

## ABS-*g*-MAH를 포함한 Poly(acrylonitrile-butadiene-styrene)과 Polycarbonate 고분자 블렌드의 유변학적, 기계적, 형태학적 특성

송기현 · 홍준희 · 송유택 · 김연희 · 함미선 · 윤호규\* · 김우년†

고려대학교 화공생명공학과, \*고려대학교 신소재공학부

(2006년 12월 22일 접수, 2007년 6월 20일 채택)

## Rheological, Mechanical and Morphological Properties of Poly(acrylonitrile-butadiene-styrene)/Polycarbonate Blends with ABS-*g*-MAH

Ki Heon Song, John Hee Hong, Yu Taek Sung, Youn Hee Kim,

Mi Sun Han, Ho Gyu Yoon\*, and Woo Nyon Kim†

Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University,  
Anam-dong, Seongbuk-ku, Seoul 136-701, Korea

\*Department of Materials Science, Korea University,  
Anam-dong, Seongbuk-ku, Seoul 136-701, Korea

(Received December 22, 2006; Accepted June 20, 2007)

**초록 :** Poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) (ABS)/polycarbonate (PC) (70/30, wt%) 블렌드에 상용화제를 첨가하여 이축 압출기로 시편을 제조하였다. 사용된 상용화제는 ABS에 maleic anhydride(MAH)와 dicumyl peroxide(DCP)를 첨가하여 반응압출을 통하여 그래프트시킨 ABS-*g*-MAH이었다. ABS/PC(70/30) 블렌드에 상용화제를 5 phr 첨가한 경우 인장강도는 큰 증가는 관찰되지 않았으나, 약 52.25 MPa에서 55.03 MPa로 약간 증가하였다. ABS/PC(70/30) 블렌드의 유변학적 특성을 측정된 결과 상용화제 첨가 시 낮은 진동수 영역에서 탄성률의 증가가 관찰되었으며, 이와 같은 탄성률 증가는 손실탄성률보다 저장탄성률에서 더 잘 나타났다. 또한 ABS/PC(70/30) 블렌드에 ABS-*g*-MAH를 1~10 phr 첨가 시 분산상인 PC의 크기는 약 1.2에서 1.5  $\mu\text{m}$ 로 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. 이상의 연구 결과로서 저장탄성률 증가 및 복소점도 상승 그리고 인장강도의 증가로부터 ABS-*g*-MAH의 양이 5 phr일 때 ABS/PC(70/30) 블렌드에서 효과적인 상용화제로 작용함을 알 수 있었다.

**Abstract :** Polymer blends containing poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) (ABS) and polycarbonate (PC) (70/30, wt%) with compatibilizer were prepared using twin screw extruder. Compatibilizers were prepared by reactive extrusion with the ABS, maleic anhydride(MAH) and dicumyl peroxide(DCP) using twin screw extruder. In the ABS/PC (70/30) blends, tensile strength did not change significantly, but increased from 52.25 to 55.03 MPa when the ABS-*g*-MAH was added in the amount of 5 phr. From the results of rheological properties, storage modulus of the ABS/PC/ABS-*g*-MAH blends at low frequencies showed larger value than that of the ABS/PC(70/30) blend. From the results of the morphological properties of the ABS/PC(70/30) blend, it was observed that the drop size of the PC ranged from 1.2 to 1.5  $\mu\text{m}$  and did not change significantly with the addition of the ABS-*g*-MAH(1~10 phr). From the results of the storage modulus, complex viscosity, and tensile strength of the ABS/PC (70/30) blends, it is found that the ABS-*g*-MAH is an effective compatibilizer in the ABS/PC (70/30) blends when the ABS-*g*-MAH is added in the amount of 5 phr.

**Keywords :** ABS/PC blend, ABS-*g*-MAH, reactive extrusion, morphology, rheology.

## 서 론

Poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) (ABS)/polycarbonate (PC) 블렌드는 ABS와 PC의 장점을 최대한 유지하고 단점을 상호

보완하고자 최근에 널리 연구되어지고 있는 고분자 블렌드이다.<sup>1-9</sup> 예를 들어서 ABS/PC 블렌드는 ABS의 장점인 유동성, 내화학성, 두께 의존성과 PC의 장점인 기계적 강도, 내열성, 내후성을 동시에 만족하고자 하는 고분자 블렌드이다.

ABS/PC 블렌드는 비상용성을 보이는데 이러한 비상용성을 극복하기 위하여 여러 가지 다양한 반응 상용화(reactive compati-

†To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: kimwn@korea.ac.kr

bilization)와 코어-셸 상용화(core-shell compatibilization) 방법이 사용되고 있다.<sup>10</sup> Methyl methacrylate, styrene 그리고 maleic anhydride(MAH)를 기반으로 한 코어-셸 상용화제 등이 대표적인 예이다. 또한 polyamide, polypropylene 그리고 polyethylene terephthalate 등에 ABS-*g*-MAH를 반응 블렌드(reactive blend)하여 강인성(toughness) 및 충격강도를 향상시키는 연구도 보고된 바가 있다.<sup>11-20</sup> Wildes 등은 ABS/PC 블렌드에 상용제로 amine-functionalized SAN을 사용하였으며,<sup>6</sup> Balakrishnan 등은 PC에 ABS-*g*-MAH를 직접 첨가하여 연구한 것을 발표하였고,<sup>12</sup> Elmaghor 등은 PC에 ABS-*g*-MAH를 첨가하여 PC가 연속상을 나타내는 블렌드 조성에서 연구한 것을 발표한 바 있다.<sup>17</sup>

본 연구에서는 이축 압출기를 이용한 반응압출을 통하여 ABS-*g*-MAH를 제조한 후 이를 역시 이축 압출기로 제조한 ABS/PC와 블렌드하는 실험을 수행하였다. ABS 공중합체에 MAH를 반응압출 방법으로 도입하게 되면 ABS 공중합체는 ABS-*g*-MAH 형태를 이루게 되어 보다 강한 극성을 보여줄 수 있게 된다. 또한 이러한 ABS-*g*-MAH는 PC와의 블렌드 사이의 상용성을 증가시켜 주거나 기계적 강도의 증가 역시 유도할 수 있다고 보고되었다.<sup>12-14,17</sup> 본 연구에서는 특히 ABS가 연속상을 나타내는 ABS/PC(70/30) 블렌드에 상용화제로 ABS-*g*-MAH를 첨가하여 제조한 시편을 만능시험기(UTM)를 사용하여 기계적 물성을 측정하였고, 상용화제 첨가에 따른 블렌드 단면의 형태학 관찰 및 advanced rheometric expansion system(ARES)를 이용하여 유변물성을 측정하였다. 특히 본 연구에서는 ABS-*g*-MAH를 첨가 양에 따른 기계적 물성과 유변물성 결과에 대한 상호 연관성을 나타내었다.

## 실 험

**재료.** 본 연구에서 사용된 고분자인 ABS와 PC는 상업용 제품이며, 분자량에 관한 내용을 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용된 상용화제는 ABS-*g*-MAH 공중합체로서, 상용화된 제품이 없어서 반응압출방법을 통하여 실험실에서 제조하여 사용하였다. 상용화제 제조 시 사용된 MAH와 dicumyl peroxide(DCP)의 조성은 Table 2에 나타내었다. ABS-*g*-MAH에서 ABS 100 g에 대한 MAH, DCP의 상대적 함량비율은 각각 5 wt%와 0.3 wt%이다. ABS와

**Table 1. Characteristics of Materials Used in This Study**

Samples	Molecular weight ( $M_w$ )	Material description	Supplier
ABS	160000	RS650	LG Chem.
PC	28000	300 10	LG-DOW Chem.
MAH	98.06	M188	Aldrich
DCP	270.37	Luperox	ATOFINA Chem.

**Table 2. Polymer Blend Compositions Used in This Study**

Polymer blends	Weight percent (wt%)
ABS/PC	70/30
ABS/PC/ABS- <i>g</i> -MAH	70/30 with 1, 3, 5, 7 and 10 phr ABS- <i>g</i> -MAH

PC의 중량비율은 70 : 30이며, ABS/PC 블렌드에 상용화제인 ABS-*g*-MAH는 ABS/PC 블렌드 전체에 대하여 1, 3, 5, 7 그리고 10 wt%를 첨가하였다.

**시편 제조.** 고분자 재료인 ABS와 PC는 진공 오븐으로 70 °C와 90 °C에서 각각 12시간 동안 건조시킨 후 블렌드하였다. 상용화제인 ABS-*g*-MAH를 제조하기 위하여 ABS와 MAH 그리고 DCP를 동방향 이축압출기(내경 : 11 mm, L/D=40, Bautek Co.)로 압출하였으며, 압출 시 반응시간을 충분히 하기 위하여 스크류의 속도는 20 rpm으로 하여 압출기 내에서의 체류시간을 길게 하였다. 고분자 블렌드 공정은 역시 이축압출기를 사용하였으며, 호퍼부분은 180 °C, 배럴부분은 240 °C로 설정하고, 스크류의 속도는 50 rpm으로 고정하여 실험하였다. 압출기를 통해 제조된 블렌드는 70 °C의 진공 오븐에서 12시간 동안 건조시킨 후, 사출성형기를 통해 인장, 충격 그리고 광택실험용 시편으로 제조하였다. 광택실험용 시편 제조시에는 표면이 특수 코팅된 몰드(mold)를 사용하였다. 또한 고온 프레싱기를 통해 240 °C에서 ARES용 동전시편(지름 : 25 mm)을 제조하였다.

**적외선 분광법(FT-IR).** 반응 압출을 통한 ABS-*g*-MAH 제조 시, MAH가 ABS에 그래프트되었는지 확인하기 위하여 적외선 분광법(FT-IR, Perkin Elmer, Spectrum GX1)을 사용하였다. ABS-*g*-MAH를 chloroform에 녹여 액체 상태로 측정을 하였다.

**주사 전자 현미경(SEM).** 상용화제 첨가시 블렌드의 미세 단면 구조를 관찰하기 위하여 SEM을 이용하였다. 블렌드를 액체질소로 냉각하여 절단한 후 그 단면을 30~50 Å 두께로 백금 코팅하여 30 Kv의 가속 전압으로 조사하였으며, 사용된 SEM의 모델은 Hitachi S-4300였다. 상용화제 첨가 시 분산상의 형태를 좀더 명확히 관찰하기 위하여 분산상인 PC를 sodium hydroxide(NaOH) 수용액으로 에칭하였다.

**기계적 물성 측정.** 만능시험기(Instron 4467)를 사용하여 가공된 고분자 블렌드의 인장강도를 측정하였다. 실험은 ASTM D-638에 의거하여 cross-head 속도는 5 mm/min로, 게이지 길이는 50 mm로 설정하여 측정하였다. 충격강도를 측정하기 위하여 ASTM D-256에 의거하여 아이조드 임팩트 테스트기(Izod impact tester, McVan instruments, ITR2000)를 사용하여 상온에서 측정하였다.

**유변물성 측정.** 블렌드의 유변학적 성질을 advanced rheometric expansion system(ARES, TA Instruments)을 이용하여 측정하였다. 지름 25 mm의 블렌드 시편을 parallel plate fixture를 사용하여 0.1~100 rad/s의 주파수 범위 내에서 4%의 변형을 주고 240 °C의 온도에서 dynamic frequency sweep 테스트를 하여 저장탄성률(storage modulus,  $G'$ ), 손실탄성률(loss modulus,  $G''$ ) 그리고 복소점도(complex viscosity,  $\eta^*$ )를 측정하였다.

## 결과 및 토론

**반응압출에 의한 그래프트 특성 분석.** Figure 1은 ABS와 ABS-*g*-MAH의 FT-IR 그래프이다. ABS-*g*-MAH의 그래프에서 보면  $1780\text{ cm}^{-1}$ 의 파수(wavenumber)에서 새로운 피크(탄소와 산소의 이중결합, C=O)가 생성됨을 알 수 있다. 이는 ABS의 부타디엔 부분과 MAH가 반응하여 생성된 피크로 ABS에는 존재하지 않으며

이로 인해 MAH가 ABS에 성공적으로 그래프트되었다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 ABS의 butadiene과 MAH가 DCP 존재 하에서 반응하여 ABS-*g*-MAH를 얻을 수 있다고 보고된 바 있다.<sup>17</sup>

**기계적 물성 분석.** 본 연구에 사용된 블렌드의 기계적 물성을 측정하여 그 결과를 Figure 2에 나타내었다. Figure 2에서 보면 ABS-*g*-MAH의 조성이 5 phr까지 증가할수록 인장강도가 큰 증가는 없으나, 약 52 MPa에서 55 MPa로 약간 증가하는 것을 관찰할 수 있으며, 계속하여 ABS-*g*-MAH를 10 phr까지 증가하더라도 더 이상 인장강도는 증가를 나타내지 않아 ABS-*g*-MAH의 조성이 5 phr 일때가 적당하다고 판단된다. 이와 같이 인장강도의 증가는 ABS에 MAH가 그래프트된 ABS-*g*-MAH가 ABS/PC(70/30) 블렌드에서 강인성을 향상시키는 역할을 하기 때문이다. 그 결과 ABS/PC/ABS-*g*-MAH 블렌드는 인장강도는 증가하지만 ABS/PC(70/30) 블렌드보다 깨지기 쉬운(brittle) 성질을 갖게 되어 ABS-*g*-MAH의 첨가가 ABS/PC 블렌드의 충격강도에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

**유변물성 분석.** ABS/PC(70/30) 그리고 ABS/PC/ABS-*g*-MAH 블렌드의 유변학적 성질을 ARES로 관찰하였다. Figure 3은 ABS/PC 블렌드에 ABS-*g*-MAH의 조성이 1, 3, 5, 7 그리고 10 phr인 블렌드의 저장탄성률( $G'$ )을 주파수에 따라 나타낸 것이다. Figure 3을 보면 ABS/PC/ABS-*g*-MAH 블렌드의  $G'$ 은 ABS/PC 블렌드의  $G'$ 보다 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 특히 낮은 주파수 영역(0.1~10 rad/s)에서 차이가 더 많은 것을 알 수 있다.

Figure 4는 ABS/PC(70/30) 블렌드에 ABS-*g*-MAH의 조성

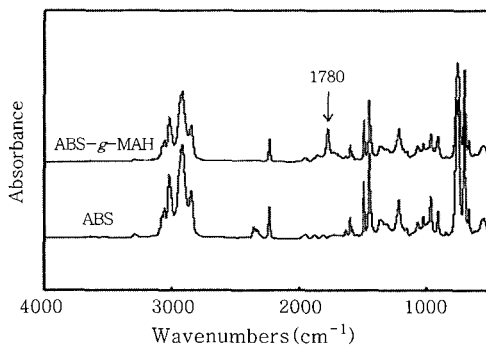


Figure 1. FT-IR spectra of the ABS and ABS-*g*-MAH.

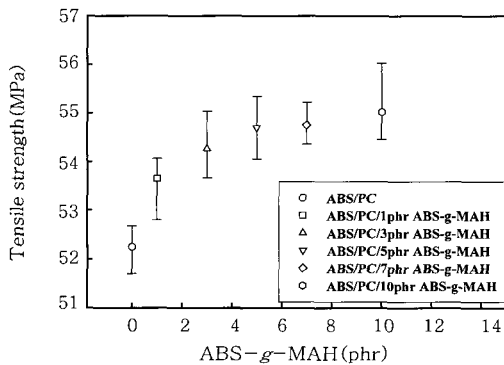


Figure 2. Tensile strength of the ABS/PC(70/30) blends with ABS-*g*-MAH.

이 1, 3, 5, 7 그리고 10 phr인 블렌드의 손실 탄성률( $G''$ )을 역시 주파수에 따라 나타낸 것이다.  $G'$ 과 마찬가지로 ABS-*g*-MAH가 첨가된 블렌드에서 탄성률이 증가한 것을 관찰할 수 있다. 역시 낮은 주파수 영역에서 그 차이가 더 크게 관찰된다. 하지만 증가폭은  $G'$ 에 비해 덜한데 이는 측정 구간의 주파수 영역에서는 블렌드의 점탄성 성질중에  $G'$ 에 더 큰 영향을 미치는 영역이기 때문이다.

복소점도( $\eta^*$ ) 역시 Figure 5에서 알 수 있듯이 ABS-*g*-MAH가 첨가된 블렌드가 더 큰 값을 갖는 것으로 관찰되었다. 이와 같은 탄성률의 증가와 점도의 증가는 첨가된 ABS-*g*-MAH가 ABS/PC(70/30) 블렌드에 상용화제로 사용되어 modulus를 증가시켰기

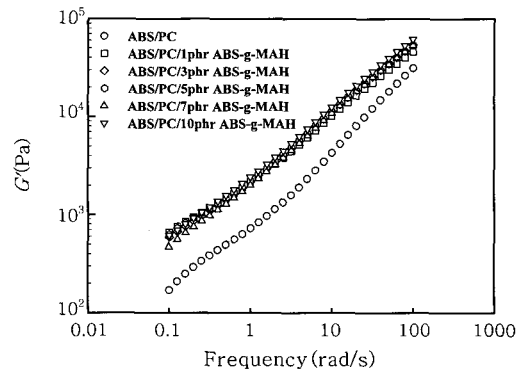


Figure 3. Storage modulus of the ABS/PC(70/30) blends with ABS-*g*-MAH.

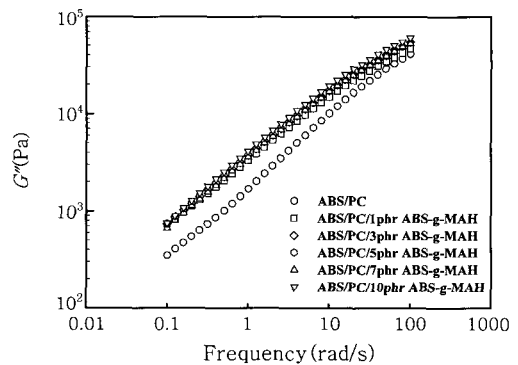


Figure 4. Loss modulus of the ABS/PC(70/30) blends with ABS-*g*-MAH.

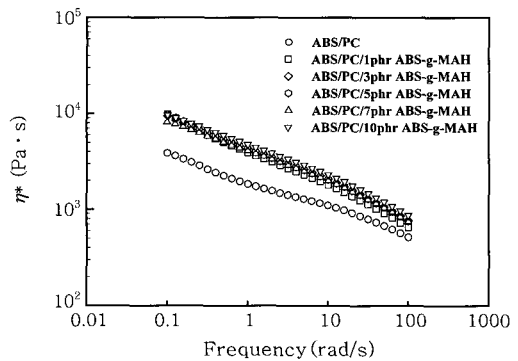


Figure 5. Complex viscosity of the ABS/PC(70/30) blends with ABS-*g*-MAH.

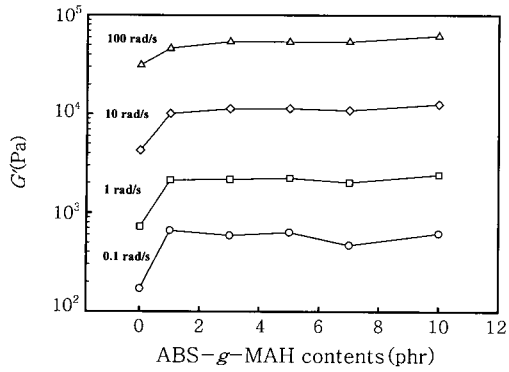


Figure 6. Storage modulus vs. ABS-*g*-MAH of the ABS/PC (70/30) blends with frequency.

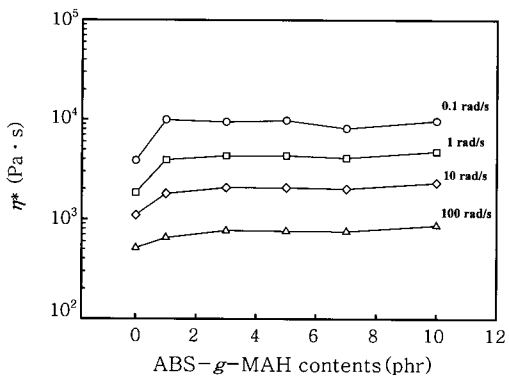
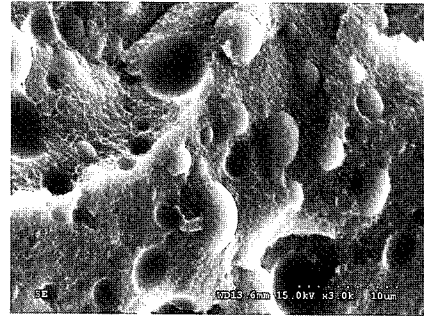


Figure 7. Complex viscosity vs. ABS-*g*-MAH of the ABS/PC (70/30) blends with frequency.

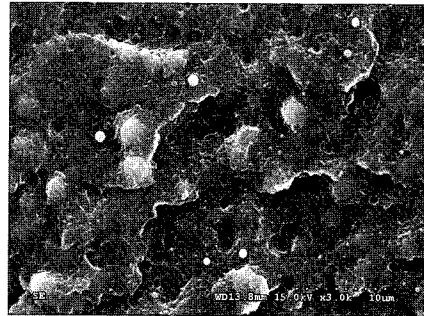
때문이라고 사료된다.

Figure 6은 ABS/PC (70/30) 블렌드에서 ABS-*g*-MAH 양에 따른 저장탄성률( $G'$ )을 주파수에 따라 나타낸 것이다. Figure 6에서 보면, ABS-*g*-MAH 양이 증가함에 따라  $G'$  값이 증가함을 알 수 있으며, 특히 주파수가 0.1 rad/sec에서는 ABS-*g*-MAH 양이 1, 3 그리고 5 phr인 경우  $G'$  값이 증가하다가 7과 10phr에서는 더 이상 크게 증가하지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 Figure 7에 나타낸 복소점도에서도 같은 현상을 볼 수 있는데, 이는 고분자 블렌드의 유변학적인 성질, 특히 낮은 주파수에서의 저장탄성률( $G'$ )은 고분자 블렌드의 계면에서 일어나는 성질을 잘 반영하는 것으로 알려져 있다.<sup>21</sup> 이상과 같이 ABS/PC(70/30) 블렌드에 ABS-*g*-MAH를 5phr 이상 첨가 시 유변물성이 더 이상 증가하지 않는 것은 Figure 2에 나타낸 인장강도 결과와 유사한 것으로 과량의 ABS-*g*-MAH 첨가는 ABS/PC 블렌드에 가소효과를 초래할 수 있다고 사료되며, 적정 ABS-*g*-MAH 양은 5 phr로 판단된다.

**형태학적 분석.** 압출기를 이용하여 제조된 ABS/PC(70/30) 블렌드와 ABS/PC/ABS-*g*-MAH 블렌드의 미세 단면 구조를 SEM으로 관찰하였다. Figure 8에는 ABS/PC(70/30) 블렌드와 ABS-*g*-MAH가 5 phr 첨가된 ABS/PC/ABS-*g*-MAH 블렌드의 미세 단면 구조를 각각 나타내었다. 연속상인 ABS와 분산상인 PC의 상 분리가 관찰되었으며 이로부터 ABS와 PC의 블렌드는 상용성이 없음을 알 수 있다. 그러나, Figure 8(b)에서 ABS/PC



(a)



(b)

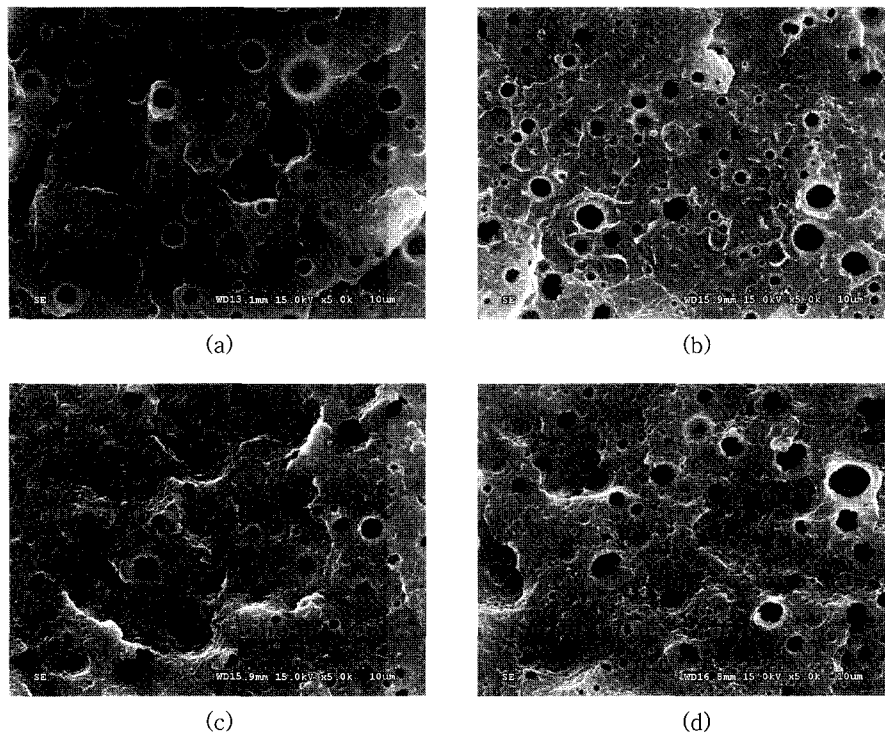
Figure 8. SEM morphology of the (a) ABS/PC(70/30) blend and (b) ABS/PC/ABS-*g*-MAH (70/30/5 phr) blend.

블렌드에 ABS-*g*-MAH가 5 phr 첨가된 경우, ABS와 PC 두 상 사이의 계면이 smooth하게 되어 상용성이 증가된 것을 알 수 있는데, 이는 ABS-*g*-MAH가 ABS/PC 블렌드에서 상용화제로 작용하였기 때문으로 사료된다.

Figure 9는 분산상인 PC의 크기 변화를 관찰하기 위하여 ABS/PC/ABS-*g*-MAH 블렌드의 단면을 수산화나트륨으로 에칭하여 분산상인 PC부분을 제거한 SEM 모폴로지 결과이다.

각 조성에서 분산상인 PC의 크기는 ABS/PC(70/30) 블렌드의 경우 1.3  $\mu\text{m}$ 이고, ABS-*g*-MAH가 1, 5 그리고 10 phr 첨가된 경우 분산상인 PC의 형태가 구형이 아니어서 측정 시 약간의 오차가 발생할 수 있으나, 1.2, 1.2, 그리고 1.3  $\mu\text{m}$ 로 각각 관찰되어 ABS-*g*-MAH 첨가 양에 따라 PC의 크기 차이가 없음을 알 수 있는데, 이와 같이 ABS-*g*-MAH 첨가에 따라 분산상인 PC의 크기 차이가 관찰되지 않는 것은 분산상인 PC의 크기 자체가 1  $\mu\text{m}$  내외로서 그리 크지 않기 때문으로 사료된다.

또한, Figure 9(a)에서 보면, ABS-*g*-MAH가 첨가되지 않은 ABS/PC 블렌드의 경우 에칭된 PC의 모양이 구형을 이룬 것을 관찰할 수 있다. 하지만 ABS/PC(70/30) 블렌드에 ABS-*g*-MAH가 각각 1, 5 그리고 10 phr 첨가된 Figure 9(b) - (d)의 경우 에칭된 부분의 모양이 구형을 이루지 않는 것을 관찰할 수 있는데, 이는 ABS-*g*-MAH가 ABS와 PC의 계면에 녹아 들어가서 각각의 상용성을 증가시켜 계면을 부분적으로 에칭시킨 것으로 사료된다.



**Figure 9.** SEM morphology of the ABS/PC (70/30) blends with ABS-g-MAH: (a) 0, (b) 1, (c) 5, and (d) 10 phr. The blends etched by an aqueous NaOH solution.

## 결론

반응압출을 통해 제조된 ABS-g-MAH를 FT-IR을 사용하여 측정된 결과 ABS에는 존재하지 않았던  $1780\text{ cm}^{-1}$ 의 파수(wavenumber)에서 새로운 피크(탄소와 산소의 이중결합, C=O)가 생성됨을 알 수 있다. 따라서 ABS에 MAH가 효과적으로 그래프트되었다는 사실을 알 수 있다.

또한 반응압출에 의해 제조된 ABS-g-MAH를 상용화제로 사용하여 비상용성 물질인 ABS와 PC를 동방향 이축 압출기로 블렌드한 ABS/PC(7/30) 블렌드의 기계적 물성 측정 결과 ABS-g-MAH가 5 phr 첨가된 경우 큰 증가는 관찰되지 않았으나 블렌드의 강인성이 향상되어 인장강도가 52.25 MPa에서 55.03 MPa로 약간 증가하였다.

유변학적 물성 결과에서 ABS-g-MAH가 첨가된 경우 탄성률과 복소점도의 증가가 관찰되었으며, 손실탄성률보다 저장탄성률의 증가 폭이 더 크게 관찰되었다. 또한 낮은 주파수영역에서 변화값이 더 크게 나타나 저장탄성률( $G'$ )은 고분자 블렌드의 계면에서 일어나는 성질을 잘 반영하는 것으로 알 수 있다.

ABS/PC(70/30) 블렌드에 ABS-g-MAH를 5 phr 이상 첨가 시, 특히 낮은 주파수에서의 유변물성이 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났는데, 이는 인장강도 결과와 유사한 것으로 과량의 ABS-g-MAH 첨가는 ABS/PC 블렌드에 가소효과를 초래할 수 있다고 사료되며, 적정 ABS-g-MAH 양은 5 phr로 판단된다.

SEM을 이용한 모폴로지 측정 결과 ABS/PC(70/30) 블렌드에 ABS-g-MAH가 5 phr 첨가된 경우, ABS와 PC 두 상 사이의 경

계면이 smooth하게 되어서 상용성이 증가된 것을 알 수 있는데, 이는 ABS-g-MAH가 ABS/PC 블렌드에서 상용화제로 작용하였기 때문으로 사료된다. 또한, ABS/PC(70/30) 블렌드에 ABS-g-MAH가 각각 1, 5 그리고 10 phr 첨가된 경우 에칭된 부분의 모양이 구형을 이루지 않는 것을 관찰할 수 있는데, 이는 ABS-g-MAH가 ABS와 PC의 계면에 녹아 들어가서 각각의 상용성을 증가시켜 계면을 부분적으로 에칭시킨 것으로 사료된다.

이상의 기계적, 유변학적 그리고 형태학적 물성 결과로부터 ABS-g-MAH는 ABS/PC(70/30) 블렌드에 효과적인 상용화제로 작용하였음을 알 수 있으며, 적정 ABS-g-MAH 상용화제의 양은 5 phr로 판단된다.

**감사의 글:** 본 연구는 한국과학재단(Korea Science and Engineering Foundation : KOSEF)에서 지원하여 고려대학교에 설립된 유변공정연구센터(Applied Rheology Center : ARC)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

1. D. R. Paul and J. W. Barlow, *J. Macromol. Sci. Rev. Macromol. Chem.*, **18**, 109 (1980).
2. W. N. Kim and C. M. Burns, *Polym. Eng. Sci.*, **28**, 1115 (1988).
3. L. A. Utracki, *Polymer Blends and Alloys: Thermodynamics and Rheology*, Hanser, Munich, 1989.
4. D. W. Jin, K. H. Shon, and H. M. Jeong, *Polymer(Korea)*,

- 20**, 775 (1996)
5. C. G. Cho, T. H. Park, and T. S. Kim, *Polymer*, **34**, 4687 (1997)
  6. G. S. Wildes, T. Harada, H. Keskkula, D. R. Paul, V. Janarthanan, and A. R. Padwa, *Polymer*, **40**, 3069 (1999).
  7. G. Wildes, H. Keskkula, and D. R. Paul, *Polymer*, **40**, 7089 (1999).
  8. J. P. F. Inberg and R. J. Gaymans, *Polymer*, **43**, 2425 (2002).
  9. J. P. F. Inberg, A. Takens, and R. J. Gaymans, *Polymer*, **43**, 2795 (2002).
  10. V. Dobrescu and V. Cobzaru, *Polym. Symp.*, **64**, 27 (1978).
  11. C. H. Lee, S. G. Lee, S. Kang, S. Yun, J. H. Kim, and S. Choe, *Polymer(Korea)*, **23**, 98 (1999).
  12. S. Balakrishnan, N. R. Neelakantan, D. Nabisahed, and J. P. Jog, *Polymer*, **39**, 5765 (1998).
  13. R. Qi, J. Qian, and C. Zhou, *J. Appl. Polym. Sci.*, **90**, 1249 (2003).
  14. R. Qi, J. Qian, Z. Chen, X. Jin, and C. Zhou, *J. Appl. Polym. Sci.*, **91**, 2834 (2004).
  15. S. C. Park and S. J. Choe, *Macromol. Res.*, **13**, 297 (2005).
  16. J. H. Park, W. N. Kim, H. Kye, S. S. Lee, M. Park, J. Kim, and S. Lim, *Macromol. Res.*, **13**, 367 (2005).
  17. F. Elmaghor, L. Zhang, R. Fan, and H. Li, *Polymer*, **45**, 6719 (2004).
  18. J. H. Park, Y. T. Sung, W. N. Kim, J. H. Hong, B. K. Hong, T. W. Yoo, and H. G. Yoon, *Polymer(Korea)*, **29**, 19 (2005).
  19. B. H. Jeon, H. Yoon, S. S. Hwang, J. Kim, and S. M. Hong, *Polymer(Korea)*, **29**, 127 (2005).
  20. L. W. Kim, S. H. Yoo, and C. K. Kim, *Polymer(Korea)*, **31**, 8 (2007).
  21. D. Herrera, J.-C. Zamora, A. Bello, M. Grimau, E. Laredo, A. J. Muller, and T. P. Lodge, *Macromolecules*, **38**, 5109 (2005).