

## 능동 식품 포장을 위한 Poly(vinyl alcohol)/Tannin 블렌드 필름의 제조 및 특성분석

김성민 · 최윤혁 · 김태인 · 이초록 · 채동욱\* · 전종영\* · 최재우\* · 신봉섭\* · 김민희\*<sup>†</sup> · 박원호<sup>†</sup>

충남대학교 유기응용재료공학과

\*경북대학교 섬유패션디자인학부(섬유공학전공)

(2024년 4월 9일 접수, 2024년 6월 3일 수정, 2024년 6월 5일 채택)

### Preparation and Characterization of Poly(vinyl alcohol)/Tannin Blend Film for Active Food Packaging

Sung-Min Kim, Yun Hyeok Choi, Tae In Kim, Cho Rok Lee, Dong Wook Chae\*, Jong-Young Jeon\*, Jae-Woo Choi\*, Bong-Seob Shin\*, Min Hee Kim\*<sup>†</sup>, and Won Ho Park<sup>†</sup>

Department of Organic Materials Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

\*Department of Textile Engineering, Kyungpook National University, Sangju 37224, Korea

(Received April 9, 2024; Revised June 3, 2024; Accepted June 5, 2024)

**초록:** 식품산업의 당면 과제는 식품의 운송, 보관 및 소비의 전 과정에서 기존 식품의 품질을 유지하거나 향상시키는 것이다. 따라서, 식품 포장업계에서는 스마트 패키징 기술에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 한 예로 최근 바이오고분자의 접근성, 생체적합성, 생분해성, 무독성 등의 특성을 활용하여 바이오소재 기반 식품 패키징 기술이 시도되고 있다. 본 연구에서는 환경친화적이며 필름형성능이 우수한 poly(vinyl alcohol) (PVA)에 항산화 및 항균 활성을 가지는 천연 폴리페놀 화합물인 tannic acid (TA)를 혼합하여, 식품의 유통기한을 연장할 수 있는 능동형 식품 포장 필름을 개발하였다. 블렌드 필름은 간단한 용액 성형방식으로 제조되었으며, 식품의 부패방지에 도움이 될 수 있는 항산화 및 항균 특성을 분석한 다음, 실제 변색이 쉽게 일어나는 바나나를 포장하여 식품 부패방지 특성을 값 변 현상과 중량 감소를 통해 평가하여 식품 보관능력이 향상되었음을 확인하였다.

**Abstract:** The challenge for the food industry is to maintain or improve the quality of food products throughout the entire process of transportation, storage and consumption of foods. Hence, smart packaging technologies are actively studied in the food packaging industry. For instance, biomaterial-based food packaging technologies have been attempted in recent years owing to the abundance, biocompatibility, biodegradability, and non-toxicity of biopolymers. In this study, an active packaging film that can extend the shelf life of food was developed by blending tannic acid (TA), a natural polyphenolic compound with antioxidant and antibacterial activities, with poly(vinyl alcohol) (PVA), which is eco-friendly and has an excellent film-forming ability. The blend film was prepared via a simple solution-casting method, and its antioxidant and antibacterial properties, which can delay food spoilage, were evaluated. In addition, the anti-spoilage ability was evaluated in terms of browning and weight loss by packaging bananas, which are easily discolored during storage. Therefore, the PVA/TA blend film was found to extend the storage period of food.

**Keywords:** poly(vinyl alcohol), tannic acid, solution casting, active food packaging films.

## 서 론

오늘날 식품 포장용 재료는 폴리에틸렌과 같은 석유 기반 고분자가 주로 사용되고 있다. 이러한 플라스틱 포장재는

COVID-19 이후 사용량이 급증하였으며, 2022년 6차 전국폐기물통계조사에 따르면 플라스틱 포장재의 배출량은 1인당 1일 평균 20.56 g이 배출되었으며 이는 전체 재활용 가능한 자원의 배출량인 308.84 g의 약 7%에 해당하는 규모이다.<sup>1</sup> 플라스틱 폐기물의 발생은 점점 증가하는 추세이며, 2030년에는 연간 6,475천 톤의 플라스틱 폐기물이 발생될 것으로 예측하고 있다.<sup>2</sup> 이러한 플라스틱 포장재는 대부분 소각 또는 매립 등을 통해 처리되며, 대기, 수질, 토양오염 등 다양한 환경오

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
parkwh@cnu.ac.kr, ORCID<sup>®</sup>0000-0003-1768-830X  
mhkim88@knu.ac.kr, ORCID<sup>®</sup>0000-0002-1428-3991  
©2024 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

염을 초래할 수 있다. 식품 포장의 궁극적인 목표는 생산 시에 온실가스를 배출하지 않아야 하며, 매립 쓰레기의 발생과 공기오염의 발생을 최대한 줄이는데 있다.<sup>3</sup> 최근, 다양한 매체를 통해서 소비자들은 이러한 환경오염문제를 쉽게 접할 수 있게 되었고, 소비자들의 인식이 높아짐에 따라 스마트 패키징 기술의 개발이 활발하게 시도되고 있다. 스마트 패키징 기술은 능동 포장(active packaging), 지능형 포장(intelligent packaging), 식용 포장(edible packaging)으로 나눌 수 있다. 능동 포장은 식품의 산화를 방지하고 미생물의 성장을 억제하여 식품의 품질을 일정하게 유지할 수 있는 포장 기술을 의미한다.<sup>4</sup> 이러한 능동 포장은 기능에 따라서 식품 부패 시 발생하는 산소와 에틸렌을 흡착하여 제거하거나<sup>5</sup> 생리활성물질을 방출하여<sup>6</sup> 식품의 부패를 효과적으로 억제할 수 있고, 이를 통해 유통기한을 연장시킬 수 있다. 또한, 지능형 포장은 능동 포장과 달리 식품의 유통기한과 품질을 향상시킬 수는 없지만 품질의 변화와 부패를 감지하여 소비자에게 전달할 수 있는 기술을 의미한다.<sup>7</sup> 이러한 지능형 포장은 신선도를 감지할 수 있는 방법에 따라서 시간-온도 표시계,<sup>8</sup> 습도와 산소 감지기<sup>9</sup> 또는 pH 감지기의<sup>10</sup> 형태로 구분할 수 있다. 이러한 방식을 통해 소비자에게 직접적으로 식품의 상태와 신선도에 대한 정보를 제공할 수 있다. 마지막으로 식용 포장은 인간이 직접 섭취했을 때 건강에 위험이 없는 포장 기술을 의미 한다.<sup>11</sup> 이러한 식품 포장은 식용이 가능한 천연고분자를 이용하며, 고분자의 성분에 따라서 다당류,<sup>12,13</sup> 단백질,<sup>14</sup> 지질<sup>15</sup> 기반의 포장으로 구분된다.

본 연구에서는 친수성 합성고분자인 poly(vinyl alcohol) (PVA)를 능동 포장용 필름의 매트릭스로 사용하였다. PVA는 선형의 반결정성 고분자로 무독성, 생체적합성을 가진다.<sup>16</sup> 또한 가수분해도와 분자량에 따라서 물성이 달라지는 특성을 가지고 있다.<sup>17</sup> PVA는 필름 및 섬유 형성능이 우수하며,<sup>18,19</sup> 스마트 패키징 분야에서 주로 사용되는 고분자재료이다. 이

러한 PVA에 항산화 및 항균 특성을 부여하기 위해 tannic acid(TA)를 도입하고자 하였다. TA는 대장균과 황색포도상구균을 포함하는 그람 양성균과 그람 음성균에 대한 높은 항균 활성을 갖는 천연 폴리페놀 화합물이다.<sup>20,21</sup> TA는 5개의 카테콜기와 갈롤기를 가지고 있어 수소결합,  $\pi$ - $\pi$  결합, 배위결합 등 다양한 결합이 가능하다.<sup>22</sup> 따라서, 본 연구에서는 PVA에 높은 함량의 TA를 도입하기 위해 증류수/에탄올의 혼합용매를 사용하여 PVA/TA의 블렌드 용액을 제조한 뒤, 간단한 용액 성형방식으로 능동 식품포장용 필름을 제조하였다. 제조한 블렌드 필름의 구조적, 기계적 및 열적 특성을 분석하였고, 항산화 및 항균 특성을 평가한 다음, 마지막으로 바나나를 직접 포장하여 능동 식품포장재로의 적용가능성을 확인하였다 (Figure 1).

### 실 험

**재료.** PVA( $M_w$ : 31000-50000 g/mol, degree of saponification: 98-99%)와 TA는 Sigma-Aldrich Co.(St Louis, MO, USA)에서 구입하였다. 에탄올(EtOH, 99.5%)은 Samchun Chemical Co.(Seoul, Korea)에서 구입하였으며, 2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) (free radical form, purity: 95%)는 Alfa Aesar Co., Ltd.(Tianjin)에서 구입하였다. 바나나는 시중에서 판매되는 것을 사용하였으며, 모든 화학 물질은 추가 정제 없이 받은 그대로 사용하였다.

**PVA/TA/Glycerol(PTG) 블렌드 필름의 제조방법.** PTG 블렌드 필름은 용액 성형공정을 통해 제조되었다. 먼저, 증류수 (90 °C)에 PVA를 10 wt% 농도로 2시간 동안 용해시켜 PVA 용액을 제조하였다. 준비된 PVA 용액을 상온에서 1시간 냉각시킨 뒤, PVA/TA 간의 수소결합에 의한 침전물 형성을 억제하기 위해 증류수/에탄올의 혼합용매 비율이 6:4가 되도록 에탄올 및 TA 분말 5 wt%를 첨가하여 12시간 동안 용해시

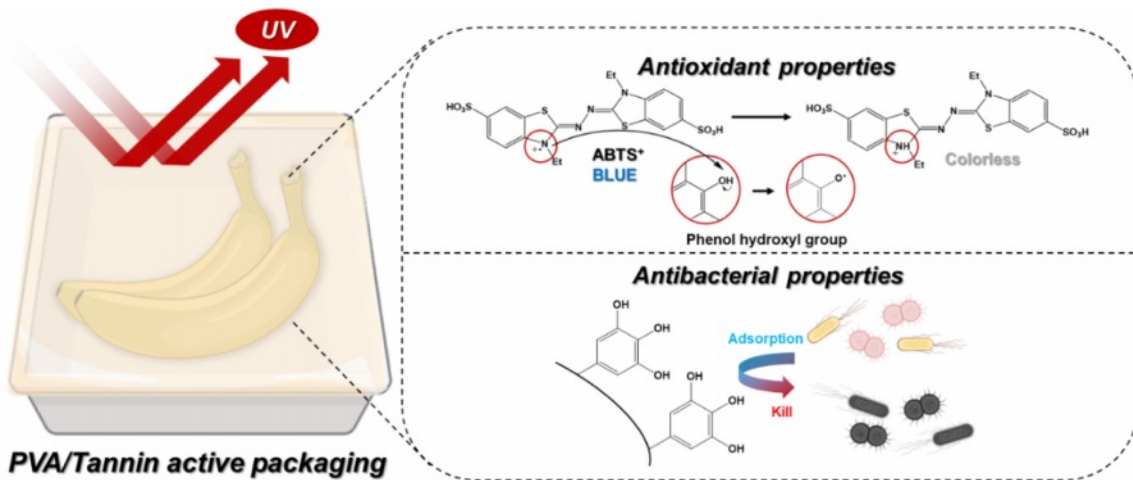


Figure 1. Schematic of the UV protection, antioxidant, and antibacterial properties of PTG active packaging films.

**Table 1. Composition of PVA and PTG Active Packaging Films**

Sample	PVA	TA	Glycerol
PVA	10 wt%	-	-
PTG	10 wt%	5 wt%	5 wt%

켜 PVA/TA 블렌드용액을 제조하였다. Glycerol은 필름의 가소화를 위해 5 wt% 첨가되었다. 제조된 PVA 및 블렌드 용액을 petri dish(지름: 90 mm)에 약 10 mL 캐스팅한 후 상온에서 24시간 동안 건조하였으며, 제조된 필름은 각 pristine PVA 및 PTG라고 명명하였다. 필름의 내수성을 향상시키기 위해 100 °C에서 30분간 열처리하였으며, 열처리된 필름은 각 heat-treated PVA 및 PTG로 명명하였다. 각 필름에 포함된 PVA, TA 및 glycerol의 함량은 다음 Table 1에 제시하였다.

**PTG 블렌드 필름의 구조분석.** PTG 블렌드 필름의 화학 구조는 attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy(ATR-FTIR, ALPHA-P, Bruker, USA)을 사용하여 분석하였다. ATR-FTIR 분석을 통해 필름에 TA가 성공적으로 도입되었는지를 확인하였으며, 4 cm<sup>-1</sup>의 분해능에서 200회 스캔하여 4000-400 cm<sup>-1</sup>의 스펙트럼 범위에서 분석하였다.

**PTG 블렌드 필름의 광학특성 분석.** PTG 블렌드 필름의 광투과율은 UV-Vis spectrophotometer(UV, UV-2450, Shimadzu, Japan)를 통해 측정하였다. 필름의 투과율은 직사각형 모양(3 × 6 cm)의 필름을 슬라이드 글라스에 부착하여 측정하였다. 필름의 투명도는 9 × 9 cm의 크기로 준비된 필름을 CNU 이니셜 로고 위에 배치하여 관찰하였다.

**PTG 블렌드 필름의 기계적 물성 평가.** PTG 블렌드 필름의 기계적 물성은 texture analyzer(EZ-SX, 500 N, Shimadzu, Japan)을 통해 1 mm/s의 속도로 인장하면서 평가하였다. 필름은 1 × 5 cm 크기로 준비하였으며, 각 5회 측정하여 인장강도(tensile strength, MPa)와 파단신도(elongation at break, %)를 구하였다.

**PTG 블렌드 필름의 항산화능 평가.** PTG 블렌드 필름의 항산화 활성은 ABTS assay를 통해 평가하였다. ABTS(7 mM)와 potassium persulfate(2.4 mM) 용액을 1:0.5(v/v) 비율로 혼합하여 ABTS 용액을 제조하고 ABTS 용액을 증류수로 희석하여 734 nm에서 0.7(±0.1)의 흡광도를 나타내도록 조정하였다. 약 2 mg의 필름을 ABTS 용액 5 mL에 10분 동안 침지한 후, ABTS 용액의 흡광도를 측정하였다. 대조군으로는 순수한 ABTS 용액을 사용하였고, 734 nm에서 용액의 흡광도 차이를 바탕으로 라디칼 제거능을 분석하였다. 필름의 항산화능력은 다음과 같은 식을 통해 계산되었다.

$$\text{Antioxidant activity (\%)} = (A_c - A_s) / A_c \times 100 \quad (1)$$

여기서  $A_c$ 와  $A_s$ 는 각각 시료가 있는 경우와 없는 경우의 ABTS

용액의 흡광도를 의미한다.

**PTG 블렌드 필름의 항균성 평가.** PTG 블렌드 필름의 항균 활성을 측정하기 위해 그람 음성균인 대장균(*E. coli*, ATCC 25922)과 그람 양성균인 황색포도상구균(*S. aureus*, ATCC 23235)을 사용하였다. *E. coli* 및 *S. aureus* 모두 37 °C의 호기성 조건에서 밤새 교반하면서 성장시켰다. 그 후, *E. coli* 및 *S. aureus* 현탁액 1 mL를 각각 phosphate-buffered saline(PBS)에 첨가하고 실온에서 vortexing하였다. 한천 플레이트를 제조하기 위해 500 mL의 증류수에 한천 7.5 g과 영양소 4 g을 첨가하여 100 °C에서 2시간 동안 300 rpm으로 교반 시켰다. 이렇게 제조된 한천 용액을 petri dish에 부은 뒤, 곧바로 냉각시켜 한천 플레이트를 준비하였다. 그 후,  $5 \times 10^5$  cfu의 *E. coli* 및 *S. aureus*를 한천 플레이트에 도포하여 13 mm 직경의 디스크 모양의 필름을 박테리아가 분포된 플레이트에 로딩하였으며, 37 °C에서 24시간 동안 배양하였다. 필름의 항균 활성은 inhibition zone의 직경을 측정하여 비교하였다.

**PTG 블렌드 필름의 식품 포장능력 평가.** PTG 블렌드 필름의 식품포장 능력을 평가하기 위해 바나나를 포장한 다음 갈변현상 및 중량감소율을 관찰하였다. 먼저, 증류수로 바나나의 표면을 세척한 뒤, 수분을 제거하고 PET 용기에 넣어 PTG 블렌드 필름으로 용기를 밀봉하였다. 포장된 바나나는 상온에서 7일간 보관하였으며, 매일 중량감소율을 측정하였고 1, 4, 7 일마다 바나나의 갈변현상을 관찰하였다. 시간 경과에 따른 중량감소율은 다음과 같은 식을 통해 계산하였다.

$$\text{Weight loss (\%)} = (W_0 - W_t) / W_0 \times 100 \quad (2)$$

이때  $W_0$ 는 포장 전 바나나의 무게이며,  $W_t$ 는 t일 후 감소된 바나나의 무게이다.

**통계분석.** 모든 정량적 데이터는 평균 ± 표준편차(SD)로 표시하였다. 결과는 one-way analysis of variance(ANOVA)을 사용하여 분석한 후 Tukey's post hoc test로 분석하였다.

## 결과 및 토론

**PTG 블렌드 필름의 구조적 특성.** ATR-FTIR을 통해 PTG 블렌드 필름의 구성물질 간의 상호작용을 관찰하여 TA가 성공적으로 혼합되었는지 확인하였다. TA와 glycerol을 함유한 블렌드 필름의 ATR-FTIR 스펙트럼을 보면 TA의 특징적인 피크에 해당하는 1711 cm<sup>-1</sup>에서의 에스터기의 C=O 신축진동, 1607 cm<sup>-1</sup>와 1442 cm<sup>-1</sup>에서 나타난 aromatic C-O의 대칭 신축진동 및 C=C의 신축진동이 관찰되었다(Figure 2). 또한, 기존 PVA 단독 필름의 3275 cm<sup>-1</sup>에서 나타났던 OH 신축진동의 피크가 TA와 glycerol이 첨가됨에 따라서 더 낮은 파장인 3267 cm<sup>-1</sup>로 이동하였고, 1711 cm<sup>-1</sup>에 위치하던 TA의 C=O 신축진동 또한 더 낮은 파장으로 이동하였다. 이를 통해 TA와 glycerol과 PVA 간의 수소결합이 형성되었음을 확인하였

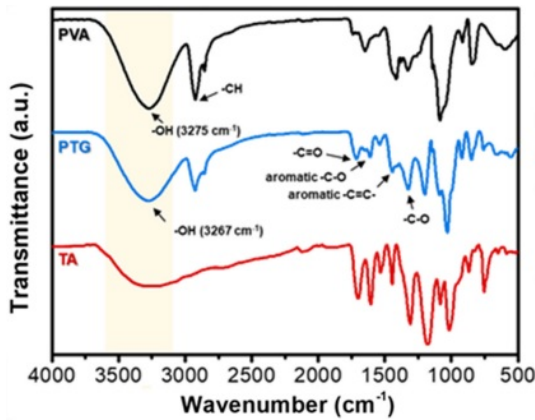


Figure 2. ATR-FTIR spectra of PVA, TA and PTG blend films.

고 이를 통해 블렌드 필름이 성공적으로 형성되었다는 것을 알 수 있었다.

**PTG 블렌드 필름의 내수성 평가.** PTG 블렌드 필름의 경우 구성물질이 PVA, TA, glycerol로 모두 친수성 재료이기 때문에 내수성이 약하다는 단점이 존재한다. 따라서, 열처리를 통해 결정성을 향상시켜 블렌드 필름의 내수성과 형태안정성을 향상시킬 필요가 있었다. 이를 위해 100 °C에서 30분간 열처리를 진행하였으며, 열처리의 효과를 증류수에 10분간 침지시킨 후의 형태안정성을 관찰하여 비교하였고, 접촉각 측정을 통해 친수성의 변화를 평가하였다. Figure 3(a)는 열처리 전후의 PTG 블렌드 필름을 증류수에 10분간 침지시킨 후 꺼내어 형태안정성을 비교한 사진이다. Pristine PTG 블렌드 필름의 경우, 물에 침지시킨 직후 즉시 물이 침투하여 팽윤된 것을 알 수 있다. 그러나, Heat-treated PTG 블렌드 필름은 10분이 지난 시점에도 초기의 형태안정성과 차이가 크지 않았으며, Figure 3(b)의 열처리 전후의 PVA와 PTG 블렌드 필름의 접촉각 변화를 나타낸 사진 또한 pristine PVA 필름은 접촉각이 58.0°에서 72.7°로 14.7° 증가하였고, PTG 블렌드 필름은 32.6°에서 45.0°로 12.4° 증가하여 친수성이 감소하고 내수성이 향상되었다. 초기 pristine PVA 필름과 PTG 블렌드 필름의 접촉각이 차이가 나는 이유는 PTG의 경우 친수성 재료인 TA와 glycerol이 추가적으로 도입되었기 때문에 상대적으로 더욱 친수성을 가지기 때문이다.

**PTG 블렌드 필름의 광학적 특성.** 초기 pristine PVA 및 PTG 블렌드 필름과 열처리한 PVA, PTG 블렌드 필름의 외관을 나타낸 Figure 4(a)에서는 열처리 전후의 외관의 큰 차이가 나타나지 않았으며 모두 매끄럽고 균일한 표면을 가졌다. 따라서, 이는 열처리가 필름 형태에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다.

자외선은 식품의 운송 및 보관 과정에서 식품의 품질에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서, 자외선 차단 특성은 농동 식품 포장에 있어서 중요한 특성으로 여겨진다. 자외선은 파장에

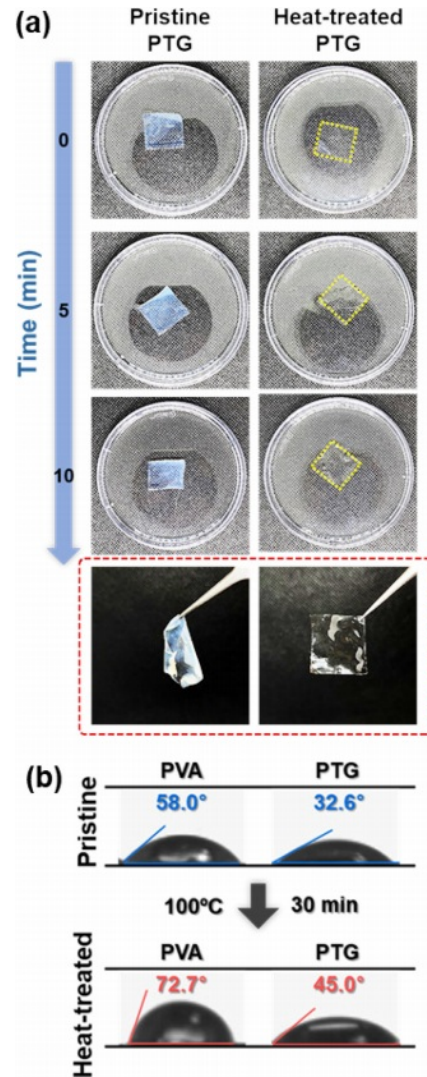
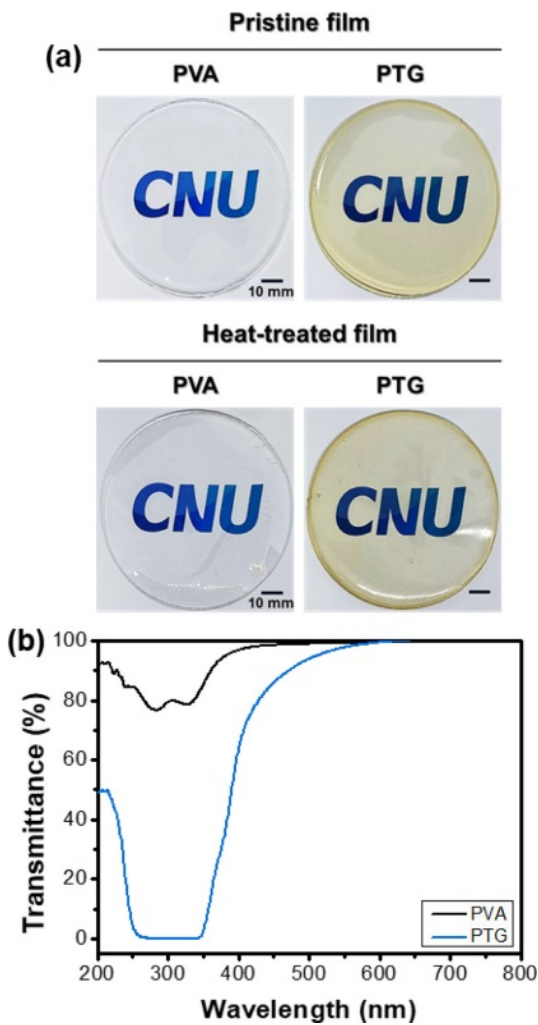


Figure 3. Photographs showing the stability of PTG blend film with and without heat treatment: (a) after being immersed in DI water; (b) contact angle.

따라서 UVC, UVB, UVA로 분류되며, 이때 PTG 블렌드 필름은 기존 PVA 필름에서 높은 투과도를 나타내는 UVA 영역인 400 nm에서의 투과율을 급격히 감소시켰으며 UVB 영역에서는 자외선을 완전히 차단하는 것을 볼 수 있다(Figure 4(b)). 또한, 필름의 투명도는 필름 뒷면의 적힌 로고 글씨를 육안으로도 쉽게 판단할 수 있을 정도이므로 우수한 투과성을 가진다고 볼 수 있다. 이는 블렌드 필름에 존재하는 TA가 UV 차단 특성을 향상시켰으며, 또한 가시광선 영역에서는 PVA 필름과 비교하였을 때에도 여전히 높은 투명도를 유지하기 때문에 밀폐된 식품의 가시화를 방해하지 않았다는 것을 알 수 있었다.

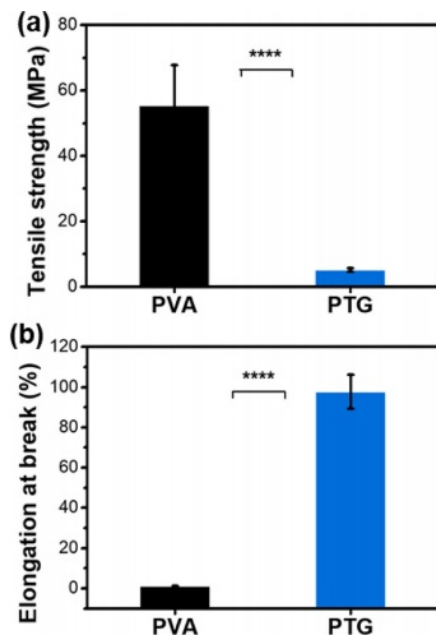
**PTG 블렌드 필름의 기계적 물성.** 기계적 물성은 식품의 유통, 보관, 소비의 전 과정에서 외부 스트레스를 견딜 수 있



**Figure 4.** (a) Visual appearance; (b) UV-vis light transmittance of PTG blend films.

어야 하므로 식품포장에 있어서 중요한 특성 중 하나이다. 파단신도(%)와 인장강도(MPa)는 기계적 물성에서 주로 사용되는 대표적인 두 가지 매개변수이다. PVA 단독 필름의 경우, 인장강도는 약 55.4 MPa로 상대적으로 높은 값을 보였지만, 파단신도는 매우 낮은 값인 0.9%를 나타내었다. 이러한 필름의 낮은 취성을 개선하기 위해 glycerol이 도입된 PTG 블렌드 필름의 경우에는 인장강도는 5.0 MPa로 상대적으로 감소되었지만, 파단신도는 97.7%로 매우 큰 폭으로 증가하였다(Figure 5). 이는 식품포장용 필름으로 활용하기에 보다 적합하다고 할 수 있다.

**PTG 블렌드 필름의 항산화 및 항균 특성.** 포장 환경 내에서 식품의 부패를 방지할 수 있는 항산화능을 ABTS assay를 통해 평가하였다. 이 실험은 식품, 화장품, 약물 등의 다양한 분야에서 항산화물질의 측정에 사용되는 방법으로 기존 ABTS 라디칼 양이온이 항산화물질에 의해 소거되면 734 nm

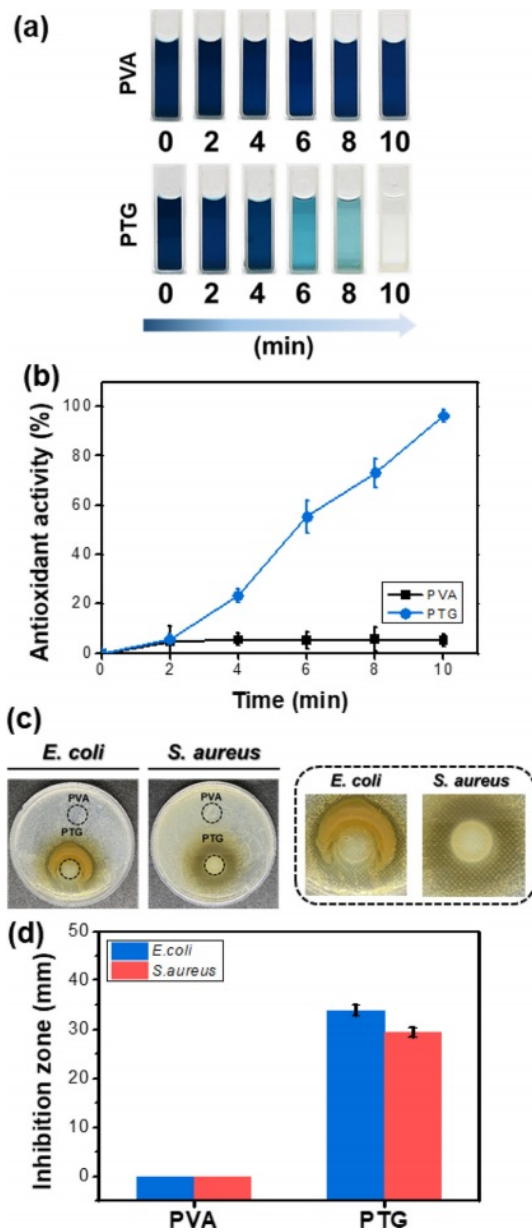


**Figure 5.** Mechanical properties of the PTG blend films: (a) tensile strength; (b) elongation at break (n=5) (\* $p \leq 0.05$ , \*\* $p \leq 0.01$ , \*\*\* $p \leq 0.001$ , and \*\*\*\* $p \leq 0.0001$ ).

에서 나타나는 라디칼 양이온의 고유한 흡수피크가 사라지며, 이는 육안으로 보라색에서 무색으로 변하는 것을 통해서도 확인할 수 있다. Figure 6(a)는 이러한 과정을 PVA와 PTG 시료를 비교한 사진으로, PVA의 경우에는 항산화작용이 일어나지 않아 색상변화가 나타나지 않았지만, PTG 시료의 경우 색이 점점 투명해지다가 10분이 지난 시점에서 완전히 무색으로 변한 것을 볼 수 있다. 또한, 이는 항산화능 평가결과를 통해서도 확인이 가능하며, PTG 시료의 경우, 6분이 지난 시점에서 항산화능이 이미 55.4%에 도달하였으며 10분 후에는 96.3%에 도달하여 우수한 항산화 활성을 보였다(Figure 6(b)). 이는 PTG 내에 존재하는 TA에 의한 효과이며, TA의 갈롤기와 카테콜기에 다량으로 존재하는 페놀성 -OH기가 수소원자를 제공하여 자유 라디칼을 소거하기 때문에 우수한 항산화 효과를 보인 것으로 판단된다.

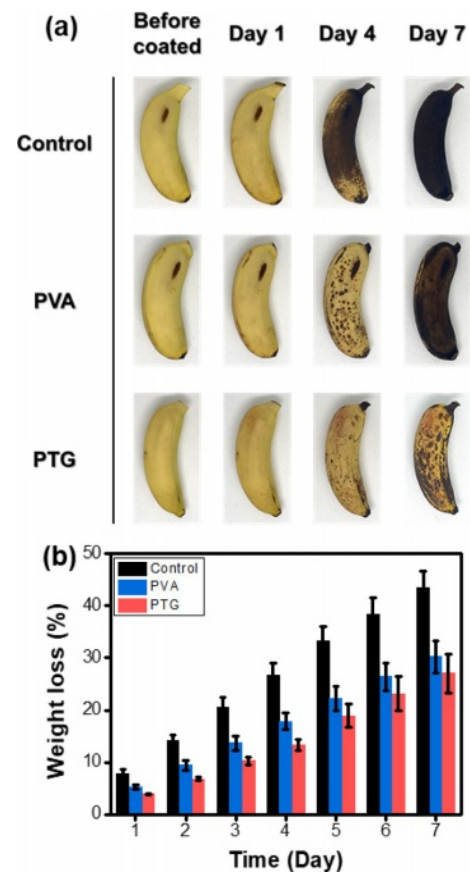
다음은 블렌드 필름의 항균성을 평가하기 위해 그람 양성 균인 *S. aureus*와 그람 음성균인 *E. coli*에 대한 항균능을 조사하였다. PVA 시료는 항균 활성이 나타나지 않았지만, PTG 시료는 *E. coli*에 대한 inhibition zone이 약 33.9 mm, *S. aureus*에 대해서는 29.4 mm로 나타나 우수한 항균효과를 나타내었다(Figure 6(d)). 결론적으로 PTG 블렌드 필름은 항산화 및 항균 특성이 우수하여 식품의 부패를 지연시키는데 도움이 될 수 있는 식품포장재로 유용한 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

**PTG 블렌드 필름의 식품 포장 능력.** 블렌드 필름의 식품 포장 능력을 평가하기 위해 실제 시판되는 바나나를 포장하



**Figure 6.** (a) Color change of the ABTS solution from blue to colorless; (b) ABTS scavenging ability with respect to contact time of the PTG blend films; (c) Photographs of disk diffusion tests; (d) diameters of inhibition zone against *E. coli* and *S. aureus* of the PTG blend films.

여 바나나 표면의 갈변현상과 중량감소율을 평가하였다. 보관은 7일간 플라스틱 용기에 필름을 감싸서 진행하였으며, 이때 control 시료는 포장처리를 하지 않은 대조군을 의미한다. 또한 1, 4, 7일의 보관기간 동안 바나나의 표면을 관찰한 사진과 중량감소율을 Figure 7에 나타내었다. 약 4일 후 포장되지 않은 대조군은 이미 갈변이 많이 일어났으며, PVA 필름으로 포장한 바나나 역시 검은색 반점이 표면에 나타났고 7



**Figure 7.** (a) Appearance; (b) weight loss of bananas packaged with the PVA and PTG blend films for 7 days.

일 후에는 완전히 검게 변한 것을 볼 수 있다. 그러나 PTG 블렌드 필름을 포장한 바나나의 경우에는 7일 후에도 PVA 필름으로 포장한 4일 후의 바나나의 모습과 유사한 것을 통해 PTG 블렌드 필름이 갈변을 억제하는 것을 알 수 있었다. 또한, 중량감소율에서는 대조군이 최종 7일에서 가장 높은 중량감소율인 43.3%를 보였지만, PTG 블렌드 필름으로 포장한 바나나는 7일이 지난 시점에서도 중량감소율이 27.0%에 불과하였다. 따라서, PTG 블렌드 필름은 식품의 유통기한을 연장할 수 있어 식품 포장용 필름으로 높은 잠재력을 가졌다.

## 결론

본 연구에서는 PVA와 우수한 항산화 및 항균 특성을 보유한 TA를 블렌드하여 식품의 유통기한을 연장시킬 수 있는 능동 식품포장 필름을 제조하였다. 필름 형성을 위한 용액 제조과정에서 증류수에탄올 혼합용매의 에탄올 함량을 적절히 조절하여 coacervate가 형성되거나 침전되지 않는 최적의 함량인 40%를 설정하여 균일한 PVA/TA 용액의 제조방법을 확립하였다. 또한, 필름의 내수성을 향상시키기 위해서 열처리

를 실시하여 내수성 및 형태안정성을 향상시켰다. 블렌드 필름 내의 PVA와 TA의 상호작용은 ATR-FTIR 분석을 통해 확인하였으며, TA가 도입됨에 따라 높은 자외선 차단 특성을 보였다. 또한 PTG 블렌드 필름은 우수한 항산화 특성을 나타내었으며, *E. coli*와 *S. aureus*에 대해서 강한 항균 특성을 보였다. 마지막으로 PTG 블렌드 필름을 직접 바나나에 포장하여 식품포장 능력을 평가한 결과, 대조군과 비교했을 때 갈변 현상을 지연시킬 수 있었으며, 무게감소를 또한 확연히 줄어 들었다. 이를 통해 PTG 블렌드 필름은 식품의 유통기한을 연장할 수 있는 능동 식품 포장재로 잠재적인 가능성을 가지고 있음을 확인하였다.

**감사의 글:** 본 연구는 2024학년도 충남대학교 4단계 BK21 대학원혁신사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

**이해상충:** 저자들은 이해상충이 없음을 선언합니다.

## 참 고 문 헌

1. 6th National Waste Statistics Survey; Ministry of Environment: Sejong **2022**.
2. 2023 Plastic Korea 2.0; Greenpeace: Seoul **2023**.
3. Chaudhary, V.; Punia Bangar, S.; Thakur, N.; Trif, M. Recent Advancements in Smart Biogenic Packaging: Reshaping the Future of the Food Packaging Industry. *Polymers* **2022**, *14*, 829.
4. Atta, O. M.; Manan, S.; Shahzad, A.; Ul-Islam, M.; Ullah, M. W.; Yang, G. Biobased Materials for Active Food Packaging: A Review. *Food Hydrocoll.* **2022**, *125*, 107419.
5. Álvarez-Hernández, M. H.; Martínez-Hernández, G. B.; Castillejo, N.; Martínez, J. A.; Artés-Hernández, F. Development of an Antifungal Active Packaging Containing Thymol and an Ethylene Scavenger. Validation during Storage of Cherry Tomatoes. *Food Packag. Shelf Life* **2021**, *29*, 100734.
6. Jafarzadeh, S.; Jafari, S. M.; Salehabadi, A.; Nafchi, A. M.; Uthaya Kumar, U. S.; Khalil, H. P. S. A. Biodegradable Green Packaging with Antimicrobial Functions Based on the Bioactive Compounds from Tropical Plants and Their By-Products. *Trends Food Sci. Technol.* **2020**, *100*, 262-277.
7. Yao, X.; Liu, J.; Hu, H.; Yun, D.; Liu, J. Development and Comparison of Different Polysaccharide/PVA-Based Active/Intelligent Packaging Films Containing Red Pitaya Betacyanins. *Food Hydrocoll.* **2022**, *124*, 107305.
8. Choi, S.; Eom, Y.; Kim, S.-M.; Jeong, D. W.; Han, J.; Koo, J. M.; Hwang, S. Y.; Park, J.; Oh, D. X. A Self-Healing Nanofiber-Based Self-Responsive Time-Temperature Indicator for Securing a Cold-Supply Chain. *Adv. Mater.* **2020**, *32*, 1907064.
9. Yilmaz, M.; Altan, A. Optimization of Functionalized Electrospun Fibers for the Development of Colorimetric Oxygen Indicator as an Intelligent Food Packaging System. *Food Packag. Shelf Life* **2021**, *28*, 100651.
10. Ezati, P.; Rhim, J.-W. pH-Responsive Chitosan-Based Film Incorporated with Alizarin for Intelligent Packaging Applications. *Food Hydrocoll.* **2020**, *102*, 105629.
11. Chhikara, S.; Kumar, D. Edible Coating and Edible Film as Food Packaging Material: A Review. *J. Packag. Technol. Res.* **2022**, *6*, 1-10.
12. Pavinatto, A.; de Almeida Mattos, A. V.; Malpass, A. C. G.; Okura, M. H.; Balogh, D. T.; Sanfelice, R. C. Coating with Chitosan-Based Edible Films for Mechanical/Biological Protection of Strawberries. *Int. J. Biol. Macromol.* **2020**, *151*, 1004-1011.
13. Fan, Y.; Yang, J.; Duan, A.; Li, X. Pectin/Sodium Alginate/Xanthan Gum Edible Composite Films as the Fresh-Cut Package. *Int. J. Biol. Macromol.* **2021**, *181*, 1003-1009.
14. Kumari, N.; Bangar, S. P.; Petru, M.; Ilyas, R. A.; Singh, A.; Kumar, P. Development and Characterization of Fenugreek Protein-Based Edible Film. *Foods* **2021**, *10*, 1976.
15. Al-Moghazy, M.; El-sayed, H. S.; Salama, H. H.; Nada, A. A. Edible Packaging Coating of Encapsulated Thyme Essential Oil in Liposomal Chitosan Emulsions to Improve the Shelf Life of Karish Cheese. *Food Biosci.* **2021**, *43*, 101230.
16. Li, X.; Yang, X.; Wang, Z.; Liu, Y.; Guo, J.; Zhu, Y.; Shao, J.; Li, J.; Wang, L.; Wang, K. Antibacterial, Antioxidant and Biocompatible Nanosized Quercetin-PVA Xerogel Films for Wound Dressing. *Colloids. Surf. B Biointerfaces* **2022**, *209*, 112175.
17. Andrade, J.; González-Martínez, C.; Chiralt, A. Effect of Carvacrol in the Properties of Films Based on Poly(Vinyl Alcohol) with Different Molecular Characteristics. *Polym. Degrad. Stab.* **2020**, *179*, 109282.
18. Channa, I. A.; Ashfaq, J.; Gilani, S. J.; Chandio, A. D.; Yousuf, S.; Makhdoom, M. A.; Jumah, M. N. bin. Sustainable and Eco-Friendly Packaging Films Based on Poly(Vinyl Alcohol) and Glass Flakes. *Membranes* **2022**, *12*, 701.
19. Izgis, H.; Ilhan, E.; Kalkandelen, C.; Celen, E.; Guncu, M. M.; Turkoglu Sasmazel, H.; Gunduz, O.; Fikai, D.; Fikai, A.; Constantinescu, G. Manufacturing of Zinc Oxide Nanoparticle (ZnO NP)-Loaded Polyvinyl Alcohol (PVA) Nanostructured Mats Using Ginger Extract for Tissue Engineering Applications. *Nanomaterials* **2022**, *12*, 3040.
20. Zhang, Z.-Y.; Sun, Y.; Zheng, Y.-D.; He, W.; Yang, Y.-Y.; Xie, Y.-J.; Feng, Z.-X.; Qiao, K. A Biocompatible Bacterial Cellulose/Tannic Acid Composite with Antibacterial and Anti-Biofilm Activities for Biomedical Applications. *Mater. Sci. Eng. C* **2020**, *106*, 110249.
21. Kaczmarek, B. Tannic Acid with Antiviral and Antibacterial Activity as A Promising Component of Biomaterials—A Minireview. *Materials* **2020**, *13*, 3224.
22. Lee, S. J.; Gwak, M. A.; Chathuranga, K.; Lee, J. S.; Koo, J.; Park, W. H. Multifunctional Chitosan/Tannic Acid Composite Films with Improved Anti-UV, Antioxidant, and Antimicrobial Properties for Active Food Packaging. *Food Hydrocoll.* **2023**, *136*, 108249.

**출판자 공지사항:** 한국고분자화학회는 게재된 논문 및 기관 소속의 관할권 주장과 관련하여 중립을 유지합니다.