

LDPE-나노 ZnO 복합필름의 기능성 및 재질안정성 평가

이우석 · 고성혁*

연세대학교 패키징학과

A Study on the Functionality and Stability of LDPE-Nano ZnO Composite Film

Wooseok Lee and Seonghyuk Ko*

Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 26493, Korea

Abstract In this work, nano ZnO was introduced into low density poly ethylene (LDPE) composites films with various contents (0, 0.5, 1.0, 3.0 and 5.0 wt%) by melt-extrusion. Their basic properties such as crystallinity, chemical bonds and surface morphology were examined by XRD, FTIR and SEM. XRD patterns and FTIR peaks intensity were increased in proportion to the ZnO contents. SEM images showed well dispersed nano ZnO in LDPE composite films. Anti-microbial functionality of LDPE-nano ZnO composite films was also studied and the presence of nano ZnO resulted in significant improvement of antimicrobial functionality compared to the pure LDPE film. To evaluate influence of nano ZnO on LDPE properties required as packaging material, thermal, mechanical, gas barrier and optical properties of LDPE-nano ZnO composite films were characterized with various analytical techniques including TGA, UTM, OTR, WVTR and UV-Vis spectroscopy. As a result, except optical and mechanical properties of LDPE, no significant effects were found in other properties. Opacity of pure LDPE was greatly increased with increasing concentration of nano ZnO and tensile strength was also improved at 0.5wt% ZnO content.

Keywords Nano ZnO, LDPE, Food packaging, Functionality, Material stability

서 론

2016년에 발행된 Grand View Research¹⁾에 따르면, 전 세계 나노 물질 적용 패키징 시장의 규모는 2015년 237억 달러에서, 2024년에는 663억 달러에 이를 것으로 예상된다. 일반적으로 나노 물질은 100 nm 이하의 입자 크기를 갖는 물질로 정의되며²⁾ 상대적으로 높은 비표면적과 고유의 물리적, 광학적 및 화학적 특성을 나타낸다. 이러한 나노 물질은 그 종류에 따라 소재의 유연성, 내구성, 내열성 및 차단성 등의 기본적인 특성을 개선시킬 목적으로 복합소재(composite)의 형태로 응용되고 있다.³⁾ 특히 최근에는 여러 다국적 식품 기업들이 자사의 식품과 식품 패키징에 적용될 나노 기

술의 잠재성에 높은 관심을 보이면서⁴⁾ 식품의 유통기간 연장, 식품 안전성의 개선 및 식품의 품질 향상 등을 위해 나노 기술을 활용한 식품 패키징이 혁신적인 해결책으로서 제시되었다.^{5,6)}

현재 응용 연구 또는 적용되고 있는 주요 나노 무기물질로는 은나노(AgNP, Silver nanoparticle), 나노클레이(Nanoclay), 나노 산화아연(Nano ZnO), 나노 이산화티타늄(Nano TiO₂) 및 카본나노튜브(CNTs, Carbon nanotubes) 등이 보고되고 있다.⁷⁾ 이들 나노 물질은 고유의 화학적 구조와 특성에 따라 각기 다른 기능성을 패키징에 적용시킬 수 있다.⁸⁾ Nanoclay와 CNTs의 경우 범용 열가소성 플라스틱에 첨가되어 균일하게 분포될 경우 플라스틱 분자의 분자유동성과 유연성을 변화시켜 열 및 기계적 특성을 효과적으로 개선시킨다. 특히, Nanoclay는 포장재를 투과하는 가스의 이동거리를 늘려 포장재의 가스 차단성을 증대시키는 것으로 알려져 있다.^{9,10)} 나노 물질은 나노 물질이 갖는 높은 비표면적에 의해 동종의 마이크로 입자보다 더 우수한 반응성을 갖는다.

*Corresponding Author : Seonghyuk Ko
Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 26493, Korea
Tel : +82-33-760-2299, Fax : +82-33-760-2299
E-mail : s.ko@yonsei.ac.kr

AgNP 또는 나노 ZnO의 경우 동종의 마이크로 입자보다 더 많은 Ag^+ 및 Zn^{2+} 등의 이온을 방출하고 활성산소종(ROS)을 생성함으로써 효모, 곰팡이 및 박테리아에 더 우수한 항균력을 보이며 이러한 효과를 활용한 나노 식품 포장재 적용 사례가 보고되고 있다.^{11,12)}

나노 ZnO의 항균효과에 관한 정확한 매커니즘은 아직까지 규명되지 않았으나 크게 세 가지로 제시되고 있다. 첫 번째는 항균성 Zn^{2+} 이온을 방출하는 것이고, 두 번째는 ZnO나 나노입자가 직접 미생물과 상호작용하는 방식이며, 마지막으로 활성산소종을 생성하여 균의 세포막을 공격해 항균성을 나타내는 것이다.¹²⁾ 이러한 나노 ZnO의 항균성을 이용한 항균 기능성 식품포장재 연구가 활발하게 진행되고 있다. Silvestre, C 등¹³⁾은 나노 ZnO와 isotactic polypropylene을 합성하여 컴포지트 필름을 제작하고 *E. coli*에 대한 항균성을 시험한 결과 48시간 이후 ZnO 함량 2% 필름에서 균 제거율이 90.2%, 함량 5% 필름에서 균 제거율 99.9%으로 나타나 효과적인 항균성이 보여졌다. Pantani, R 등¹⁴⁾은 생분해성 고분자인 Polylactic acid(PLA)와 ZnO를 혼합해 항균성 필름을 압출제작하였다. 나노 ZnO 첨가에 따라 차단성, 기계강도 및 항균성 등이 향상되었으며, 특히 ZnO 3% 필름에서 항균 활성치가 *E. coli*에 대해 2.26, *S. aureus*에 대해 2.85의 높은 항균성을 보고하였다. Li, X 등¹⁵⁾은 나노 ZnO/Polyvinyl Chloride(PVC) 코팅 필름을 제작하여 agar diffusion 방식으로 *E. coli*와 *S. aureus*에 대해 시험을 진행하였으며 그 결과 inhibitory zone의 크기가 각각 19.8 mm 및 20.5 mm까지 증가하여 항균성을 입증하였다.

본 연구에서는 저밀도폴리에틸렌(LDPE) - 나노 ZnO 복합 필름을 제작하고 본 복합 필름의 항균성을 확인하였으며, 나노 ZnO 첨가에 따른 LDPE 고유의 열적, 기계적, 가스차단 및 광학적 특성 등 패키징 소재로서 요구되는 주요 특성의 변화를 평가하여 ZnO와 LDPE 간의 상호 영향을 고찰하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에서는 10~20 nm의 입자 크기를 가진 ZnO(나노 미래생활, 한국)를 구입하여 사용하였으며, LDPE 레진은 마스터배치 제작용(LG화학, 여수, 한국, LUTENE® LB7500, MI=7.5 g/10 min)과 필름 압출용(LG화학, 여수, 한국, LUTENE® LB5000, MI=5 g/10 min) 두 가지를 혼합하여 사용하였다.

2. LDPE-나노 ZnO 복합 필름 제작

LDPE-나노 ZnO 복합 필름을 제작하기 위해 LDPE-나노 ZnO 마스터배치를 ZnO 10wt%의 농도비로 블렌딩하여 합

성하였다. 복합 필름의 압출을 위해 합성한 LDPE-나노 ZnO 마스터배치와 압출용 LDPE 레진을 80°C에서 24시간 동안 건조하여 수분을 제거하였으며, 복합 필름의 목표 함량비(순수 LDPE, 0.5wt%, 1.0wt%, 3.0wt% 및 5.0wt%)에 따라 마스터배치와 레진의 혼합비를 다르게 하여 압출하였다. 압출은 T-다이 다층필름 단축압출기(L/D : $\phi 30 \times 30$, 한국 이엠, 한국)를 사용하였고 압출기 온도 200~230°C 및 스크류 속도 40 RPM 조건에서 진행하였다. 제조된 필름은 함량에 따라 LDPE, LDPE-ZnO 0.5wt%, LDPE-ZnO 1.0wt%, LDPE-ZnO 3.0wt% 및 LDPE-ZnO 5.0wt%으로 명명하였으며 각 필름의 두께는 80 μm 로 일정하게 유지하였다.

3. 분석 방법

1) LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 기초특성 분석

LDPE 포장소재 내 ZnO의 결정상 및 결정성을 X-ray diffraction(XRD, Bruker D2 Phaser, Bruker, Germany)를 통해 확인하였으며, 측정조건은 범위 2 θ =5~80°, 측정속도 2°/sec으로 설정하였다. 나노 ZnO와 LDPE의 화학적 결합을 fourier transform infrared spectroscopy (FTIR, Spectrum 65, Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, USA)의 attenuated total reflectance mode를 사용하여 4000~400 cm^{-1} 의 파수 범위에서 분석하였다. 필름 내 ZnO의 분산도 및 필름 표면 형상을 field emission scanning electron microscopy(FESEM, Quanta FEG 250, FEI, Hillsboro, Oregon, USA)을 통해 관찰하였으며, 필름시편을 50 mA에서 30초간 Pd sputtering으로 전처리 후 가속전압 30 kV 및 배율 2,000~80,000배의 조건으로 수행하였다.

2) LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 항균성 평가

LDPE-나노 ZnO 필름의 항균성은 KS 규격의 플라스틱 및 기타 비다공성 표면에서 항균 활성 측정(KS M ISO22196)¹⁶⁾에 따라 평가하였으며, 그람 양성균인 황색포도상구균(ATCC 6538P, *Staphylococcus aureus*, *S. aureus*)과 그람 음성균인 대장균(ATCC 8739, *Escherichia coli*, *E. coli*)에 대해 항균성을 측정하였다. 시험 방법은 5 cm $\times$ 5 cm 크기의 정사각형으로 자른 시험 대상 필름을 70% 에탄올을 사용해 표면을 세척한 후 페트리접시 위에 얹고 미생물 0.4 mL(0.5×10^5 CFU/mL)을 샘플 표면 위에 접종한 후 4 cm $\times$ 4 cm 크기의 LDPE 필름으로 완전히 밀착되도록 덮었다. 37°C에서 24시간 배양시킨 후 필름과 영양배지 10 mL을 스토포마커 봉투에 넣어 수세하고, 용액 1 mL을 취하여 희석 배수를 달리하여 각각 배지에 도말한 후 37°C에서 24시간 배양 후 생성된 콜로니 수를 측정하였다. 대조군은 ZnO이 적용되지 않은 순수한 LDPE 필름을 사용하였으며, 3반복 시험하여 평균값을 사용하였다. 항균성의 유무를 판단하는 것은 감소율이 90% 이상(항균 활성치 1이상)일 경우 일반적으로 항균효

과가 있다고 하며, 증식치, 항균 활성치 및 감소율은 아래의 계산식에 따라 구하였다.

$$\text{증식치}(F) = \log (M_b / M_a) \quad (1)$$

$$\text{항균 활성치}(S) = \log (M_b / M_c) \quad (2)$$

$$\text{균 감소율}(\%) = (M_b - M_c) / M_b \times 100(\%) \quad (3)$$

M_a : 접종 직후 평균수

M_b : 대조군의 24시간 후 콜로니 수

M_c : 샘플의 24시간 후 콜로니 수

3) 나노 ZnO 첨가에 따른 LDPE 재질 특성 변화

ZnO 첨가에 따른 LDPE 포장재의 열적, 기계적, 산소수분 차단성 및 광학적 특성 변화를 분석하였다. 열중량 분석기(TGA, TGA 4000, Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, USA)를 사용해 중량감소를 10%와 50%에서의 온도변화를 측정 후 열적 특성 변화를 확인하였으며, 분석은 시편 건조 후 질소 가스 조건에서 10°C/min의 승온조건에서 온도범위 30~800°C로 진행하였다. 기계적 특성은 만능시험기(UTM, OM100T, Qmesys Co., Kwangmyeong, Korea)을 사용하여 ASTM D882-12¹⁷⁾에 따라 인장강도와 신장율의 변화를 측정하였다. LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 산소 및 수분 차단성은 각각 산소투과도 시험기(OTR 8001, Systech Instruments, Johnsburg, Illinois IL, USA) 및 수분투과도 시험기(WVTR 7001, Systech Instruments, Johnsburg, Illinois IL, USA)를 통해 분석하였다. 광학적 특성의 변화는 ASTM D1746¹⁸⁾을 준용하여 UV-Vis spectroscopy를 사용해 200~800 nm의 파장 영역에서 투과율을 측정하였고, 600 nm 파장에서 필름의 ZnO 함량별 불투명도를 다음의 식 (4)로 계산하였다.¹⁹⁾

$$\text{불투명도} = (\text{광흡수도 @ 600 nm}) / \text{필름의 두께} \quad (4)$$

결과 및 고찰

1. LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 기초 분석

1) XRD

LDPE와 LDPE-나노 ZnO 필름의 XRD 분석결과를 Fig. 1에 나타내었다. 나노 ZnO를 적용하지 않은 순수 LDPE 시편에서는 LDPE의 특징적인 피크인 (110), (200) 그리고 (020)면이 21°, 23° 그리고 36° 부근에서 관찰되었으며²⁰⁾, 나노 ZnO를 첨가한 경우에도 LDPE의 특징적인 X선 회절 패턴의 변화는 나타나지 않아 LDPE의 결정성은 나노 ZnO의 첨가에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이와 달리 LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 경우 ZnO의 함량비가 증가함에 따라 31.6°, 34.4°, 36.2°, 47.5°, 56.5°, 62.7° 및 67.8°에서 (100), (002), (101), (102), (110), (103) 그리고 (112) 피크의 세기가 증가하였으며, 각 피크는 wurtzite 구조를 갖는 zincite(JCPDS No. 36-1451) 결정구조에 대응하는 피크인 것으로 확인되었다.²¹⁾

2) FTIR

LDPE-나노 ZnO 필름의 화학적 결합을 확인하기 위해 FT-IR 분석을 진행하였고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. FT-IR 그래프에서 특징적인 피크 2937 cm⁻¹, 2896 cm⁻¹, 1458 cm⁻¹, 1376 cm⁻¹ 및 720 cm⁻¹를 찾을 수 있었으며 각 피크는 LDPE 필름의 탄화수소 사슬에서 기인한 CH₂ anti symmetric deformation, CH₃ symmetric stretching, CH₂ symmetric deformation, CH₃ symmetric deformation 및 CH₂ rocking vibration 피크로 판단된다.²²⁾ 또한 434 cm⁻¹ 부근에서 나타나는 피크는 LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 ZnO 함량비가 증가할수록 그 세기가 증가하였으며, 본 피크는 Zn-O stretching vibration에 의한 것으로 알려져 있다.²³⁾

3) SEM

Fig. 3은 LDPE-나노 ZnO 복합 필름 내 나노 ZnO의 분

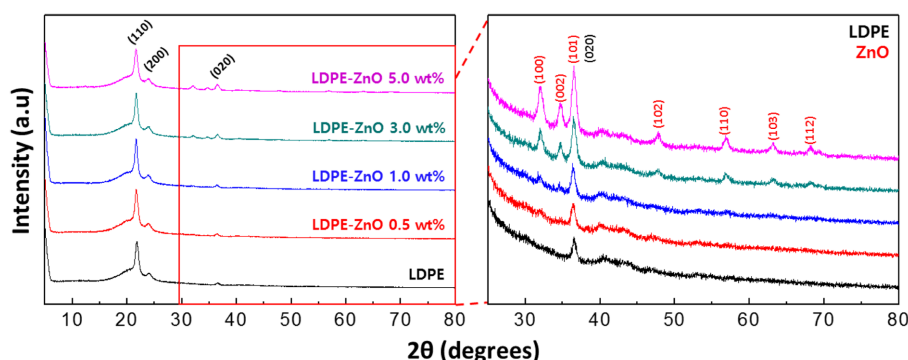


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of LDPE-nano ZnO composite films.

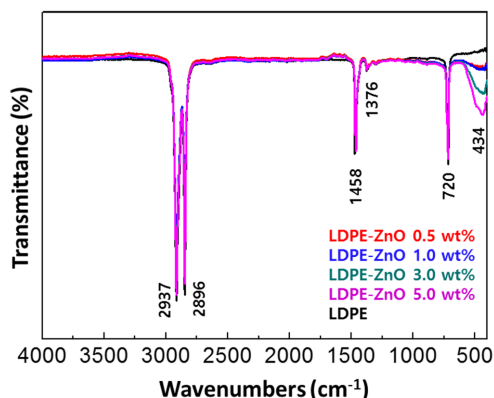


Fig. 2. FTIR spectra of LDPE-nano ZnO composite films.

산도와 응집도를 관찰한 SEM 분석 결과이다. 필름 표면의 SEM 분석 결과 첨가된 ZnO 입자는 응집체의 형태를 이루고 있으며 나노 ZnO의 함량이 증가함에 따라 응집체의 분포와 분산도 또한 증가함을 확인할 수 있었다. Fig. 3(F)는 LDPE-나노 ZnO 5.0wt% 필름 표면에 위치한 나노 ZnO 응집체의 고배율($\times 80,000$) 분석 결과로 10~20 nm 크기의 구형의 ZnO 개별입자들을 보다 뚜렷이 관찰할 수 있다.

2. LDPE-나노 ZnO의 항균성

LDPE-나노 ZnO 시편의 항균성 평가 결과를 Table 1에 나타내었다. 그람 양성균인 *S. aureus*의 경우 ZnO의 함량비

0.5wt% 이상의 제조된 전체 시편에서 99% 이상의 균 감소율을 나타내어 우수한 항균성을 보였다. 반면 그람 음성균인 *E. coli*의 경우 ZnO의 함량비 1.0wt% 이상의 조건에서 90% 이상의 균 감소율을 보였으며 함량비 5.0wt% 시편의 항균활성치는 2.3으로 나타나 *S. aureus*와 유사한 항균성을 보였다. 이를 통해 ZnO가 그람양성균과 음성균 모두에 대해 항균성을 가지나 항균력에 대한 상대적 강도는 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 그람 음성균의 세포벽이 그람 양성균의 세포벽보다 얇지만 그람 음성균의 세포벽 외부에는 lipopolysaccharide로 이루어진 멤브레인에 의해 더 복잡한 구조를 가지게 되어 항균 물질인 활성산소종이 세포 내부로 침입하기 어려운 것으로 알려져 있다.²⁴⁾

3. 나노 ZnO 첨가에 따른 LDPE 재질 특성 평가

1) LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 열적 특성 평가

나노 ZnO의 첨가에 따른 LDPE의 열적 특성 변화 여부를 확인하기 위해 LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 열중량분석을 수행하였다. Fig. 4의 TGA 결과에서 나타낸 것과 같이 LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 모든 함량비 조건에서 약 350°C에서 열분해가 시작되어 약 520°C에서 열분해가 종료되었다. 10% 중량감소 온도(T_{10})와 50% 중량감소 온도(T_{50})를 비교한 결과 LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 모든 조건에서 중량감소 온도는 순수한 LDPE의 T_{10} 및 T_{50} 와 비교했을 때 3~12°C 내외의 오차범위 수준의 변화가 나타나 ZnO의 첨가에 따른 LDPE 고유 열적 특성의 영향은 없는 것으로

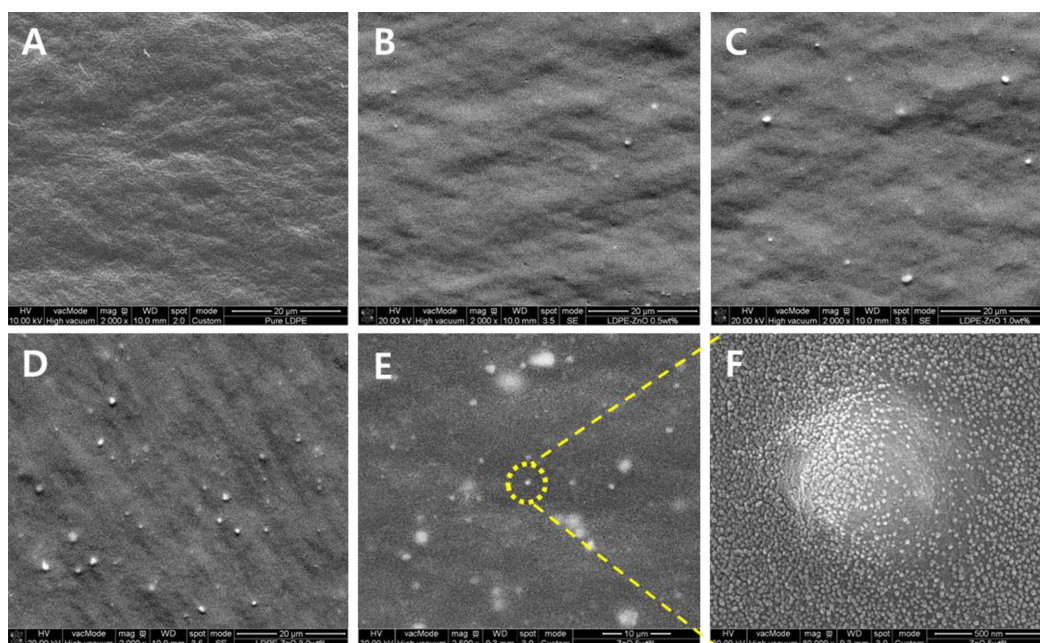
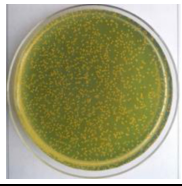
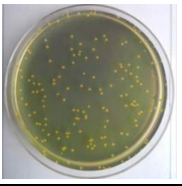
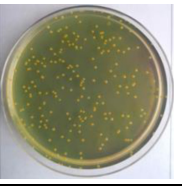
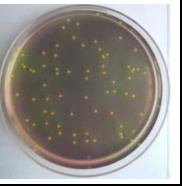
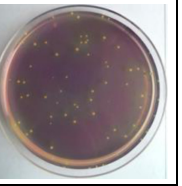
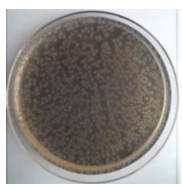
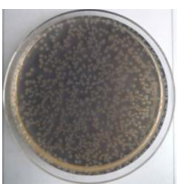
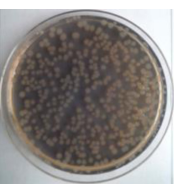
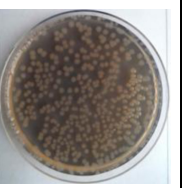
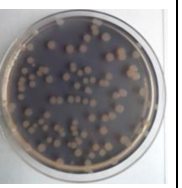
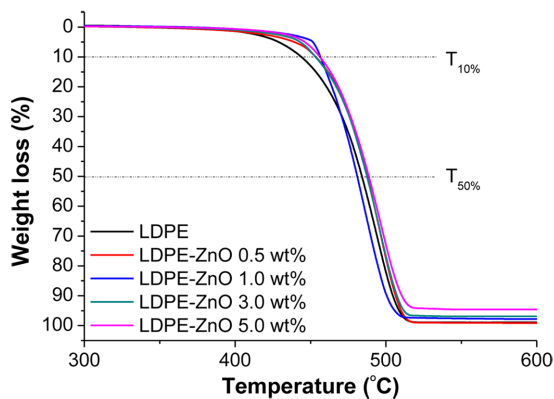


Fig. 3. SEM images of LDPE-nano ZnO composite films; (A) pure LDPE, (B) LDPE-ZnO 0.5wt%, (C) LDPE-ZnO 1.0wt%, (D) LDPE-ZnO 3.0wt%, (E) LDPE-ZnO 5.0wt% and (F) higher magnified ZnO agglomerate in LDPE-ZnO 5.0 wt% film.

Table 1. Antimicrobial functionality of LDPE-nano ZnO composite films

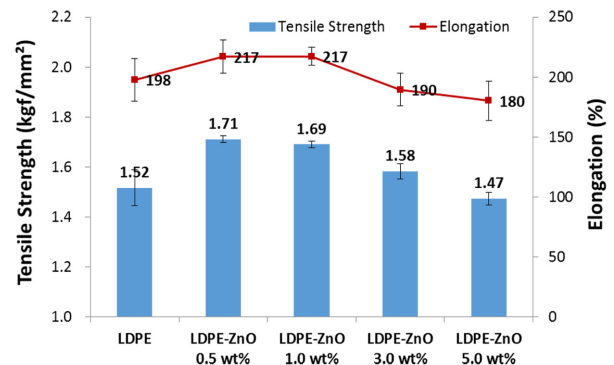
		LDPE	LDPE-ZnO 0.5wt%	LDPE-ZnO 1.0wt%	LDPE-ZnO 3.0wt%	LDPE-ZnO 5.0wt%
<i>S. aureus</i>	시험 사진					
	균 감소율(%)	34.8	99.5	99.2	99.6	99.6
	항균활성치	0.1	2.3	2.1	2.4	2.4
<i>E. coli</i>	시험 사진					
	균 감소율(%)	32.6	83.2	92.8	94.1	99.5
	항균활성치	0.2	0.8	1.1	1.2	2.3

**Fig. 4.** TGA graphs of LDPE-nano ZnO composite films.

판단된다.

2) LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 기계적 특성 평가

Fig. 5에 나노 ZnO의 첨가로 인한 LDPE의 기계적 특성의 변화를 나타내었다. 나노 ZnO를 0.5wt% 첨가한 경우 인장강도는 1.71 kgf/mm²으로 순수 LDPE 대비 약 12.5% 향상되었으며, 함량비가 증가할수록 인장강도의 향상효과는 감소하여 5.0wt% 조건에서는 LDPE와 유사한 인장강도를 나타내었다. 신장율 또한 인장강도와 유사한 패턴을 나타내어 ZnO 함량비 0.5wt%에서 약 9.5% 향상된 후 점차 감소하여 5.0wt% 함량비에서는 LDPE와 유사한 신장율을 보였다. 고르게 분산된 ZnO 첨가 필름의 경우 폴리머 매트릭스에 가해지는 스트레스가 ZnO로 분산되어 인장강도를 향상시키는 것으로 알려져 있으나, 일정 ZnO의 함량비 이상에

**Fig. 5.** Tensile strength and elongation of LDPE-nano ZnO composite films.

서는 ZnO 응집도가 증가하여 폴리머에 가해지는 힘의 분산 효과 또한 약화되는 것으로 알려져 있다.²⁵⁾ 따라서 본 연구의 결과는 ZnO 첨가에 따라 함량비 0.5wt%에서는 스트레스의 분산에 의한 LDPE의 인장강도가 강화되었으나, 함량비가 증가함에 따라 ZnO의 응집이 발생하여 기계적 강도 향상 효과가 감소한 것으로 판단된다.

3) LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 산소·수분 차단성 특성 평가

Fig. 6(A)와 (B)는 ZnO 첨가에 따른 LDPE-나노 ZnO의 산소 및 수분 투과도 결과이다. ZnO 첨가에 따른 LDPE의 투과도의 변화율은 오차범위 이내로 판단되며, 나노 ZnO의 첨가에 따른 순수 LDPE의 산소 및 수분 투과도의 큰 변화는 없었다. ZnO와 같은 무기물 충전제는 고분자 매트릭스 내부의 빈 공간을 채워 가스 투과 중 경로를 방해하여 차단

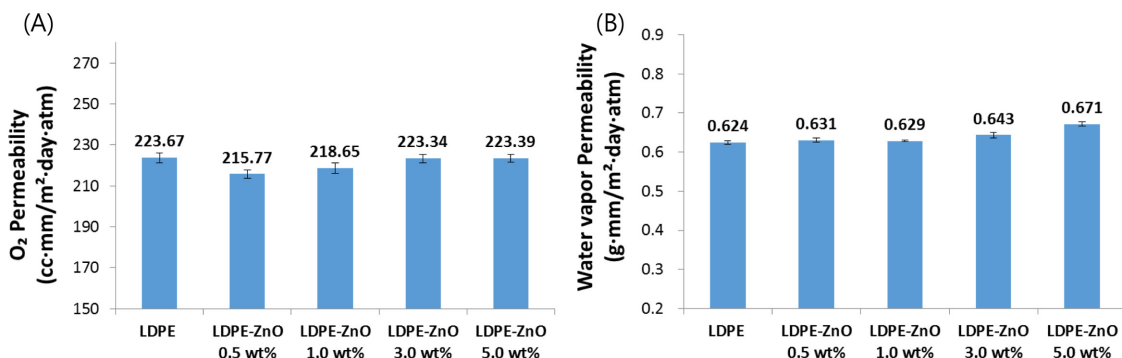


Fig. 6. Barrier properties of LDPE-nano ZnO composite films; (A) OTR, (B) WVTR.

성을 높이는 것으로 알려져 있다.²⁾ 그러나 일정 함량비 이상에서는 나노물질이 서로 뭉쳐 응집체가 되며, 응집된 나노물질은 고분자 매트릭스와 혼화성이 감소되며 필름 내부에 빈 공간이 생성하고 이러한 빈 공간은 오히려 가스의 이동 통로가 되어 필름의 차단성이 감소할 수 있다.²⁶⁾ 이와 같이 가스 차단성에 대해 서로 상충되는 효과가 동시에 발생하여 ZnO 첨가에 의한 차단성은 큰 변화가 나타나지 않은 것으로 보인다.

4) LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 광학적 특성 평가

LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 광학적 특성을 평가하기 위

해 자외선-가시광선 투과도를 측정하고 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 나노 ZnO를 첨가하지 않은 순수 LDPE는 230 nm 이상의 영역에서 광 투과도는 약 90%로 나타난 반면, LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 경우 ZnO 함량비 증가와 함께 광 투과도가 감소하였다. 특히, 함량비가 가장 높은 LDPE-나노 ZnO 5.0wt% 필름의 경우 UV-B 영역에서 자외선 투과율이 LDPE 대비 약 92% 감소하여 자외선 차단성이 증가한 것으로 나타났다. 이와 함께 시편의 불투명도 또한 증가하여 Table 2에 나타난 바와 같이 LDPE 대비 LDPE-나노 ZnO 5.0wt% 필름의 경우 불투명도가 약 83% 증가한 것으로 나타났다.

결론

나노 ZnO의 첨가에 따른 LDPE-나노 ZnO 복합 필름의 항균성 및 LDPE 포장재의 열적, 기계적, 가스 차단성 및 광학적 특성의 변화를 관찰하였다. ZnO 함유량 0, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0wt%의 LDPE-나노 ZnO 필름 시편 5종을 제작하고 XRD, SEM 및 FTIR 분석 등을 통해 복합 필름 내 ZnO의 결정성과 분산성, 복합 필름의 표면 형상 및 시편의 화학적 결합 등을 분석하였다. 제조된 LDPE-나노 ZnO 필름의 항균성 평가 결과 그람양성균과 그람음성균 모두에서 우수한 균 감소율을 나타내어 ZnO의 기대성능인 항균성이 LDPE 포장재에 효과적으로 기능하고 있음을 확인하였다. 또한 ZnO의 첨가에 따른 LDPE 고유의 열적, 산소수분 차단

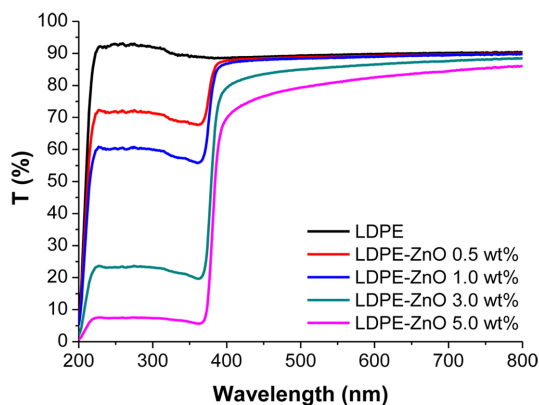


Fig. 7. Light transmission of LDPE-nano ZnO composite films.

Table 2. Opacity values of LDPE-nano ZnO composite films

	Absorbance (@ 600 nm)	UV-A (320-400 nm)	Opacity
LDPE	0.047	0.588	0.588
LDPE-ZnO 0.5 wt%	0.050	0.651	0.651
LDPE-ZnO 1.0 wt%	0.051	0.674	0.674
LDPE-ZnO 3.0 wt%	0.063	0.799	0.799
LDPE-ZnO 5.0 wt%	0.084	1.077	1.077

특성의 변화는 관찰되지 않은 반면 LDPE의 기계적 특성인 인장강도는 최대 12.5%, 신장율은 9.5% 향상되었으나, 불투명도 또한 최대 83% 증가하였다. 본 연구를 통해 나노 ZnO를 LDPE에 첨가하였을 경우 효과적인 항균성을 부여하며 동시에 포장소재로서 요구되는 LDPE의 주요 물성의 변화는 관찰되지 않음으로써 가공성과 포장성능은 변화 없이 유지한 채 기능성만을 부여할 수 있음을 확인하였다. 그러나 LDPE 필름의 불투명도가 증가하므로 필름의 투명성이 요구되는 식품포장재의 경우 대체 소재의 적용을 고려해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 식품의약품안전처의 연구개발비(15162 MFDS031)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Research, G. V. 2016. Nano-enabled Packaging Market Worth \$66.30 Billion By 2024. <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-nano-enabled-packaging-market>
- Duncan, T. V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 363: 1-24.
- Paralikar, S. A., Simonsen, J., and Lombardi, J. 2008. Poly (vinyl alcohol)/cellulose nanocrystal barrier membranes. *Journal of Membrane Science* 320: 248-258.
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R., and Watkins, R. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives and Contaminants* 25: 241-258.
- Handford, C. E., Dean, M., Henchion, M., Spence, M., Elliott, C. T., and Campbell, K. 2014. Implications of nanotechnology for the agri-food industry: Opportunities, benefits and risks. *Trends in Food Science & Technology* 40: 226-241.
- Silvestre, C., Duraccio, D., and Cimmino, S. 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science* 36: 1766-1782.
- Mohanty, A. K., Misra, M., and Nalwa, H. S. 2009. *Packaging nanotechnology*. American Scientific Publishers, 2009.
- Rubilar, O., Diez, M., Tortella, G., Briceno, G., Marcato, P., and Duran, N. 2014. New strategies and challenges for nanobiotechnology in agriculture. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy* 8: 1-12.
- Kim, S. W. and Cha, S. H. 2014. Thermal, mechanical, and gas barrier properties of ethylene-vinyl alcohol copolymer-based nanocomposites for food packaging films: Effects of nanoclay loading. *Journal of Applied Polymer Science* 131: 11.
- Cho, T. W. and Kim, S. W. 2011. Morphologies and properties of nanocomposite films based on a biodegradable poly (ester) urethane elastomer. *Journal of Applied Polymer Science* 121: 1622-1630.
- Sarsar, V., Selwal, K. K., and Selwal, M. K. 2014. Nanosilver: Potent antimicrobial agent and its biosynthesis. *African Journal of Biotechnology* 13.
- Espitia, P. J. P., Soares, N. d. F. F., dos Reis Coimbra, J. S., de Andrade, N. J., Cruz, R. S., and Medeiros, E. A. A. 2012. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. *Food and Bioprocess Technology* 5: 1447-1464.
- Silvestre, C., Cimmino, S., Pezzuto, M., Marra, A., Ambroggi, V., Dexpert-Ghys, J., Verelst, M., Augier, S., Romano, I., and Duraccio, D. 2013. Preparation and characterization of isotactic polypropylene/zinc oxide microcomposites with antibacterial activity. *Polymer Journal* 45: 938.
- Pantani, R., Gorrasi, G., Vigliotta, G., Murariu, M., and Dubois, P. 2013. PLA-ZnO nanocomposite films: Water vapor barrier properties and specific end-use characteristics. *European Polymer Journal* 49: 3471-3482.
- Li, X., Xing, Y., Jiang, Y., Ding, Y., and Li, W. 2009. Antimicrobial activities of ZnO powder-coated PVC film to inactivate food pathogens. *International Journal of Food Science & Technology* 44: 2161-2168.
- Association, K. S. KS M ISO 22196, 2014, Measurement of antibacterial activity on plastics and other non-porous surfaces.
- Materials, A. S. f. T. ASTM D882, 2012, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheet.
- Materials, A. S. f. T. ASTM D1746, 2015, Standard Test Method for Transparency of Plastic Sheet.
- Abdollahi, M., Alboofetileh, M., Behrooz, R., Rezaei, M., and Miraki, R. 2013. Reducing water sensitivity of alginate bio-nanocomposite film using cellulose nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules* 54: 166-173.
- De Rosa, C., Auriemma, F., Corradini, P., Tarallo, O., Dello Iacono, S., Ciaccia, E., and Resconi, L. 2006. Crystal structure of the trigonal form of isotactic polypropylene as an example of density-driven polymer structure. *Journal of the American Chemical Society* 128: 80-81.
- Chen, C., Yu, B., Liu, P., Liu, J., and Wang, L. 2011. Investigation of nano-sized ZnO particles fabricated by various synthesis routes. *Journal of Ceramic Processing Research* 12: 420-425.
- Asghar, W., Qazi, I. A., Ilyas, H., Khan, A. A., Awan, M. A., and Aslam, M. R. 2011. Comparative solid phase photocatalytic degradation of polythene films with doped and undoped TiO₂ nanoparticles. *Journal of Nanomaterials* 2011: 12.
- Pholnak, C., Sirisathitkul, C., Suwanboon, S., and Harding, D. J. 2014. Effects of precursor concentration and reaction time on sonochemically synthesized ZnO nanoparticles. *Materials Research* 17: 405-411.
- Jebel, F. S. and Almasi, H. 2016. Morphological, physical, antimicrobial and release properties of ZnO nanoparticles-

- loaded bacterial cellulose films. Carbohydrate polymers 149: 8-19.
25. Li, S. C. and Li, Y. N. 2010. Mechanical and antibacterial properties of modified nano-ZnO/high-density polyethylene composite films with a low doped content of nano-ZnO. Journal of Applied Polymer Science 116: 2965-2969.
26. Seo, J., Jeon, G., Jang, E. S., Bahadar Khan, S., and Han, H. 2011. Preparation and properties of poly (propylene carbonate) and nanosized ZnO composite films for packaging applications. Journal of Applied Polymer Science 122: 1101-1108.

투고: 2017.04.16 / 심사완료: 2018.04.20 / 게재확정: 2018.04.23