

상용화제(POE-g-MAH) 함량에 따른 Polyolefin elastomer/Ethylene vinylacetate 필름의 물성 변화에 대한 연구

Study on the Properties of Polyolefin Elastomer(POE)/Ethylene Vinylacetate(EVA) Film with the Content of Compatibilizer (POE-g-MAH)

*Corresponding author

Seung Goo Lee
(lsgoo@cnu.ac.kr)

장나영, 강은혜¹, 박정진, 유경철¹, 김종희², 이승구^{1*}

충남대학교 유기재료공학과, ¹충남대학교 유기응용재료공학과,
²충남대학교 바이오응용화학연구소

Na Young Jang, Eun Hye Kang¹, Jeong Jin Park, Gyeong Cheol Yu¹,
Jong Hee Kim², and Seung Goo Lee^{1*}

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

¹Department of Applied Organic Materials Engineering, Chungnam National University,
Daejeon, Korea

²Research Institute for Applied Chemistry and Biological Engineering,
Chungnam National University, Daejeon, Korea

Received_September 16, 2023

Revised_September 21, 2023

Accepted_September 22, 2023

Textile Coloration and Finishing

TCF 35-3/2023-09/159-168

© 2023 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Abstract Polyolefin elastomer (POE) is widely used in a variety of applications, particularly in the manufacture of composites, due to its excellent mechanical properties, chemical resistance, and flexibility. However, POE has a high processing temperature, which causes damage to the fiber during the manufacturing process when impregnating the fiber. Therefore, ethylene vinylacetate (EVA), which has a low melting point and excellent adhesion properties, is blended with POE to reduce the processing temperature, and POE-g-MAH (Polyolefin elastomer-grafted-maleic anhydride) is used as a compatibilizer to further improve the POE/EVA blend properties. The compatibility of POE/EVA blends is observed by SEM, and the interaction between each polymer is confirmed by DSC and FT-IR. In addition, the effect of adding the compatibilizer is analyzed through mechanical properties such as tensile strength and elongation. The optimal content of compatibilizer for POE/EVA blends considering physical properties and moldability is sought, and 20 phr is determined to be the most appropriate.

Keywords compatibilizer, compatibility, hot melt adhesives, melting temperature, polymer blend

1. 서 론

열가소성 엘라스토머(thermoplastic elastomer, TPE)는 고무의 탄성적 특성과 열가소성 수지의 재활용성 특징을 결합한

소재이다¹⁾. TPE는 유리전이온도(Tg)가 낮은 연질 세그먼트와 높은 용융온도(Tm) 또는 높은 유리전이온도를 갖는 경질 세그먼트로 구성된 블록형 공중합체이며 일반적인 고무의 경우 가황반응에 의한 가교화로 탄성을 나타내기 때문에 별도의 혼련

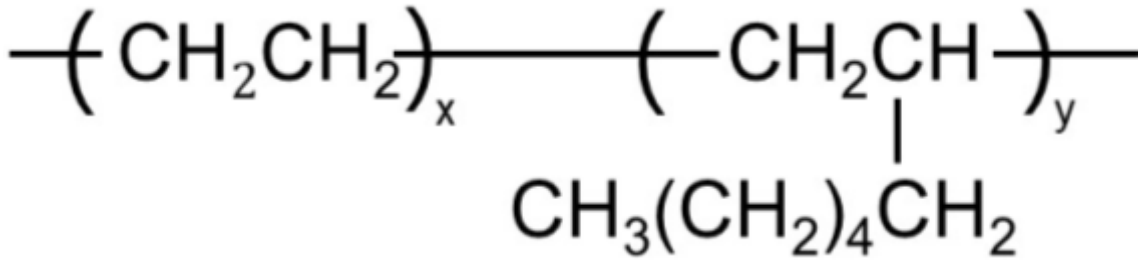


Figure 1. Chemical structure of polyolefin elastomer(POE).

공정, 가황공정이 필요하지만, TPE는 추가적인 가황공정이 필요 없으며 통상의 열가소성 플라스틱처럼 성형가공이 가능하다는 장점이 있다^{2,3)}.

TPE 중에서 가장 널리 사용되는 종류 중 하나인 폴리올레핀 엘라스토머(polyolefin elastomer, POE)는 에틸렌과 옥텐을 metallocene 촉매로 반응시켜 제조한 공중합체이다⁴⁾. POE는 인장 및 충격 강도를 포함한 뛰어난 기계적 성능을 가진다. 또한 Figure 1에 나타난 것처럼 분자구조에 에틸렌의 결정화를 방해하는 옥텐이 존재해 낮은 결정화도를 가지며, 유연성과 표면 접착력이 뛰어나다^{4,5)}. 이러한 특성으로 인해 자동차 내외장 부품, 내충격 복합재료 등 높은 내충격성을 요구하는 응용분야에 광범위하게 사용된다⁶⁾.

초고분자량 폴리에틸렌(UHMWPE, ultra-high molecular weight polyethylene) 섬유는 매우 낮은 밀도로 인해 우수한 비강도와 비강성을 가져 항공우주, 자동차, 국방을 비롯한 다양한 분야에 이용되고 있다. 최근 경량 및 고성능 재료에 대한 수요가 증가함에 따라 복합재의 강화재로 많이 이용되고 있으며, 열가소성 고분자와 결합한 고성능 복합재의 연구가 진행되었다^{7,8)}. 따라서 UHMWPE 복합재에 유연성 및 경량화 특징을 가지는 POE가 매트릭스로 사용된다.

그러나 POE의 높은 가공 온도로 인해 함침할 때 prepreg 뒷면까지 수지 필름이 열 용착이 되지 않는 어려움이 발생한다. 이를 개선하고자 POE에 에틸렌비닐아세테이트(EVA, Ethylene vinylacetate)를 블렌드하였다.

EVA는 에틸렌과 비닐아세테이트(VA)의 랜덤 공중합체로, 용융지수(Melt Index, MI)가 다양하고 우수한 접착 특성을 가지며 HMA(Hot melt adhesives) 산업에서 가장 많이 사용되는 열가소성 고분자이다⁹⁾. EVA는 VA 비율에 따라 공중합체 특성이 달라지는데, VA 함량이 높을수록 극성, 접착력, 충격 저항성, 유연성 및 다른 고분자와의 상용성이 향상된다. 이는 공중합체의 결정성, 강성, 연화점 및 용점이 감소하는 원인이 된다^{10,11)}. HMA 산업에서 보편적으로 이용하는 VA 함량은 18~40 wt%이며, 특히 30~40 wt% VA를 함유한 화합물은 부드럽고 탄력적이며 강도와 접착 특성이 뛰어나다¹²⁾. 따라서 본 연구에서는 용점을 낮추고 HMA의 접착 특성을 이용하기 위해 VA 함량을 40 wt%으로 설정하였다.

그러나 대부분 고분자는 매우 작은 엔트로피, 높은 몰 질량

차이, 극성 그리고 성분 간의 점도 비율에 의해 상용성이 좋지 않다¹³⁾. 특히 POE와 EVA는 극성 차이로 인해 상용성이 저하되는 결과가 발생한다. 이로 인해 저조한 물성을 가지게 되며, 성형 시 형태안정성이 떨어지는 문제점 또한 발생한다^{14,15)}.

이를 개선하기 위해 두 고분자 중 한 고분자와 화학적 결합이 가능한 반응형 상용화제가 빈번하게 사용되며 대표적으로는 무극성고분자와 MAH 또는 카르복실기를 갖는 단량체를 그래프트 공중합시킨 상용화제를 많이 사용한다^{16,17)}.

MAH는 하나 이상의 C=C 결합을 포함하는 탄화수소, 특히 POE 복합재료에 효과적인 반응성 단량체이다. 또한 MAH의 관능기는 반응성이 뛰어나며 다른 고분자와의 상용성이 우수하기 때문에 반응성 상용화제로 많이 이용된다¹⁸⁾.

본 연구에서는 POE를 매트릭스로 하여 EVA를 점착제로 POE-g-MAH(polyolefin elastomer-grafted-maleic anhydride)를 상용화제로 혼합하여 POE/EVA 블렌드를 제조하였으며, 상용화제 함량에 따른 영향을 확인하기 위해 POE/EVA 블렌드에 상용화제를 함량에 따라 혼합하여 일정 두께의 필름을 만들었다. 제조된 필름은 주사전자현미경(SEM)을 통해 상용성을 관찰하였고 시차주사열량계(DSC)와 적외선분광분석기(FT-IR)을 통해 각 성분의 상호작용을 확인하였다. 또한 상용화제 첨가에 따른 물성변화를 인장시험, 열중량분석기(TGA)을 분석하였으며 섬유와의 계면접착력 향상 정도는 microdroplet debonding test를 통해, 필름끼리의 표면접착특성은 T-형 박리시험을 통해 확인되었다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 연구에서는 POE/EVA 블렌드 제조를 위해 POE bead (Dow chemical, USA) (Melt Flow Index = 30 g/10 min)와 ethylene vinylacetate(EVA 1540, Hanwha Chemical, Korea)를 사용하였으며, POE/EVA 블렌드의 상용성을 증가시키기 위해 POE-g-MAH(MP8500EP, CHEMKO, Korea) bead (MFR = 0.5 g/10 min)를 사용하였다. 또한 계면전단강도 측정 시 n-hexane(SAMCHUN, Korea)을 사용하였으며 섬유는 동양

Table 1. Compositions and codes of the prepared blends and their pure components

Sample codes	POE/EVA/ 0 PHR	POE/EVA/ 5 PHR	POE/EVA/ 10 PHR	POE/EVA/ 15 PHR	POE/EVA/ 20 PHR
POE (wt%)			70		
EVA (wt%)			30		
POE-g-MAH (phr)	0	5	10	15	20

제강의 Ultra-high molecular weight polyethylene(UHMWPE)를 사용하였다.

2.2 컴파운드 및 필름 제조

컴파운드 제조는 internal mixer(MKE Torque Rheometer, RheoComp®, Korea)를 사용하여 200 °C에서 10 min간 30 rpm 속도로 Table 1에 나타난 조성에 따라 수행되었다. 그 후 블렌드는 hot press machine(CARVER, Wabash, USA)을 이용하여 250 °C에서 3 min간 0.45 MPa의 압력을 가하여 필름을 제조하였다.

2.3 표면 모폴로지 관찰

POE/EVA 필름의 분산성을 관찰하기 위해 고분해능전계방사형주사현미경(FE-SEM, JMS-7610, JEOL, Japan)을 이용하여 분석을 진행하였으며, 상용화제인 POE-g-MAH의 함량에 따른 POE/EVA 필름의 분산성을 조사하였다. 시편은 파단면을 관측하였으며, 액체질소를 통해 냉각 후 파단하였다. 15 kV의 가속 전압으로 측정하여 2000배의 배율로 관찰하였다.

2.4 적외선분광분석

상용화제의 함량에 따른 POE/EVA film의 조성을 분석하기 위해 적외선분광기(FT-IR, ALPHA-P, Bruker, USA)를 사용하였으며, 400 ~ 4000 cm⁻¹의 파장에서 측정하였다.

2.5 열적 특성 분석

상용화제 유무 및 함량에 따른 POE/EVA 필름의 상용성을 확인하기 위해 시차열량주사기(DSC 4000, PerkinElmer, USA)를 이용하여 측정하였다. 측정조건은 질소 분위기 하에서 측정 온도 범위 25 ~ 250 °C, 승온 및 냉각 속도 10 °C/min으로 측정하였으며, 각 함량별 필름의 heat flow를 측정하였다. 또한 상용화제 함량에 따른 POE/EVA 블렌드 필름의 열 안정성에 대한 상용화제의 영향을 분석하기 위해 열중량분석기(TGA 4000, PerkinElmer, USA)를 사용하여 측정하였다. 질소 분위기에서 승온 속도 10 °C/min, 온도범위 25 ~ 700 °C까지 측정하였으며 TGA 및 DTG(derivative thermo gravimetry)를 통해 각 함량에 따른 열 안정성을 확인하였다.

2.6 기계적 특성 시험

상용화제가 첨가된 POE/EVA 필름의 인장 물성을 측정하기 위해 만능재료시험기(AGS-X STD, Shimadzu, Japan)를 통해 ASTM D882에 의거하여 시험을 진행하였다. 시편의 크기는 150 x 80 mm²로 제작되었으며, 표점 거리는 30 mm, 시험속도는 500 mm/min으로 설정하여 인장강도 및 신율을 측정하였다. 시편당 10회 측정을 진행한 후 평균값을 구했다.

2.7 표면접착 특성 분석

상용화제 함량에 따른 POE/EVA 블렌드 필름의 표면접착 특성을 분석하기 위해 만능재료시험기를 통해 ASTM D1876에 의거하여 T-형 박리시험을 진행하였다. 시험 속도는 127 mm/min이며, 시편은 20 x 170 x 0.3(T) mm³ 크기의 POE/EVA 필름 2장을 137 mm만큼 접착시켜 제작하였다. 초기 피크 이후 127 mm까지의 평균값을 구하였으며 시편당 10회 측정하였다.

2.8 UHMWPE 섬유와 POE/EVA 복합재료의 계면전단강도 측정

상용화제 첨가 함량에 따른 UHMWPE 섬유와 POE/EVA 복합재료의 계면전단강도(interfacial shear strength, IFSS)를 측정하기 위하여 microdroplet debonding test를 진행하였다. 사용 전에 UHMWPE 섬유는 유제를 제거하기 위해 24 h 동안 n-hexane에 담그는 탈유화 과정(de-emulsification)을 거쳤다. 그 후 섬유를 증류수로 2 h 동안 수세하고 60 °C 오븐에서 완전히 건조시킨 후 사용하였다. 테스트는 만능재료시험기(AGS-X STD, Shimadzu, Japan)를 통해 수행되었으며 크로스헤드 속도는 2 mm/min로 하여 15회 측정값의 평균값으로 나타내었다. IFSS는 다음 식(1)을 사용하여 계산하였다.

$$IFSS (MPa) = \frac{F}{\pi DL} \tag{1}$$

where,
F = Full out force (N)

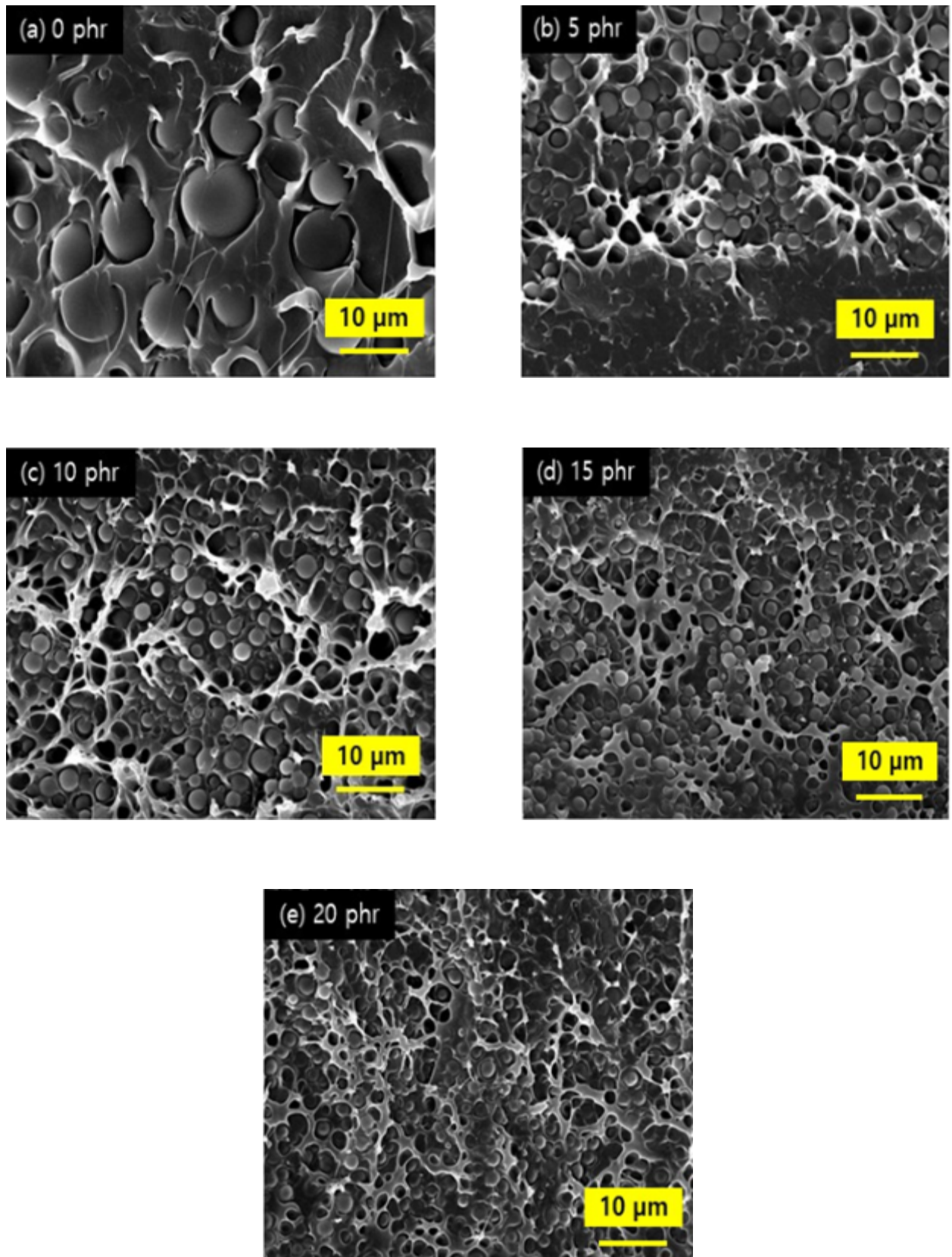


Figure 2. FE-SEM images of POE/EVA films with POE-g-MAH contents.

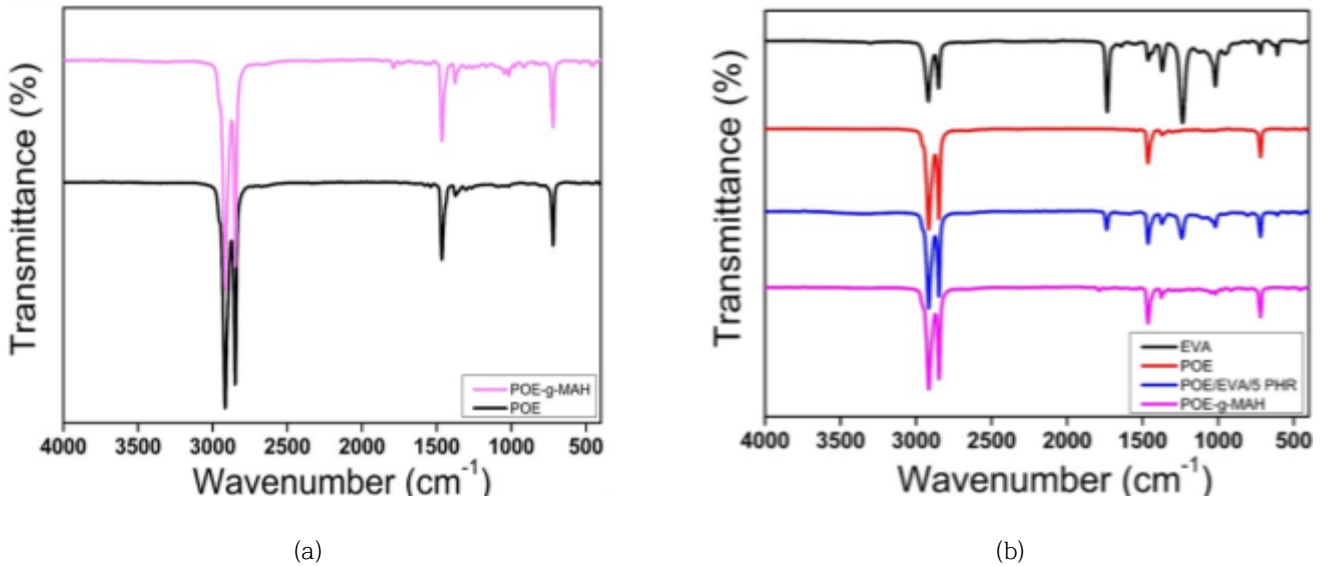


Figure 3. FT-IR spectra of (a) POE-g-MAH and POE, (b) EVA, POE, POE/EVA/5 PHR and POE-g MAH.

D = Fiber diameter (mm)
L = Fiber embedded length (mm)

3. 결과 및 고찰

3.1 POE/EVA 블렌드 필름의 모폴로지 분석

상용화제 함량에 따른 POE/EVA 필름 표면의 SEM 사진을 Figure 2에 나타내었다.

Figure 2(a)는 상용화제가 첨가되지 않은 필름의 SEM 이미지를 나타낸다. EVA는 다양한 크기를 나타내며 구형으로 분포되어 있다. 이는 EVA와 POE와의 극성 차이로 인해 상용성이 좋지 않음을 나타낸다. 상용화제 함량이 증가할수록 EVA의 입자 크기는 감소하고, 전체적으로 크기와 분포가 개선되어 균일한 크기를 얻을 수 있다. 이는 상용화제 첨가로 인한 연속상(POE)과 분산상 사이의 스티칭(stitching) 효과 때문이다. 상용화제는 비상용성 블렌드의 각 계면에 위치하여 블렌드 구성 요소 간의 계면 장력을 감소시키고 분산된 고분자의 응집을 방지한다. 이로 인해 각 성분 간 계면접착력이 향상되고 분산상의 크기가 감소되어 블렌드 형태가 안정화된다^{13,19}. 따라서 상용화제 첨가 시 분산상의 크기가 작아지는 결과를 통해 두 물질 간의 상용성이 개선되었다고 판단된다.

3.2 적외선분광분석

Figure 3은 EVA, POE, POE/EVA/5PHR 및 POE-g-MAH의 FT-IR 스펙트럼을 나타내었다. 순수 POE 필름은 2850 ~ 2960 cm^{-1} 에서 $-\text{CH}_2$ 피크, 1462 cm^{-1} 에서 $-\text{CH}_3$ 피크 등 C

와 H에 대한 피크가 발견된다. 반면에 POE-g-MAH에서는 순수 POE와 달리 1780 cm^{-1} 에서 아주 약한 피크를 나타내며, 이는 POE에 그래프트된 MAH 그룹의 카르보닐(C=O) 그룹에 기인한다²⁰. 순수 EVA 필름은 1739 cm^{-1} 에서 C=O의 신축진동(stretching vibration)이 발생하며 C-O의 비대칭 신축진동(antisymmetric stretching vibration)과 =C-O-C의 대칭 신축진동(symmetric stretching vibration)이 각각 1242와 1020 cm^{-1} 에서 나타난다^{21,22}. 상용화제가 첨가된 POE/EVA 필름에서는 단독 POE-g-MAH에 비해 MAH의 카르보닐 그룹에 해당하는 피크가 크게 나타난다. 이는 MAH 작용기와 EVA 사이에 화학적 결합 또는 상호작용으로 인해 나타난 것으로 판단된다.

3.3 열적 특성

Figure 4(a)는 순수 EVA, 순수 POE, POE/EVA/5PHR, POE-g-MAH의 Tg 값과 Tm를 Figure 4(b)는 상용화제 함량에 따른 POE/EVA 블렌드의 Tm를 나타내었다. 관찰결과 Tm 및 Tg의 온도 변화가 발생하는데, 이는 블렌드 내 각 고분자 성분의 상호작용이 존재하기 때문이다.

Figure 4(a)에서는 POE/EVA/POE-g-MAH 블렌드의 Tg가 EVA와 POE-g-MAH 사이의 Tg 온도 범위에서 발견되었는데, 이는 일반적으로 상용성이 있는 블렌드와 관련된 일반적인 거동을 반영하며, 각 고분자 사이의 Tg 발생은 POE-g-MAH 구조의 MAH와 EVA 성분 간의 상호작용을 보여준다²³. 따라서 앞의 결과를 통해 POE-g-MAH의 MAH그룹이 EVA와 화학적으로 결합하여 POE/EVA 블렌드의 상용성을 향상시켰다고 판단된다.

Figure 4(b)에서 보듯이 상용화제 함량이 증가할수록 Tm

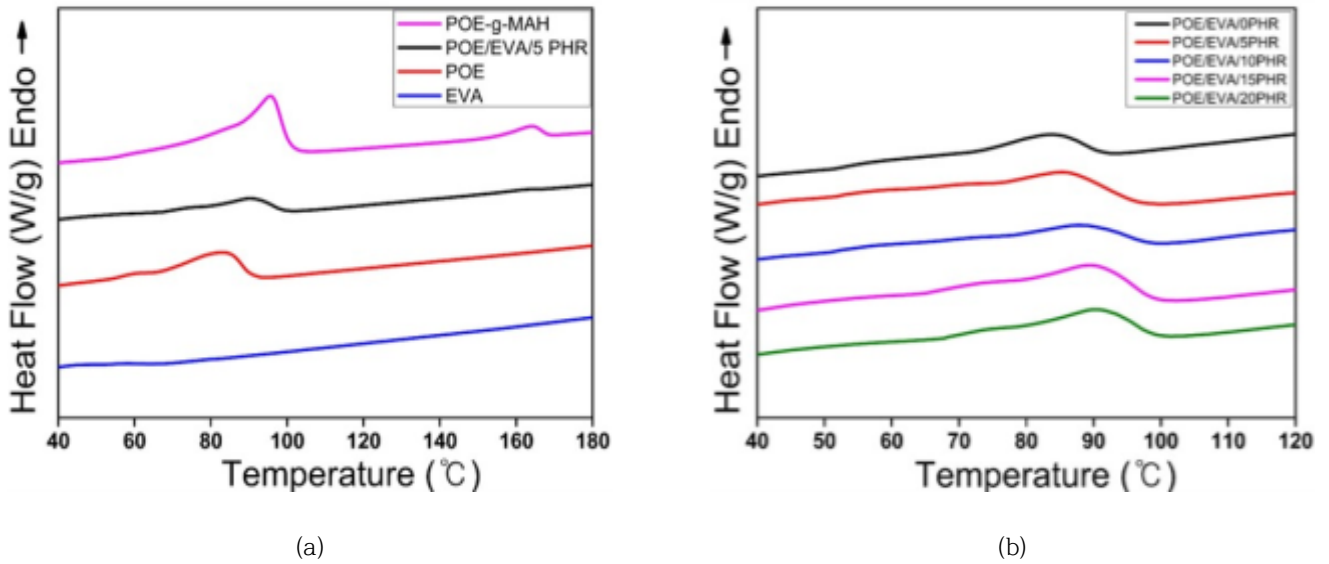


Figure 4. DSC curves of (a) POE-g-MAH, POE/EVA/5PHR, POE and EVA, (b) POE/EVA films with POE-g-MAH contents.

Table 2. Tm of POE/EVA films with POE-g-MAH contents

POE-g-MAH	0 phr	5 phr	10 phr	15 phr	20 phr
Tm(°C)	83.40	85.43	88.09	89.80	90.30

이 증가하는데, 이는 상용화제의 MAH기가 높은 용점 및 분자량을 가지기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 블렌드의 Tm은 상용성과 더불어 형태, 결정화, 동역학 및 혼합물 조성과 같은 많은 요인에 따라 달라질 수 있다²⁴⁾.

3.4 열중량 분석

Figure 5(a)는 순수 POE, 순수 EVA, POE-g-MAH, POE/EVA/5PHR의 TGA 그래프를 Figure 5 (b)와 (c)는 상용화제 함량에 따른 POE/EVA 필름의 TGA 및 DTG 그래프를 나타내었다.

Figure 5(a)에서 보듯이 순수 EVA는 두 단계의 무게 감소가 관찰되었다. 초기 단계는 그래프트된 사슬에서 아세트산기가 방출되어 아세트산 분자가 제거된다. 두번째 단계는 첫번째 단계에서 형성된 탄화수소 사슬의 절단에 해당한다²⁵⁾. 또한 상용화제 함량이 증가할수록 열분해온도가 약간 증가하였다. 이는 계면에서 POE-g-MAH가 블렌드의 분산성을 개선시켜 장벽 효과(barrier effect)를 향상시켰으며, 각 고분자의 상호작용에 의해 사슬 절단 중에 활성화된 중심이 일부 비활성화되어 열안정성이 향상될 수 있기 때문이다²⁶⁾. 대부분 상용화제로 인한 상

호작용은 계면에서 발생하며 각 구성 요소는 자체적인 경로를 따르는 반면 고분자의 대부분은 영향을 받지 않는다²⁷⁾.

따라서 상용화제 함량에 따른 열분해온도의 약간의 증가는 고분자의 벌크가 아닌 계면에서의 결합으로 인한 결과라고 판단된다.

3.5 인장물성

상용화제 함량에 따른 인장물성의 변화를 알아보기 위해 인장강도, 신율 및 strain-stress curve를 Figure 6 (a)와 (b)에 나타냈다.

Figure 6(b)를 통해 상용화제 첨가 시 POE/EVA 블렌드의 인장탄성률이 증가하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 인장탄성률은 계면접착력이나 상용성보다는 도입되는 성분들의 함량에 많은 영향을 받기 때문에, 인장탄성률의 증가는 상대적으로 탄성률이 높은 POE-g-MAH의 첨가에 기인한 것으로 판단된다. 또한 POE-g-MAH 함량이 증가함에 따라 POE/EVA 블렌드의 인장강도와 파단신율이 향상되는 경향을 보였다. 이는 블렌드에 첨가된 POE-g-MAH의 MAH가 EVA의 VA와 화학결합을 하고, 상용화제의 POE 부분이 매트릭스인 POE와 상

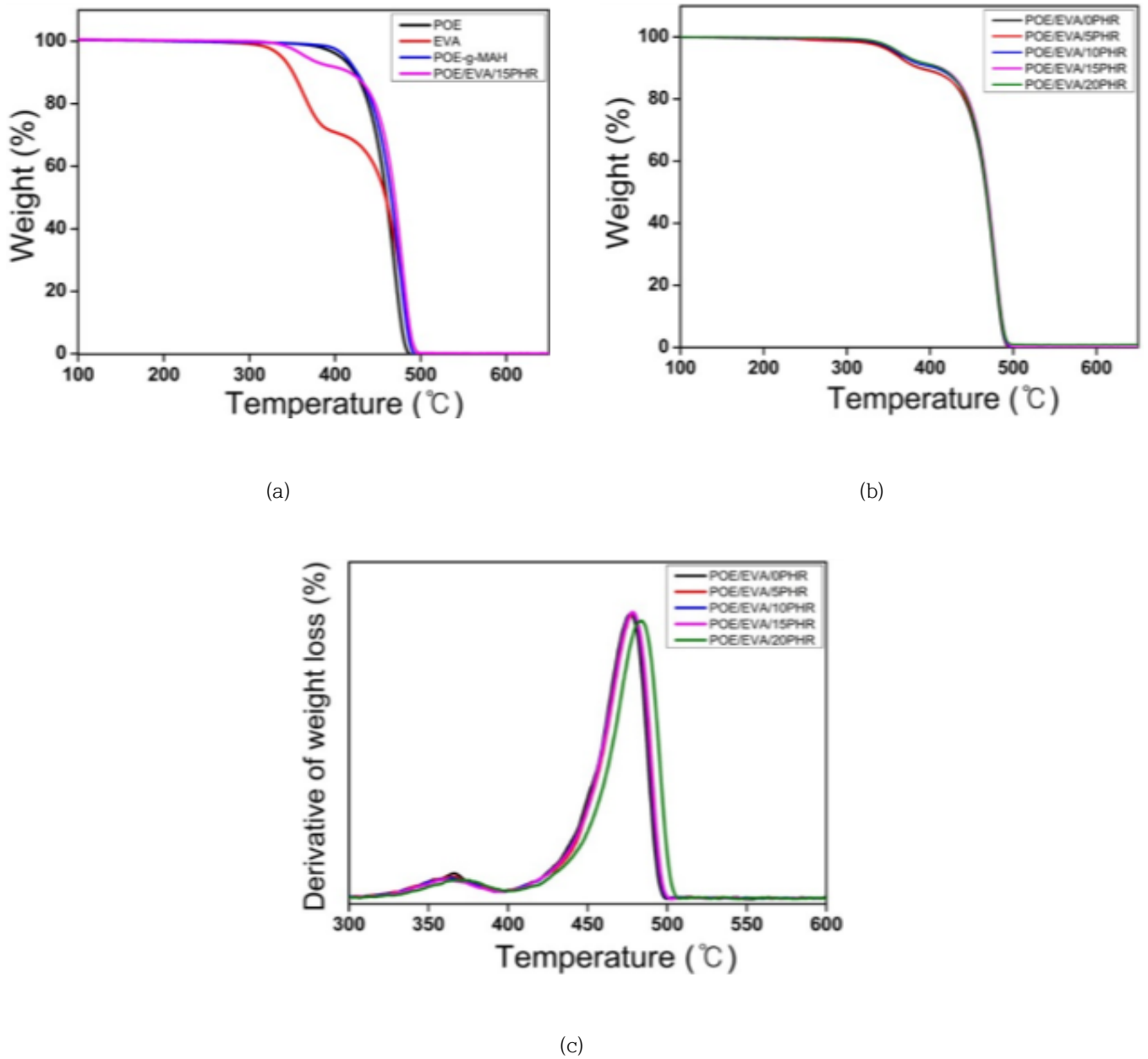


Figure 5. (a) TGA curves of POE, EVA, POE-g-MAH, POE/EVA/5PHR, (b) TGA and (c) DTG curves of POE/EVA blends with POE-g-MAH contents.

호작용을 하여 두 소재 간 계면접착력을 향상시키고 분산성을 개선함으로써 기계적 물성이 증가되었다고 판단된다.

3.6 박리강도

Figure 7은 상용화제 함량에 따른 POE/EVA 필름의 박리강도를 나타내었다. 상용화제가 첨가되지 않은 필름은 0.120 N/mm의 낮은 박리강도를 나타내는데 이는 상용성이 저하되어 접착을 위한 두 고분자 상 사이의 얽힘이 거의 없기 때문으로 판단된다. 상용화제 함량이 증가할수록 박리강도는 최대 0.520

N/mm까지 증가하는데 이는 상용화제가 단독 중합체 계면을 여러 번 통과하여 층을 서로 스티칭(stitching) 하기 때문인 것으로 판단된다²⁸⁾.

3.7 계면접착강도

Figure 8은 UHMWPE 섬유와 POE/EVA 블렌드 간의 계면전단강도를 나타내었다. 상용화제 함량에 따라 계면전단강도가 0.80, 0.90, 0.99, 1.02 그리고 1.11 MPa 정도로 나타났으며 기존과 비교 시 최대 38.75 % 향상된 것을 볼 수 있었다. 이

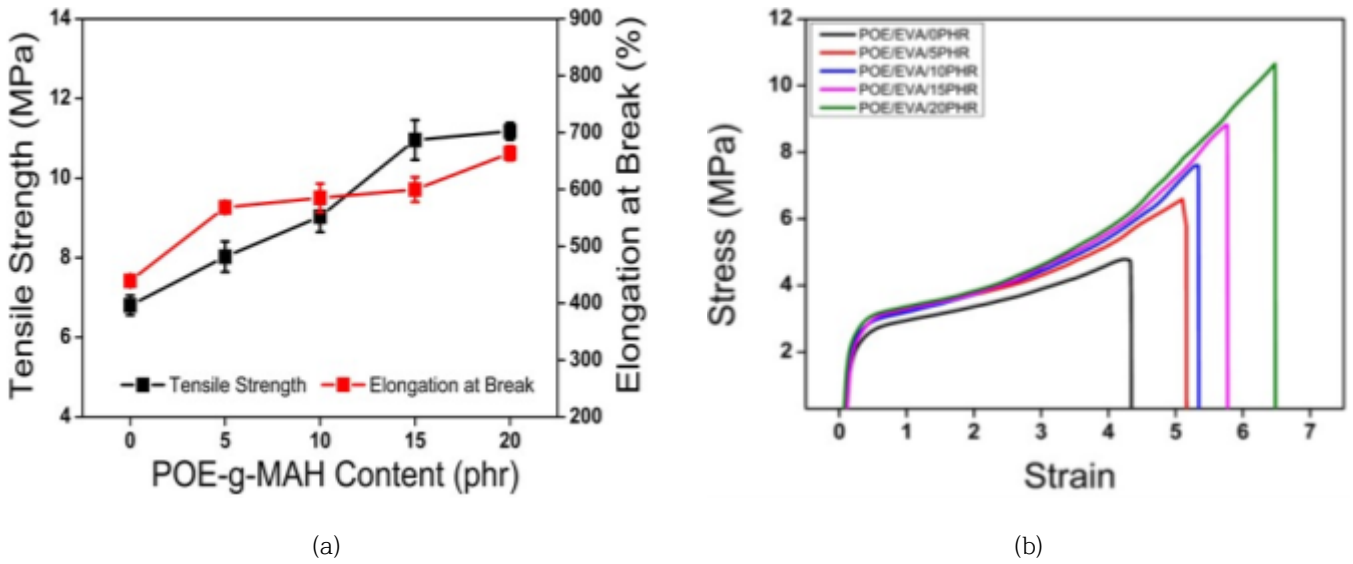


Figure 6. Mechanical properties of POE/EVA films with POE-g-MAH contents; (a) tensile strength and elongation at break and (b) stress-strain curves.

Table 3. Average peel strength of POE/EVA films with POE-g-MAH content

POE-g-MAH	0 phr	5 phr	10 phr	15 phr	20 phr
Average peel strength (N/mm)	0.120	0.161	0.281	0.393	0.520

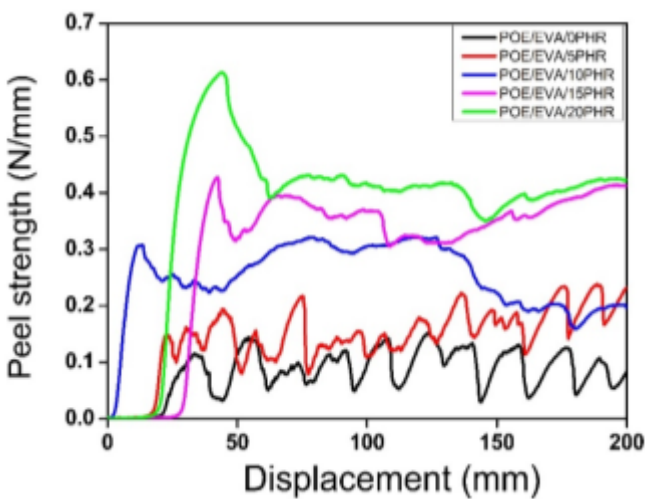


Figure 7. The peel strength of POE/EVA films with POE-g-MAH.

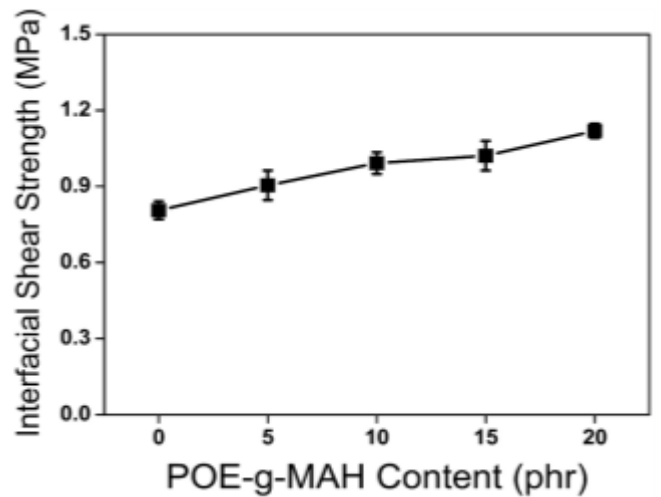


Figure 8. The interfacial shear strength of POE/EVA films with POE-g-MAH contents.

는 상용화제의 MAH가 고분자 구성 요소 간에 화학적 가교 또는 상호작용을 촉진하여 계면접착력이 향상되었고 분산성이 좋아져 표면 밀착성이 높아진 결과라고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 상용화제 첨가에 따른 POE/EVA 블렌드의 상용성을 알아보기 위해 상용화제 함량을 조절하여 POE/EVA 필름에 대한 물성을 분석하였다. POE, EVA 및 상용화제를 혼합하여 필름을 제조하였으며 형태학적 특성 분석, 화학적 조성, 기계적 특성, 열적 특성 및 계면접착강도의 변화를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

SEM 이미지를 통해 상용화제 함량이 증가할수록 POE 매트릭스에 분산된 입자 크기가 감소된 것을 관찰하였고, DSC를 통해 Tg과 Tm의 변화를 관찰하였다. 이는 상용성이 있는 블렌드에서 나타나는 거동이며, FT-IR의 MAH 피크와 블렌드의 Tg가 EVA와 상용화제 사이의 Tg 범위에 존재하는 사실을 통해 상용화제의 MAH 작용기와 EVA 사이에 화학적 결합 또는 상호작용이 존재함을 확인했다. 또한 상용화제 함량이 증가함에 따라 인장강도, 파단연신율, 계면접착강도 및 박리강도가 증가하는데, 이는 상용화제 첨가에 따른 두 소재 간 상호작용으로 인해 계면접착력이 향상되고 분산성이 좋아졌기 때문이다.

TGA 분석에서는 상용화제 함량이 증가함에 따라 열안정성이 증가하는데, 이는 상용성이 개선되었기 때문이며 POE/EVA 블렌드에 상용화제를 첨가하는 것의 이점을 지적한다.

모든 특성의 전반적인 변화는 POE-g-MAH가 POE/EVA 블렌드에 대한 효과적인 상용화제로 사용될 수 있음을 시사하며 물성과 성형성을 고려했을 때 20 phr이 최적 조건이라고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국방과학연구소 민간협력진흥원 민간검용기술개발사업(과제번호: G2519CM50810003)의 지원으로 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

References

1. A. S. Mohite, Y. D. Rajpurkar, and A. P. More, Bridging the Gap between Rubbers and Plastics: A Review on Thermoplastic Polyolefin Elastomers, *Polymer Bulletin*, **79**, 1309(2022).
2. T. Wang, C. Wu, X. Ji, and D. Cui, Direct Synthesis of

- Functional Thermoplastic Elastomer with Excellent Mechanical Properties by Scandium-Catalyzed Copolymerization of Ethylene and Fluorostyrenes, *Angewandte Chemie International Edition*, **60**(49), 25735(2021).
3. Q. Mahmood and W. H. Sun, N,N-chelated Nickel Catalysts for Highly Branched Polyolefin Elastomers: A Survey, *Royal Society Open Science*, **5**(7), 1(2018).
4. X. Sun, Z. Y. Wang, Y. Wang, X. Y. Du, J. D. Liu, C. Zhang, W. Li, and Z. B. Zhao, Graphene/Polyolefin Elastomer Films as Thermal Interface Materials with High Thermal Conductivity, Flexibility, and Good Adhesion, *Chemistry of Materials*, **35**, 2486(2023).
5. Y. Ahn, J. W. Ahn, and C. Han, Effects of Polyolefin Elastomer on Physico-mechanical and Thermal Properties of HDPE/CaCO₃/LDPE-g-MA/POE Composites, *Korean Journal of Chemical Engineering*, **34**(5), 1531(2017).
6. W. Wang, M. Chen, W. Pang, Y. Li, C. Zou, and C. Chen, Palladium-Catalyzed Synthesis of Norbornene-Based Polar-Functionalized Polyolefin Elastomers, *Macromolecules*, **54**(7), 3197(2021).
7. S. Chhetri and H. Bougherara, A Comprehensive Review on Surface Modification of UHMWPE Fiber and Interfacial Properties, *Composites Part A*, **140**, 1(2021).
8. X. Zhang, Y. Wang, and S. Cheng, Properties of UHMWPE Fiber-reinforced Composites, *Polymer Bulletin*, **70**, 821(2013).
9. Y. J. Park, H. S. Joo, H. J. Kim, and Y. K. Lee, Adhesion and Rheological Properties of EVA-based Hot-melt Adhesives, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **26**(8), 571(2006).
10. M. Takemoto, M. Kajiyama, H. Mizumachi, A. Takemura, and H. Ono, Miscibility and Adhesive Properties of Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVA)-Based Hot-Melt Adhesives I, Adhesive Tensile Strength, *Journal of Applied Polymer*, **83**(4), 719(2002).
11. N. Genina, J. Holländer, H. Jukarainen, E. Mäkilä, J. Salonen, and N. Sandler, Ethylene Vinyl Acetate (EVA) as a New Drug Carrier for 3D Printed Medical Drug Delivery Devices, *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, **90**, 53(2016).
12. S. P. Tambe, S. K. Singh, M. Patri, and D. Kumar, Ethylene Vinyl Acetate and Ethylene Vinyl Alcohol Copolymer for Thermal Spray Coating Application, *Progress in Organic Coating*, **62**(4), 382(2008).
13. M. Faker, M. K. R. Aghje, M. Ghaffari, and S. A. Seyyedi, Rheology, Morphology and Mechanical Properties of Polyethylene/ethylene Vinyl Acetate Copolymer (PE/EVA) Blends, *European Polymer Journal*, **44**(6), 1834(2008).
14. A. R. Ajitha and S. Thomas, "Introduction: Polymer Blends, Thermodynamics, Miscibility, Phase Separation, and Compatibilization, In Compatibilization of Polymer Blends:

- Micro and Nano Scale Phase Morphologies, Interphase Characterization and Properties”, Elsevier, Netherlands, pp.1-23, 2019.
15. L. A. Utracki, “Compatibilization of Polymer Blends”, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Netherlands, pp.103-144, 2002.
 16. N. K. Kim, G. W. Park, J. K. Yu, H. J. Kim, and K. Hyun, Effect of EVA-g-MAH on Water Absorption Properties of TPU/EVA Blends, *Polymer Korea*, **46**(2), 251(2022).
 17. S. Qian, H. Mao, E. Zarei, and K. Sheng, Preparation and Characterization of Maleic Anhydride Compatibilized Poly(lactic acid)/Bamboo Particles Biocomposites, *Journal of Polymer Environment*, **23**, 341(2015).
 18. S. Matko, P. Anna, G. Y. Marosi, A. Szep, S. Keszei, T. Czifany, and K. Poloskei, Use of Reactive Surfactants in Basalt Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Macromol. Symp*, **202**, 255(2003).
 19. N. C. Liu and W. E. Baker, Reactive Polymers for Blend Compatibilization, *Advances in Polymer Technology*, **11**(4), 249(1992).
 20. A. Jha, S. R. Chowdhury, K. Krishnanand, and K. S. S. Sarma, Radiation-assisted Controlled Grafting and Reaction Parameter Optimization of an Industrially Important Polyolefin Elastomer(POE), *Polymers for Advanced Technologies*, **27**(7), 889(2016).
 21. Y. Wang, S. Li, W. Yao, H. Chen, and W. Guo, Influence of EVA-g-MAH Compatibilizer on Adhesion Strength, Mechanical Properties and Thermal Behavior of EVA/SBS Hot Melt Adhesive Blends, *Materials Research Express*, **6**(5), 055319(2019). DOI 10.1088/2053-1591/ab06a0
 22. Z. Jiang, C. Hu, S. M. Easa, X. Zheng, and Y. Zhang, Evaluation of Physical, Rheological, and Structural Properties of Vulcanized EVA/SBS Modified Bitumen, *Journal of Applied Polymer Science*, **134**(21), 44850(2017).
 23. O. Vernaes, K. J. Neubert, R. Kopitzky, and S. Kabasci, Compatibility of Chitosan in Polymer Blends by Chemical Modification of Bio-based Polyesters, *Polymers(Basel)*, **11** (12), 1(2019).
 24. Y. Shen, Y. Wang, and K. Mai, Effect of Compatibilizers on Thermal Stability and Mechanical Properties of Magnesium Hydroxide Filled Polypropylene Composites, *Thermochimica Acta*, **483**(1-2), 36(2009).
 25. Y. Soudais, L. Moga, J. Blazek, and F. Lemort, Coupled DTA-TGA-FT-IR Investigation of Pyrolytic Decomposition of EVA, PVC and Cellulose, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **78**(1), 46(2007).
 26. R. N. Jana and G. B. Nando, Thermogravimetric Analysis of Blends of Low-Density Polyethylene and Poly(dimethyl siloxane) Rubber: The Effects of Compatibilizers, *Journal of Applied Polymer Science*, **90**(3), 635(2003).
 27. K. C. Reis, J. Pereira, A. C. Smith, C. W. P. Carvalho, N. Wellner, and I. Yakimets, Characterization of Polyhydroxybutyrate-hydroxyvalerate (PHB-HV)/maize Starch Blend Films, *Journal of Food Engineering*, **89**(4), 361(2008).
 28. X. Peng, Y. Shin, A. J. Zervoudakis, K. Nomura, K. M. Lindenmeyer, K. M. Miller, and C. J. Ellison, Poly(ethylene terephthalate)-polyethylene Block Copolymer Architecture Effects on Interfacial Adhesion and Blend Compatibilization, *Journal of Polymer Science*, **61**, 1(2023).

Authors

- 장나영** 충남대학교 유기재료공학과 학사과정 학생
강은혜 충남대학교 유기응용재료공학과 석사과정 학생
박정진 충남대학교 유기재료공학과 학사과정 학생
유경철 충남대학교 유기응용재료공학과 석사과정 학생
김종희 충남대학교 바이오응용화학연구소 박사후연구원
이승구 충남대학교 유기응용재료공학과 교수