

Isosorbide 기반의 Bio Polycarbonate를 적용한 블렌드의 기계적 물성에 대한 상용성 연구

김경은*** · 권도현* · 정정설*†^{ORCID}

*한국화학융합시험연구원 첨단화학소재센터, **부산대학교 응용화학공학부
(2023년 10월 25일 접수, 2024년 4월 15일 수정, 2024년 4월 15일 채택)

Compatibility on Mechanical Properties of Blends Using Isosorbide-based Bio Polycarbonate

Gyeong Eun Kim***, Do Hyun Kwon*, and Jung Sul Jung*†^{ORCID}

*Advanced Chemical Material R&D Center, Korea Testing & Research Institute,
89 Sepungsandan 1-ro, Gwangyang-eup, Gwangyang-si, Jeollanam-do, Korea

**School of Polymer Science & Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

(Received October 25, 2023; Revised April 15, 2024; Accepted April 15, 2024)

초록: 본 연구에서는 bisphenol-A(BPA) 기반의 석유계 polycarbonate(PC)를 대체한 isosorbide 기반의 bio polycarbonate(Bio PC) 소재로 Bio PC/acrylonitrile butadiene styrene(ABS) 블렌드를 제조하고, poly(methyl methacrylate)(PMMA)를 통해 두 소재의 비상용성을 개선하면서 자동차 내·외장 부품에 적합한 물성을 확보하는 연구를 수행하였다. 마이크로 컴파운더를 활용하여 Bio PC와 ABS를 50 wt%로 고정하고 PMMA를 1-10 phr 첨가하여 시편을 제조하였고, 물성을 측정하였다. 인장, 굴곡강도는 점차 증가하다가 PMMA 함량 5 phr 이상에서 감소하기 시작하였고, 충격강도는 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 유리전이온도를 측정하여 상용성 개선을 확인하였고, 열중량 분석기(thermogravimetric analyzers, TGA) 분석을 통해 내열성 경향을 확인하였다. 상용성 향상에 대한 물성의 상관관계를 분석하기 위하여 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)으로 파단면을 관찰하였다. 그 결과, Bio PC 매트릭스에서 ABS의 분산성이 향상됨을 확인하여 PMMA가 Bio PC와 ABS 소재 간의 상용성을 증가시키는 데 영향을 미치는 것을 확인하였다.

Abstract: In this study, bio polycarbonate(Bio PC)/acrylonitrile butadiene styrene (ABS) blends were manufactured with isosorbide-based Bio PC that replaced bisphenol-A (BPA)-based petroleum PC and improved the incompatibility of the two materials using poly(methyl methacrylate) (PMMA) to secure physical properties suitable for interior and exterior parts of automobiles. Using a micro compounder, the contents of Bio PC and ABS were fixed at 50 wt%, and PMMA was added at 1-10 phr to prepare the specimen, and the physical properties were measured. Tensile and flexural strengths gradually increased and began to decrease when the PMMA content was over 5 phr, and impact strength tended to decrease as the PMMA content increased. In addition, the improvement in compatibility was confirmed by measuring the T_g , and the heat resistance was confirmed through thermogravimetric analyzers (TGA) analysis. To analyze the correlation between physical properties to compatibility, the fracture surface was observed by scanning electron microscope (SEM). As a result, it was confirmed that the dispersibility of ABS was improved in the Bio PC matrix, and that PMMA had an effect on increasing compatibility between Bio PC and ABS materials.

Keywords: bio polycarbonate, acrylonitrile butadiene styrene, poly(methyl methacrylate), micro compounder, compatibility.

서 론

수송기기 산업분야의 배출 가스, 연비에 따른 탄소 배출량 감소 등의 환경 규제가 강화되며 자동차 부품에 적용되는 친

환경 플라스틱 산업의 시장규모도 점차 증가하고 있다. 세계 각국의 주요 자동차 업체들은 내장 부품을 중심으로 바이오 매스 기반의 친환경 플라스틱 적용을 확대하고 있으며 주요 자동차 업체들은 원료 수급부터 제품 폐기의 공정 중에 환경 친화적인 요소를 반영하기 위해 원료를 바이오매스 기반 소재로 적용하거나 생산 공정에 새로운 기술을 도입하는 등의 탄소 배출 저감을 위해 노력하고 있다.

†To whom correspondence should be addressed.
jsyk38317@ktr.or.kr, [ORCID](https://orcid.org/0009-0007-4925-4502) 0009-0007-4925-4502
©2024 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

이러한 친환경 트렌드에 맞춰 바이오매스 기반의 친환경 플라스틱의 연구개발과 시장 확대가 이뤄지고 있으나 친환경 플라스틱은 석유화학계 플라스틱에 비해 부족한 기계적, 열적 물성을 가지며 성형가공성의 저하로 다양한 부품 개발에 한계가 있다. 이러한 친환경 플라스틱의 부족한 물성과 성형가공성을 보완하기 위해 친환경 플라스틱 블렌드 등의 연구가 지속되고 있다.

Polycarbonate(PC)는 뛰어난 기계적 강도, 내충격성을 보유하며 투명성이 뛰어난 플라스틱으로 다양한 응용 분야에 사용되고 있다. 하지만 낮은 유동성으로 인해 사출 성형 시 성형품 미성형, 잔류응력 존재, 고온의 성형가공 온도 설정 등의 단점이 있다. 이러한 PC의 단점을 개선하기 위해 acrylonitrile butadiene styrene(ABS), polybutylene terephthalate(PBT), polyethylene terephthalate(PET), acrylic styrene acrylonitrile(ASA) 등의 소재와 블렌드하여 내충격성, 내화학성, 내후성 등을 향상시키고 사출성형 가공성을 향상시킨 블렌드가 다양한 산업군에 적용되고 있다.¹²

ABS는 유동성, 내화학성이 뛰어나며 PC와 부분적으로 상용성을 보유하고 있어 PC/ABS 블렌드를 제조하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. PC/ABS 소재를 블렌드하면 ABS 소재로 인해 투명성이 감소하나, ABS 소재의 우수한 표면 광택과 도장성으로 인해 다양한 색의 구현이 가능하여 자동차용 내외장 부품 생산에 적합하다. PC/ABS 블렌드는 높은 toughness를 요구하는 분야에 적용 가능한 플라스틱으로 자동차의 bumper, center consol, door handle 등 자동차 내외장 부품에 사용되고 있다. 하지만, PC와 ABS는 두 소재의 상용성 부족으로 인해 블렌드 시 기계적 강도, 내열성이 저하되어 높은 물성을 요구하는 다양한 자동차용 내외장 부품 적용의 확대에 한계가 있다.¹²

폭넓은 응용분야의 적용을 위하여 PC/ABS 블렌드의 상용성을 보완하여 물성을 향상시키고자 하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중, 첫번째는 반응성기를 포함하는 상용화제를 사용하여 상용성을 향상시키는 방법이다.^{3,5} Dong, Chen 등은 PC/ASA/poly(methyl methacrylate)(PMMA) 3종 블렌드의 상용성을 보완하고자 ABS-g-MAH를 적용하였고, 반응성 상용화제가 상용성 향상을 통해 기계적, 열적 물성을 향상시키는데 영향을 미치는 것을 확인하였다.⁵

두번째는 PC-*b*-PMMA, TMPC-*b*-PMMA 등과 같이 블록공중합체를 사용하여 PC와 ABS 두 상의계면에 위치하여 계면 접착력을 향상시키는 방법이 있다.⁶⁻⁸ 세번째로 PMMA와 같은 아크릴계 고분자 소재를 사용하여 상용성을 향상시키는 연구도 진행되어 왔다.

PC/ABS 블렌드는 PC와 ABS의 SAN이 계면을 형성하여 상분리가 일어나고, ABS가 PC 매트릭스 내에서 분산상을 형성한다.^{9,13} PC/ABS 블렌드에 PMMA가 첨가될 경우, 두 소재의 계면 장력을 낮춤으로써 PMMA가 PC와 ABS의 SAN 계면에

위치하게 되고, 이를 통해 상용성을 향상시켜 상용화제로써의 역할을 하게 된다.^{14,16} Rybnicek, Lach 등은 TEM 이미지와 Spreading coefficients를 통해 PC/ABS 블렌드에 PMMA를 소량 첨가하여 PC와 ABS의 계면 접착력을 향상시켜 기계적 물성이 개선되는 결과를 확인하였다.¹⁶ Yang, Lee, Oh 등은 PC/ABS 블렌드에 PMMA를 첨가하여 ABS 도메인의 크기를 감소시키는데 효과가 있음을 확인하였고, 이를 통해 PC/ABS 블렌드의 가공성과 물성을 향상시킨 연구를 진행하였다.¹⁷ Lim, Park 등은 PMMA를 적용하여 PC/ABS 블렌드 사출시 발생하는 웰드 라인에서의 상몽침 정도를 개선하고, 웰드 강도를 향상시킨 연구 결과를 보고하였다.¹⁸

하지만, 위의 연구들은 석유계 PC를 적용한 연구들로, 석유계 PC의 원료로 사용되는 환경호르몬 물질인 bisphenol-A (BPA)의 사용을 제한하는 규제가 강화되고 있어 바이오매스 기반의 소재로의 대체가 필요하다.^{19,20}

본 연구에서는 글루코스에서 유래한 화합물인 isosorbide를 기반으로 한 bio polycarbonate(Bio PC)를 적용하여 Bio PC/ABS 블렌드를 제조하고 부분적인 비상용성을 향상시키기 위해 PMMA를 상용화제로 적용하여 연구를 수행하였다. Bio PC는 PC의 주원료인 BPA를 대체할 수 있는 isosorbide 단량체로 중합되며, 투명성, 치수 안정성 등의 특성은 좋으나, 단량체의 낮은 반응성으로 인해 중합공정에서 상대적으로 가혹한 반응 조건이 수반된다. 또한, BPA 기반의 일반 PC 대비 높은 강직성으로 인해 낮은 내충격성, 유동성 등의 단점이 있어 고기능성 플라스틱의 특성을 만족하는데 어려움이 있다.^{19,20}

따라서, PMMA 소재를 적용하여 Bio PC/ABS 블렌드의 상용성을 보완하고 부족한 물성과 성형가공성을 향상시켜 자동차용 내외장 부품에 적합한 친환경 바이오 블렌드를 개발하는 연구를 수행하고자 한다.

실 험

시약 및 재료. 실험에 사용된 Bio PC는 삼양사(Korea)로부터 제공받은 isosorbide를 원료로 제조한 바이오매스함량 50%인 플라스틱 펠릿을 사용하였고, ABS 소재는 검정색의 펠릿

Table 1. Composition of Bio PC/ABS Blends

	Bio PC (wt%)	ABS (wt%)	PMMA (phr)
Bio PC/ABS	50	50	0
PMMA 1 phr	50	50	1
PMMA 3 phr	50	50	3
PMMA 5 phr	50	50	5
PMMA 7 phr	50	50	7
PMMA 10 phr	50	50	10

형태인 LG Chem(Korea)의 고충격 그레이드 RS650 제품을 선정하였다. PMMA 소재는 Rohm(Germany)의 PLEXIGLAS® 8N 제품을 사용하였다. Bio PC/ABS 블렌드의 함량은 각각 50 wt%로 고정하여 진행하였고, 그에 대한 PMMA의 조성은 Table 1에 나타내었다. 모든 재료는 시편 제조 전 80 °C에서 6시간 건조 후 사용하였다.

시편 제조. Bio PC/ABS 블렌드를 제조하기 위하여 batch volume 5 mL인 마이크로 컴파운더 사출기 Xplore(Netherlands)의 MC5 모델을 이용하였다. 2개의 스크류가 수직으로 설치되어 있고, 동일한 방향으로 돌아가는 Co-Rotation Type으로 블렌드 제조를 수행하였다. 컴파운딩 온도는 상부 235 °C, 중부 235 °C, 하부 235 °C로 설정하였으며, 체류시간 1분, Screw 속도 100 RPM 조건으로 압출하였다. 시편의 제조는 마이크로 컴파운더와 연결되어 있는 마이크로 사출기를 사용하였으며, 압력 10 MPa, 온도 235 °C, 금형온도 25 °C로 진행하였다. 인장시편은 ASTM D 638 Type 5, 굴곡시편은 ISO 178, 충격시편은 ISO 179 기준으로 제작하였으며, 공정은 Figure 1과 같다.

블렌드의 기계적 물성 분석. PMMA 첨가에 따른 Bio PC/ABS 블렌드의 기계적 물성 변화를 관측하기 위해 인장강도 및 굴곡강도를 측정하였다. 인장강도는 ASTM D 638 제작된 길이 64 mm, 폭 3 mm, 두께 3 mm의 시편을 사용하였다. 인장강도 측정은 Shimadzu(Japan)의 AGX-1 kNVD 모델의 만능재료시험기(universal testing machine, UTM)를 사용하여 로드셀 1 kN에서 cross head speed 5 mm/min의 속도로 인장 변형을 가하여 물성을 측정하였다.

굴곡강도는 ISO 178 표준에 맞게 제작된 시편으로 진행하였고, 시편의 사이즈는 길이 80 mm, 폭 10 mm, 두께 4 mm 이다. 굴곡강도를 측정하기 위해 인장강도 시험과 같은 UTM을 사용하여 로드셀 10 kN에서 5 mm/min의 속도로 측정하였다.

샤르피 노치 충격강도 측정을 위해 ISO 179 표준에 맞게 제작된 시편을 사용하였으며, Tinius Olsen(USA)의 MODEL 899 모델의 노치가공기를 이용하여 노치부의 반경 0.25 mm, 노치부의 너비 8 mm가 되도록 노치 가공을 수행하였다. 가공된 시편은 Tinius Olsen(USA)의 IT504 모델의 충격강도 시험기를 사용하여 샤르피 노치 충격강도를 측정하였다.

블렌드의 열특성 분석. Bio PC/ABS 블렌드의 열특성을 분석하기 위하여 TA Instrument(USA)의 DSC 25 모델의 시차 주사열량계(differential scanning calorimetry, DSC)를 이용하여 유리전이온도(T_g)를 분석하였다. 질소 분위기 하에서 승온속도 20 °C/min으로 설정하였고, 온도 범위는 30 °C에서 400 °C까지 측정하였다. 또한, 블렌드의 내열성 변화를 확인하기 위하여 TA Instrument(USA)의 TGA 550 모델의 열중량 분석기(thermogravimetric analyzers, TGA)를 이용하였다. 질소 분위기 하에서 20 °C/min의 승온속도로 온도 범위 30-700 °C까지의 열분해 거동을 측정하여 질량 변화를 95%에서 열분해 온도를 비교하여 내열성을 평가하였다.

블렌드의 표면 특성 분석. Bio PC 매트릭스에 존재하는 ABS 소재의 분산도와 PMMA를 첨가한 경우의 상호작용을 관찰하고 그에 따른 물성과의 상관관계를 분석하기 위하여 시편의 파단면을 조사하였다. 장비는 HITACHI(Japan)의 nx 2000 모델인 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)을 사용하였고, 가속전압 5.0 kV로 파단면을 관측하였다.

Bio PC/ABS 블렌드에서 ABS 소재를 선택적으로 제거하여 파단면을 관찰하기 위해 etching 과정을 수행하였다. 시편을 액체질소에 5 분간 dipping하여 냉각 후 파단하였고, 파단면에 존재하는 분산상을 명확히 관찰하기 위해 크롬산 수용액(Cr₂O₃; 5 g, H₂SO₄ 30 mL, H₂O 120 mL)에 파단된 시편을 5 분간 침지하였다. 샘플의 표면에 전도성을 부여하기 위하여 ion sputter coater 장비를 사용하여 60 초 동안 백금(Pt)으로 코팅하였다.

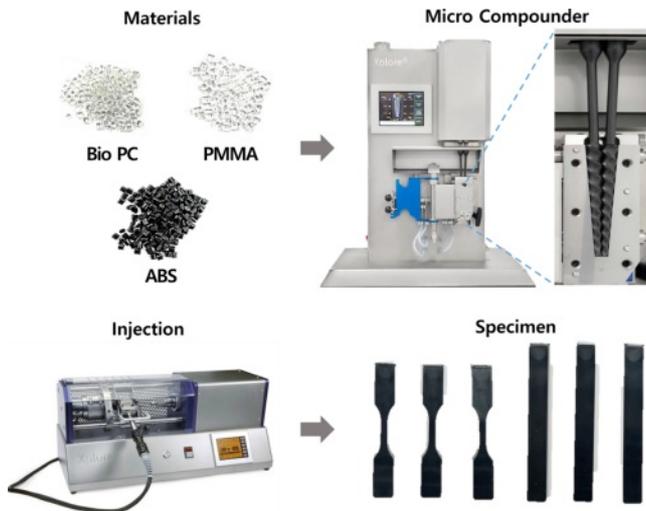


Figure 1. Schematic for processing of Bio PC/ABS Blends.

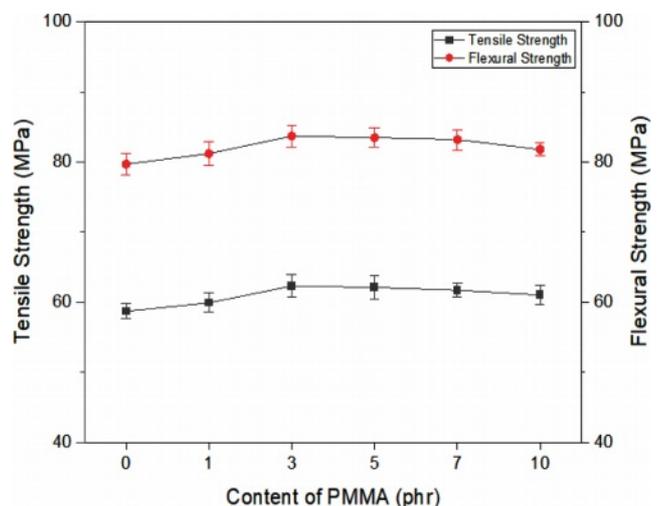


Figure 2. Tensile and flexural strength of Bio PC/ABS blends.

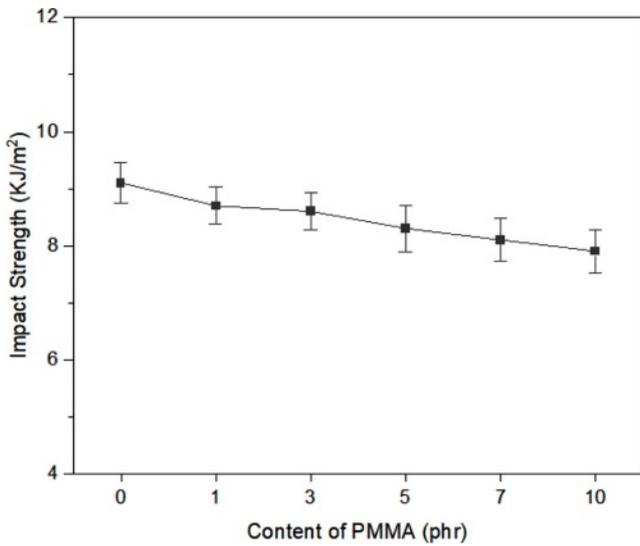


Figure 3. Impact strength of Bio PC/ABS blends.

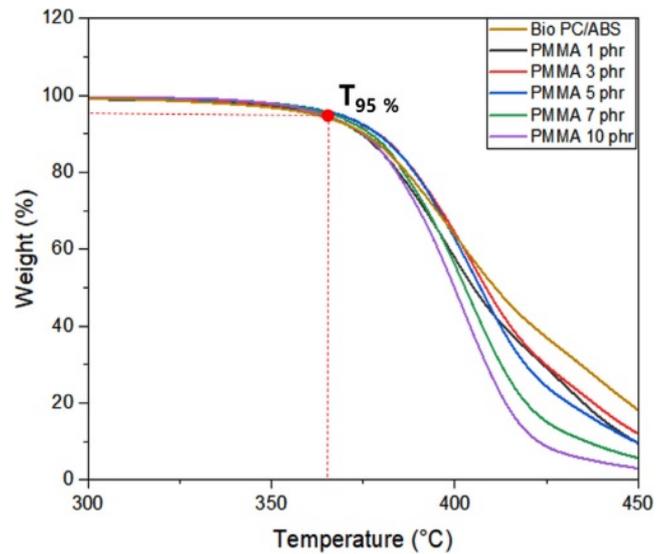


Figure 4. TGA curve of Bio PC/ABS blends.

결과 및 토론

블렌드의 기계적 물성 분석. PMMA 첨가에 따른 Bio PC/ABS 블렌드의 기계적 물성 변화를 관찰하기 위해 인장강도, 굴곡강도, 충격강도를 측정하여 이를 Table 2와 Figure 2, 3에 나타내었다. Figure 2는 Bio PC/ABS 블렌드에 PMMA가 첨가되었을 경우 인장강도와 굴곡강도의 변화를 나타내는 그래프이다. PMMA 함량이 증가함에 따라 인장강도와 굴곡강도가 Bio PC/ABS 블렌드에 비해 최대 약 6.1, 5.0%까지 향상되었으며, 5 phr 함량부터는 물성이 감소하기 시작하였다. 이는 PMMA가 Bio PC와 ABS 소재의 계면에 위치하게 되면서 계면접착력을 향상시켜 물성이 증가하였지만,^{14,16} 5 phr 이상에서는 분자간 얽힘에 의해 응집이 발생하여 물성이 감소한 것으로 판단된다.²

Figure 3은 Bio PC/ABS 블렌드의 샤르피 노치충격강도를 측정한 값을 나타내었다. 충격강도 측정 결과, 인장, 굴곡강도의 결과와는 다르게 PMMA의 함량이 증가할수록 충격강도의 값이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 PMMA가

과량으로 첨가하게 되면서 상대적으로 PMMA의 brittle한 특성으로 인해 충격강도가 저하되는 것으로 판단된다.²¹

블렌드의 열특성 분석. Bio PC/ABS 블렌드의 열 안정성의 변화를 분석하기 위해 TGA 분석을 실시하여 Table 2과 Figure 4에 나타내었다. 질량변화를 95%에서의 분해온도를 확인하여 PMMA 함량별 분해온도를 비교하였다. PMMA를 첨가하지 않은 Bio PC/ABS 블렌드는 분해 온도가 361.8 °C로 나타났으며, PMMA의 함량에 따라 각각 361.9, 367.6, 368.4, 366.6, 363.9 °C로 확인되었다. PMMA가 증가할수록 열분해 온도가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 7 phr 이상에서는 감소하기 시작한다. Bio PC/ABS 블렌드의 분해 온도와 큰 차이를 나타내지 않아 PMMA는 Bio PC/ABS 블렌드의 분해 온도에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 하지만, PMMA 7 phr 부터 블렌드의 열분해온도가 감소한 것으로 보아 PMMA의 높은 함량이 분해 온도를 감소시켜 블렌드의 내열성 저하를 초래하는 것으로 보인다.²¹

Bio PC/ABS 블렌드에 대한 유리전이온도를 DSC로 측정하여 Table 3과 Figure 5에 나타내었다. Bio PC/ABS 블렌드의

Table 2. Mechanical and Thermal Properties of Bio PC/ABS Blends

	Tensile Strength (MPa)	Flexural Strength (MPa)	Impact Strength (KJ/m ²)	T _g (°C)	T _{95%} (°C)
Bio PC	68.5	121.8	1.9	115.8	359.3
Bio PC/ABS	58.7	79.7	9.1	102.24/118.14	361.8
PMMA 1 phr	59.9	81.2	8.7	102.23	361.9
PMMA 3 phr	62.3	83.7	8.6	102.24	367.6
PMMA 5 phr	62.1	83.5	8.3	102.18	368.4
PMMA 7 phr	61.7	83.2	8.1	102.26	366.6
PMMA 10 phr	61.0	81.8	7.9	102.23	363.9

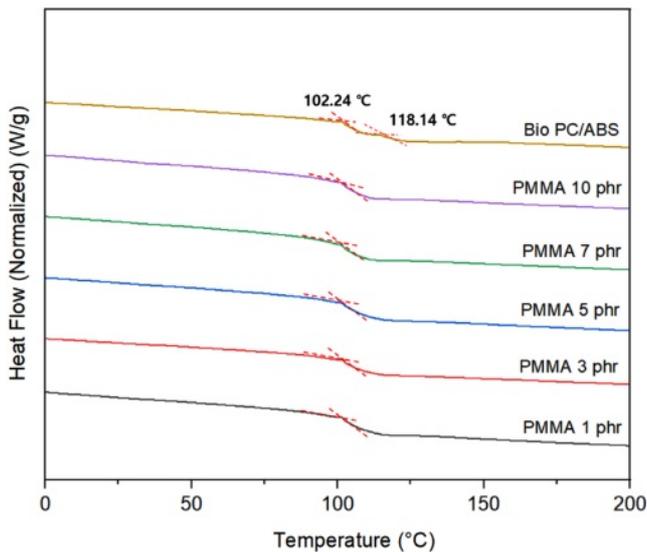


Figure 5. DSC curve of Bio PC/ABS blends.

경우, 102 °C, 118 °C의 온도에서 2개의 T_g 가 관찰되었고, 이로 인해 두 소재간의 비상용성을 확인하였다. 그러나, PMMA를 첨가한 블렌드의 경우 102 °C 부근의 하나의 T_g 만이 관찰되었고, 이는 PMMA가 Bio PC와 ABS 사이의 상용성을 향상시키는 일종의 상용화제로 작용한 것을 확인할 수 있었다. 하지만, PMMA 함량에 따른 블렌드의 T_g 는 모두 약 102 °C 부

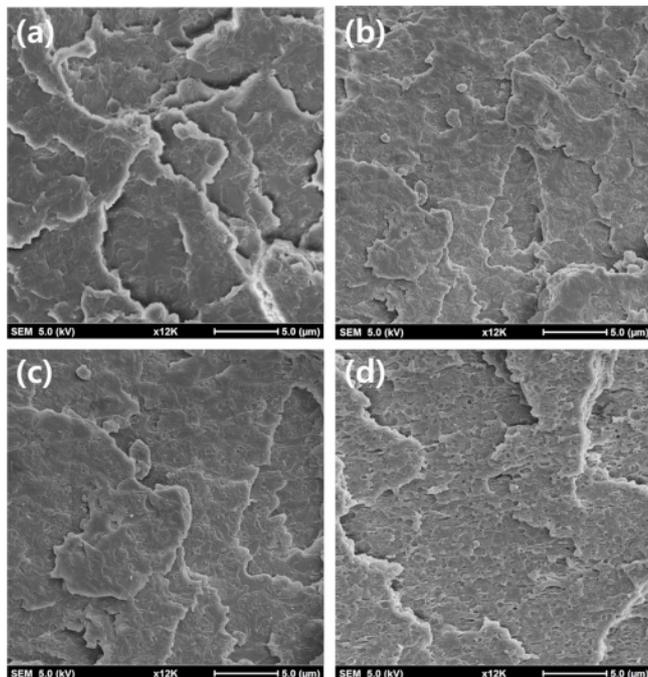


Figure 6. SEM images of Bio PC/ABS blends: (a) before etching PMMA 0 phr; (b) before etching PMMA 3 phr; (c) after etching PMMA 0 phr, (d) after etching PMMA 3 phr.

근에서 나타나 PMMA가 Bio PC/ABS 블렌드의 T_g 증가에는 영향을 주지 않는다는 것을 확인하였다.

블렌드의 표면 특성 분석. PMMA가 Bio PC/ABS 블렌드의 상용성 향상에 미친 영향을 분석하기 위하여 SEM을 이용하여 시편의 파단면을 관찰하였다. 시편은 물성 향상 효과가 뛰어난 Bio PC/ABS 블렌드에 PMMA 3 phr를 포함한 샘플을 선정하여 Bio PC/ABS에 PMMA를 첨가하지 않은 샘플의 파단면과 비교하였다. Bio PC 매트릭스에 ABS 소재의 분산 정도를 보기 위하여 etching 과정을 통해 ABS 소재만을 녹여 내었고, 이를 Figure 6에 나타내었다. 파단면 표면에 보이는 hole이 ABS 소재가 etching되어 제거된 부분이며, Figure 6(b)에 비하여 (c)에서 분산상인 hole의 크기가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 분산상의 분포가 증가한 것을 관찰할 수 있었다. 이를 통해 PMMA가 두 소재 간의 상용성을 증진시켜 ABS가 Bio PC 매트릭스에 더욱 고르게 분포되어 있음을 확인하였고, 이와 동시에 ABS의 분산 정도가 증가하면서 Bio PC/ABS 블렌드의 물성이 향상되는 것을 확인하였다.¹⁶⁻¹⁸

결론

자동차 산업에서 친환경 소재로의 대체 연구가 활발히 진행되면서 isosorbide 원료를 기반으로 제조된 Bio PC 소재가 주목받고 있다. 본 연구에서는 Bio PC의 부족한 물성과 성형 가공성을 보완하고자 ABS를 복합화하여 자동차 내외장 부품에 친환경 바이오 블렌드로써 적용하고자 하였고, 두 소재의 부족한 상용성에 대한 연구를 진행하였다.

Bio PC/ABS 블렌드는 마이크로 컴파운더 사출기를 활용하여 제조하였으며, 상용성 향상을 위하여 PMMA 소재를 함량에 따라 첨가하여 기계적, 열적 특성을 분석하고 파단면을 관찰하였다.

그 결과, Bio PC/ABS 블렌드의 인장강도, 굴곡강도는 PMMA 함량이 증가함에 따라 점차적으로 증가하다가 5 phr 이상부터는 감소하기 시작하였으며. 충격강도는 PMMA가 첨가될수록 감소하는 경향을 보였다. 이러한 ABS 소재와의 블렌드를 통하여 Bio PC 소재 자체의 낮은 충격 특성과 성형 가공성이 크게 개선될 수 있으며, PMMA 첨가로 인한 상용성 증대로 Bio PC/ABS 블렌드의 기계적 물성을 향상시키는 효과를 기대할 수 있음을 보여주었다.

또한, PMMA가 첨가되면서 DSC 분석으로 2개의 피크로 나타났던 Bio PC/ABS 블렌드가 1개의 피크로 변화된 것을 확인하였고, TGA 분석을 통하여 측정된 질량변화율 95%의 열분해온도는 다소 증가하였으나 큰 차이가 없어 PMMA 첨가로 인한 열적 특성의 향상 효과를 보기 어려웠다. SEM을 이용하여 파단면을 관찰한 결과, PMMA를 적용한 Bio PC/ABS 블렌드의 파단면에서 ABS 분산상의 크기가 감소함과 동시에 분산성이 향상된 것을 확인하였고, 이로 인해 Bio PC/

ABS 블렌드의 물성이 증가하는데 효과가 있음을 확인하였다.

본 연구를 통하여 Bio PC/ABS 블렌드가 PMMA로 인해 두 소재의 상용성이 증가됨에 따라 물성이 향상됨을 확인하였고, 기계적 물성이 향상된 친환경 바이오 블렌드 소재 개발로 인하여 자동차 내·외장 부품에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글: 본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 산업기술혁신사업(과제번호 : 20015768)의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

이해상충: 저자들은 이해상충이 없음을 선언합니다.

참 고 문 헌

- Lee, D. U.; Yong, D. K.; Lee, H. K.; Choi, S. J.; Yoo, J. J.; Lee, H. I.; Lee, S. G. Study on the Morphology of the PC/ABS Blend by High Shear Rate Processing. *Korean Chem. Eng. Res.* **2014**, *52*, 382-387.
- Yu, S. H.; Lee, J. H.; Yeo, D. H.; Shin, Y. H.; Park J. S.; Sim J. H.; Characterization of ABS/PC/POE Thermoplastic Composites and Prediction of Mechanical Properties by Geometry Simulation. *Textile Coloration and Finishing* **2022**, *34*, 117-126.
- Tjong, S. C.; Meng, Y. Z. Effect of Reactive Compatibilizers on the Mechanical Properties of Polycarbonate/poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) Blends, *Europ. Polym. J.* **2000**, *36*, 123-129.
- Park, J. Y.; Lee, B. Y.; Cha, H. J.; Kim, Y. C. Effects of Compatibilizer and Graphene Oxide on the Impact Strength of PC/ABS Blend. *Appl. Chem. Eng.* **2015**, *26*, 173-177.
- Dong W.; Chen D.; Tang R. Modified PC/ASA/PMMA Blends with Improved Compatibility, Mechanical Properties and Biocompatible Synergistic Effects With Natural Rubber. *ChemRxiv* **2020**, DOI: 10.26434/chemrxiv.10058444.v8.
- Kang, E. A.; Kim, J. H.; Kim, C. K.; Oh, S. Y.; Rhee, H. W. The Effects of PC-PMMA Block Copolymer on the Compatibility and Interfacial Properties of PC/SAN Blends. *Polym. Eng. Sci.* **2000**, *40*, 2374-2384.
- Kang, E. A.; Kim, K.; Rhee, H. W.; Oh, S. Y. Morphology Control of PC/SAN Blend Using PC-PMMA Diblock Copolymer, *Polym. Korea* **1998**, *22*, 312-320.
- Kim, J. H.; Kim, C. K. Changes in the Interfacial Properties of PC/SAN Blends with Compatibilizer. *J. Appl. Polym. Sci.* **2003**, *89*, 2649-2656.
- Seo, Y. S.; Kim, J. H.; Kim, C. K.; Lee, R.; Keum, J. K. Polycarbonate/acrylonitrile-styrene-acrylic Elastomer Terpolymer Blends with Enhanced Interfacial Adhesion and Surface Gloss. *J. Appl. Polym. Sci.*, **2005**, *96*, 2097-2104.
- Nishimoto, M.; Keskkula, H.; Paul, D. R. Miscibility of Polycarbonate with Methyl Methacrylate-based Copolymers. *Polymer* **1991**, *32*, 272.
- Callaghan, T. A.; Paul, D. R. Estimation of Interaction Energies by the Critical Molecular Weight Method: 1. Blends with Poly Carbonates. *J. Polym. Sci. B Polym. Phys.*, **1994**, *32*, 1813-1845.
- Fowler, M. E.; Keskkula, H.; Paul, D. R. Synergistic Toughening in Rubber Modified Blends, *Polymer* **1987**, *28*, 1703-1711.
- Jin, D. W.; Shon, K. H.; Jeong, H. M.; Kim, B. K. Compatibility Enhancement of ABS/polycarbonate Blends. *J. Appl. Polym. Sci.* **1998**, *69*, 533-542.
- Oh, J. M.; Noh, I. Morphology-Properties Relationships for Ternary Blends of PC, SAN and Impact Modifier Having Core Shell Structure. *Polym. Korea* **1996**, *20*, 1088-1100.
- Park, E. J.; Jo, S. B.; Lee M. S.; Miscibility and Compatibilization by Encapsulation of Polycarbonate/Syndiotactic Polystyrene Blends. *Text. Sci. Eng.* **2013**, *50*, 225-231.
- Rybnicek, J.; Lach, R.; Grellmann, W.; Lapcikova, M.; Slouf, M.; Krulis, Z.; Anisimov, E.; Hajek, J. Ternary PC/ABS/PMMA Blends - Morphology and Mechanical Properties under Quasi-Static Loading Conditions. *Polimery* **2012**, *57*, 87-94.
- Yang, K.; Lee, S. H.; Oh, J. M. Effects of Viscosity Ratio and Compatibilizers on the Morphology and Mechanical Properties of Polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene Blends. *Polym. Eng. Sci.* **1999**, *39*, 1667-1677.
- Lim, J. C.; Park, J.-K. Weld-line Characteristics of Polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene Blends. I. Effect of the Processing Temperature. *J. Appl. Polym. Sci.* **2004**, *95*, 689-699.
- Jeon, H.; Koo, J. M.; Park, S. A.; Kim, S. M.; Jegal, J.; Cha, H. G.; Park, J. Research Trend of Biomass - Derived Engineering Plastics. *Appl. Chem. Eng.* **2020**, *31*, 115-124.
- Park, S. J.; Park, J. H.; Lyu, M.-Y.; Koo, M. S.; Rho, H. J.; Cho, S. H. Comparison of Bulk Strength, Weldline Strength, and Deposition Strength of 3D Printing-manufactured Article in Fossil PCs and Bio-based PCs. *Polym. Korea* **2017**, *41*, 531-538.
- Eom, C. H. Improvement in the Properties of Polymer Blends Containing Polycarbonate Using Compatibilizers. Master's Thesis, The University of Suwon, Korea, 1999.

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