

폴리프로필렌/대나무 섬유 복합체의 물성에 대한 상용화제의 영향

이종원 · 구선교 · 이범희 · 이기웅* · 김철우** · 김기성** · 김연철†

공주대학교 고분자공학전공, *한양소재(주), **한일이화(주)
(2015년 8월 20일 접수, 2015년 9월 7일 심사, 2015년 9월 11일 채택)

Effect of the Compatibilizer on Physical Properties of Polypropylene (PP)/Bamboo Fiber (BF) Composites

Jong Won Lee, Sun Gyo Ku, Beom Hee Lee, Ki-Woong Lee*, Cheol Woo Kim**, Ki Sung Kim**, and Youn Cheol Kim†

Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, 275 Budaе-Dong, Cheonan 31080, Korea

*Hanyang Advanced Materials co., Ltd, 147, 2Gongdan 1-ro, Cheonan, 31075, Korea

**Hanilewha, 398-1 Namseom-ri, Shinchang-myun, Asan, 31534, Korea

(Received August 20, 2015; Revised September 7, 2015; Accepted September 11, 2015)

초 록

폴리프로필렌(polypropylene, PP)과 대나무 섬유(bamboo fiber, BF) 복합체의 물성에 미치는 상용화제의 영향을 고찰하기 위해 이축압출기를 이용하여 PP/BF 복합체를 제조하였다. BF의 함량은 10에서 25 wt%로 변량하였고, 상용화제는 3 wt%로 고정하였으며, 폴리프로필렌과 대나무 섬유와의 혼화성 증대를 위한 상용화제는 무수말레인산(maleic anhydride, MAH)이 그래프트된 PP-g-MAH를 사용하였다. 상용화제를 적용한 복합체의 화학구조는 적외선 분광 스펙트럼의 1700 cm^{-1} 근처에서 나타나는 카르보닐기(C=O) 신축진동 피크의 존재 여부를 통해 확인하였으며, 압출온도와 스크류 회전속도는 기계적 물성과 탄화 정도를 고려하여 210, 100 rpm으로 선정하였다. PP/BF 복합체의 용융거동은 큰 차이를 보이지 않았지만 결정화 온도는 10-20 °C 정도 증가를 나타내었고, 이는 BF가 불균일 핵제로 작용하기 때문으로 해석할 수 있다. 인장시험, 굴곡시험을 통해 BF의 함량이 15-20 wt%일 때 상용화제의 효과가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였고, 이는 PP와 BF의 계면 접촉특성으로 설명할 수 있다. 계면 접촉특성 향상은 파단면의 SEM 사진과 접촉각을 통해 확인하였다.

Abstract

Polypropylene (PP)/bamboo fiber (BF) composites were fabricated by twin screw extruder in order to investigate effects of the compatibilizer on physical properties of PP/BF composites. The content of BF changed from 10 to 25 wt% and that of the compatibilizer was fixed at 3 wt%. Maleic anhydride grafted PP (PP-g-MAH) was used to increase the compatibility between PP and BF as a compatibilizer. Chemical structures of the composites were confirmed by the existence of carbonyl group (C=O) stretching peak at $1,700\text{ cm}^{-1}$ in FT-IR spectrum. Considering the degradation and mechanical properties, the optimum extrusion conditions were selected to be 210 °C and 100 rpm, respectively. There was no distinct changes in melting temperature of the composites, but the crystallization temperature increased by 10-20 °C owing to the heterogeneous nuclei of BF. It was checked that the optimum BF content was in the range of 15-20 wt% from the results of tensile and flexural properties of the composites. The effect of the compatibilizer on mechanical properties was confirmed by SEM images of fractured surface and contact angles.

Keywords: polypropylene, bamboo fiber, composites, compatibilizer, mechanical properties

1. 서 론

세계 자동차 산업 동향 분석에서는 지구 온난화 방지와 관련 온실 가스의 배출을 억제하기 위해 플라스틱 소재가 철강소재를 대체할 것

이라고 예측했다. 이는 자동차 경량화에 따른 연비 향상으로 직결되는 예측 수치를 보이는데, 미국을 비롯한 유럽과 우리나라의 연비강화를 위한 법안 제정에 부합하는 방향으로 플라스틱 소재에 대한 기술개발의 필요성을 부각시키는 것이다.

자동차 연비 강화를 위해 가장 효율적인 방법 중 하나인 자동차 경량화로서, 자동차의 경우 자동차 중량이 10% 감소되면 연료 소비가 7% 감소되어 연비가 1 L당 1 km 개선되는 것으로 알려져 있는데, 현재 자동차 경량화를 위한 플라스틱 복합소재에 대한 연구가 진행되고 있다. 플라스틱(고분자) 복합소재란, 고분자 매트릭스에 강화제로 필러나 다른 고분자를 섞음으로써 강도 그리고 내열성 등을 향상시킬

† Corresponding Author: Kongju National University,
Major in Polymer Science and Engineering, 275 Budaе-Dong, Cheonan 31080,
Korea
Tel: +82-41-521-9395 e-mail: younkim@kongju.ac.kr

수 있는 방법이다[1-5]. 자동차용 고분자 복합소재로서 현재 자동차용 내 외장 부품소재에 가장 활발히 적용되고 있는 플라스틱 중 하나인 폴리프로필렌(polypropylene, PP)의 경우, 경제성, 물성, 공정성, 환경 및 재활용성 등 응용 잠재력이 있기 때문에 많이 사용되고 있다.

고분자 복합소재의 필러로 그동안 많이 사용되어왔던 유리섬유, 탄소섬유 등은 높은 기계적 물성을 갖는 장점으로 인해 그 사용이 많이 있었는데, 이와 같은 섬유의 경우 천연에서 얻어지는 것이 아니고 제조공정을 거침으로 총 탄소의 규제 측면에서 여전히 문제를 가지기 때문에 이들 섬유를 천연섬유로 대체하려는 연구가 유럽과 같은 선진 자동차 회사를 중심으로 많이 진행되고 있다. 최근에 많이 사용되는 천연섬유의 종류로는 양마, 아마, 대마, 대나무 섬유 등이 있고, 대나무 섬유의 경우 중국을 중심으로 대량 생산되고 있어 가격 경쟁력과 더불어 상대적으로 낮은 밀도와 높은 기계적 강도 등으로 각광을 받고 있다.

자동차 부품소재에서 많은 영역을 담당하고 있는 PP의 경우도 케냐프, 대나무 섬유 등을 중심으로 내장 부품으로의 적용을 위해 개발이 활발히 진행 중에 있다. 그러나 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등으로 구성된 이들 천연섬유가 친수성을 가지고 있어 소수성의 특징을 나타내는 폴리프로필렌과의 계면 접착특성이 열세하며 동시에 리그닌을 포함하여 물성이 저하되는 단점이 있고, 이를 해결하기 위해 친수성의 천연 섬유와 소수성의 고분자의 혼화성 증대를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[6-11]. 고분자/천연섬유 복합체의 물성향상을 위해 천연섬유에서 리그닌 등을 제거하는 방법과 섬유의 접착력 향상을 위한 방법 중 하나인 천연섬유의 표면 개질 방법은 매우 효과적인 방법 중 하나이지만 공정 설비 등이 추가적으로 요구되어 가격 경쟁력을 상실할 수 있기 때문에 상용화제 도입을 통한 PP/천연섬유 복합체의 계면 접착 특성 향상을 통한 물성 향상 방법이 가장 효율적인 방법이고, 이에 대한 연구가 많이 진행되었다[12-15].

현재까지의 상용화제에 대한 연구는 주로 케냐프와 같은 마계통의 섬유에 많이 진행되었고, 대나무 섬유의 경우 최근에 연구개발이 진행되기는 하였으나, 대나무 섬유의 가공온도별 탄화조건, 상용화제 종류에 따른 체계적인 연구 결과는 미미한 실정이다[16-18]. 따라서 본 연구에서는 PP/BF 복합체의 물성에 대한 가공조건, 상용화제 종류의 영향을 고찰하기 위해 이축압출기를 이용하여 PP/BF 복합체를 제조하고 열적 특성, 충격, 인장, 굴곡 특성, 그리고 계면접착 특성 등을 평가하여 상관관계를 규명하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 실험재료 및 복합체 제조

매트릭스로 사용된 폴리프로필렌은 LG Chemical의 HR600R (MI = 25 g/min)을 사용하였으며, 상용화제(coupling agent, CA)로 사용된 PP-g-MAH의 경우 Lotte Chemical에서 제공받은 PH-200을 사용하였다. BF는 (주)한양소재에서 제공받아 사용하였으며, 중국산 BF를 10% NaOH로 처리 후 0.1 M HCl로 중화한 제품으로 섬유길이는 100 μm 이다. PP와 BF는 80 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24 h 동안 진공오븐에서 건조 후 사용하였다. PP/BF/CA 복합체는 이축압출기(바우테크, BA-11, L/D = 36)를 이용하여 제조하였다. BF의 탄화 등을 고려한 이축압출기의 가공 온도 선정을 위해 Die 온도를 210 $^{\circ}\text{C}$ -250 $^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 압출하였으며, 스크류 회전속도는 100-300 범위 내에서 50 rpm씩 변화를 주어 실험하였다. CA는 3 wt%로 고정하였고, BF의 함량은 10, 15, 20, 25 wt%로 변량하여 복합체를 제조하였다. 복합체는 PP/BF(a)/CA(b)로

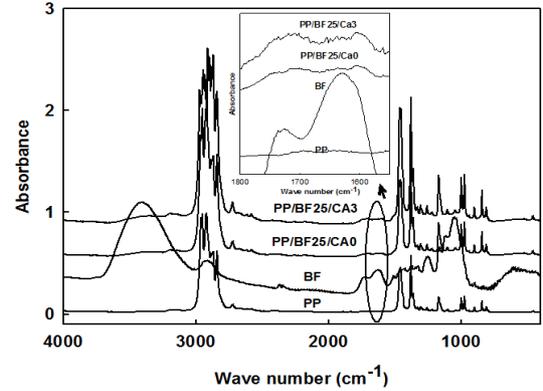


Figure 1. FT-IR spectra of PP/BF/CA composites.

표시하였고 a와 b는 각각 BF와 CA의 함량을 나타낸다.

2.2. 측정

PP/BF/CA 복합체의 화학구조는 적외선분광기(FT-IR, Perkin Elmer, Spectrum 1000)를 사용하였고, 열적 특성 분석에는 시차주사열량분석기(Differential scanning calorimetry, DSC)와 열중량분석기(Thermogravimetric analyzer, TGA)를 이용하였다. DSC는 TA instrument DSC Q20을 이용하여 50-250 $^{\circ}\text{C}$ 범위에서 승온/냉각/승온 모드(mode)를 사용하였으며, 승온 및 냉각 속도는 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 으로 설정하여 질소 분위기하에서 분석하였다. TGA는 TA instrument TGA Q50을 이용하여 800 $^{\circ}\text{C}$ 까지 승온 속도 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 으로 설정하여 질소 분위기하에서 측정하였다. 인장강도는 만능시험기(Hounsfield, H10KS, 영국)를 이용하여 1 mm 두께의 시편을 속도 5 mm/min로 실험하였고, 인장시험 후 파단면의 형상을 알아보기 위하여 주사전자현미경(Tescan Mira3, scanning electron microscope, SEM)을 이용하였다. SEM 시료의 절단면을 금박하여(gold sputter coating) 25 kV의 가속전압으로 관찰하였다. 굴곡강도의 경우 만능시험기(Qmresys, QM-100T-2T)를 이용하여 1 mm의 속도로 측정하였으며, 충격강도는 충격시험기(대영 C&T, 한국)를 이용하여 2 mm 두께의 시편에 노치를 준 다음 측정하였다. 기계적 물성의 측정 시편은 200 $^{\circ}\text{C}$ 가열 프레스(hot press)를 이용하여 제조하였으며, 각 시료당 5회 실시하여 평균하여 사용하였고, PP의 모든 기계적 물성은 그림에 점선으로 표시하였다. PP/BF/CA 복합체의 계면 특성을 알아보기 위하여 접촉각을 측정하였으며, 1 mm 두께의 시트에 물을 떨어뜨린 뒤 3 s 뒤에 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PP/BF/CA 복합체의 화학구조 확인 및 반응조건 선정

PP/BF 복합체의 가공 조건을 선정하기 위해 이축압출기를 이용하여 압출온도 및 스크류 rpm별로 PP/BF/CA 복합체를 제조하였고, BF의 함량은 25 wt%로 고정하였다. 제조한 PP/BF/CA 복합체의 화학구조를 FT-IR 스펙트럼을 이용하여 확인하였고, FT-IR 스펙트럼을 Figure 1에 나타내었다. PP의 경우는 3,000 cm^{-1} 부근에서 특성 피크인 C-H 신축진동 피크를 보여주고 있고, 또한 1450~1300 cm^{-1} 부근에서 $-\text{CH}_3$ 가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반면, PP/BF 복합체와 PP/BF/CA 복합체는 1,700 cm^{-1} 부근에서 카르보닐기(C=O)의 신축진동 피크를 나타내고 있는데, PP/BF/CA 복합체의 경우는 상용화제로 사용된 PP-g-MAH에 포함되어 있는 MAH에 의한 것이고, PP/BF 복

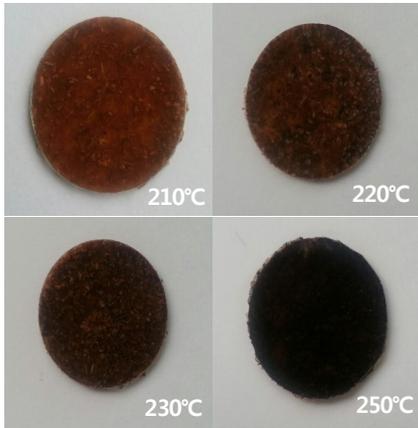


Figure 2. Photos of PP/BF/CA composites as a function of extrusion temperatures.

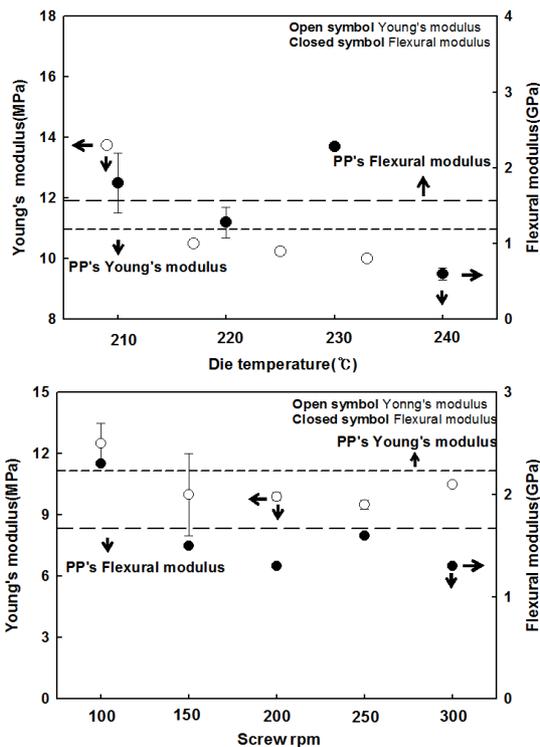


Figure 3. Young's and flexural moduli of PP/BF/CA composites with temperature and rpm.

합체의 경우는 BF 내에 함유되어 있는 헤미셀룰로오스의 카르보닐기에 의한 것으로 확인할 수 있다. PP/BF 대비 PP/BF/CA의 C=O 피크 크기가 상대적으로 큰 사실로부터 PP, BF, CA가 적절히 혼합된 것으로 예측할 수 있다.

다음은 PP/BF/CA 복합체 제조 시 탄화 및 물성 등이 고려된 압출 온도 및 스크류 rpm의 영향을 고찰하기 위해 온도와 rpm에 따른 탄화 정도와 기계적 물성을 평가하였다. 우선 시료의 탄화 정도는 스크류 rpm보다는 압출 온도에 영향을 받는 것으로 확인되어 압출 온도에 따른 탄화 정도를 Figure 2에 사진으로 나타내었다. 압출 온도를 250 °C에서 10 °C씩 낮추면서 탄화 정도를 살펴본 결과 210 °C될 때 탄화가 거의 발생하지 않아 복합체의 압출 온도를 210 °C로 고정하였다. Figure 3은 압출 온도와 스크류 rpm에 따른 인장 탄성률과 굴곡 탄성

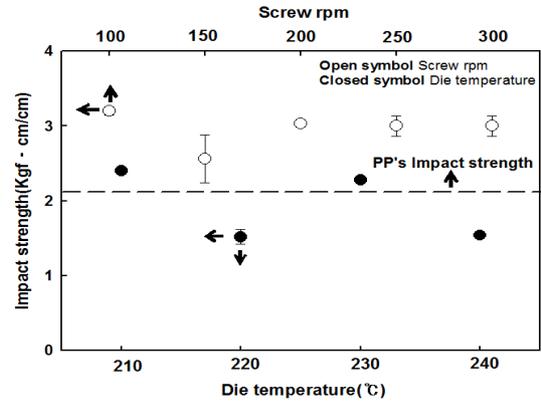


Figure 4. Impact strength of PP/BF/CA composites with temperature and rpm.

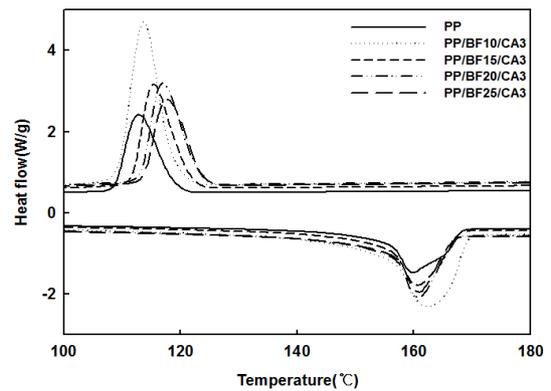


Figure 5. DSC thermograms of PP/BF/CA composites.

률을 나타낸 것으로, 압출 온도와 스크류 rpm에 따라 감소하는 경향을 나타내는 것으로 확인되었다.

Figure 4는 압출 온도와 스크류 rpm에 충격 강도를 나타낸 것으로 압출 온도와 스크류 rpm에 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다. 온도에 따른 탄성률의 감소는 수지의 탄화에 의한 것으로 예측되고, 스크류 rpm에 따른 탄성률의 감소는 스크류 rpm이 증가함에 따라 섬유가 높은 전단력을 받아 잘려져서 나타나는 현상으로 해석할 수 있다. 이들 결과를 종합할 때 압출 온도는 210 °C, 스크류 rpm은 100일 때 최적의 물성을 보여주기 때문에 모든 복합체는 210 °C, 100 rpm을 기준으로 제조하였다.

3.2. PP/BF/CA 복합체의 물성에 대한 BF 함량 및 상용화제의 영향

선정된 조건에서 제조한 BF의 함량에 따른 PP/BF/CA 복합체의 열적 특성 확인을 위해 DSC 실험을 수행하여 Figure 5에 나타내었다. PP와 비교할 때 복합체의 용융 온도는 큰 차이를 나타내지 않았지만, BF가 혼합된 복합체의 경우 결정화 온도가 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 BF가 PP 용융체에 불균일 핵제로 작용하여 결정화 거동에 참여하기 때문에 결정화 온도가 증가하는 것이라 예측되고 이는 기존의 PP/천연섬유 복합체의 결정화 거동과 유사한 현상이다.

Figure 6은 PP/BF/CA 복합체의 분해 거동을 확인하기 위하여 측정된 TGA 곡선이다. 일반적으로 셀룰로오스를 다량 함유하고 있는 BF의 경우 열에 상당히 약하다는 단점이 있기 때문에 분해 거동에 대한 확립이 필요하며, 이와 같은 분해 거동의 열세는 사출성형과 같은 자동차 부품소재 가공 공정 시 중요하게 고려해야 하는 변수이다. BF가

Table 1. Summary of Thermal Properties of PP/BF/CA Composites

Sample	¹ T _m (°C)	² ΔH _m (J/g)	³ T _c (°C)	² ΔH _c (J/g)	⁴ T _d (°C)
PP	159.7	68.7	112.9	77.5	406.5
BF	117.6
PP/BF10/CA0	160.2	90.0	116.5	92.2	309.5
PP/BF10/CA3	162.5	134.2	113.7	149.5	311.6
PP/BF15/CA0	161.1	88.6	115.7	92.8	303.7
PP/BF15/CA3	160.2	85.7	115.3	98.0	308.4
PP/BF20/CA0	161.1	83.3	118.7	84.9	296.9
PP/BF20/CA3	160.7	96.2	117.0	99.3	311.5
PP/BF25/CA0	160.8	72.5	116.6	76.0	289.8
PP/BF25/CA3	160.8	78.1	117.7	87.0	289.8

¹T_m : melting temperature, ²ΔH_m/ΔH_c : heat of fusion & crystallization, ³T_c : crystallization temperature, ⁴T_d : degradation temperature at 5 wt% loss.

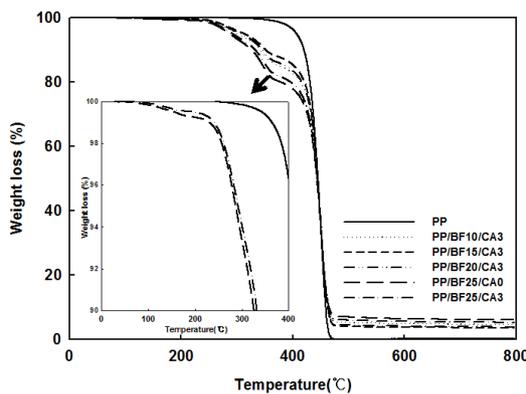


Figure 6. TGA thermograms of PP/BF/CA composites.

25 wt% 함유된 PP/BF 복합체에서 CA를 적용한 경우 적용하지 않은 경우보다 분해온도가 적게나마 증가하는 것을 보여주는데 이는 CA에 의해 PP와 BF의 계면 접촉특성이 개선된 결과로 해석할 수 있고, 이는 다음의 SEM 결과를 통해 확인할 수 있다. Table 1에 용융 온도, 결정화 온도, 분해온도 등 열적특성을 정리하였다.

Figure 7은 PP/BF/CA 복합체의 인장 강도 및 탄성률을 나타낸 것이다. 상용화제 적용이 탄성률에는 큰 영향을 주지 않지만 인장강도의 경우 전체적으로 PP보다는 낮은 값을 보이지만 상용화제가 적용될 경우 BF의 함량에 관계없이 증가하는 경향을 나타내었고, BF의 함량이 15 wt%일 때 가장 큰 폭으로 개선되었다. 15 wt%를 기준으로 인장강도의 개선정도가 점차 감소하는 경향을 나타내는 이유는 BF 함량이 증가하게 되면 BF끼리 서로 뭉쳐지는 경향이 강해져 나타나는 현상으로 해석할 수 있다.

Figure 8은 PP/BF/CA 복합체의 굴곡강도 및 굴곡 탄성률을 나타낸 그래프이다. 굴곡 강도의 경우 상용화제가 적용되지 않은 경우 PP보다 낮은 값을 보이지만, 상용화제가 적용되면 PP보다 큰 값을 나타내는 것을 확인하였고, 개선 정도는 BF의 함량이 20 wt%일 때 가장 크게 나타내었다. 상용화제가 적용되지 않은 굴곡강도의 경향과는 달리 상용화제가 처방된 BF 25 wt% 복합체의 굴곡강도가 BF 20 wt%의 굴곡강도보다 낮은 값을 보여주었는데, 이는 BF의 함량이 높을수록 일부 탄화가 발생하여 시편 제조 시 기포가 일부 발생하였고 이로 인한 오차로 판단된다. 굴곡 탄성률의 경우는 BF의 함량이 증가함에 따

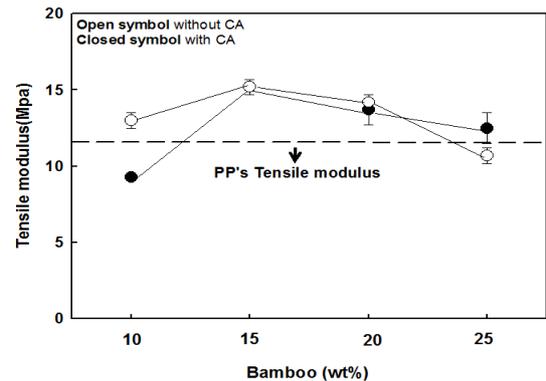
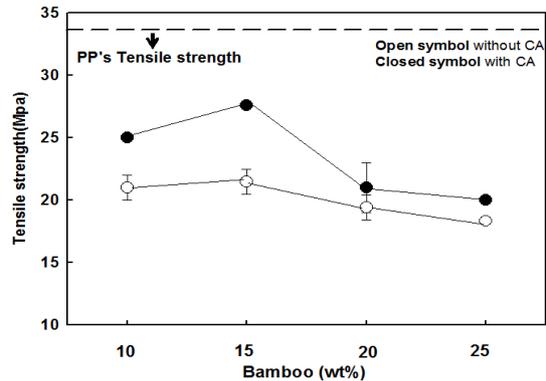


Figure 7. Tensile strength and moduli of PP/BF/CA composites.

라 증가하는 값을 보여주었고, BF가 20 wt% 첨가될 때 가장 큰 개선 정도를 보여주었다. 이는 상용화제로 PP-g-MAH가 적용되면 PP와 BF의 계면접촉특성이 증가하여 BF의 섬유배향 특성이 PP 매트릭스에 전달되기 때문으로 해석할 수 있다.

Figure 9는 PP/BF/CA 복합체의 충격 강도를 나타낸 그래프이다. 충격 강도의 경우 PP 대비 낮은 값을 나타내며, 상용화제 존재 유무에 큰 영향을 나타내지 않는 것으로 확인되었다. 충격강도는 일반적으로 고분자 수지 자체의 특성에 크게 영향을 받으며, 섬유에 의해 영향을 받기 위해서는 섬유의 길이가 임계 길이 이상에서 흐름에 다른 배향이 존재할 때 나타나는 것이 일반적이다. 본 연구의 PP/BF에 사용된 섬유의 경우 길이가 매우 짧아 충격강도에는 영향을 주지 않는 것으

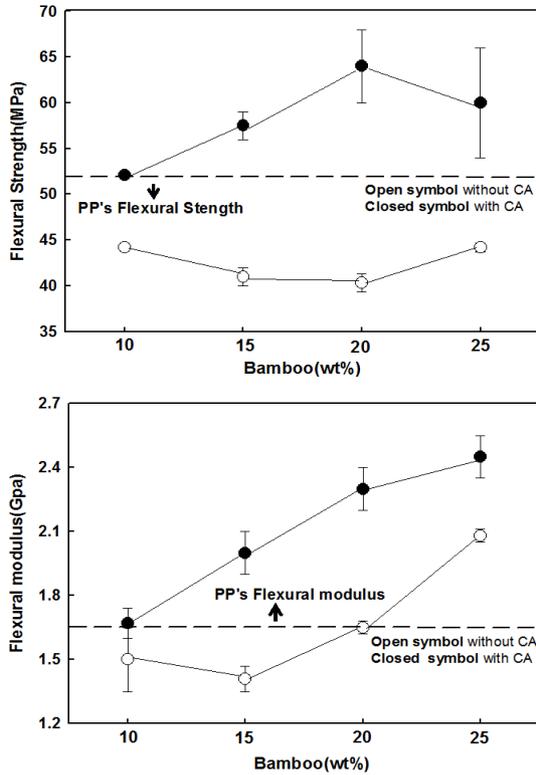


Figure 8. Flexural strength and moduli of PP/BF/CA composites.

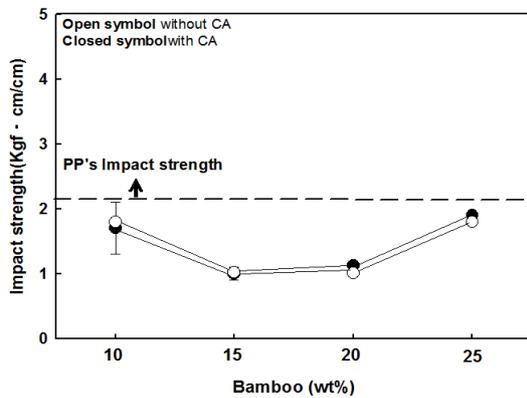


Figure 9. Impact strength of PP/BF/CA composites.

로 예측할 수 있다.

Figure 10은 PP/BF/CA 복합체의 인장실험 후 파단면을 SEM으로 측정한 사진이다. Figure 10에서 (a)는 15 wt%의 BF함량에 상용화제가 3 wt%인 복합체를, (b)는 25 wt%의 BF함량에 상용화제가 적용되지 않은 복합체를, 그리고 (c)는 25 wt%의 BF함량에 상용화제가 3 wt%인 복합체를 나타낸 것이다. BF의 함량이 15 wt%와 25 wt%를 비교하였을 때 25 wt% 복합체의 경우가 섬유들이 뭉쳐 있는 경향을 보여주고 있고, BF 함량 25 wt% 복합체의 상용화제 적용 여부에 따른 SEM 사진의 경우 적용한 복합체의 계면 접착특성이 우수한 것을 확인할 수 있다. 이는 앞에서의 기계적 물성에 대한 추가적인 증거로 고려될 수 있다.

Figure 11은 PP/BF/CA 복합체의 계면 접착특성을 추가적으로 확인하기 위해 접촉각 데이터이다. 비극성 고분자인 PP의 경우 물과 친하지 않은 소수성을 나타내기 때문에 PP/BF/CA 복합체에 비해 다소 큰

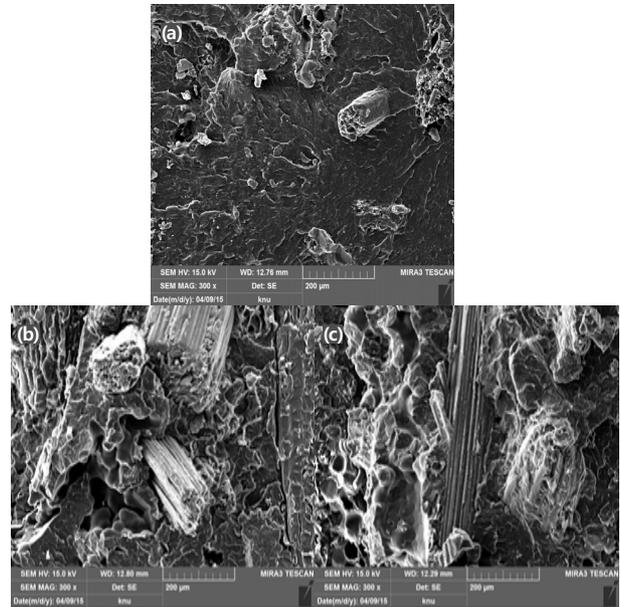


Figure 10. SEM images of fractured surface for PP/BF/CA composites : (a) PP/BF15/CA3, (b) PP/BF25/CA0, and (c) PP/BF25/CA3.

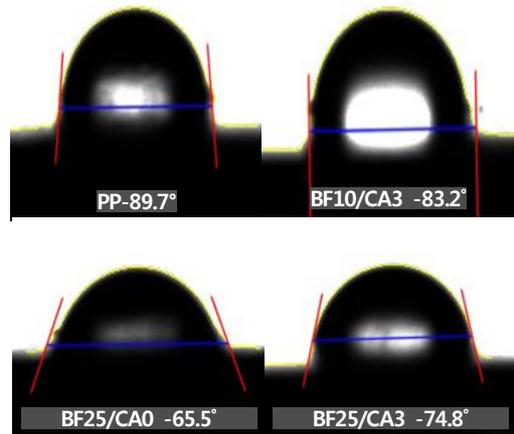


Figure 11. Contact angle images of PP/BF/CA composites.

접촉각을 나타내는 것을 확인할 수 있고, 상용화제의 적용 유무에 따른 접촉각을 비교하였을 때 상용화제가 적용된 복합체의 경우 PP와 BF 사이에 충분한 계면접착이 이루어져 PP의 특성에 보다 가까워 PP/BF/CA0 복합체에 비해 큰 접촉각을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한 BF 10 wt%와 비교할 때 25 wt%의 경우 낮은 접촉각을 확인할 수 있는데, BF 내의 극성인 셀룰로오스가 상대적으로 많아 접촉각이 감소한 것으로 설명할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동차 내장재의 두께 감소를 통해 경량화를 달성하기 위해 굴곡특성 등이 우수하고 친환경 소재인 BF를 PP에 복합화하고자 하였다. PP/BF/CA 복합체의 탄화 및 기계적 물성을 기준으로 210 °C, 100 rpm을 최적 가공조건으로 선정하였다. 선정된 가공조건으로 BF의 함량 및 CA의 적용 여부에 따른 인장특성, 굴곡특성 및 충격특성을 분석하였다. BF의 함량이 15-20 wt%일 때 CA의 적용에

다른 인장강도와 굴곡강도의 개선효과가 뚜렷하게 나타났다. 이는 PP와 BF 사이의 계면 접촉특성과 BF의 뭉침 현상 등으로 설명할 수 있고, 파단면의 SEM 사진과 접촉각을 통해 확인할 수 있었다. PP에 BF가 첨가될 때 용융온도에는 큰 영향을 주지 않았지만, 결정화 온도는 증가하는 현상을 보여주었는데, 이는 BF의 불균일 핵생성에 의한 것으로 해석할 수 있다. 또한 PP/BF 복합체의 분해거동은 셀룰로오스로 인해 열세함을 나타냈는데, 이는 PP/BF 복합체의 사출가공 시 고려되어야 할 사항으로 판단된다. 본 연구에 사용된 상용화제는 자동차부품소재용 PP/천연섬유 복합체에서 가장 많이 사용하는 것을 선정하여 3 wt%의 최적 조건을 선정하였고, 상용화제의 종류나 PP-g-MAH의 MAH 그래프트율에 따라 다른 결과를 보여줄 수 있어 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

감 사

본 연구는 산업통상자원부 지정 공주대학교 자동차의장 및 편의부품 지역혁신센터의 지원과 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20154030200940)에 의한 것입니다.

References

1. S. S. Ka, K. H. Moon, and C. J. Jang, Development trend of automotive natural fiber reinforced plastic composite and development of light weight material with LFP, *Conference of KSAE*, 09-80226, 1349-1355 (2009).
2. S. B. Kwak, S. L. Lee, H. Y. Lee, S. H. Yun, S. H. Kim, and J. Y. Lee, Development of door trim which applied integration process using eco uni-material, *Annual Conference of KSAE*, **11**, 2491-2497 (2011).
3. H. P. S. Abdul Khaili, I. U. H. Bhat, M. Jawaid, A. Zaidon, D. Hermawan, and Y. S. Hadi, Bamboo fibre reinforced bio-composites : A review, *Mater. Design*, **42**, 353-368 (2012).
4. P. Zakikhani, R. Zahari, M. T. H. Sultan, and D. L. Majid, Extraction and preparation of bamboo fibre-reinforced composites, *Mater. Design*, **63**, 820-828 (2014).
5. D. G. Liu, J. W. Song, D. P. Anderson, P. R. Chang, and Y. Hua, Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties, *Cellulose*, **19**, 1449-1480 (2012).
6. C. A. Fuentes, L. Q. N. Tran, C. Dupont-Gillain, A. W. Van vuure, and I. Verpoest, Effect of interfacial adhesion on mechanical behavior of bamboo fiber reinforced thermoplastic composites, *European Conference on Composite Material*, 24-28 (2012).
7. G. F. Cai, J. K. Wang, Y. N. Nie, X. C. Tian, X. D. Zhu, and Z. P. Zhou, Effects of toughening agents on the behaviors of bamboo plastic composites, *Polym. Compos.*, **32**, 1945-1952 (2011).
8. H. Liu, Q. Wu, G. Han, Y. Kojima, and S. Suzuki, Compatibilizing and toughening bamboo flour filled HDPE composites: mechanical properties and morphologies, *Compos. Part A*, **39**, 1891-1900 (2008).
9. S. K. Nayak, S. Mohanty, and S. K. Samal, Influence of short bamboo/glass fiber on the thermal, dynamic mechanical and rheological properties of polypropylene hybrid composites, *Mater. Sci. Eng. A*, **523**, 32-38 (2009).
10. J. H. Lee, B. G. Lee, K. H. Park, D. S. Bang, K. H. Jhee, and M. C. Sin, Preparation and characterization of wood polymer composites by a twin screw extrusion, *Elastomer Composites*, **46**, 211-217 (2011).
11. T. Panuikallio, J. Kasanen, M. Suvanto, and T. Pakkanen, Influence of maleated polypropylene on mechanical properties of composites made of viscose fiber and polypropylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, **87**, 1895-1900 (2003).
12. H. S. Kim, B. H. Lee, S. W. Choi, S. M. Kim, and H. J. Kim, The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bioflour filled polypropylene composites, *Compos. Part A*, **38**, 1473-1482 (2007).
13. A. P. Deshpande, M. B. Rao, and C. L. Rao, Extraction of bamboo fibers and their use as reinforcement in polymeric composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **76**, 83-92 (2000).
14. I. Kellersztein and A. Dotan, Chemical surface modification of wheat straw fibers for polypropylene reinforcement, *Polym. Compos.*, DOI:10.1002/PC.23392 (2015).
15. S. K. Chattopadhyay, R. K. Khandal, R. Uppaluri, and A. K. Ghoshal, Bamboo fiber reinforced polypropylene composites and their mechanical, thermal and morphological properties, *J. Appl. Polym.*, **119**, 1619-1626 (2011).
16. S. Migneault, A. Koubaa, P. Perré, and B. Riedl, Effects of wood fiber surface chemistry on strength of wood-plastic composites, *Appl. Surf. Sci.*, **343**, 11-18 (2015).
17. H. Askanian, V. Verney, S. Commereuc, R. Guyonnet, and V. Massardier, Wood polypropylene composites prepared by thermally modified fibers at two extrusion speed mechanical and viscoelastic properties, *Holzforschung*, **69**, 313-319 (2015).
18. F. M. Salleh, A. Hassan, R. Yahya, and A. D. Azzahari, Effects of extrusion temperature on the rheological, dynamic mechanical and tensile properties of kenaf fiber HDPE composites, *Compos. Part B*, **58**, 259-266 (2014).