

## 우럭 껍질 젤라틴 복합필름의 특성

— 연구노트 —

백송이 · 김혜리 · 송경빈

충남대학교 식품공학과

### Characterization of Rockfish Skin Gelatin Composite Films

Song-Ee Beak, Hyeri Kim, and Kyung Bin Song

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

**ABSTRACT** To resolve environmental pollution caused by synthetic packaging materials, biodegradable films have been studied as an alternative. In this study, we prepared rockfish skin gelatin (RFG) and nano-clay (Cloisite Na<sup>+</sup> and Cloisite 10A) composite films to compare the effects of nano-clay on the physical properties of RFG film. Gelatin was extracted from rockfish skin and used to prepare RFG film with sorbitol as a plasticizer. Tensile strength (TS), water vapor permeability (WVP), and water solubility (WS) of the RFG film were 15.0 MPa,  $2.70 \times 10^{-9}$  g m/m<sup>2</sup> s Pa, and 53.8%, respectively. Addition of nano-clay to the RFG film increased TS and decreased WVP and WS. The X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopic results suggest that RFG/nano-clay composite films formed an exfoliated structure. These results indicate that RFG/nano-clay composite films can be applied as biodegradable packaging materials in the food industry.

**Key words:** biodegradable film, composite film, nano-clay, rockfish skin

## 서 론

플라스틱 식품 포장 폐기물로 인한 환경오염의 대안으로 생분해성 포장재에 대한 연구가 수행되고 있다(1). 생분해성 포장재의 주원료는 다당류, 단백질과 같은 천연 고분자물질로서 환경 친화적이라는 특징이 있다(2). 그중에서도 젤라틴은 필름 형성 능력이 우수하고 재료를 쉽게 구할 수 있기 때문에 생분해성 포장재 원료로 많이 연구된다(3).

본 연구에서 필름 재료 source로 사용한 우럭은 한국 소비자들이 선호하는 어종으로 대부분 횡감으로 이용되기에, 부산물인 껍질은 이용되는 바가 없어 대부분 버려지고 있다. 특히 생선 껍질 등에 함유된 콜라겐을 가수분해하여 얻은 젤라틴으로 만든 필름은 물성이 우수하기에 기존 플라스틱 포장재의 대체재로서 주목받아 왔다(4). 그러나 젤라틴 필름이 우수한 물성을 지녔음에도 불구하고 높은 습도 조건에서는 수분을 흡수하는 등 단점이 있기에(5), 이러한 문제를 해결해야 할 필요가 있다.

최근 생분해성 필름의 물성과 수분에 대한 저항성을 향상하기 위한 목적으로 필름에 nano-clay를 혼합하여 제조하는 복합필름에 관한 연구가 이루어지고 있는데(6), nano-

clay의 종류에 따라 필름의 물성이 크게 달라질 수 있다(7). 특히 nano-clay의 친수성, 소수성 정도에 따른 단백질 필름과의 compatibility는 필름의 물성에 영향을 끼친다. 따라서 본 연구에서는 수산 가공 폐기물인 우럭 껍질로부터 젤라틴을 추출하여 제조한 생분해성 필름의 물성과 수분 저항성을 높이기 위한 목적으로 nano-clay를 혼합한 복합필름을 제조하여 그 특성을 연구하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료

본 실험에 사용된 우럭 껍질은 대전광역시 소재 수산물 도매시장에서 제공받아 사용하였다. Glycerol, fructose, sucrose, sorbitol은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA) 제품을 사용하였으며, nano-clay(Cloisite Na<sup>+</sup>, 10A)는 Southern Clay Co.(Gonzales, TX, USA)에서 구매된 제품을 사용하였다.

### 우럭 껍질 젤라틴(RFG) 추출

우럭 껍질을 약 3×3 cm 정도의 크기로 절단한 후 물로 세척하여 불순물을 제거하였다. 콜라겐을 제외한 단백질을 제거하기 위하여 우럭 껍질 100 g을 0.01 M NaOH 용액 1 L에 넣고 15분간 교반한 후 물로 3회 세척하였다. 처리한 우럭 껍질 100 g을 0.05 M acetic acid 용액 1 L에 넣고 15분간 교반한 후 물로 3회 세척하였다. 처리 후 우럭 껍질

Received 6 November 2016; Accepted 6 December 2016

Corresponding author: Kyung Bin Song, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

E-mail: kbsong@cnu.ac.kr, Phone: +82-42-821-6723

에 6배의 증류수를 넣고 70°C에서 3시간 동안 교반하여 젤라틴을 추출하였다. 추출 후 원심분리기로 10,000×g에서 30분간 원심분리 하여 얻은 상층액을 cheese cloth로 여과한 다음 동결건조 하였다(8). 우럭 껍질 젤라틴의 수율은 약 10% 내외였다.

#### Sodium dodecyl sulfate–polyacrylamide gel electrophoresis(SDS–PAGE)

SDS–PAGE는 Laemmli 등(9)의 방법을 수정하여 실시하였다. 사용된 separating gel은 7.5%, stacking gel은 5%로 제조하였고, 전기영동은 20 mA에서 수행하였다. Coomassie brilliant blue R-250(Bio-Rad Laboratories Inc., Hercules, CA, USA)을 사용하여 염색한 후 탈색하였다.

#### 필름 형성 용액 및 필름 제조

필름 형성 용액은 Bae 등(10)의 방법을 수정하여 제조하였다. Nano-clay 용액은 증류수에 3%의 sorbitol을 첨가하고 70°C에서 30분간 교반한 후 nano-clay의 최종 농도가 젤라틴 함량의 2, 4, 6, 8, 10%가 되도록 혼합하여 70°C에서 1시간 동안 교반하였다. 첨가한 nano-clay가 균일하게 혼합될 수 있도록 8,000 rpm에서 5분 동안 homogenization 하고, 7분간 sonication 하였다. 가소제 종류를 결정하기 위한 예비실험 결과(data not shown), glycerol, sorbitol, fructose, sucrose 중에서 가장 우수한 물성을 나타낸 sorbitol을 가소제로 결정하였다. 젤라틴 용액은 증류수에 10%의 젤라틴을 혼합한 후 50°C에서 100분 동안 교반하여 제조하였다. Nano-clay 용액과 젤라틴 용액을 동량 혼합하여 50°C에서 다시 30분간 교반한 후, homogenization, sonication, degassing, filtration 과정을 거쳐 필름 형성 용액을 제조하였다. 제조된 필름 용액을 petri-dish에 12 mL씩 분주한 후 실온에서 15시간 건조시켜 필름을 제조하였다.

#### 인장 강도 및 신장률

필름 시료(2.54×10 cm)의 물성인 인장강도(tensile strength, TS)와 신장률(elongation at break, E)은 ASTM Standard Method D882-91 방법에 따라 Instron Universal Testing Machine(Model 4484, Instron Co., Canton, MA, USA)을 사용하여 시료당 5번 반복 측정하였다.

#### 필름의 수분투과도와 수분용해도 측정

필름의 수분투과도(water vapor permeability, WVP)는 ASTM Standard Method E96-85 방법에 따라 측정하였다. 필름 시료(2×2 cm)의 수분 용해도(water solubility, WS)는 Song 등(11)의 방법에 따라 측정하였다.

#### X-ray diffraction analysis(XRD)

XRD 분석은 multipurpose X-ray diffractometer(D8

discover Diffractometer; Bruker AXS, Karlsruhe, Germany)를 이용하여 Cu radiation( $\lambda=1.54 \text{ \AA}$ ), 40 kV, 20 mA 조건에서 측정하였다. 측정 각도는  $2\theta=3\sim 45^\circ$ (scanning rate,  $1^\circ/\text{min}$ )였고, d-spacing 값은 Bragg's equation( $\lambda=2d \sin\theta$ )에 따라 계산하였다.

#### Scanning electron microscopy(SEM)

우럭 껍질 젤라틴과 nano-clay 복합필름의 표면과 단면 미세구조는 focused ion beam scanning electron microscope(LYRA3 XMU, Tescan, Brno, Czech Republic)를 사용하여 측정하였다. 필름은 백금으로 코팅한 후 표면은 1,000배율, 단면은 2,000배율로 측정하였다.

#### 통계 분석

실험 결과는 SAS 프로그램 version 8.2(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하여 분산분석과  $P<0.05$  유의 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였으며, 모든 실험 결과는 최소 3반복 이상 수행하였고 평균±표준편차로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

#### SDS–PAGE profile

우럭 껍질로부터 추출한 젤라틴의 분자량을 확인하기 위해서 SDS–PAGE 실험을 진행하였다(Fig. 1). 실험 결과 2개의 선명한 major band와 그 외 minor bands를 확인할 수 있었다. 두 개의 major band는 120과 250 kDa에 위치하고 있는데, 다른 종류인 catfish skin에서 젤라틴을 추출한 Zhang 등(12)의 연구 결과와 유사하였다. 특히 120 kDa band는 콜라겐의  $\alpha$ -chain, 250 kDa의 band는  $\beta$ -chain으

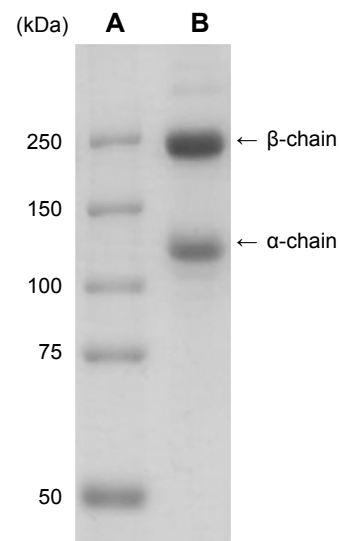


Fig. 1. SDS-PAGE profile of rockfish skin gelatin (RFG) extract. (A) Molecular weight marker, (B) RFG.

로, 우력 껍질 젤라틴은 전형적인  $\alpha$ -chain과  $\beta$ -chain을 가진 type I 콜라젠이라고 판단된다.

### 우력 껍질 젤라틴과 nano-clay 복합필름의 물성

젤라틴 필름은 다른 생분해성 필름보다 비교적 뛰어난 물성을 가지는데(13), nano-clay를 첨가함으로써 물성이나 수분 저항성이 더 증가한다는 것이 연구되었다(10). 본 연구에서는 nano-clay의 종류에 따른 복합필름의 물성을 비교하고자 대표적으로 친수성/소수성이 다른 Cloisite Na<sup>+</sup>와 10A를 사용하였다. Cloisite Na<sup>+</sup>가 natural bentonite로서 수분함량이 상대적으로 높아 hydrophilic 한 반면, Cloisite 10A는 dimethyl benzyl hydrogenated tallow(2MBHT)로 변형시킨 bentonite로 수분 함량이 적고 상대적으로 hydrophobic 한 성질을 갖는다.

RFG/nano-clay 복합필름의 TS와 E를 측정한 결과는 Table 1과 2에 나타내었다. Nano-clay(Cloisite Na<sup>+</sup>) 복합필름은 nano-clay 첨가량이 증가할수록 TS가 점차 증가하여, 8%를 첨가했을 때 30.7 MPa로 최대 TS 값을 가진 후 10% 첨가 필름에서는 다시 감소하는 결과를 보였다. 이러한 경향은 필름을 형성하는 polymer와 nano-clay가 고르게 분산되다가 일정 수준 이상의 수용 범위를 초과하면 nano-clay 분자끼리 서로 응집됨으로써 물성이 오히려 감소한 것으로 판단된다. Lim 등(14)의 연구 결과에서도 *Gelidium corneum*/nano-clay(Cloisite Na<sup>+</sup>, 30B) 복합필름에서 nano-clay 3% 첨가까지 TS가 증가하다가 그 이상의 농도로 혼합될 때 TS가 감소하여, 본 연구 결과와 일치하였다. 한편 복합필름의 E는 nano-clay 농도가 8%일 때 대조구인 288%에서 71.2%까지 감소하였다.

RFG/nano-clay(Cloisite Na<sup>+</sup>) 복합필름의 TS가 많이 증가하고 E가 감소한 것과는 대조적으로, RFG/nano-clay(Cloisite 10A) 복합필름의 TS와 E 결과는 nano-clay 첨가량에 따라 뚜렷한 경향 없이 다소 증가 혹은 감소하는 변화를 보였다. 이러한 차이는 Cloisite 10A가 Cloisite Na<sup>+</sup>과는 달리 RFG polymer와 잘 혼합되지 못하기 때문에 nano-clay 첨가량의 증가에 따른 차이가 나지 않는 것이며, 이러한 결과는 친수성인 젤라틴 폴리머에 분산되는 nano-clay의 친수성/소수성 성질 차이 때문이라고 판단된다(15).

### 우력 껍질 젤라틴과 nano-clay 복합필름의 수분 저항성

젤라틴 필름은 젤라틴 고유의 친수성 때문에 다른 단백질 필름에 비해 WVP가 높은 특징이 있고 필름 matrix 내 polymer chain 간격이 큰 구조적 특성을 가지기 때문에 물 분자가 더욱 쉽게 통과할 수 있다(13). RFG/nano-clay 복합필름의 WVP와 WS를 측정한 결과(Table 1, 2), nano-clay 첨가가 WVP를 감소시키는 효과를 나타내었는데 그 정도는 nano-clay type에 따라 다르게 나타났다. 소수성 nano-clay인 Cloisite 10A가 RFG 필름에 비해 WVP를 27% 감소시킨 반면, 친수성 nano-clay인 Cloisite Na<sup>+</sup>는 최대 44%까지 감소시켰다. 이는 친수성 nano-clay가 젤라틴 폴리머와 더욱 견고한 결합을 형성함으로써 물 분자의 확산을 차단하는 효과가 큰 것으로 판단된다. Nagarajan 등(15)의 연구 결과에 따르면 젤라틴 필름에 nano-clay를 첨가하게 되면 물 분자가 필름을 통해 확산되는 경로가 나노 입자들에 의해 가로막히면서 polymer matrix 내부에 구불구불한 경로(tortuous path)를 형성하여 물 분자의 확산을 지연시킨다고 보고하였고, 소수성을 가진 nano-clay의 경우에는 nano-

**Table 1.** Physical properties of RFG/nano-clay (Cloisite Na<sup>+</sup>) composite films

Cloisite Na <sup>+</sup> (%)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Water vapor permeability ( $\times 10^{-9}$ g m/m <sup>2</sup> s Pa)	Water solubility (%)
0	15.01 $\pm$ 2.97 <sup>d1)2)</sup>	288.36 $\pm$ 11.16 <sup>a</sup>	2.70 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	53.80 $\pm$ 3.41 <sup>a</sup>
2	21.46 $\pm$ 5.16 <sup>c</sup>	163.36 $\pm$ 15.82 <sup>b</sup>	2.11 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	41.11 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>
4	23.63 $\pm$ 4.27 <sup>bc</sup>	141.24 $\pm$ 9.58 <sup>c</sup>	2.08 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	39.14 $\pm$ 0.48 <sup>bc</sup>
6	26.75 $\pm$ 4.12 <sup>abc</sup>	109.68 $\pm$ 11.54 <sup>d</sup>	1.88 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	38.33 $\pm$ 0.42 <sup>c</sup>
8	30.74 $\pm$ 1.63 <sup>a</sup>	71.23 $\pm$ 8.90 <sup>e</sup>	1.72 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>	36.86 $\pm$ 1.33 <sup>c</sup>
10	29.54 $\pm$ 2.85 <sup>ab</sup>	101.61 $\pm$ 5.49 <sup>d</sup>	1.51 $\pm$ 0.14 <sup>e</sup>	33.44 $\pm$ 1.51 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Values are mean $\pm$ SD.

<sup>2)</sup>Values in a column followed by different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ).

**Table 2.** Physical properties of RFG/nano-clay (Cloisite 10A) composite films

Cloisite 10A (%)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Water vapor permeability ( $\times 10^{-9}$ g m/m <sup>2</sup> s Pa)	Water solubility (%)
0	15.01 $\pm$ 2.97 <sup>b1)2)</sup>	288.36 $\pm$ 11.16 <sup>ab</sup>	2.70 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	53.80 $\pm$ 3.41 <sup>a</sup>
2	18.63 $\pm$ 1.26 <sup>a</sup>	307.53 $\pm$ 25.96 <sup>a</sup>	2.41 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	48.89 $\pm$ 0.82 <sup>b</sup>
4	17.46 $\pm$ 2.41 <sup>ab</sup>	272.61 $\pm$ 14.62 <sup>bc</sup>	2.31 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	46.99 $\pm$ 2.38 <sup>bc</sup>
6	18.93 $\pm$ 1.50 <sup>a</sup>	260.00 $\pm$ 19.58 <sup>c</sup>	2.26 $\pm$ 0.080 <sup>bc</sup>	44.92 $\pm$ 2.41 <sup>bc</sup>
8	18.28 $\pm$ 0.92 <sup>a</sup>	273.18 $\pm$ 11.35 <sup>bc</sup>	2.14 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	42.72 $\pm$ 3.64 <sup>cd</sup>
10	16.23 $\pm$ 1.13 <sup>ab</sup>	253.78 $\pm$ 12.58 <sup>c</sup>	1.98 $\pm$ 0.15 <sup>d</sup>	39.43 $\pm$ 1.20 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Values are mean $\pm$ SD.

<sup>2)</sup>Values in a column followed by different superscript letters are significantly different ( $P < 0.05$ ).

clay 입자들이 서로 응집되기 때문에 친수성 nano-clay에 비해 WVP 감소 효과가 낮아진다고 설명하였다. Lim 등(14)의 연구 결과에서도 *Gelidium corneum*/ nano-clay 복합필름의 WVP가 nano-clay 첨가량이 증가할수록 감소하는 결과를 보였는데, 친수성을 가진 Cloisite Na<sup>+</sup> 복합필름이 소수성을 가진 Cloisite 30B보다 WVP를 더 감소시켜 본 연구 결과와 동일한 경향을 보였다. 또한, 본 연구에서의 RFG/nano-clay 복합필름의 WS 역시 친수성 nano-clay인 Cloisite Na<sup>+</sup>를 첨가한 필름의 water barrier 효과가 더 큰 것으로 나타났다. Cloisite Na<sup>+</sup> 복합필름의 WS가 53.8%에서 최대 33.4%로 감소하였고, Cloisite 10A 복합필름의 WS는 39.4%로 감소하였다.

### X-ray diffraction analysis(XRD)

XRD는 nano-clay 복합필름의 구조를 연구하는 데 가장 많이 사용되는 방법으로, 본 연구에서도 RFG/nano-clay 복합필름의 구조를 분석하기 위하여 XRD 분석을 하였다(Fig. 2). Nano-clay가 polymer에 분산되는 유형에 따라 삽입형 구조(intercalated structure)와 박리형 구조(exfoliated structure)로 나누는데, 삽입형 구조가 Bragg's equation에 의해 계산된 층간 공간(d-spacing)을 증가시켜 diffraction peak를 낮은 angle로 shift 시키는 반면, 박리형 구조는 nano-clay 입자가 polymer matrix에 균일하게 확산되어 층간 규칙성을 잃어버리고 분산된 상태를 가진다(13). 본 연구에서 Cloisite Na<sup>+</sup>는 7.10°( $d=12.4$  Å)와 19.7°( $d=4.49$  Å)에서 main peaks를 보였고 Cloisite 10A는 4.62°

( $d=19.1$  Å)에서 main peak를 보였는데, 이는 Lee 등(16)의 연구 결과와 유사하였다. 또한, nano-clay 복합필름에서는 첨가된 nano-clay 종류 및 농도 첨가량과는 상관없이 nano-clay Cloisite Na<sup>+</sup>과 10A 고유 peak 대신에 RFG film peak(19.8°,  $d=4.49$  Å)만이 나타나 peak의 angle shift가 측정되지 않았기에, nano-clay가 RFG polymer 내부에서 분산된 박리형 구조가 형성되었다고 판단된다. 이러한 XRD 실험 결과는 우럭 껍질 젤라틴 복합필름에서 첨가된 nano-clay와 젤라틴 간 분산 및 compatibility를 보여주는 것으로 복합필름의 물성과의 연관성을 시사한다. 특히 박리형 구조 형성 여부는 nano-clay 첨가 복합필름의 물성에 영향을 끼치는 주요 인자 중 하나이다.

### Scanning electron microscopy(SEM)

SEM을 이용하여 RFG/nano-clay 복합필름의 표면과 단면을 관찰함으로써 nano-clay가 RFG polymer 내부에 얼마나 균일하게 분산되었는가를 판단할 수 있다(Fig. 3). 필름의 표면 측정 결과 어떠한 구멍이나 갈라진 틈도 없었으며, 특히 RFG 필름의 표면은 아주 매끄러운 상태였다. 그리고 Cloisite Na<sup>+</sup> 복합필름의 표면은 nano-clay 입자가 고르게 분산되어 비교적 균일한 상태를 보인 반면, Cloisite 10A의 복합필름 표면에서는 다소 응집된 덩어리를 관찰할 수 있었다. 이것은 상대적으로 소수성을 가진 Cloisite 10A가 Cloisite Na<sup>+</sup>에 비해 상대적으로 잘 분산되지 못한 것을 나타낸다. RFG 필름의 단면 역시 뭉쳐지거나 갈라진 틈 없이 균일한 형태를 보였다. 또한, Cloisite Na<sup>+</sup> 복합필름의 경우

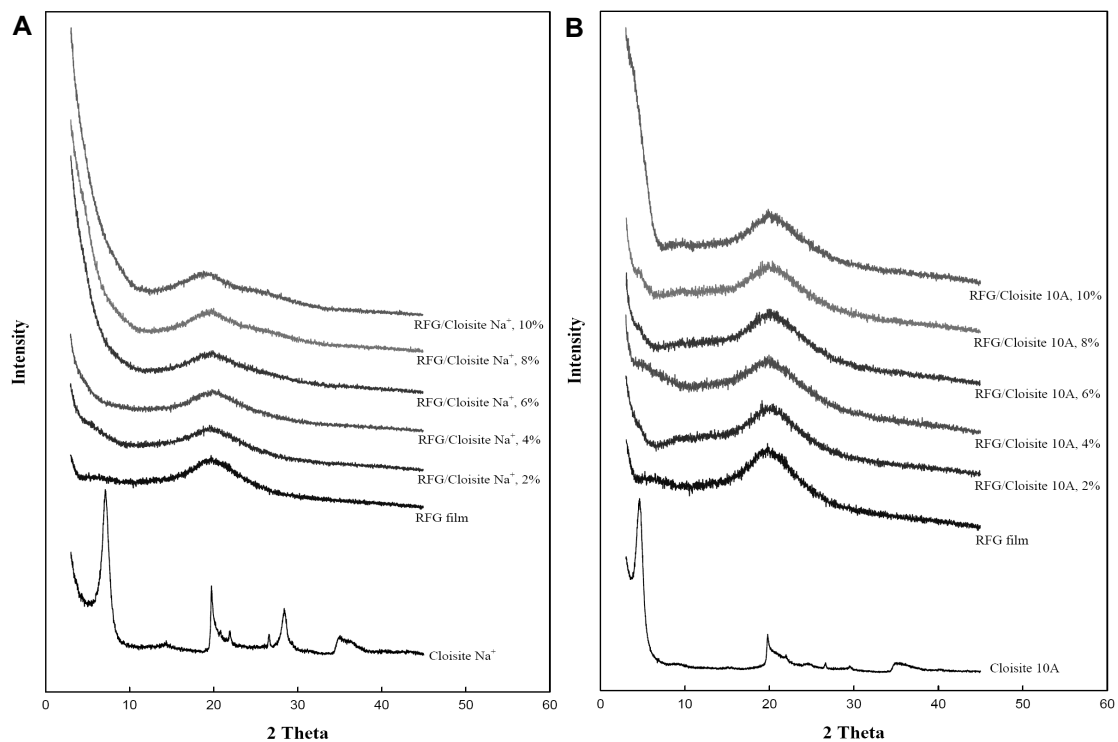
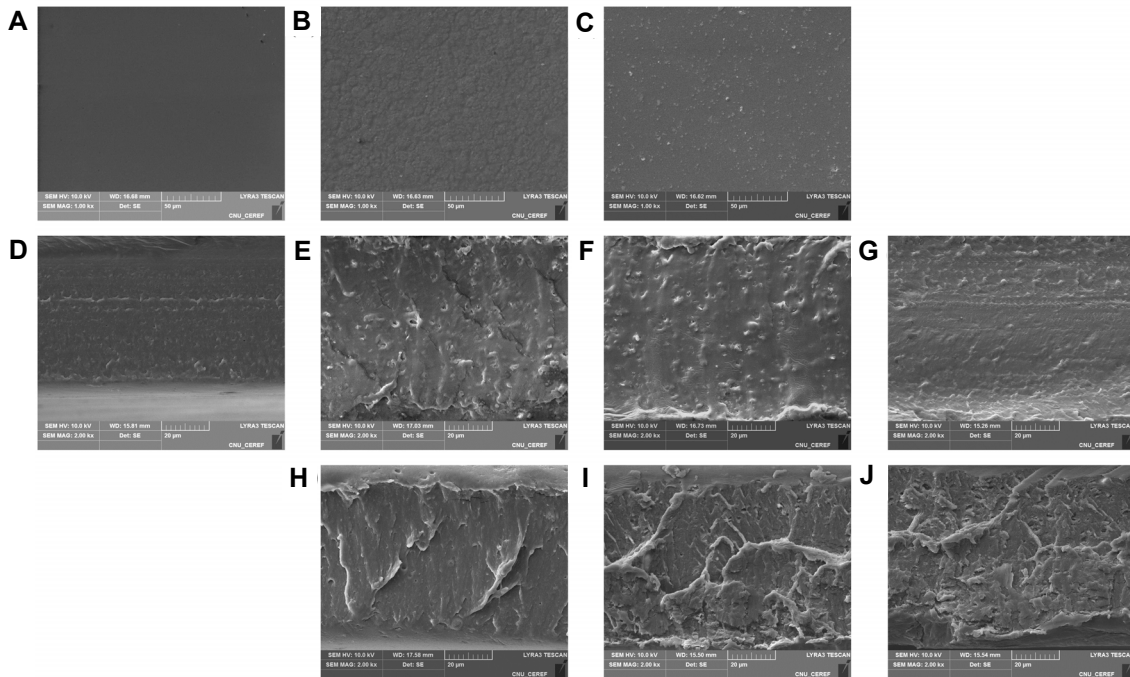


Fig. 2. XRD pattern of RFG/nano-clay composite films. (A) Cloisite Na<sup>+</sup> composite films, (B) Cloisite 10A composite films.



**Fig. 3.** SEM micrographs of RFG/nano-clay composite films ( $1,000\times$  for surface and  $2,000\times$  for cross-section). A~C, surface; D~J, cross-section. (A) RFG film, (B) Cloisite  $\text{Na}^+$  composite film, (C) Cloisite 10A composite film, (D) RFG film, (E) RFG/Cloisite  $\text{Na}^+$  2%, (F) RFG/Cloisite  $\text{Na}^+$  6%, (G) RFG/Cloisite  $\text{Na}^+$  10%, (H) RFG/Cloisite 10A 2%, (I) RFG/Cloisite 10A 6%, (J) RFG/Cloisite 10A 10%.

에는 nano-clay의 첨가량이 증가할수록 뭉쳐진 덩어리 없이 더욱 균일화된 상태를 보였는데, 이것은 RFG polymer와 nano-clay 사이에 강한 결합을 이루고 있기 때문에 TS와 같은 물성이 증가한 것이라고 판단된다. 반면에 Cloisite 10A 복합필름의 단면은 필름 내부의 polymer chain이 뭉쳐져 있는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 RFG polymer와 소수성을 가진 nano-clay가 일부 응집되어 젤라틴 네트워크를 다소 방해하기 때문이라고 생각된다(17). 따라서 polymer 내부에 nano-clay 분산 및 결합 정도가 Cloisite  $\text{Na}^+$  복합필름에 비해 상대적으로 불안정하여 낮은 물성과 수분저항성을 가지게 된 것이라고 생각된다.

결론적으로 본 연구 결과 필름을 형성하는 polymer와 유사한 성질을 가진 nano-clay를 혼합하여 복합필름을 제조하는 것은 물성과 수분저항성을 향상시키는 효과를 가지기 때문에 생분해성 포장재 개발에 충분히 응용될 수 있음을 시사한다. 더불어 nano-clay를 첨가한 생분해성 포장재의 실용화를 위해서는 nano-clay type의 분자적 특성과 활용방안, 다양한 polymer와의 상호작용에 대한 추가적인 연구가 더 필요하다고 판단된다.

## 요 약

플라스틱 포장 폐기물로 인한 환경오염을 해결하기 위한 대안으로 생분해성 필름이 많이 연구되어 왔다. 본 연구에서는 우럭 껍질 젤라틴(RFG)과 nano-clay(Cloisite  $\text{Na}^+$ , 10A)

의 복합필름의 특성에 관하여 연구하였다. 우럭 껍질로부터 젤라틴을 추출하여 sorbitol을 가소제로서 첨가한 단백질 필름을 제조하였고, 제조된 RFG 필름의 tensile strength (TS), water vapor permeability(WVP), water solubility (WS)는 각각 15.0 MPa,  $2.70\times 10^{-9}$  g/m<sup>2</sup> s Pa, 53.8%였다. RFG에 nano-clay를 첨가한 복합필름은 TS가 증가하고 WVP와 WS는 감소하였다. XRD 분석과 SEM 측정 결과를 통하여 RFG/nano-clay 복합필름 내부에 박리형 구조를 형성함을 확인할 수 있었다. 결론적으로 본 연구 결과 RFG/nano-clay 복합필름은 생분해성 포장재로 적용될 수 있음을 시사한다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 지원(NRF-2015R1D1A1A01058736)에 의한 것으로 감사를 드립니다.

## REFERENCES

1. Yang HJ, Lee JH, Won M, Song KB. 2016. Antioxidant activities of distiller dried grains with solubles as protein films containing tea extracts and their application in the packaging of pork meat. *Food Chem* 196: 174-179.
2. Rostamzad H, Paighambari SY, Shabanpour B, Ojagh SM, Mousavi SM. 2016. Improvement of fish protein film with nanoclay and transglutaminase for food packaging. *Food Packag Shelf Life* 7: 1-7.

3. Bae HJ, Park HJ, Hong SI, Byun YJ, Darby DO, Kimmel RM, Whiteside WS. 2009. Effect of clay content, homogenization RPM, pH, and ultrasonication on mechanical and barrier properties of fish gelatin/montmorillonite nanocomposite films. *LWT—Food Sci Technol* 42: 1179-1186.
4. Gómez-Guillén MC, Pérez-Mateos M, Gómez-Estaca J, López-Caballero E, Giménez B, Montero P. 2009. Fish gelatin: a renewable material for developing active biodegradable films. *Trends Food Sci Tech* 20: 3-26.
5. Nagarajan M, Benjakul S, Prodpran T, Songtipya P. 2014. Characteristics of bio-nanocomposite films from tilapia skin gelatin incorporated with hydrophilic and hydrophobic nanoclays. *J Food Eng* 143: 195-204.
6. Nagarajan M, Benjakul S, Prodpran T, Songtipya P. 2015. Effects of pHs on properties of bio-nanocomposite based on tilapia skin gelatin and Cloisite Na<sup>+</sup>. *Int J Biol Macromol* 75: 388-397.
7. Sothomvit R, Rhim JW, Hong SI. 2009. Effect of nano-clay type on the physical and antimicrobial properties of whey protein isolate/clay composite films. *J Food Eng* 91: 468-473.
8. Lee JH, Lee JH, Yang HJ, Won M, Song KB. 2015. Characterisation of jellyfish protein films with added transglutaminase and wasabi extract. *Int J Food Sci Technol* 50: 1683-1689.
9. Laemmli UK. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680-685.
10. Bae HJ, Darby DO, Kimmel RM, Park HJ, Whiteside WS. 2009. Effects of transglutaminase-induced cross-linking on properties of fish gelatin-nanoclay composite film. *Food Chem* 114: 180-189.
11. Song NB, Lee JH, Mijan MA, Song KB. 2014. Development of chicken feather protein film containing clove oil and its application in smoked salmon packaging. *LWT—Food Sci Technol* 57: 453-460.
12. Zhang S, Wang Y, Herring JL, Oh JH. 2007. Characterization of edible film fabricated with channel catfish (*Ictalurus punctatus*) gelatin extract using selected pretreatment methods. *Food Chem Toxicol* 72: C498-C503.
13. Song HY, Jo WS, Song NB, Song KB. 2012. Preparation of defatted grape seed meal protein composite films. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1274-1280.
14. Lim GO, Jang SA, Song KB. 2010. Physical and antimicrobial properties of *Gelidium corneum*/nano-clay composite film containing grapefruit seed extract or thymol. *J Food Eng* 98: 415-420.
15. Nagarajan M, Benjakul S, Prodpran T, Songtipya P. 2014. Properties of bio-nanocomposite films from tilapia skin gelatin as affected by different nanoclays and homogenizing conditions. *Food Bioprocess Tech* 7: 3269-3281.
16. Lee JH, Song NB, Jo WS, Song KB. 2014. Effects of nano-clay type and content on the physical properties of sesame seed meal protein composite films. *Int J Food Sci Technol* 49: 1869-1875.
17. Song NB, Jo WS, Song HY, Chung KS, Won M, Song KB. 2013. Effects of plasticizers and nano-clay content on the physical properties of chicken feather protein composite films. *Food Hydrocolloid* 31: 340-345.