름 종류에 따라 5 회 이상 측정되었고, 수증기 투과율은 3 회 이상 측정 되었다. 실험을

**Table 1. Film properties of defatted soybean meal (DSM)-based at different DSM concentrations.**

Compositions		Properties					
DSM (%) (w/w total)	Glycerol (%) (w/w DSM)	Minolta color			Tensile property		Water vapor permeability (g·mm/kPa·hr·m <sup>2</sup> )
		L	a	b	Tensile strength (MPa)	Percentage elongation (%)	
5		86.4±1.4 <sup>a*</sup>	1.2±0.6 <sup>ab</sup>	27.1±1.9 <sup>a</sup>	7.6±3.2 <sup>ab</sup>	3.6±1.2 <sup>a</sup>	0.8±0.4 <sup>a</sup>
7	14	85.3±1.0 <sup>a</sup>	1.2±0.3 <sup>a</sup>	27.1±0.9 <sup>a</sup>	6.2±2.4 <sup>b</sup>	3.3±0.9 <sup>a</sup>	0.6±0.9 <sup>a</sup>
10		86.4±1.8 <sup>a</sup>	0.4±0.5 <sup>b</sup>	26.8±3.1 <sup>a</sup>	9.5±1.8 <sup>a</sup>	5.3±3.2 <sup>a</sup>	0.8±0.3 <sup>a</sup>

\*Different letters within the same column differ significantly ( $p < 0.05$ ).

통해 얻은 데이터들은 PASW Statistics 18(IBM Co., Ver. 18.0.0, NY, USA)을 이용하여 1원 분산분석(one-way ANOVA)하였고, Duncan 다범위 검증(Duncan's multiple range test)을 실시하였다.

### 결과 및 고찰

#### 필름 형성

제조된 필름으로 필름의 색, 수증기 투과율, TS, %E를 측정된 결과가 Table 1에 나타나있다. 각각 필름의 특성들을 비교해 본 결과 높은 TS와 %E값을 가져다 주는 10%(w/w 필름 형성 용액) DSM 농도가 필름 형성 용액을 만드는데 적합하다고 판단되었다. DSM이 10%(w/w 필름 형성 용액)보다 많이 사용되었을 때는 필름 형성 용액의 점도가 높아져 그로부터 균일한 필름을 얻을 수 없었다.

글리세롤의 농도를 10, 30, 50, 70, 및 100%(w/w DSM)로 달리하고, 필름 형성 용액에 HPH 처리를 하거나 하지 않고 필름을 제조하였다. 글리세롤 농도가 10%(w/w 필름 형성 용액)이었을 때는 HPH 처리 유무와 관계 없이 연속적인 필름이 형성되지 않았다. 그리고 HPH 처리를 하지 않은 경우에는 100%(w/w 필름 형성 용액)의 글리세롤 사용 시 필름이 형성되지 않았다.

HPH 처리 횟수를 2 회 이상하여 필름 형성 용액을 처리하면 용액 내 점도가 증가하여 건조 후 균일한 필름을 얻을 수 없었으므로 처리 횟수를 1 회로 하여 필름을 제조하였다.

#### 색

필름 색에 대한 결과는 Table 2에 나타내었다. 글리세롤 농도와 HPH 처리 모두 필름의 색에 유의적으로 영향을 주지 않았다( $p > 0.05$ ). 대두 단백질(soy protein isolate, SPI) 필름의 밝은 정도(L값)는 90.8±0.5, 붉은 정도(a값)는 4.9±0.5로 DSM으로 만들어진 필름의 그 값들보다 높았다( $p < 0.05$ ). DSM 필름의 낮은 밝기 정도는 DSM 필름에 존재할 것으로 사려되는 많은 작은 고분자 입자들에 의한 빛의 산란 때문일 것으로 판단되었다. 순수 단백질 필름과 탄수화물 필름에 다른 고분자 입자들을 composite하여 필

**Table 2. Color of defatted soybean meal (DSM)-based films produced from film forming solutions at different glycerol concentrations with and without high pressure homogenization.**

Treatment	Glycerol (%)	L	a	b
Non - HPH	10	71.9±1.6 <sup>c*</sup>	1.1±0.5 <sup>a</sup>	29.8±1.3 <sup>a</sup>
	30	77.2±0.4 <sup>b</sup>	-0.4±0.1 <sup>b</sup>	26.3±0.4 <sup>b</sup>
	50	80.8±1.1 <sup>a</sup>	-2.1±0.4 <sup>d</sup>	19.9±1.9 <sup>d</sup>
	70	80.5±0.7 <sup>a</sup>	-1.3±0.3 <sup>c</sup>	23.1±0.9 <sup>c</sup>
HPH	10	70.7±2.8 <sup>c</sup>	1.3±0.8 <sup>a</sup>	28.8±2.1 <sup>a</sup>
	30	79.5±1.4 <sup>a</sup>	-1.6±0.3 <sup>cd</sup>	23.4±1.9 <sup>c</sup>
	50	79.3±0.4 <sup>a</sup>	-2.4±0.2 <sup>e</sup>	22.6±0.4 <sup>c</sup>
	70	80.3±1.2 <sup>a</sup>	-1.7±0.2 <sup>cd</sup>	21.7±1.9 <sup>cd</sup>

\*Different letters within the same column differ significantly ( $p < 0.05$ ).

름 내부에 어느 농도 이상 증가시켰을 때 필름의 밝기 정도가 감소된 것이 앞서 보고된 바 있다(Rhim et al., 1999).

#### 수증기 투과율

DSM 필름의 WVP는 0.6-6.1 g·mm/kPa·hr·m<sup>2</sup>이었다. Sodium caseinate 필름, calcium caseinate 필름, 생선 젤라틴 필름, cornzein 필름, wheat gluten 필름, 유청 단백질(whey protein isolate, WPI) 필름(WPI : glycerol = 1 : 1), 사과껍질을 기초로 한 필름, 탈지 겨자씨(defatted mustard seed, DMM)로 제조된 필름, 그리고 감자껍질을 기초로 한 필름의 WVP는 각각 0.93, 7.91, 1.48, 0.32-0.48, 4.52, 5.16, 4.20-7.56, 2.21-2.84, 그리고 2.99-5.30 g·mm/kPa·hr·m<sup>2</sup>으로 보고되었다(McHugh et al., 1993; Chick & Ustunol, 1998; Avena-Bustillos et al., 2006; Sablani et al., 2009; Kang et al., 2010). DSM 필름의 WVP는 calcium caseinate, 사과껍질 기초 필름보다 낮고, wheat gluten, WPI, DMM 그리고 감자껍질 기초 필름과 비슷하며, 그 외 생고분자 필름들의 그 값보다는 높았다.

글리세롤 농도가 증가할수록 용액으로부터 만들어진 필름의 WVP는 전반적으로 커졌다(Fig. 1). 이는 생고분자 사이에 글리세롤 분자가 포함되어 분자 사이의 공간(free volume)이 증가하여 분자간 당기는 힘이 감소하고, 필름

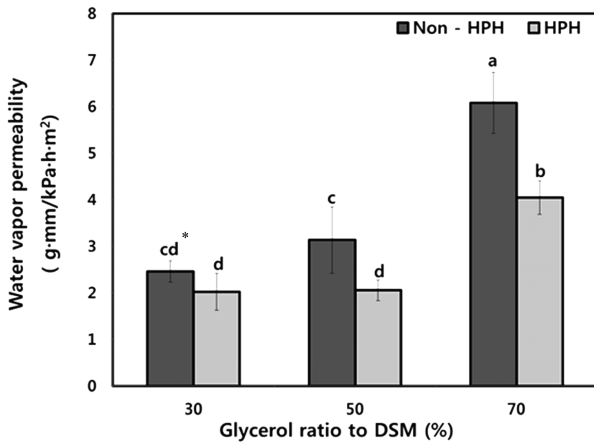


Fig. 1. Effects of glycerol concentration and high-pressure homogenization on the water vapor permeability of the defatted soybean meal (DSM)-based films. \*Means labeled with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

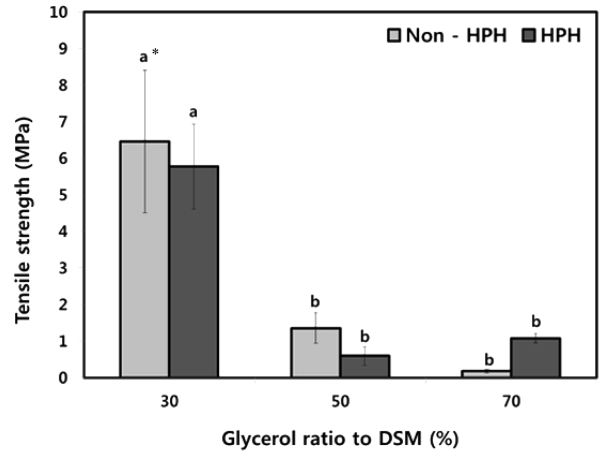


Fig. 2. Effects of glycerol concentration and high-pressure homogenization on the tensile strength of the defatted soybean meal (DSM)-based films. \*Means labeled with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

matrix 사이의 분자 이동성이 증가하였기 때문일 것으로 사려된다. 글리세롤 분자의 높은 친수성 또한 필름의 WVP의 증가에 기여하였을 것으로 보여진다(Gontard et al., 1993). HPH 처리를 했을 때는 글리세롤 농도가 증가할 때 WVP값이 반드시 증가하지만은 않았는데, 이를 통해 HPH 처리된 필름 형성 용액으로 만들어진 필름과 HPH 처리 하지 않은 용액으로 만들어진 필름의 구조에 있어 차이가 있었음을 알 수 있었고 또한 글리세롤의 농도보다 HPH 처리가 필름의 WVP에 더 큰 영향을 주었다는 것을 알 수 있었다(Fig. 1).

HPH 처리를 한 용액으로부터 만들어진 필름의 WVP가 처리를 하지 않은 용액으로부터 만들어진 필름보다 유의적으로 낮았다( $p < 0.05$ ). 생고분자 크기가 감소하여 균일한 필름이 형성되면 필름 구조 내 구부러짐(tortuous)의 증가로 수분의 이동속도가 줄 수 있다(Yang et al., 2011). 따라서 필름 형성 용액의 생고분자 크기를 감소시키는 HPH 처리를 함으로써 필름의 수분 방벽 능력이 더 높아진 것으로 판단되었다.

### 인장 특성

필름의 인장특성에 대한 결과는 Figs. 2-4에 각각 나타내었다. DSM 필름의 TS값의 범위는 0.2-9.5 MPa이었고, %E는 2.7-22.6%이었다. Wheat gluten 필름, soy protein 필름, 감자껍질 기초 필름, 사과껍질 기초 필름의 TS는 각각 4.4, 5.2, 9.9, 4.6 MPa로(Brandenburg et al., 1993; Gennadios et al., 1993; Sablani et al., 2009; Yang et al., 2011), DSM 필름은 감자껍질 기초 필름을 제외한 다른 생고분자 필름들과 비슷한 TS를 가진 것을 알 수 있었다. DMM 필름, 감자껍질 기초 필름, 그리고 사과껍질 기초

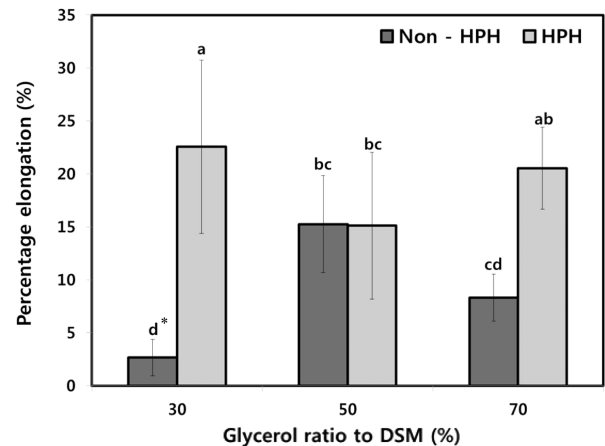


Fig. 3. Effects of glycerol concentration and high-pressure homogenization on the percentage elongation of the defatted soybean meal (DSM)-based films. \*Means labeled with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

필름의 %E값은 2.24-4.25, 19.9, 14.2%로(Sablani et al., 2009; Kang & Min, 2010; Yang et al., 2011) DSM 필름의 %E는 DMM 필름보다 높았고, 감자껍질, 사과껍질 기초 필름과는 비슷했다.

글리세롤 농도의 증가는 필름 형성 용액에 대한 HPH 처리 유무와 관계없이 제작된 필름의 TS와 EM을 감소시켰다( $p < 0.05$ )(Figs. 2, 4). 글리세롤 농도 증가에 의해 필름의 강도와 깨짐성이 낮아진 것은 글리세롤 분자가 생고분자의 분자간 공간을 증가시켜 필름에 윤활효과(plasticizing effect)를 주었기 때문으로 판단되었다(Kang & Min, 2010).

필름 형성 용액의 HPH 처리는 필름의 %E를 높이고

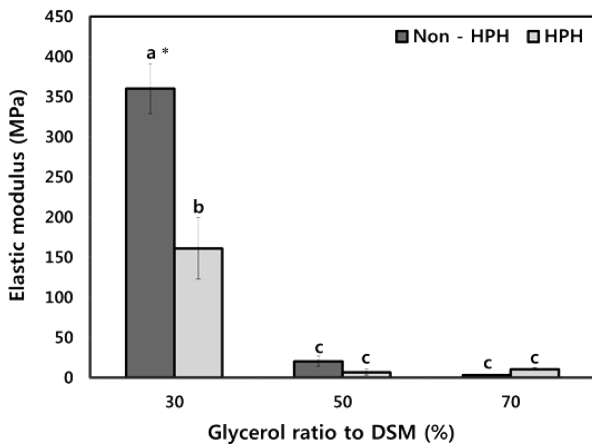


Fig. 4. Effects of glycerol concentration and high-pressure homogenization on the elastic modulus of the defatted soybean meal (DSM)-based films. \*Means labeled with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

EM을 감소시키는 경향을 보여주어(Figs. 3-4) 유연성을 가져다 주었다는 결론을 내릴 수 있었는데 이것은 HPH 처리가 생고분자의 크기를 줄여 분자간 crosslinking을 강화시켰기 때문으로 사려된다(Banerjee et al., 1996).

SPI 필름의 TS값과 %E값은 각각 0.57 MPa와 1.80%로 DSM 필름의 그 값들보다 낮았다. DSM으로부터 단백질을 추출해 추출된 단백질을 사용해 제조한 필름(SPI 필름)에 대한 연구 결과는 많이 보고되었다(Brandenburg et al., 1993; Cunningham et al., 2000; Rhim et al., 2000; Cho & Rhee, 2002; Tang et al., 2005). SPI 필름은 다른 생고분자 필름들과 비교해 좋은 물리적 특성으로 인해 식품 적용 가능성이 높은 생고분자 소재로 소개되었다. 본 연구에서 SPI 필름보다 DSM으로부터 추출 과정 없이 직접 제작한 필름이 이러한 인장 특성에서 우월함을 보여줌으로써 식품 적용 가능성이 높은 가식성 필름 소재가 단백질 분리 공정 없이 DSM으로부터 직접 생산될 수 있음을 보여주었다.

## 요 약

본 연구에서는 DSM을 이용하여 단백질 추출이나 정제 없이 식품에 적용 가능성이 있는 가식성 필름을 개발하였다. HPH 처리는 표면이 매끄럽고 균일한 형태의 필름을 형성시켰고, 필름의 WVP값을 감소시켜 수분 방벽 효과를 높였다. 필름 내 글리세롤 농도 증가는 WVP값을 전반적으로 높였다. 농산물 가공 부산물인 DSM으로 제작된 가식성 필름은 새로운 식품 소재로서 상업적 적용 가능성을 보여주었다.

## 참고문헌

- ASTM D822-01. 1997. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, pp. 162-170.
- Avena-Bustillos RJ, Olsen CW, Olson DA, Chior B, Yee E, Bechtel PJ, Mchugh TH. 2006. Water vapor permeability of mammalian and fish gelatin films. *J. Food Sci.* 71: 202-207.
- Banerjee R, Chen H, Wu J. 1996. Milk protein-based edible film mechanical strength changes due to ultrasound process. *J. Food Sci.* 61:824-828.
- Bouaouina H, Desrumaux A, Loisel C, Legrand J. 2006. Functional properties of whey proteins as affected by dynamic high-pressure treatment. *Int. Dairy J.* 16: 275-284.
- Brandenburg AH, Weller CL, Testin RF. 1993. Edible films and coatings from soy protein. *J. Food Sci.* 58: 1086-1089.
- Chick J, Ustunol Z. 1998. Mechanical and barrier properties of lactic acid and rennet precipitated casein-based edible films. *J. Food Sci.* 63: 1024-1027.
- Cho SY, Rhee C. 2002. Sorption characteristics of soy protein films and their relation to mechanical properties. *Lebensm. Wiss. Technol.* 35: 151-157.
- Cunningham P, Ogale AA, Dawson PL, Acton JC. 2000. Tensile properties of soy protein isolate films produced by a thermal compaction technique. *J. Food Sci.* 65: 668-671.
- Gennadios A, Weller CL, Testin RF. 1993. Property modification of wheat, gluten-based films. *Trans. ASAE.* 36: 465-470.
- Gontard N, Guilbert S, Cuq JL. 1993. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film, *J. Food Sci.* 58: 206-211.
- Hayes MG, Kelly AL. 2003. High pressure homogenization of raw whole bovine milk: (a) effect on fat globule size and other properties. *J. Dairy Res.* 70: 297-305.
- Krochta JM, Mulder-Johnston CD. 1997. Edible and biodegradable polymer films. *J. Food Technol.* 51: 61-74.
- Kester JJ, Fennenma OR. 1986. Edible films and coatings : a review. *Food Technol-Chicago.* 48: 47-59.
- Kang HJ, Min SC. 2010. Potato peel-based biopolymer film development using high-pressure homogenization, irradiation, and ultrasound. *Food Sci. Technol.* 43: 903-909.
- McHugh TH, Avena-Bustillos R, Krochta JM. 1993. Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J. Food Sci.* 58: 899-903.
- Park DJ, Ku KH, Kim SH. 1996. Characteristics and application of defatted soybean meal fractions obtained by microparticulation/air-classification. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 497-505.
- Rhim JW, Wu Y, Weller CL, Schnepf M. 1999. Physical characteristics of a composite film of soy protein isolate and propylene-glycol alginate. *J. Food Sci.* 64: 149-152.
- Rhim JM, Gennadios A, Handa A, Curtis LW, Milford AH. 2000. Solubility, tensile, and color properties of modified soy protein isolate films. *J. Agric. Food Chem.* 48: 4937-4941.
- Sablani SS, Dasse F, Bastarrachea L, Dhawan S, Hendrix KM, Min SC. 2009. Apple peel-based edible film development using a high-pressure homogenization. *J. Food Sci.* 74: 372-381.
- Sanchez C, Pouliot M, Gauthier SF, Paquin P. 1997. Thermal

- aggregation of whey protein isolate containing microparticulated or hydrolyzed whey proteins. *J. Agr. Food Chem.* 45: 2384-2392.
- Tang CH, Jiang Y, Wen QB, Yang XQ. 2005. Effect of transglutaminase treatment on the properties of cast films of soy protein isolates. *J. Biochnol.* 120: 296-307.
- Yang HJ, Noh BS, Kim JH, Min SC. 2011. Effects of a carbohydrase mixture, ultrasound, and irradiation treatments on the physical properties of defatted mustard meal-based edible films. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43: 30-38.
- Yang SB, Cho SY, Rhee C. 1997. Preparation of edible films from soybean meal. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 452-459.