Korean Chem. Eng. Res., Vol. 49, No. 3, June, 2011, pp. 342-347

상용화제의 첨가에 따른 PP/PCL 블렌드와 TPO/PCL 블렌드의 기계적 물성 모폴로지 및 유변학적 물성

이윤균 · 김민수 · 김우년†

고려대학교 화공생명공학과
136-713서울시 성북구 안암동 5가
(2010년 11월 9일 접수, 2011년 1월 5일 채택)

Effect of Compatibilizers on the Morphological, Mechanical and Rheological Properties of PP/PCL and TPO/PCL Blends

Yun Kyun Lee, Min Soo Kim and Woo Nyon Kim†

Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University, 5-ga, Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-713, Korea
(Received 9 November 2010; accepted 5 January 2011)

요 약

본 연구에서는 폴리프로필렌(PP)과 올레핀계 열가소성 엘라스토머(TPO)를 생분해성 고분자인 폴리카프로락톤(PCL)과 각각 블렌드할 경우 상용화제의 효과에 대하여 연구하였다. 본 연구에 사용한 TPO는 PP(80 wt%), EPDM(15 wt%) 그리고 Talc(5 wt%) 로 구성된 혼합체이며, 상용화제로는 maleic anhydride grafted polypropylene(PP-g-MAH)와 maleic anhydride grafted styrene-(ethylene-co-butene)-styrene copolymer(SEBS-g-MAH)를 사용하였다. PP/PCL 그리고 TPO/PCL 각각의 블렌드에서, PP-g-MAH 를 상용화제로 첨가한 경우 인장강도가 향상되는 것을 알 수 있었으며, 충격강도의 경우에는 rubber 를 포함하고 있는 SEBS-g-MAH를 상용화제로 사용하였을 때 향상되는 것을 알 수 있었다. PP/PCL 블렌드에 PP-g-MAH 상용화제를 첨가한 결과 PCL의 droplet 크기가 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 유변물성 측정결과 상용화제 첨가에 따라 각각 블렌드에서 복합점도 변화가 작음을 알 수 있었는데 이것은 상용화제가 블렌드의 상용성 변화에 미치는 영향이 작아 용융점도에 미치는 영향이 미미하기 때문으로 사료된다. 요약하면, 블렌드의 기계적 물성, 모폴로지 및 유변학적 물성 측정 결과 PP/PCL과 TPO/PCL 각각의 블렌드에서 PP-g-MAH 상용화제는 PCL droplet 크기를 감소시켜 인장강도를 향상시키는 역할을 하였으며, SEBS-g-MAH 는 충격강도를 향상시키는 보강제로서의 역할을 하는 것을 알 수 있었다.

Abstract – The effects of compatibilizers on the mechanical and rheological properties of PP/PCL and TPO/PCL blends have been studied. The thermoplastic polyolefin (TPO) consists of PP (80 wt%), EPDM (15 wt%) and Talc (5 wt%). Maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MAH) and maleic anhydride grafted styrene-(ethylene-co-butene)-styrene copolymer (SEBS-g-MAH) were used as compatibilizers. In mechanical properties of PP/PCL and TPO/PCL blends, tensile strength was increased when PP-g-MAH was used as a compatibilizer, and impact strength was increased when SEBS-g-MAH was used as a compatibilizer. From the results of SEM morphology of PP/PCL blend, PCL droplet size was decreased by the addition of PP-g-MAH. From the results of rheological property, complex viscosity of the PP/PCL and TPO/PCL blends did not change appreciably when the compatibilizers were added. From the results of mechanical, morphological and rheological properties of the blends, PP-g-MAH acted as a compatibilizer to increase the tensile strength of the PP/PCL and TPO/PCL blends. While SEBS-g-MAH acted as a impact modifier to increase the impact strength of the PP/PCL and TPO/PCL blends.

Key words: Polymer Blends, Compatibilizer, Mechanical Property, Rheological Property

1. 서 론

플라스틱은 뛰어난 물성과 함께 값싸고 가벼운 특성으로 인하여 천연 소재의 한계와 제약으로부터 벗어날 수 있었고 이러한 특성으로 플라스틱의 사용은 꾸준히 증가되고 있다. 그러나 플라스틱 폐기물에 의한 환경오염, 예를 들어 다이옥신의 검출이나 환경호르몬의 누출 등으로 인해 친환경 플라스틱에 대한 사회적인 요구뿐만 아니라 비분해성 플라스틱 사용에 대한 법률적인 규제의 기준도 점점 더 강화되고 있다. 이로 인하여 사용 후 재활용을 포함하여 폐기 및 소각처리 시 발생하는 비용을 줄이기 위한 노력이 계속되고 있지만 플라스틱은 유리나 금속, 나무 등의 다른 소재에 비하여 재활용률이 현

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: kimwn@korea.ac.kr
‡이 논문은 고려대학교 홍석인 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

저히 낮고 소각의 경우에는 다이옥신 등의 소각 시 발생하는 유해가스가 2차 오염을 유발할 수 있는 단점이 있다. 이와 같이 재활용 또는 소각을 통해서는 환경오염 문제를 완전히 해결할 수가 없으므로 이들 방법과 더불어 플라스틱 자체가 분해가 가능한 생분해성 플라스틱의 사용 필요성이 크게 대두되고 있다[1]. 하지만 생분해성 고분자는 단독으로 사용하기에는 기계적 물성이나 열 안정성 면에서 부족한 부분이 많기 때문에 여러 종류의 고분자와 블렌드를 통하여 물성 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[2-5]. 그 중 TPO로 표현되는 열가소성 폴리올레핀 수지는 폴리프로필렌(PP)(75 wt%)에 에틸렌계 엘라스토머인 EPDM(15 wt%)과 talc 입자(5 wt%)를 블렌드한 복합소재로 우수한 기계적 강도와 열적 특성이 우수한 것으로 알려져 있으며 가격면에서도 매우 유리한 이점을 가지고 있다. 때문에 TPO는 이러한 이점을 바탕으로 하여 자동차 산업을 비롯하여 다양한 분야에 범용적으로 적용되고 있다[6,7]. 생분해성 플라스틱으로 대표되는 폴리유산(PLA) 또는 폴리카프로락톤(PCL)을 소량 첨가함으로써 사용후의 플라스틱에 대한 붕괴되는 속도를 조절하여 사용시에는 기계적 물성 등에 영향을 미치지 않고 사용 후에 해체가 곤란한 부위에 사용함으로써 폐기시 소각 등으로 인하여 발생하는 비용을 부담하지 않고 단순 매립함으로서 폐기 비용을 최소화할 수 있다.

Cho 등은[8-11] 여러 종류의 고분자에 생분해성 고분자인 PCL 을 블렌드하여 만들어진 고분자의 물성변화, 상용성 및 생분해성과 관련한 연구를 진행하였으며, 폴리염화비닐(PVC)의 경우 PCL과 블렌드하여 필름을 제조한 결과 생분해 특성이 나타남을 알 수 있었다[8]. 또한 Kim 등은[12-14] 여러 고분자에 대하여 생분해성 고분자로 PLA를 첨가하여 블렌드의 상용성, 물성변화 및 생분해성 부여 등과 관련한 연구를 진행하였으며, PP와 PLA 블렌드에서 PP-g-MAH가 상용화제로서 효과가 있음을 알 수 있었다[12]. 따라서 최근 자동차 내 외장 재료로서 가격 경쟁력을 위하여 많이 사용되고 있는 올레핀계 수지인 ABS, PP 등의 재활용 소재와 생분해성 고분자인 PCL 및 PLA를 블렌드 함으로써 환경 친화적 소재로의 응용이 가능할 것으로 예상되며, 블렌드의 상용성 및 첨가제 등의 연구를 통해 물성의 향상을 기대할 수 있다.

또한, 재활용 수지인 폴리(아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌) 공중합체(ABS), PP 등과의 블렌드는[5,15-17] 친환경 소재임과 동시에 자동차용 소재로서의 특화된 물성을 향상시켜 그 사용범위가 다양화될 수 있을 것으로 예상되며 해당 연구 결과가 다양한 자동차용 부품에 적용될 시에는 해체 및 소각처리에 사용되는 비용을 매립을 통한 분해방법으로 대폭 감소 시킬 수 있을 것으로 예상된다. 이는 점차 강화되고 있는 환경규제에도 능동적으로 대처할 수 있는 기반기술을 확보하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다. PCL은 오래 전부터 공업적으로 생산되고 있으며 생분해성이 뛰어난 생분해성 플라스틱의 표준 물질로서의 위치를 차지하고 있다. 때문에 본 연구는 자동차용 재료로 많이 사용되는 플라스틱인 PP와 PP에 EPDM이 보강된 TPO 각각에 대하여 생분해성 고분자인 PCL을 블렌드하여 PCL의 첨가로 인한 물성을 측정하고, PP-g-MAH와 SEBS-g-MAH를 상용화제로 첨가하여 상용화제의 첨가에 따른 물성의 변화를 살펴보고자 한다.

2. 실 험

2-1. 재 료

본 연구에 사용한 고분자 시료는 상업용 제품으로서 그 특성을 Table 1에 나타내었다. PP(삼성토탈, B175H, T_g: −16 ºC), TPO (Ramko, RP-220, T_g: −12 ºC)와 PCL(Aldrich, 440744, T_g: −54 ºC)은 수분을 제거하기 위해 70 ºC에서 4시간 동안 건조 후에 사용하였다. 또한 MAH 비율이 10 wt%인 PP-g-MAH(현대EP, PG-300)과 MAH 비율이 2 wt%인 SEBS-g-MAH(Shell, G1726M)를 상용화제로 사용하여 첨가하였다.

Table 1. Characteristics of polymers used in this study

Sample	T_g(ºC)[d]	T_m(ºC)[d]	Tensile Strength (kg_f/cm^2)[e]	Impact Strength (kg_f cm/cm)[f]
PP[a]	−16	164	309.0	6.1
TPO[b]	−12	167	120.0	32.0
PCL[c]	−54	65	187.4	16.7

[a]Supplied by Samsung Total Petrochemicals Co.
[b]Supplied by Ramko Co.
[c]Supplied by Aldrich Co.
[d]Measured by DSC in our laboratory.
[e]Measured by UTM in our laboratory.
[f]Meausred by Izod impact tester.

Table 2. Blend composition and compatibilizer content used in this study

Blend	Compatibilizer	Content (phr)
PP/PCL (90/10)	PP-g-MAH	0
		1
		3
		5
	SEBS-g-MAH	1
		3
		5
TPO/PCL(90/10)	PP-g-MAH	0
		1
		3
		5
	SEBS-g-MAH	1
		3
		5

2-2. 블렌드 제조

PP/PCL 그리고 TPO/PCL 블렌드는 무게비로 각각 90/10 wt%, 상용화제로 사용된 PP-g-MAH와 SEBS-g-MAH는 1, 3, 5 phr를 첨가하여 블렌드 시편을 제조하였으며, 각각의 조성은 Table 2에 나타내었다. 고분자 블렌드 공정은 동방향 이축압출기(내경: 11 mm, L/D:40, Bautek Co.)를 사용하였고, 이축압출기의 내부온도는 190 ºC로 설정하였으며 스크류의 회전속도는 120 rpm으로 하였다.

2-3. 기계적 물성 측정

기계적 물성 측정은 Instron사의 만능재료시험기(Universal Test Machine, Model 4467)를 사용하여 인장강도를 측정하였고, Toyoseiki의 Izod impact tester(Model DG-IB2)를 이용하여 충격강도를 측정하였다. 인장강도는 ASTM D-638에 의거하여 크로스 헤드 속도는 5 mm/min, 게이지 길이는 50 mm로 설정하여 측정하였으며, 충격강도는 ASTM D-256에 의거하여 notched Izod impact strength 를 측정하였다. 또한 시편의 종류에 따라 각각 5번씩 측정하여 평균값을 구했다.

2-4. 형구학적 특성

PP/PCL과 TPO/PCL블렌드의 형구학적 특성을 관찰하기 위하여 일본 Hitachi사의 S-4300SE field emission scanning electron microscope (FE-SEM) 기기를 이용하였다. 관찰용 시편은 hot press를 이용하여 190 ºC, 20 MPa의 압력하에서 동전시편을 만든 후 액체 질소 속에 20분간 함침 후 파단하여 사용하였다. 시편은 백금으로 코팅하여 측정하였다.

2-5. 유변학적 특성

Advanced Rheometric Expansion System(ARES)를 사용하여 상용화제의 종류 및 함량에 따른 PP/PCL과 TPO/PCL 블렌드 각각의 유변학적 특성을 측정하였다. 측정 시편은 hot press로 제조한 지금 25 mm, 두께 2 mm 규격의 동전시편을 사용하였다. 측정 온도는 190 ºC, 변형율은 선형 점탄성 영역인 8% 로 고정하였고, 0.1~100 rad/s의 주파수 범위에서 복합점도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 기계적 물성 분석

Fig. 1은 PP/PCL(90/10)과 TPO/PCL(90/10) 블렌드에 대하여 상용화제의 종류와 함량에 따른 인장강도의 측정 결과를 나타내고 있다. PP/PCL 블렌드에서 SEBS-g-MAH 를 상용화제로 첨가할 경우 함량이 증가함에 따라 인장강도가 약간 감소하는 것을 알 수 있으며, PP-g-MAH의 경우에는 상용화제의 함량이 증가함에 따라 인장강도 수치가 소폭 증가하는 것을 알 수 있다. TPO/PCL 블렌드에서는 SEBS-g-MAH 를 첨가할 경우 PP/PCL 블렌드 경우와 유사하게 상용화제 함량의 증가에 따라 인장강도가 감소하는 반면, PP-g-MAH 경우에는 함량의 증가에 따라서 인장강도가 증가하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 PP-g-MAH 는 PP/PCL 블렌드 및 TPO/PCL 블렌드에서 인장강도를 증가시키는데 중요한 상용화제로 작용함을 알 수 있다.

Fig. 2는 PP/PCL과 TPO/PCL 블렌드 각각의 충격강도 측정 결과를 나타내고 있다. PP/PCL 블렌드의 경우 PP-g-MAH를 상용화제로 첨가할 경우 충격강도가 큰 변화가 없는 것을 알 수 있으며, SEBS-g-MAH 를 상용화제로 첨가할 경우 충격강도가 함량의 증가에 따라

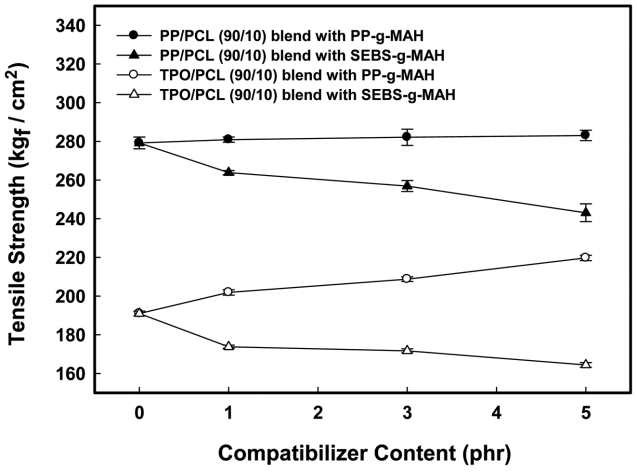

Fig. 1. Tensile strength of the blends; (●, ▲) PP/PCL (901/10), (○, △) TPO/PCL (90/10).

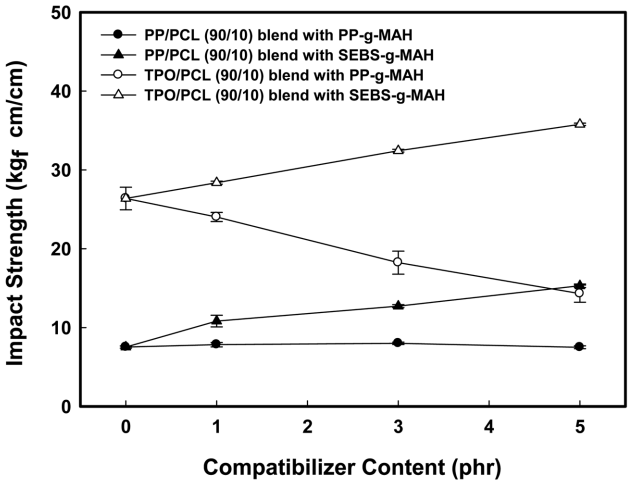

Fig. 2. Impact strength of the blends; (●, ▲) PP/PCL (90/10), (○, △) TPO/PCL (90/10).

Table 3. Tensile strength and impact strength of the PP/PCL and TPO/PCL blends

Blend	Compatibilizer	Content (phr)	Tensile Strength (kg_f/cm^2)	Impact Strength (kg_f cm/cm)
PP/PCL (90/10)	PP-g-MAH	0	279.2	7.5
		1	280.8	7.8
		3	282.1	8.0
		5	283.0	7.5
	SEBS-g-MAH	1	263.8	10.8
		3	256.9	12.7
		5	243.1	15.3
TPO/PCL (90/10)	PP-g-MAH	0	191.0	26.4
		1	201.9	29.4
		3	208.8	22.3
		5	212.6	14.3
	SEBS-g-MAH	1	173.8	28.4
		3	171.7	32.4
		5	164.4	35.8

약간 증가하는 것을 알 수 있다. TPO/PCL 블렌드의 경우 PP-g-MAH 를 상용화제로 첨가한 경우 충격강도가 감소하는 경향을 나타내는 반면에, SEBS-g-MAH를 상용화제로 첨가한 경우에는 충격강도가 증가하는 경향을 알 수 있다. 이 결과로부터 SEBS-g-MAH는 PP/PCL 및 TPO/PCL 블렌드에서 충격강도를 증가시키는데 중요한 상용화제로 작용함을 알 수 있다. 여기서 충격강도의 증가는 고무인 SEBS의 효과에 기인하는 것으로 판단할 수 있으며, 상용화제의 종류 및 함량에 따른 PP/PCL과 TPO/PCL 블렌드의 기계적 물성을 Table 3에 표로 나타내었다.

3-2. 모폴로지 특성 분석

PP/PCL(90/10)과 TPO/PCL(90/10) 블렌드에서 상용화제의 첨가에 따른 모폴로지 변화를 SEM 이용하여 관찰하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 PP/PCL 블렌드에 PP-g-MAH와 SEBS-g-MAH 각각을 상용화제로 첨가하였을 때, 상용화제의 함량에 따른 SEM 사진을 나타내었다. PP/PCL 블렌드에 PP-g-MAH를 첨가한 경우에는 Fig. 3(a)~(d) 사진에서 알 수 있듯이, 상용화제의 첨가에 따라서 PCL의 droplet 크

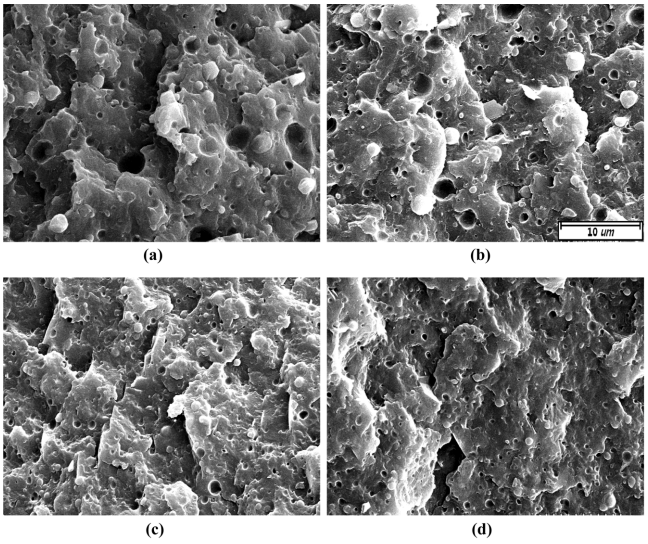

Fig. 3. Scanninig electron micrographs of the PP/PCL (90/10) blends with PP-g-MAH content; (a) 0phr, (b) 1phr, (c) 3phr, (d) 5phr.

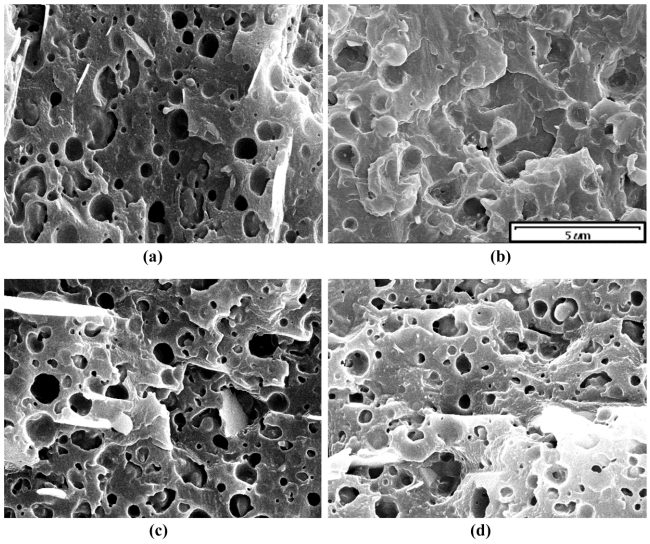

Fig. 5. Scanninig electron micrographs of the TPO/PCL (90/10) blends with PP-g-MAH content; (a) 0phr, (b) 1phr, (c) 3phr, (d) 5phr.

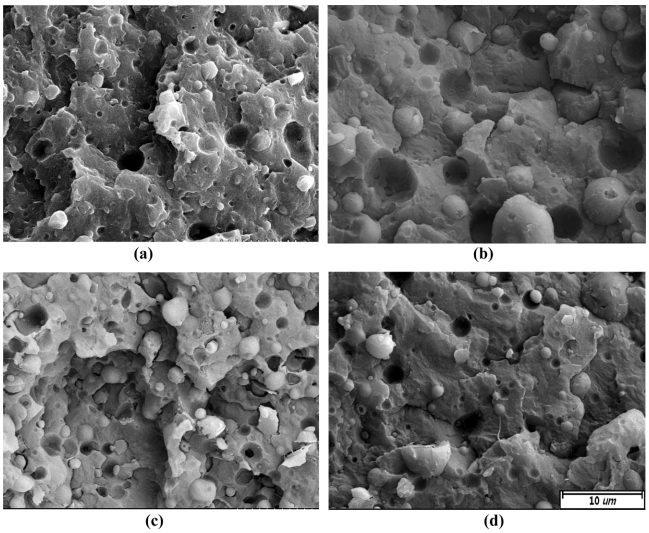

Fig. 4. Scanninig electron micrographs of the PP/PCL (90/10) blends with SEBS-g-MAH content; (a) 0phr, (b) 1phr, (c) 3phr, (d) 5phr.

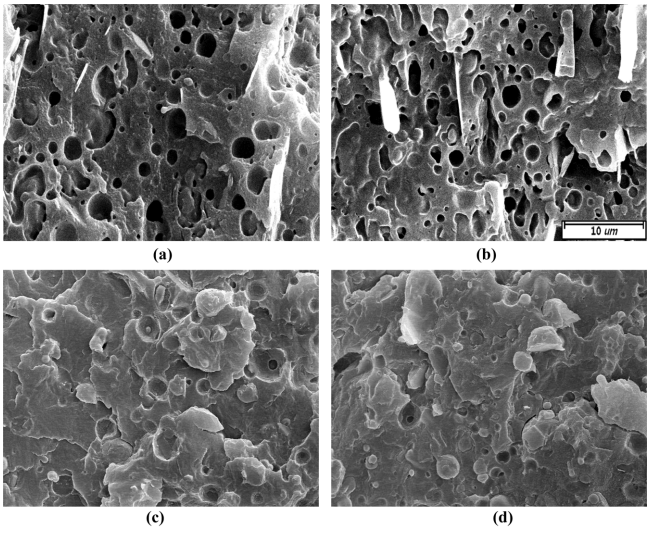

Fig. 6. Scanninig electron micrographs of the TPO/PCL (90/10) blends with SEBS-g-MAH content; (a) 0phr, (b) 1phr, (c) 3phr, (d) 5phr.

기가 감소하는 것을 알 수 있으며, 3 phr 함량에서 가장 작은 droplet 크기를 갖는 것을 알 수 있다. 하지만 SEBS-g-MAH를 첨가한 경우에는 Fig. 4(a)~(d) 사진과 같이 상용화제의 첨가에 따른 PCL의 droplet 크기 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 이로 인하여 PP/PCL과 TPO/PCL 블렌드에서 인장강도 증가가 관찰되지 않은 것으로 사료된다.

Fig. 5와 6은 TPO/PCL 블렌드에 PP-g-MAH와 SEBS-g-MAH 각각을 상용화제로 첨가하였을 때, 상용화제의 함량에 따른 SEM 사진을 나타내었다. Fig. 5에서 보면 PP-g-MAH을 상용화제로 첨가한 경우 함량의 증가에 따라 PCL droplet 크기가 점차 감소하지만 그 정도가 매우 작음을 알 수 있다. Fig. 6에서 보면 SEBS-g-MAH를 상용화제로 첨가한 경우에는 PP/PCL 블렌드 경우와 유사하게 함량의 증가에 따라 droplet 크기 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 결론적으로 PP-g-MAH의 경우에는 droplet의 크기가 소폭 감소하면서 인장강도가 증가하는 것을 알 수 있고, SEBS-g-MAH의 경우에는 droplet 의 크기 변화가 거의 없지만 충격강도 보강제로서 사용할 수 있음을 알 수 있다.

3-3. 유변학적 물성

Fig. 7은 PP/PCL 블렌드에 PP-g-MAH를 상용화제로 첨가한 경우 함량에 따른 복합점도를 측정한 결과이며, Fig. 8은 SEBS-g-MAH를 상용화제로 첨가한 경우 함량에 따른 복합점도의 측정 결과이다. 기계적 물성과 모폴로지를 통해 알 수 있듯이 PP-g-MAH는 PP와 PCL의 블렌드에 어느정도의 상용성을 부여한다고 말할 수 있다. 때문에 복합점도를 측정할 시에 상용화제의 첨가에 따라서 그 수치가 높아질 것으로 예상하였지만, Fig. 7에서 나타나듯이 측정 결과 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 PCL 용융점이 매우 낮고 PP-g-MAH가 PP와의 상용화제로 크게 작용하지 않음에 따라 블렌드의 용융 점도를 증가시키는 효과가 미미한 것으로 사료된다. SEBS-g-MAH를 상용화제로 첨가한 경우의 결과는 Fig. 8에 나타내었으며, 상용화제 함

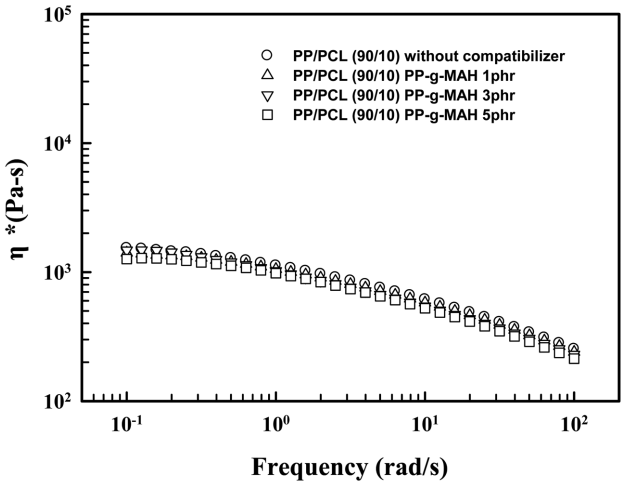

Fig. 7. Complex viscosity of the PP/PCL (90/10) blends with PP-g-MAH content; (○) 0phr, (△) 1phr, (▽) 3phr, (□) 5phr.

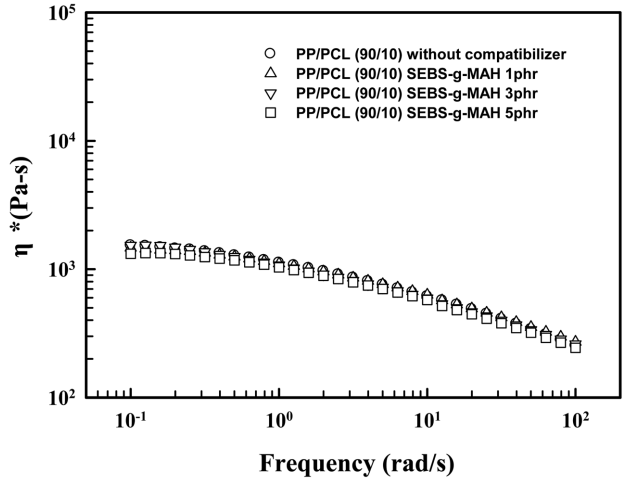

Fig. 8. Complex viscosity of the PP/PCL (90/10) blends with SEBS-g-MAH content; (○) 0phr, (△) 1phr, (▽) 3phr, (□) 5phr.

량의 변화에 상관없이 거의 비슷한 수치를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 앞선 기계적 강도, 모폴로지 결과에서와 같이 SEBS-g-MAH가 상용화제로의 역할보다도 충격강도 보강제로서 역할을 하기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 PP/PCL과 TPO/PCL 블렌드의 상용성을 높이는 것에 관한 것으로, PP-g-MAH와 SEBS-g-MAH를 상용화제로 각각 첨가하여 함량에 따른 기계적 강도, 모폴로지 그리고 유변물성을 측정하였다.

기계적 물성 측정결과PP/PCL 블렌드는 두 종류에 상용화제 첨가에 대하여 PP-g-MAH의 경우에는 인장강도와 충격강도 모두 소폭 증가하였다. SEBS-g-MAH의 경우에는 충격강도는 증가하였지만 인장강도는 감소하는 것을 알 수 있었다. TPO/PCL의 경우에는 PP-g-MAH의 경우에는 인장강도는 증가하는 반면에 충격강도는 감소하는 결과를 나타내었고, SEBS-g-MAH의 경우에는 인장강도는 감소하는 반면 충격강도는 증가하는 결과를 나타내었다.

모폴로지 측정 결과 PP/PCL 블렌드에 대하여 PP-g-MAH를 상용화제로 첨가한 경우에 PCL droplet 크기가 감소하는 것을 알 수 있었으며, SEBS-g-MAH의 경우에는 droplet의 크기 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. TPO/PCL 블렌드의 경우에는 PP-g-MAH 상용화제의 첨가가 droplet 크기의 변화에 큰 영향을 주지 못했으며, SEBS-g-MAH 상용화제의 경우 역시 droplet 크기 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 복합점도의 측정을 통한 유변물성을 살펴보면 PP/PCL블렌드에 PP-g-MAH를 첨가한 경우 복합점도는 큰 변화가 없는 것을 알 수 있었다.

결론적으로, 블렌드의 기계적 물성, 모폴로지 및 유변학적 물성 측정 결과 PP/PCL과 TPO/PCL 각각의 블렌드에서 PP-g-MAH 상용화제는 PCL droplet 크기를 감소시켜 인장강도를 향상시키는 역할을 하였으며, SEBS-g-MAH는 충격강도를 향상시키는 보강제로서의 역할을 하는 것을 알 수 있었다.

감 사

이 논문은 지식경제부의 에너지인력양성사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Scott, G. and Wiles, D. M., "Programmed-Life Plastics from Polyolefins: A New Look at Sustainability," *Biomacromolecules*, **2**, 615-622(2001).
2. Lee, M. J., Lee, M. C. and Shin, P. K., "The Properties and Biodegradability of PCL/PLA Blends," *Polymer(Korea)*, **22**, 93-98 (1998).
3. Chun, Y. S., Kyung, Y. J., Jung, H. C. and Kim, W. N., "Thermal and Rheological Properties of Poly(ε-caprolactone) and Polystyrene Blends," *Polymer*, **41**, 8729-8733(2000).
4. Reddy, N., Nama, D. and Yang, Y., "Polylactic Acid/polypropylene Polyblend Fibers for Better Resistance to Degradation," *Polym. Degrad. Stab*., **93**, 233-241(2008).
5. Li, Y. and Shimizu, H., "Improvement in Toughness of Poly(L-lactide)(PLLA) Through Reactive Blending with Acrylonitrile-butadiene-styrene Copolymer(ABS): Morphology and Properties," *Europ. Polym. J*., **45**, 738-746(2009).
6. Wei, G.-X. and Sue, H.-J., "Fracture Mechanisms in Preformed Polyphenylene Oxide Particle-Modified Bismaleimide Resins," *J. Appl. Polym. Sci*., **74**, 2539-2545(1999).
7. Liang, J. Z. and Li, R. K. Y., "Rubber Toughening in Polypropylene: A Review," *J. Appl. Polym. Sci*., **77**, 409-417(2000).
8. Kim, W. S., Kim, I. H., Ha, K. R., Seo, H. J. and Kang, S. C., "Mechanical Properties, Thermal Stability and Biodegradability of Poly(ε-caprolactone) (PCL)/Poly (vinyl chloride) (PVC) Blends," *J. Korean Ind. Eng. Chem*., **13**, 759-764(2002).
9. Cho, K., Lee, J. and Xing, P., "Enzymatic Degradation of Blends of Poly(ε-caprolactone) and Poly(styrene-co-acrylonitrile) by Pseudomonas Lipase," *J. Appl. Polym. Sci*., **83**, 868-879(2002).
10. Matzinos, P., Tserki, V., Gianikouris, C., Pavlidou, E. and Panayiotou, C., "Processing and characterization of LDPE/starch/PCL blends," *Europ. Polym. J*., **38**, 1713-1720(2002).
11. Rosa, D. S., Neto, I. C., Calil, M. R., Pedrodo, A. G., Fonseca, C. P. and Neves, S., "Evaluation of the Thermal and Mechanical

Properties of Poly(ε-caprolactone), Low-Density Polyethylene, and Their Blends," *J. Appl. Polym. Sci.*, **91**, 3909-3914(2004).
12. Yoo, T. W., Yoon, H. G., Choi, S. J., Kim, M. S., Kim, Y. H. and Kim, W. N., "Effects of Compatibilizers on the Mechannical Properties and Interfacial Tension of Polypropylene and Poly(lactic acid) Blends," *Macromol. Res*., **18**, 583-588(2010).
13. Singh, G., Bhunia, H., Rajor, A., Jana, R. N. and Choudhary, V., "Mechanical Properties and Morphology of Polylactide, Linear Low-Density Polyethylene, and Their Blends," *J. Appl. Polym. Sci*., **118**, 496-502(2010).
14. Kotiba, H., Mosab, K. and Fawaz, D., "Rheological and Mechanical Properties of Poly(lactic acid)/polystyrene Polymer Blend," *Polym. Bull.*, **65**, 509-519(2010).
15. Ho, C. H., Wang, C. H., Lin, C. I. and Lee, Y. D., "Synthesis and Characterization of TPO-PLA Copolymer and Its Behavior as Compatibilizer for PLA/TPO Blends," *Polymer*, **49**, 3902-3910 (2008).
16. Alain, B. and Sylvie, P., "Investigations on Mechanical Properties of Poly(propylene) and Poly(lactic acid) Reinforced by Miscanthus Fibers," *Composites.: Part A*, **39**, 1444-1454(2008).
17. Bledzki, A. K. and Jaszkiewicz, A., "Mechanical Performance of Biocompositess Based on PLA and PHBV Reinforced with Natural Fibres-A Comparative Study to PP," *Compos. Sci. Technol.*, **70**, 1687-1696(2010).