

PC/ABS의 충격강도에 미치는 상용화제와 그래핀 옥사이드의 영향

박주영 · 이봄이 · 차혜진 · 김연철[†]

공주대학교 신소재공학부 고분자공학전공
(2015년 1월 8일 접수, 2015년 2월 9일 심사, 2015년 3월 3일 채택)

Effects of Compatibilizer and Graphene Oxide on the Impact Strength of PC/ABS Blend

Ju Young Park, Bom Yi Lee, Hye Jin Cha, and Youn Cheol Kim[†]

Major in Polymer Science and Engineering, Kongju National University, 275 Budae-Dong, Cheonan 330-717, Korea
(Received January 8, 2015; Revised February 9, 2015; Accepted March 3, 2015)

초 록

본 연구에서는 Polycarbonate (PC)/Poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) (ABS)의 충격강도에 대한 말레인산 무수물(maleic anhydride, MAH)이 그래프트(graft)된 ABS (ABS-g-MAH)의 영향과 graphene oxide (GO)의 첨가에 의한 영향을 고찰하였다. 상용화제로 ABS-g-MAH가 적용된 PC/ABS 블렌드(blend)와 PC/ABS/GO 복합체의 제조에는 이중압출기(twin screw extruder)를 사용하였으며 상용화제인 ABS-g-MAH는 DCP (dicumyl peroxide)를 개시제로 이중압출기에서 제조하였다. FT-IR 스펙트럼의 1780 cm⁻¹ 근처에서 나타나는 카보닐기(C=O)의 존재 여부를 통해 ABS-g-MAH 제조를 확인하였다. ABS-g-MAH 함량별로 제조된 PC/ABS 블렌드의 열적, 유변학적, 충격특성 측정결과 5 phr을 ABS-g-MAH의 최적 함량으로 선정하였다. 상용화제를 5 phr (parts per hundred resin)로 고정하고 GO의 함량을 0.5, 1, 3, 5 phr로 변화하면서 물성변화를 고찰하였다. PC/ABS/GO 복합체의 분해온도는 증가하였고, 아이조드(Izod) 충격강도는 유사하거나 감소하였으며, ABS/GO를 이용한 복합체의 아이조드 충격강도는 소폭 증가하는 것을 TGA 분석결과와 아이조드 충격시험을 통해 확인하였다. 가공특성을 살펴보기 위해 동적유변분석기를 이용하여 복소점도(complex viscosity)를 측정할 결과, 상용화제를 포함하는 PC/ABS 블렌드의 복소점도는 증가하였으나, GO의 첨가에 의한 복소점도 변화는 크게 나타나지 않았다.

Abstract

In this study, effects of both the grafted ABS-g-MAH and the added graphene oxide (GO) on the impact strength of polycarbonate (PC)/poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) (ABS) blends were discussed. The PC/ABS blends and PC/ABS/GO composites were fabricated by using twin screw extruder with ABS-g-MAH as a compatibilizer. The ABS-g-MAH was prepared by melting extrusion of ABS and maleic anhydride (MAH) with DCP (dicumyl peroxide) as an initiator using twin screw extruder and the synthesis of ABS-g-MAH was confirmed by the presence of carbonyl group (C=O) peak at 1780 cm⁻¹ of FT-IR spectrum. According to the thermal, rheological, and impact properties of PC/ABS blends, 5 phr (parts per hundred resin) of compatibilizer was chosen as an optimum content for the PC/ABS/GO composites. It was observed that the thermal decomposition of ABS/PC/GO composites increased with GO contents, but there was no significant changes or a decrease in the impact strength. Also the composite fabricated by ABS/GO showed small increase in the impact strength. From the result of the dynamic rheometer to observe the processing properties, the complex viscosities of PC/ABS blend including the compatibilizer increased, but the complex viscosities of composites added GO were not changed.

Keywords: PC/ABS, compatibilizer, graphene oxide, composites

1. 서 론

Polycarbonate (PC)는 5대 범용 엔지니어링 플라스틱의 하나로 투명하면서도 기계적 강도, 충격강도가 뛰어난 뿐 아니라, 높은 내열성을

가지고 있어 다양한 분야에 널리 사용되고 있다. 하지만 성형온도와 용융점도가 비교적 높아 사출 성형 시 성형품 내에 잔류응력이 존재할 수 있다. 이러한 PC의 단점을 해결하기 위해 유동성, 내화학성 등의 특징을 가지는 poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) (ABS)와 블렌드하여 사용하게 된다[1-4]. PC/ABS 블렌드는 최근에 널리 연구되고 있는 고분자 블렌드이며, 자동차, 가전제품, 컴퓨터 분야 등 다양하게 사용된다.

PC/ABS 블렌드의 경우 상용성이 낮기 때문에 PC와 ABS 자체보다도 낮은 충격강도를 갖는 것으로 알려져 있다[5,6]. 이와 같은 PC와 ABS 사이의 비상용성을 해결하기 위해서 여러 가지 다양한 상용성

[†] Corresponding Author: Kongju National University,
Major in Polymer Science and Engineering, 275 Budae-Dong, Cheonan 330-717,
Korea
Tel: +82-41-521-9395 e-mail: younkim@kongju.ac.kr

중대 방법들이 연구되어 왔다. Wildess 등은 PC/ABS 블렌드에 상용 화제로 amine-functionalized SAN을 사용하였으며[7], Balakrishnan 등은 PC/ABS에 무수말레인산(maleic anhydride, MAH)이 그래프트(graft)된 ABS-g-MAH를 직접 첨가하여 연구한 것을 발표한 바가 있다[8]. 이러한 ABS-g-MAH는 PC/ABS 계면에서의 접착력을 증가시켜 기계적 강도를 향상시키는 것으로 보고되었다[1,2,5,8]. 하지만 아민 기능성기나 ABS-g-MAH 등과 같은 상용화제를 이용하여 상용성을 증대시킨 경우에도 ABS 보다는 높은 충격강도를 갖지만 PC와 비교해서 충격강도가 상당히 열세한 것으로 알려져 있다.

고분자에 나노필러(nano-filler)를 혼합한 고분자 나노 복합체의 경우 나노필러를 소량 첨가하여도 열적 특성, 기계적 특성에 큰 폭의 개선효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 최근에는 탄소섬유, 탄소나노튜브(carbon nano tube), 그래핀(graphene) 등 탄소계 나노필러를 이용한 고분자 탄소나노 복합체에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [9]-[11]. 탄소계 필러 중 그래핀은 무수히 많은 벤젠고리의 집합체로써 이미 잘 알려진 탄소나노튜브와 마찬가지로 뛰어난 열전도성, 전기 전도성, 그리고 기계적 물성을 나타내는데[12], 최근에는 그래핀을 고분자 매트릭스(matrix)에 균일하게 분산시켜 기계적 물성, 열전도도, 전기전도도 등 물리화학적 특성들을 향상시키려는 연구들이 수행되어오고 있다[13]. 고분자/그래핀 복합체의 경우 기존 고분자보다 높은 기계적 물성을 갖는 것으로 알려져 있으며, 기계적 물성 향상을 위해서는 그래핀의 고분자 내 분산성이 매우 중요하다. 기존의 연구결과 [14-16]들에 의하면 그래핀보다는 그래핀으로 환원되기 전단계인 그래핀 옥사이드(graphene oxide, GO)의 경우 표면에 산소 작용기들을 가지고 있어 PC, ABS와 같은 극성 고분자들과의 혼화성이 높아 분산에 유리한 것으로 알려져 있다. PC/ABS 복합체의 충격특성에 대한 상용화제의 영향에 대한 연구는 진행되어 왔으나, 그래핀과 같은 탄소 계열의 나노필러와의 복합체에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 PC/ABS 블렌드의 충격특성 개선을 위한 상용화제와 GO의 영향에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 이축 압출기를 이용한 반응 압출을 통해 ABS-g-MAH를 제조한 후, PC/ABS에 ABS-g-MAH 함량별로 블렌드를 제조하고 충격특성을 평가하여 최적의 ABS-g-MAH 함량을 선정하였다. 선정된 ABS-g-MAH 함량이 처방된 PC/ABS 블렌드에 GO를 함량별로 첨가하여 PC/ABS/ABS-g-MAH/GO 복합체를 제조하고, 열적 특성, 충격특성 및 유변학적 특성을 분석하여 GO 함량에 따른 가공특성과 충격특성 개선정도를 평가하였다.

2. 실험

2.1 재료

PC/ABS와 PC/ABS/GO 복합체 제조에 사용된 고분자로는 용융지수(melt index, MI)가 9 g/10 min인 PC (삼양사 TRIREX 3025)와 MI 값이 10.5 g/10 min인 ABS (제일모직, BC-0140H)가 사용되었고, 상용화제로 작용하는 ABS-g-MAH의 제조에는 무수말레인산(99%, Junsei) 그리고 개시제로서 dicumyl peroxide (98%, Sigma-Aldrich)가 사용되었다. 또한 그래핀 옥사이드는 IDT international사의 GO-4401이 사용되었다.

2.2 복합체 제조

상용화제인 ABS-g-MAH를 제조하기 위하여 ABS 100 g과 MAH 5 g 그리고 개시제로 DCP 0.3 g을 이축압출기(Bautek사, L/D = 40 cm/11 mm)에서 노즐(nozzle), 배럴(barrel), 호퍼(hopper)의 온도를 각

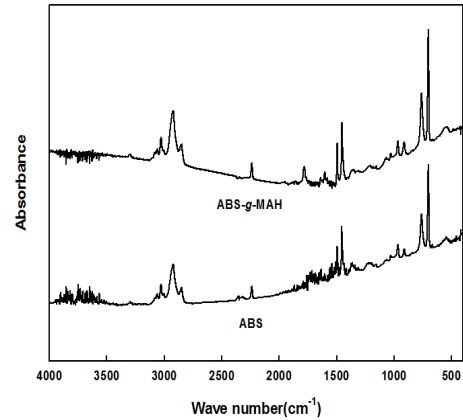


Figure 1. FT-IR spectra of the ABS and ABS-g-MAH.

각 230, 240, 180 °C로 하여 압출기 내에서 충분히 반응이 일어나도록 스크류 속도 50 rpm 조건에서 반응 압출하였다. 상용화제 조성별 PC/ABS 제조는 전기·전자, 자동차 부품 등에 가장 많이 사용되고 있는 PC/ABS 70 g/30 g으로 고정하고, 상용화제는 1, 3, 5, 7, 10 phr으로 하여 이축압출기에서 동일한 온도에서 진행하였고, 스크류 속도는 100 rpm으로 하였다. GO 함량별(0.5, 1, 3, 5 phr) 복합체는 PC/ABS (70 g/30 g)에 ABS-g-MAH를 5 phr으로 고정시켜 주고(이는 PC/ABS 블렌드의 충격강도가 최대인 함량임), 이축압출기에서 노즐, 배럴, 호퍼의 온도를 각각 230, 240, 180 °C로 하여, 스크류 속도 100 rpm에서 복합체를 제조하였다.

2.3 측정

ABS-g-MAH 상용화제에서 MAH의 그래프트 여부를 확인하기 위해 FT-IR (Perkin Elmer spectrum 1000)을 사용하였고, resolution 2 cm⁻¹에서 24회 스캔(scan)하여 4000~400 cm⁻¹ 영역에서의 스펙트럼(spectrum)을 이용하였다. 유리전이온도 분석을 위한 DSC는 TA instrument DSC Q20로 측정온도 범위 상온에서 250 °C까지 승온 속도 10 °C/min으로 N₂ 분위기하에서 분석하였다. 또한 시료의 분해거동 확인은 열중량분석기(TGA, TA instrument TGA Q50)를 이용하여 승온 속도 10 °C/min으로 상온에서 800 °C까지 N₂ 분위기하에서 측정하였다. 저장탄성률(G'), 손실탄성률(G''), 그리고 복소점도(complex viscosity) 측정을 위한 동적유변측정기는 Physica MCR 301 (Anton Paar, 오스트리아)를 사용하였으며, 시편은 가열프레스(hot press)를 이용하여 240 °C에서 두께 1 mm, 직경 25 mm의 원형시편으로 제작하였다. 변형(strain)은 선형점탄성이 유지되는 4%로 하여, 주파수 0.1~100 /s 범위로 240 °C에서 측정하였고, 이때 gap size는 0.9 mm로 고정하였다. 충격강도는 아이조드 충격시험기(Izod impact tester, 대영 C&T, 한국)를 이용하여 2 mm 두께 시편에 노치(notch)를 준 다음 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PC/ABS/ABS-g-MAH 블렌드의 물성 분석

ABS-g-MAH 제조여부는 ABS에 MAH가 그래프트 되었을 때 나타나는 카보닐기(C=O)의 존재 여부를 통해 확인할 수 있다. Figure 1은 반응압출을 통해 제조한 ABS-g-MAH와 ABS의 FT-IR 스펙트럼을 나타낸 것이다. ABS에서는 보이지 않던 1780 cm⁻¹ 카보닐 피크가 ABS-g-MAH에서 나타난 것을 확인할 수 있는데, 이는 ABS의 한 구

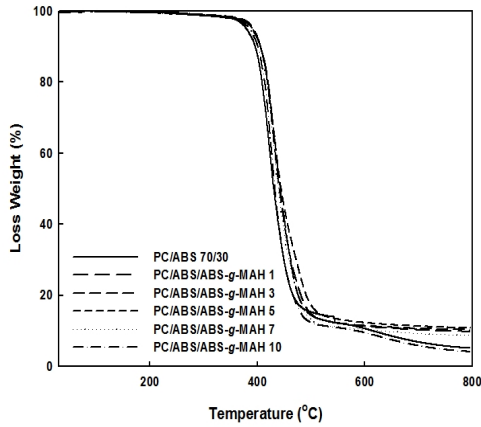


Figure 2. TGA thermograms of the PC/ABS/ABS-g-MAH blends.

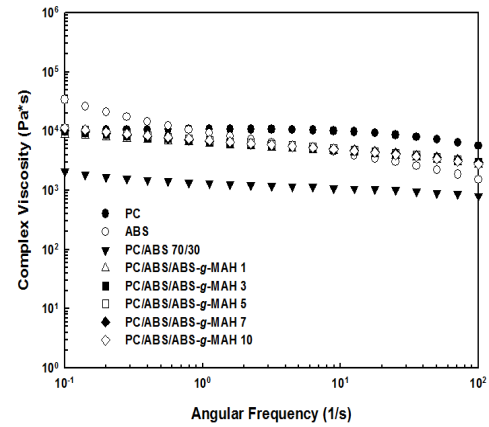
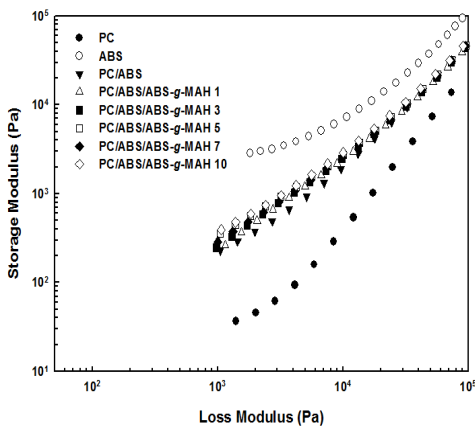


Figure 4. Complex viscosities of the PC/ABS/ABS-g-MAH blends.

Figure 3. Plots for G'' - G' of the PC/ABS/ABS-g-MAH blends.

성성분인 부타디엔 부분에 MAH가 반응하여 나타나는 것으로 설명할 수 있고, 이에 대해서는 이미 ABS의 부타디엔 부분과 MAH가 개시제인 DCP 존재 하에서 반응하여 ABS-g-MAH를 얻을 수 있다고 보고된 바 있다[11,12].

Figure 2는 ABS-g-MAH의 함량이 1, 3, 5, 7, 10 phr로 다른 PC/ABS 70/30 복합체의 TGA 그래프(graph)를 나타낸 것이다. 분해온도는 무게 감소율이 5% 되었을 때를 측정한 값이다. 상용화제가 들어가 있지 않은 PC/ABS 블렌드는 분해온도가 381.1 °C로 나타났고 상용화제의 양이 1, 3, 5, 7, 10 phr로 변함에 따라 390.2, 392.2, 390.2, 390.7, 385.1 °C로 확인되었다. 상용화제의 양이 3 phr일 때 392.2 °C로 가장 높은 분해 온도를 보이고 있으나 PC/ABS와 비교 시 큰 차이를 나타내지 않는 결과로 ABS-g-MAH는 PC/ABS 블렌드의 분해온도에는 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다. 상용화제가 10 phr일 때의 분해온도가 현저히 감소한 것으로 보아 너무 많은 상용화제는 오히려 분해온도를 떨어뜨리는 효과를 초래하는 것으로 보이며, 적당량의 상용화제 처방이 필요함을 확인할 수 있었다.

Figure 3은 PC, ABS, 그리고 PC/ABS (70/30) 블렌드에 ABS-g-MAH의 조성이 1, 3, 5, 7, 10 phr 첨가되었을 때 손실탄성률(loss modulus, G'')에 따른 저장탄성률(storage modulus, G')을 나타낸 것이다. PC 대비 ABS의 G'' - G' 곡선의 기울기가 왼쪽으로 치우쳐 나타나는데 이는 ABS에 포함되어 있는 부타디엔의 고무 특성으로 탄성이 크기 때문으로 해석된다. ABS-g-MAH가 첨가된 블렌드의 경우

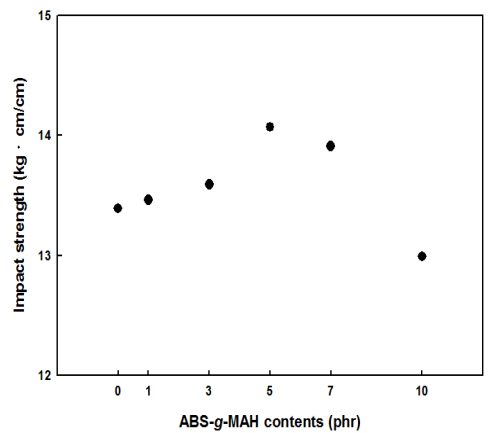
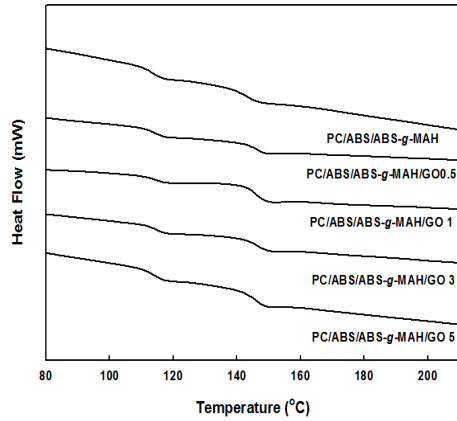


Figure 5. Impact strengths of the PC/ABS blends with ABS-g-MAH content.

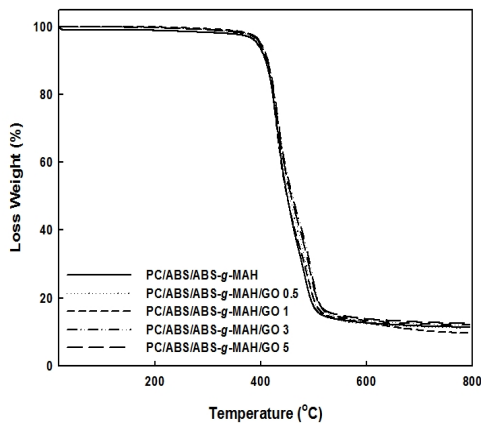
PC/ABS 대비 탄성률이 증가한 것을 관찰할 수 있고, 낮은 주파수영역에서 차이가 더 큰 것을 알 수 있는데, 이는 상용화제로 인한 PC와 ABS 사이의 계면접착력이 증가하여 주파수가 낮은 영역에서 저장탄성률이 높은 ABS의 특성이 반영되어 나타나는 현상으로 해석할 수 있고, 기존 연구와 일치하는 현상이다[2].

Figure 4는 PC, ABS 와 ABS-g-MAH가 첨가된 PC/ABS (70/30) 블렌드의 복소점도(η^*)를 주파수에 따라서 나타낸 것이다. PC/ABS의 경우 PC와 ABS 대비 복소점도가 전 주파수 영역에서 감소하고 있는데, 이는 상대적으로 높은 주파수 영역에서 복소점도가 낮은 ABS가 PC와의 접착력이 낮아 분산되어 있는 가스체의 역할을 하기 때문으로 해석된다. 이와는 달리 ABS-g-MAH가 첨가된 PC/ABS 블렌드의 경우 복소점도가 ABS와 PC의 사이 값을 보이고 있는데, 이 또한 앞에서 설명한 바와 같이 PC와 ABS의 상용성 증가하여 각각의 수치 특성이 복소점도에 반영되어 나타난 것으로 설명될 수 있다.

Figure 5는 아이조드 충격시험기를 사용하여 측정한 PC/ABS/ABS-g-MAH의 충격강도 값을 나타낸 것이다. 전체적으로 충격강도에는 큰 차이를 나타내지 않고 있지만, 상용화제의 양이 증가할수록 충격강도 값이 증가하다가 5 phr에서 가장 높은 값을 보인 뒤 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 상용화제로 ABS-g-MAH가 첨가되면 계면 접착력이 증가하여 충격특성이 증가하다가 상용화제의 함량이 과량 첨가되면, 가스효과와 함께 상대적으로 물성이 낮은 상용화제의 충격



(a)



(b)

Figure 6. DSC (a) and TGA (b) thermograms of the PC/ABS/GO composites.

특성이 반영되기 때문으로 판단된다. 하지만 상용화제의 적용만으로는 PC/ABS의 충격특성 개선에는 한계가 있기 때문에 추가적인 방법이 요구되고 본 연구에서는 GO와의 복합체에 대한 연구를 수행하였다. PC/ABS/GO 복합체 연구 시 상용화제인 ABS-g-MAH의 함량은 충격특성을 고려하여 5 phr로 고정하였다.

3.2. PC/ABS/ABS-g-MAH/GO 복합체의 물성 분석

Figure 6은 상용화제의 함량을 5 phr로 고정한 PC/ABS/ABS-g-MAH 블렌드에 GO가 0.5, 1, 3, 5 phr 포함된 복합체의 DSC (a)와 TGA (b) 그래프를 나타낸 것이다. 분해온도는 무게 감소율이 5% 되었을 때를 측정함 값으로, GO가 포함되지 않은 PC/ABS/ABS-g-MAH 복합체는 분해온도가 393.1 °C 인 반면, GO의 양이 0.5, 1, 3, 5 phr인 복합체의 경우 분해온도가 각각 399.2, 398.0, 401.0, 400.3 °C로 소폭 증가함을 확인하였다. 이는 탄소계 나노필러를 첨가하여 고분자와 복합체를 만들 때 열적 안정성이 증가한다는 기존의 연구결과와 일치하는 현상이다[13-15]. DSC에 의한 유리전이온도의 경우 114, 145 °C 근처에서 ABS와 PC에 대해 각각 나타나고 있는데, GO의 첨가에 의한 변화는 크게 나타나지 않음을 확인할 수 있다.

Figures 7, 8은 ABS-g-MAH 함량이 5 phr인 PC/ABS/GO 복합체의 G^* - G'' 곡선과 복소점도를 나타낸 것이다. G^* - G'' 곡선과 복소점도 결

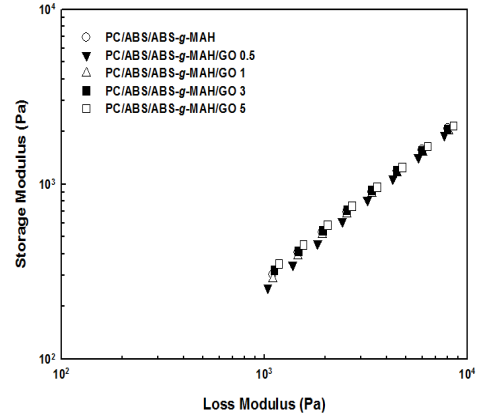


Figure 7. Plots for G^* - G'' of the PC/ABS/GO composites.

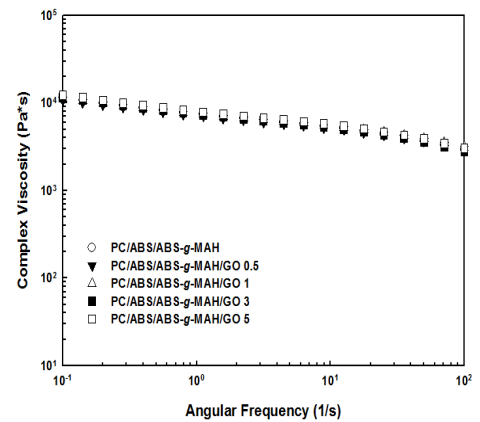


Figure 8. Complex viscosities of the PC/ABS/GO composites.

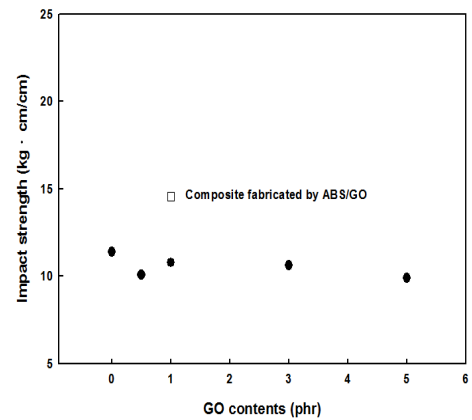


Figure 9. Impact strengths of the PC/ABS/GO composites. Open symbol represents impact strength of the composites fabricated by ABS/GO.

과 모두 GO의 첨가와 상관 없이 일정한 형태와 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 PC/ABS 블렌드에 GO가 첨가되어도 유변학적 특성에는 영향을 주지 않는 결과를 나타내는 것으로 PC/ABS/GO 복합체의 가공 시 기존의 PC/ABS 가공조건과 동일하게 가공하여도 큰 문제가 발생하지 않는 것을 예측할 수 있다.

Figure 9는 아이조드 충격시험기를 이용하여 측정한 PC/ABS/GO

복합체의 충격강도를 나타낸 것이다. PC/ABS 블렌드의 충격강도와 비교할 때 PC/ABS/GO 복합체의 충격강도는 거의 유사하거나 감소하는 결과를 나타내는 것으로 확인할 수 있는데, 이는 위의 제조 조건에서 GO의 분산이 충분하지 못하기 때문으로 해석할 수 있고, 기존의 고분자/나노필러 복합체의 연구결과와 일치한다[16]. GO 분산성 향상의 일환으로 ABS/GO 복합체를 이축압출기를 이용하여 제조하고, 이를 이용하여 PC/ABS/GO 복합체를 제조한 후 아이조드 충격강도를 측정하여 Figure 9에 나타내었다. ABS/PC 블렌드와 PC/ABS/GO 복합체와 비교할 때 ABS/GO 복합체를 이용하여 제조한 PC/ABS/GO 복합체의 충격강도가 개선되는 효과를 나타내고 있다. 이는 상용화제로 ABS-g-MAH가 사용될 때 PC/ABS 블렌드의 ABS 도메인(domain)의 크기가 작아진다는 기존의 연구 결과[5,17]를 바탕으로 하는 것으로, ABS 도메인이 작아짐에 따라 ABS/GO에 포함되어 있는 GO의 분산성이 개선되고, 이로 인해 복합체의 충격특성이 개선되는 것으로 설명할 수 있다.

4. 결 론

반응압출을 통해 제조된 ABS-g-MAH의 FT-IR 스펙트럼을 분석한 결과 ABS에서 존재하지 않던 새로운 카보닐 피크(C=O)가 1780 cm^{-1} 에서 생성되었다. 상용화제로 ABS-g-MAH를 사용하여 제조한 PC/ABS 블렌드의 분해온도는 큰 차이를 보이지 않았고, 충격강도는 소폭 상승하는 것을 확인하였으며, 5 phr 이상 첨가되면 분해온도와 충격특성이 오히려 감소하는 것을 확인할 수 있었다. PC/ABS 블렌드 대비 ABS-g-MAH가 적용된 PC/ABS의 저장탄성률이 낮은 주파수 영역에서 높은 것은 ABS-g-MAH가 PC와 ABS의 상용성을 증가시켜 ABS의 특성이 반영되어 나타나는 현상으로 해석할 수 있고, 복소점도 또한 유사한 특성을 나타내는 것을 확인하였다.

PC/ABS/GO 복합체의 분해온도는 GO의 함량에 따라 증가하였으나, 충격강도는 PC/ABS 대비 유사하거나 감소하는 경향을 나타내었고, ABS/GO를 이용하여 제조한 PC/ABS/GO 복합체의 경우 충격특성이 소폭 상승하는 것을 나타내었다. PC/ABS 블렌드에 GO가 첨가되어도 유연학적 특성에는 영향을 주지 않는 결과를 나타내었고, 이는 PC/ABS/GO 복합체의 가공 시 기존의 PC/ABS 가공조건과 동일하게 가공하여도 큰 문제가 발생하지 않는 것을 예측할 수 있다.

감 사

이 논문은 2014년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

References

1. B. M. Rao, P. R. Rao, and B. Sreenivasulu, Grafting of maleic anhydride onto acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer: synthesis and characterization, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **38**, 967-977 (1999).
2. K. H. Song, J. H. Hong, Y. T. Sung, and Y. H. Kim, Rheological, mechanical and morphological properties of poly(acrylonitrile-butadiene-styrene)/polycarbonate blends with ABS-g-MAH, *Polymer(Korea)*, **31**, 283-288 (2007).
3. I.-S. Ahn, C.-S. Ha, J.-K. Lee, and W.-J. Cho, Syntheses and prop-

- erties of the newly designed acrylonitrile-chloroprene-styrene (ACS) copolymers for the improvement of flame resistance, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **3**, 130-137 (1992).
4. S. J. Choi, K. H. Yoon, I. H. Hwang, C. Y. Lee, H. S. Kim, S. Y. Yoo, and Y. C. Kim, Effect of solvent extraction on the low molecular weight and volatile organic compounds of polycarbonate, *Appl. Chem. Eng.*, **21**, 532-536 (2010).
5. X. Zhang, Y. Chen, Y. Zhang, Z. Peng, Y. Zhang, and W. Zhou, Effects of ABS-g-MAH on mechanical properties and compatibility of ABS/PC alloy, *J. Appl. Polym. Sci.*, **81**, 831-836 (2001).
6. C. G. Cho, Study on the development of highly efficient compatibilizer for polymer alloys, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **7**, 757-767 (1996).
7. G. S. Wildes, T. Harada, H. Keskkula, D. R. Paul, V. Janarthanan, and A. R. Padwa, Synthesis and characterization of an amine-functional SAN for the compatibilization of PC/ABS blends, *Polymer*, **40**, 9069-3082 (1999).
8. S. Balakrishnan, N. R. Neelakantan, K. N. Saheb, and J. P. Jog, Rheological and morphological behaviour of blends of polycarbonate with unmodified and maleic anhydride grafted ABS, *Polymer*, **39**, 5765-5771 (1998).
9. C. Lee, W. Wei, J. W. Kysar, and J. Hone, Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene, *Science*, **321**, 385-388 (2008).
10. S. Stankovich, D. A. Dikin, G. H. B. Dommett, K. M. Kohlhaas, E. J. Zimney, E. A. Stach, R. D. Piner, S. T. Nguyen, and P. S. Ruoff, Graphene-based composite materials, *Nature*, **442**, 282-286 (2006).
11. Z. Aimin and L. Chao, Chemical initiation mechanism of maleic anhydride grafted onto styrene-butadiene-styrene block copolymer, *Eur. Polym. J.*, **39**, 1291-1295 (2003).
12. P. M. Hosseinpour, J. Morshedian, M. Barikani, H. Azizi, and A. S. Pakdaman, Morphological, mechanical, and rheological studies of PVC/ABS blends in the presence of maleic anhydride, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, **16**, 127-134 (2010).
13. J. R. Potts, S. Murali, Y. Zhu, X. Zhao, and R. S. Ruoff, Microwave-exfoliated graphite oxide/polycarbonate composites, *Macromolecules*, **44**, 6488-6495 (2011).
14. S. T. Kim and H. J. Choi, Synthesis and characterization of multi-walled carbon nanotube/poly(methyl methacrylate) composites prepared by in-situ dispersion polymerization, *Applied Chemistry*, **9**, 13-16 (2005).
15. P. Ding, S. Su, N. Song, S. Tang, Y. Liu, and L. Shi, Highly thermal conductive composites with polyamide-6 covalently-grafted graphene by an in situ polymerization and thermal reduction process, *Carbon*, **66**, 576-584 (2014).
16. R. H. Pour, A. Hassan, M. Soheilmoghaddam, and H. C. Bidsorkhi, Mechanical, thermal, and morphological properties of graphene reinforced polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene nanocomposites, *Polym. Compos.*, DOI: 10.1002/pc.23335 (2014).
17. I.-S. Han, Y.-K. Lee, H. S. Lee, H. G. Yoon, W. N. Kim, Effects of multi-walled carbon nanotube (MWCNT) dispersion and compatibilizer on the electrical and rheological properties of polycarbonate/poly(acrylonitrile-butadiene-styrene)/MWCNT composites, *J. Mater. Sci.*, **49**, 4522-4529 (2014).