

상용화제의 종류가 선형 PPS/PET 블렌드의 물성에 미치는 영향

김성기 · 홍인권* · 이상목*[†]

SK케미칼 화학연구소, *단국대학교 화학공학과

(2013년 2월 15일 접수, 2013년 4월 15일 수정, 2013년 4월 17일 채택)

Effect of Compatibilizer Types on the Properties of Linear PPS/PET Blends

Sungki Kim, In-Kwon Hong*, and Sangmook Lee*[†]

SK Chemicals R&D Center, 686 Sampyong-Dong, Bundang-Gu, Songnam-Si, Gyeonggi-Do 463-400, Korea

*Department of Chemical Engineering, Dankook University, 152 Jukjeon-Ro, Suji-Gu, Yongin-Si, Gyeonggi-Do 448-701, Korea

(Received February 15, 2013; Revised April 15, 2013; Accepted April 17, 2012)

초록: 비혼화성인 선형의 폴리페닐렌설파이드(PPS)와 상용 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)의 블렌드 물성에 미치는 상용화제의 구조에 따른 영향을 조사하였다. 머독 혼련 스크류가 장착된 단축 압출기를 통하여 제조한 블렌드를 성형하여 그 특성들을 살펴보았다. 물성과 경제성을 고려하여 PPS/PET(40/60)을 기초 블렌드로 선정 후 여기에 도메인 크기 감소와 계면접착력 향상을 위하여 상용화제로 styrene-ethylene/butylene-styrene(SEBS), modified SEBS (m-SEBS), modified polystyrene(m-PS) 등을 사용하였다. 이들을 기초블렌드에 첨가하여 삼원블렌드를 제조한 후 열적, 유변학적, 기계적 특성을 측정하고 모폴로지를 관찰하였다. 기계적 물성은 각각 m-SEBS와 m-PS 첨가량 1 phr 부근에서 최대값을 보였는데 그 값이 이론적인 혼화성계의 값에 거의 근접하였으며 m-PS가 가장 뛰어난 성능을 보였다. m-SEBS와 m-PS는 선형 PPS와/또는 PET와의 부분적인 반응을 통해 상용성을 증대시켜서 더 큰 효과를 보인 것으로 판단된다. 이러한 삼원블렌드는 경제성있는 PPS 알로이로서 적용이 가능하리라 사료된다.

Abstract: The effect of compatibilizer types on the properties of polyphenylene sulfide (PPS)/polyethylene terephthalate (PET) blends was investigated. The blends were extruded by a single screw extruder attached with a Maddock mixing zone and their molded properties were examined. As a basic blend composition, a linear PPS/PET (40/60) blend was selected based on cost efficiency. Three types of compatibilizer, SEBS, modified SEBS, and modified PS were added to the basic blend to improve the properties. The thermal, rheological, mechanical properties and the morphology of the ternary blends were analyzed. The maximum mechanical properties of blends was found at 1 phr of m-SEBS or m-PS content, whose values were almost the same as the theoretical values of miscible blend system. It seemed to be the case that the partial reaction between compatibilizer and the basic blend caused the enhancement of compatibility between linear PPS and PET phases. These ternary blends would be applicable as economic linear PPS alloys.

Keywords: linear polyphenylene sulfide, polyethylene terephthalate, reactive, grafted, compatibilizer.

서론

고분자 블렌딩은 개선된 물성/비용 비를 갖는 재료를 개발하는데 강력한 도구를 제공한다. 대부분 블렌드된 고분자들은 비혼화성이므로 최대 상승효과를 얻기 위해 상용화가 필요한데 이를 위해 상 모폴로지 제어가 필수적이다. Ethylene propylene diene monomer rubber(EPDM)/polybutene(PB) 블렌드에 대해 블렌드 조성의 함수와 점도비에 따른 상 모폴로지를 정성적인 방법으로 예측할 수 있는 매우 유용한 plot이

제안되었다.¹ 두 점성 고분자의 경우 방울 변형은 주로 capillary number(Ca)에 의해 결정되는데 입자 크기의 최대한계를 나타내며^{2,3} 점탄성 계의 경우, Ca와 분산상과 연속상의 상대점도 사이의 경험관계식도 보고되었다.⁴ 상용화 블렌드 연구 초기에는 구성성분을 포함하는 “엔트로피 작용 공중합체”인 이블록 공중합체의 블렌드에 초점이 맞춰졌고,⁵ 최근에는 “엔탈피 작용 공중합체”인 이블록을 포함하여 많은 중요한 고분자들(PVC, PVDF, SAN 등)과 상당한 혼화성이 있는 syndiotactic poly(methyl methacrylate)(sPMMA)같은 공중합체가 만능 상용화제로서 연구되고 있다.⁶ 블렌딩 중 공중합체를 만드는 반응성 고분자를 이용하는 방법도 있는데 polyamide(PA)/poly(phenylene oxide)(PPO)/styrene-ethylene/buty-

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: s_mlee@naver.com

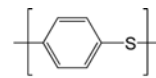
lene-styrene grafted maleic anhydride(SEBS-g-MA)에 상용화제로서 anhydride 말단의 PPO를,^{7,8} PPO/PA4,6에 충격개선편제로서 SEBS-g-MA를⁹ 사용한 사례와 펜던트 반응기를 가진 고분자를 첨가함으로써 그래프트 공중합체를 생성하는 사례가 있다.¹⁰ 이러한 기술들을 바탕으로 최근 선형 polyphenylene sulfide(PPS) 블렌드 및 이의 상용화에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.¹¹⁻²⁰ 이에 본 연구에서는 고성능인 선형 PPS와 경제적인 polyethylene terephthalate(PET)와의 블렌드 및 이의 상용화를 통하여 PPS의 품질저하를 최소화하는 동시에 가격을 최대한 낮추고 물성/비용 비를 극대화함으로써 용도 및 시장을 확장하고 경쟁력 있는 선형 PPS grade 개발에 필요한 기초 블렌드 수지의 조성과 제조방법을 조사하고자 한다.

실 험

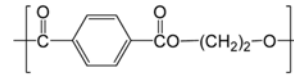
원료. 선형 polyphenylene sulfide(PPS)로는 중국 Daeyang 사 제품을 사용하였고 polyethylene terephthalate(PET)는 (주) SK케미칼의 호모폴리머를 사용하였다. 상용화제로는 Shell사의 styrene-ethylene/butylene-styrene(SEBS)계, Nippon Shokubai사의 oxazoline grafted polystyrene(m-PS)를 사용하였다. 원료의 특징과 분자구조를 Table 1 및 Scheme 1에 정리하였다.

PPS/PET/상용화제 삼원블렌드의 제조. PPS/ PET 블렌드 물성에 미치는 상용화제의 영향을 조사하기 위하여 PPS/PET/상용화제 삼원블렌드를 제조하였다. PPS, PET, 상용화제 펠렛을 single screw extruder(Haake Rheocord 9000)에 투입하여 블렌드 펠렛을 제조하였다. 스크류는 Maddock mixing zone이 있는 것으로 $D=19$ mm, $L/D=25$, 압축비 3:1인 것을 사용하였다. 블렌드 조성은 주로 경제성을 고려하여 PPS/PET(40/60, PET60)를 기초수지로 선정하고 상용화제로 SEBS, m-SEBS, m-PS를 0, 1, 2, 5 phr 첨가하여 삼원블렌드를 제조하였다. 가공온도는 feeding 290 °C/melting 300 °C/metering 300 °C로 하였고 회전속도는 100 rpm으로 하였다.

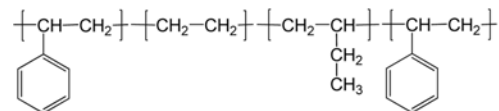
시험편의 제조. 블렌드의 인장 시험편, 충격 시험편 및 DMA 용 시험편은 압축성형기(carver laboratory press)를 이용하여 블렌드 수지 펠렛을 295 °C에서 3분간 유지하여 완전히 용융시켜 제조하였고 이를 convection oven에서 150 °C, 1시간 동



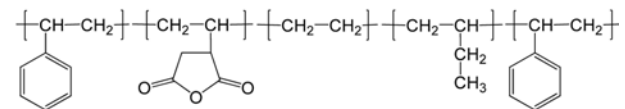
PPS (Daeyang)



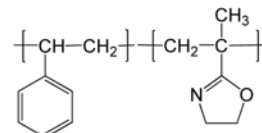
PET (SKYPET BB)



SEBS (Kraton G1652)



Modified SEBS (Kraton FG 1901X)



Modified PS (Epocros RPS 1005)

Scheme 1. Structures of materials.

안 annealing시킨 후 사용하였다.

열적 특성. Differential scanning calorimeter(DSC, TA Instrument Model 2910)를 이용하여 T_g 변화에 따른 PET60/상용화제 블렌드 수지의 상용성 변화 및 결정화 거동 등을 조사하였다. 건조된 시료를 10 °C/min의 속도로 300 °C까지 승온한 후 10 °C/min의 속도로 냉각하거나 액체질소를 이용하여 급랭하는 두 가지 냉각 방법을 사용하였다. 그런 후 다시 10 °C/min의 속도로 300 °C까지 승온하였다. 또한 dynamic mechanical analyzer(DMA, TA Instrument)를 승온속도 5 °C/min, 진동수 1 Hz의 조건으로 측정하였다.

Table 1. Characteristics of Materials

Materials	Maker & Grade	Type	Remarks
PPS	Daeyang	Linear type	-
PET	SK chemicals SKYPET BB	Homopolymer	-
SEBS	Shell Kraton G1652	-	Powder
m-SEBS	Shell Kraton FG1901X	Maleic anhydride modification (1.7%)	Can react with amine (-NH ₂)
m-PS	Nippon shokubai Epocros RPS 1005	Oxazoline modification (1 wt%)	Can react with carboxyl (-COOH), aromatic thiol (-SH), or phenol (-OH)

유변학적 거동. PET60/상용화제 유변학적 거동을 25 mm 직경의 평행 plate가 장착된 advanced rheometric expansion system(ARES, TA Instrument)을 이용하여 complex viscosity를 측정하였다. Frequency는 100 rad/sec, strain은 10%, plate gap은 1.2 mm 였으며 2 °C/min의 속도로 승온하면서 실험하였다.

기계적 특성. 인장 특성은 universal testing machine(Lloyd Instrument, LR5K plus)을 사용하여 측정하였다. Gauge length는 25.4 mm였고 crosshead speed는 50 mm/min였다. 충격강도는 Izod impact tester(Ceast Model 6545)를 이용하였는데 ASTM D256에 따라 2.54 mm(0.1 inch) notch를 만들어서 실험하였다.

모폴로지. Scanning electron microscopy(SEM, Hitachi Model S-2200C)를 사용하여 블렌드의 모폴로지를 관찰하였다. 이를 위한 시험편은 충격강도 실험 후 파단된 시험편을 이용하였고 모든 시험편은 단면을 gold coating하여 사용하였다.

결과 및 토론

열적 특성. DSC를 이용하여 PET60/상용화제 블렌드를 slow cooling하였고 결정화 거동을 Figure 1에 나타내었다. 결정화는 전반적으로 상용화제 첨가에 따라 지연되었는데 상용화제가 PPS나 PET와의 interaction에 의해 결정화를 조금 방해하는 것으로 판단된다.^{11,12}

결정화 온도의 변화 및 결정화 에너지는 Figure 2와 Figure 3에 각각 나타내었는데 PPS phase에 해당하는 결정화 온도는 상용화제가 첨가됨에 따라 238에서 231 °C 부근으로 조금 감소(최대 6.5 °C)하는 반면에 PET phase의 경우는 205에서 189 °C 부근으로 큰 감소(최대 16.3 °C)를 보였다. 결정화 에너지 또한 PET 상 쪽이 커다란 감소를 보였는데 m-SEBS의

경우가 가장 현저하였다. 이는 상용화제의 작용이 PET에 더 크게 미쳐서 PET의 결정화를 지연시키거나 결정화 자체를 방해하기 때문으로 사료된다. 일반적으로 블렌드에 상용화제를 첨가하면 상용화제가 블렌드의 주성분간의 계면 장력을 낮춰서 도메인 크기를 감소시키고 계면 접착력을 향상시키는 작용을 한다.¹³ 또한 이 과정에서 도메인의 분산과 분포도 좋아져서 물성의 편차가 줄어들고 장기적으로 사용하거나 후가공 시에도 coalescence¹⁴ 등으로 인한 상분리를 방지할 수 있고 기계적 물성도 증가하게 된다. 그러나 본 연구에서 기계적 물성을 좌우하는 것 중 하나가 PPS의 결정화도인데 상용화제의 첨가로 인해 결정화도가 낮아지는 부정적인 효과도 동시에 발생하는 것으로 보인다. 따라서 최종 물성은 이 같은 긍정적인 면과 부정적인 면의 경쟁관계에서 결정될 것으로 보이며 용도 및 목적에 따라 적절한 상용화제와 함량을 선정해야 할 것으로 판단된다.

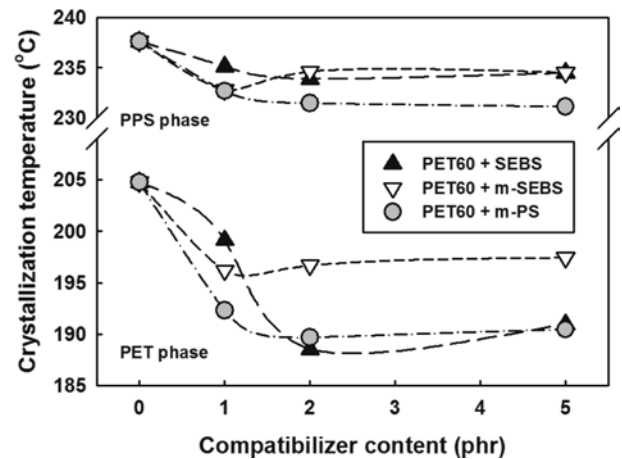


Figure 2. Crystallization temperatures of PET60/compatibilizer ternary blends.

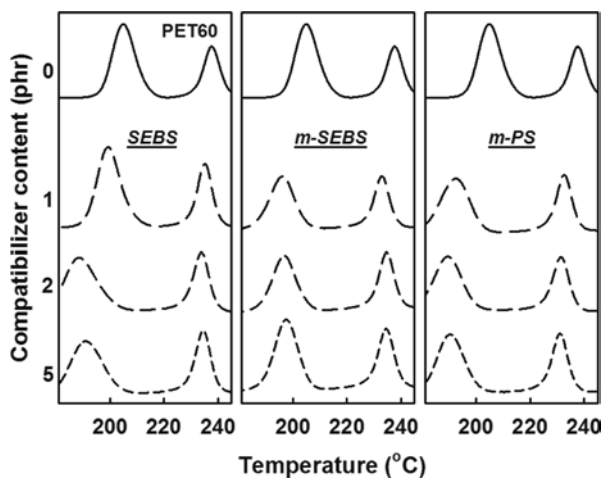


Figure 1. Crystallization behavior of PET60/compatibilizer ternary blends.

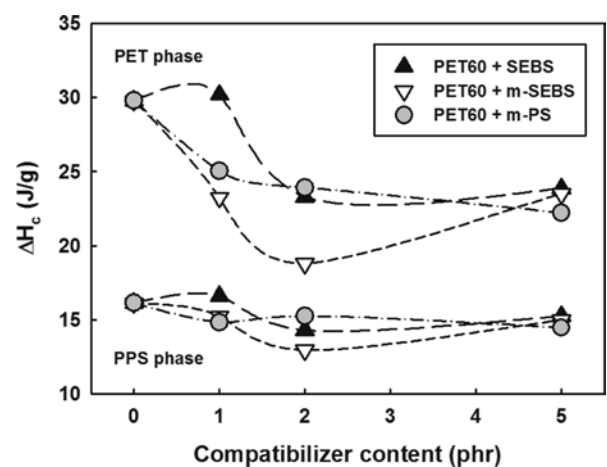


Figure 3. Heat of crystallization of PET60/compatibilizer ternary blends.

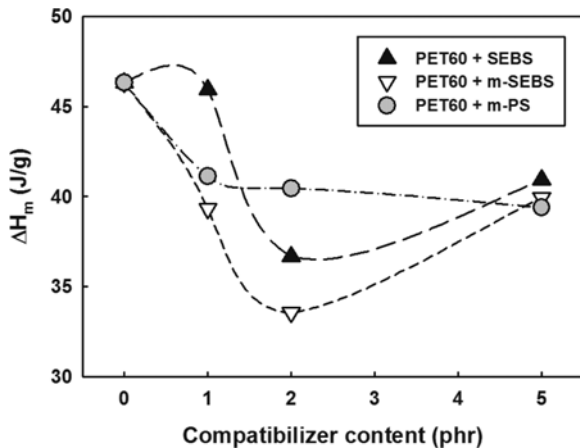


Figure 4. Heat of melting of PET60/compatibilizer ternary blends after slow cooling.

Slow cooling하여 결정화된 블렌드를 다시 300 °C까지 10 °C/min로 승온시켰을 때 전체 용융열은 Figure 4에 나타난 바와 같이 대체로 작아졌는데 m-PS의 경우만을 제외하고는 2 phr에서 최소값을 보이는 것을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 앞에서 설명한 바와 같이 상용화제의 작용으로 인한 결정부분의 감소에 기인한다고 생각된다. 1st scan한 샘플을 quench-cooling한 후 다시 rescan한 결과들을 Table 2에 정리하였다. 유리전이온도는 명확히 두 개를 보였는데 상용화제 첨가에 따라 SEBS 1 phr, m-SEBS 1 phr 및 m-PS 5 phr의 경우를 제외하고는 PET phase의 T_g 가 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 PPS phase의 T_g 는 거의 변화가 없었다.

T_g 는 결정하는 방법에 따라 1~2 °C 정도 차이를 보일 수 있는 바 두 개의 T_g 차이를 Figure 5에 도시하였다. 두 개의 T_g 의 차이가 작을수록 상용성이 큰 것을 의미하는데 SEBS와 m-SEBS의 경우 3 phr 근처에서 최소값을 보였고 m-PS의 경우는 1.5 phr 근처에서 최소값을 나타내었다. 이 결과만으

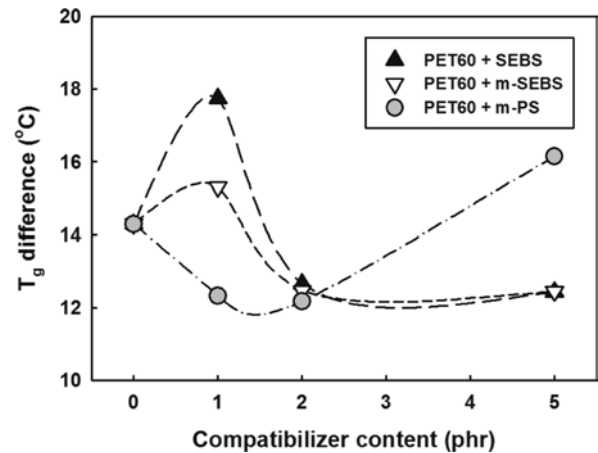


Figure 5. Difference of T_g s of PET60/compatibilizer ternary blends.

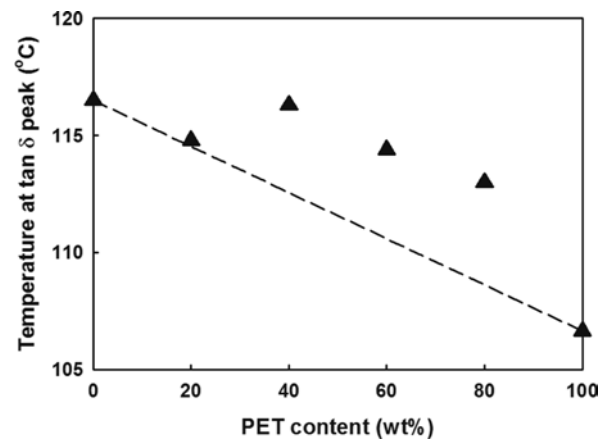


Figure 6. Temperature at $\tan\delta$ peak of PPS/PET binary blends.

보았을 때는 SEBS와 m-SEBS의 첨가량은 3 phr이 좋고, m-PS의 첨가량은 1.5 phr이 적당한 것으로 사료된다.

DMA를 이용하여 PPS/PET 이원블렌드에 대해 조성변화에

Table 2. Second Scan of PET60/Compatibilizer Ternary Blends after Quench-Cooling

Compatibilizer content (phr)		Glass transition		Recrystallization		Melting		
		$T_{g,PET}$ (°C)	$T_{g,PPS}$ (°C)	T_{rc} (°C)	ΔH_{rc} (J/g)	$T_{m,PET}$ (°C)	$T_{m,PPS}$ (°C)	ΔH_m (J/g)
None	-	77	91	126	28	256	280	44
	1	74	92	117	25	257	280	49
	2	79	92	125	28	255	280	45
	5	79	91	125	27	255	278	42
m-SEBS	1	76	91	121	24	257	280	46
	2	80	92	126	28	255	280	43
	5	79	92	126	26	254	280	40
m-PS	1	79	92	127	28	254	279	43
	2	79	92	125	26	254	278	43
	5	75	91	119	25	256	279	47

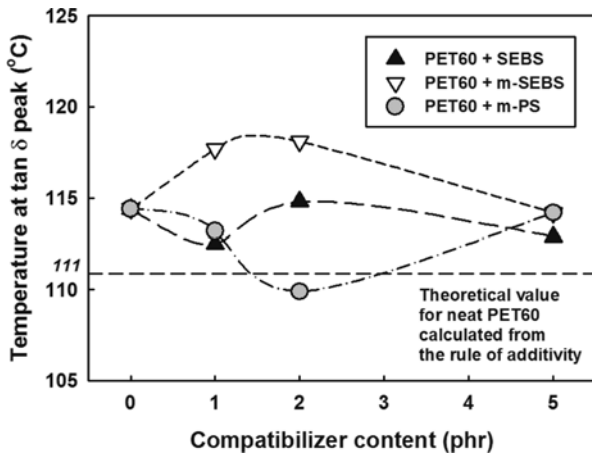


Figure 7. Temperature at $\tan\delta$ peak of PET60/compatibilizer ternary blends.

따른 $\tan\delta$ curve의 피크에서의 온도를 Figure 6에 도시하였다. 피크가 PET 상과 PPS 상 두 개가 나와야 하는데 중첩이 되어 하나로 나타났다. 그러나 대체적인 경향은 살펴 볼 수 있었는데 PET 함량이 증가함에 따라 온도가 약간 감소하였다. 점선은 서로 완전 상용성의 블렌드의 이론값에 해당하는데 Wood의 가감법칙(rule of additivity, 식 (1))을¹⁵ 이용하였다.

$$T_{g,blend} = w_1 T_{g,1} + w_2 T_{g,2} \quad (1)$$

여기서, $T_{g,1}$, $T_{g,2}$, $T_{g,blend}$ 는 각각 성분1, 성분2, 블렌드의 유리전이온도이고 w_1 , w_2 는 각각 성분1과 성분2의 질량분율이다. 여기에 T_g 대신 $\tan\delta$ 피크온도를 적용하고 순수 PPS와 순수 PET의 값인 117과 107°C를 대입하면 PET60은 111°C에 해당한다. 즉, PPS/PET(40/60)이 완전 상용성을 보일 때의 이론적 $\tan\delta$ 피크 온도가 된다.

Figure 7에 상용화제 첨가량에 따른 PET60의 $\tan\delta$ 피크온도의 변화를 도시하였다. SEBS의 경우 1 phr에서 최소값을 보인 반면에 m-SEBS는 전반적으로 이론값과 더 멀어지는 경향을 보였다. m-PS의 경우 2 phr에서 최소값을 나타냈는데 PPS/PET 이원블렌드의 PET60에서 구한 이론값 111°C와 거의 같은 값을 보였다. DMA 결과로는 SEBS는 1 phr m-PS는 2 phr이 최적 배합비로 판단되었다.

유변학적 거동. Figure 8에 PET60/상용화제 블렌드의 유변학적 특성을 도시하였다. SEBS와 m-PS는 1 phr에서 그리고 m-SEBS는 1~2 phr사이에서 최대 점도값을 보였다. 통상 블렌드에 있어서 상용성이 향상되면 점도가 올라가는 바 이러한 함량에서 상용성과 물성이 개선되리라 예상되었다.

기계적 물성. 상용화제 종류와 첨가량에 따른 PET60의 인장강도 및 파단신율을 Figure 9에 나타내었다. 점선 중 Theory는 식 (1)에 유리전이온도 대신 인장강도와 신율을 적용하여 얻은 PET60의 이론값이며 다른 점선 PET60은 상용화제를

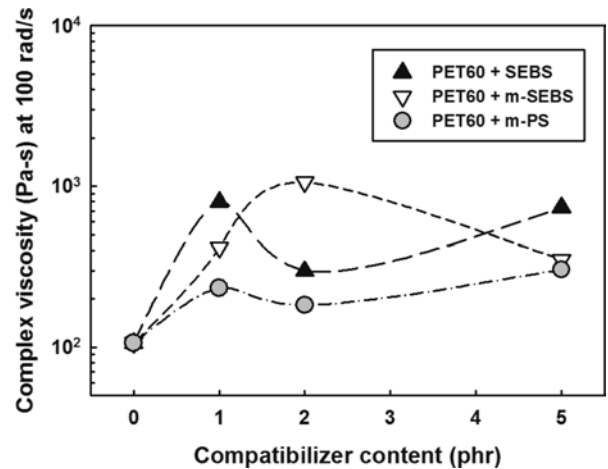


Figure 8. Complex viscosity of PET60/compatibilizer ternary blends.

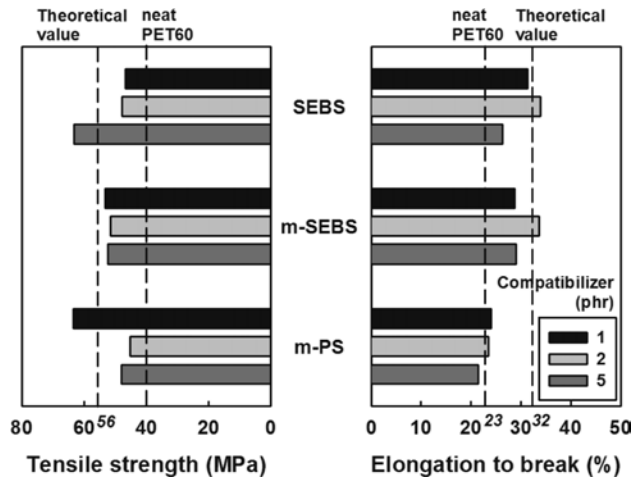


Figure 9. Tensile strength and elongation to break of PET60/compatibilizer ternary blends.

첨가하지 않은 PET60이다. SEBS의 경우 첨가량에 따라 거의 선형에 가깝게 인장강도가 증가하였고 m-SEBS는 1 phr 첨가하였을 때 54 MPa 정도로 약 35% 정도의 향상을 보였다. 최고값을 보인 것은 m-PS로 1 phr 첨가하였을 때 64 MPa 정도로 약 60% 증가하였다. 이는 PET60의 이론값인 56 MPa를 상회하는 값으로 사료된다. 그런데 이 때의 첨가량을 최적 값으로 보는 데는 다소 무리가 있는 듯 하다. 사실 0 phr (PET60)에서 첨가량에 따라 증가했다가 감소한 것으로 보아 실제 최고값은 1 phr 이상으로 보인다. 파단신율은 m-PS를 첨가하였을 때 거의 변화가 없는 반면에 SEBS와 m-SEBS 2 phr 첨가하였을 때 이론값인 32%를 초과하는 약 35%의 값을 보였다. 이는 SEBS와 m-SEBS 자체가 elastomer로서 신율에 기여하는 것이라 사료된다. 그러나 m-PS 자체는 brittle한 폴리머로서 신율향상에는 그다지 기여하지 못한 것으로 판단된다.

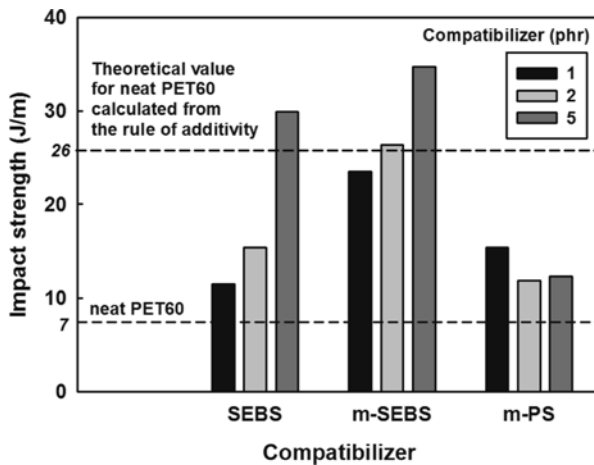


Figure 10. Impact strength of PET60/compatibilizer ternary blends.

상용화제 첨가가 충격강도에 미치는 영향을 Figure 10에 나타내었다. 위의 점선은 식 (1)에 유리전이온도 대신 충격강도를 적용하여 얻은 PET60의 이론값이며 아래 점선은 상용화제를 첨가하지 않은 PET60의 측정값이다. SEBS를 첨가할수록 충격강도가 향상되는 것을 볼 수 있었고 약 4 phr 정도 첨가해야 이론값인 25.8 J/m를 넘는 것을 알 수 있었다. m-SEBS는 초반에 급격히 상승하여 1.5 phr 정도 첨가하였을 때 이론값을 넘어섰다. 두 경우 다 전형적인 고무강인화(rubber toughening)¹⁶⁻¹⁹ 경향을 보이는 바 elastomer 첨가의 영향에 의한 것으로 판단된다. m-PS의 경우는 1 phr에서 최적값을 보였지만 충격강도 100% 정도 향상으로 그쳤고 첨가량이 늘어날수록 다시 낮아지는 경향을 보였다.

모폴로지. 기계적 물성 결과에 대한 이해를 위해 Figure 11과 같이 배율 3000배의 SEM 사진을 통해 블렌드 파단면 모폴로지를 관찰하였다. PET60 사진을 보면 도메인 크기가 1~8 μm 로 분산이 일정치 않으며 그 분포도 균일하지 않음을 볼 수 있다. 그러나 SEBS가 첨가됨에 따라 이러한 것들이 점점 개선되어 가는 것을 관찰할 수 있으며 5 phr 첨가 시에는 1 μm 미만의 도메인이 많이 눈에 띄고 가장 큰 것도 약 2 μm 로 보였다. 이러한 현상은 도메인이 작을수록 기계적 물성이 향상되고 계면접착력이 좋아지는 것이 일반적인 경향으로 인장강도 등의 기계적 물성을 잘 설명해 주고 있으며 본 실험 결과와도 잘 일치하였다. 그러나 m-SEBS 첨가의 경우는 사진 상으로는 2 phr일 때가 가장 작은 도메인을 보이고 있으며 계면에서의 분리도 눈에 띄지 않은 반면에 5 phr일 때는 PPS 도메인의 모양이 변형된 것과 도메인의 계면에서의 분리도 관찰할 수 있었는데 실험 결과만 일치하였다. 이러한 경향성은 m-PS를 5 phr 첨가했을 때도 비슷하게 나타났으나 m-SEBS의 경우와는 달리 심각한 도메인에서의 분리는 볼 수 없었고 1 phr에서 제일 작은 도메인 크기와 양호한 분포가 관찰되었다. 이상으로 모폴로지 상으로만 평가를 하면 SEBS를

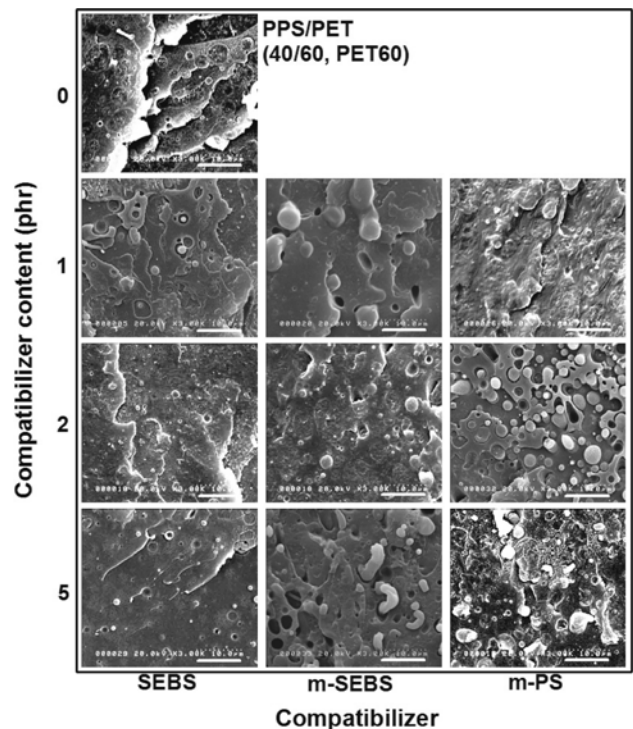


Figure 11. SEM photographs of impact fractured surface of PET60/compatibilizer ternary blends ($\times 3000$, bar: 10 μm).

첨가할 경우는 5 phr 이상이, m-SEBS의 경우는 2 phr, 그리고 m-PS의 경우는 1 phr이 가장 좋은 기계적 물성을 나타내리라 사료된다. 그러나 물성은 도메인 크기만으로 결정되는 것은 아닌 바 여러가지 분석과 실험을 통하여 용도에 맞는 최적 배합비를 결정해야만 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 SEBS는 2~5, m-SEBS는 2~3, m-PS는 1~3 phr 정도 범위 내에서 최적의 성능을 발휘할 수 있으리라 생각되며 가공기에 따른 혼합효율에 따라 다소 최적값의 변화가 있을 수 있다고 사료된다.²⁰

결론

비혼화성인 선형 PPS/PET 이원블렌드 중 물성과 경제성을 고려하여 PPS/PET(40/60, PET60)을 기초 블렌드로 선택한 후 여기에 도메인 크기 감소와 계면접착력 향상을 위하여 세 종류의 상용화제를 도입하였다. PET60/상용화제 삼원블렌드는 SEBS를 첨가하였을 때 첨가량이 증가함에 따라 인장강도가 증가하였는데 최고값은 실험범위(0~5 phr)를 벗어나 존재하는 것으로 보였다. 상용화제로 maleic anhydride가 그래프트된 m-SEBS를 사용하였을 때는 1 phr 첨가했을 때 인장강도가 최고였으며 그 값은 53.1 MPa이었는데 이는 PPS/PET 40/60가 혼화성일 때의 계산 값인 64 MPa의 83%에 해당한다. Oxazoline이 그래프트된 m-PS를 사용하였을 때는 역시

1 phr에서 최고를 보였고 값은 63.5 MPa로 이론값의 99%에 해당하여 물성 측면에서는 거의 한계치에 도달했다고 사료된다. 반응성기가 없는 SEBS의 경우는 물리적 작용만으로 상용화를 시키는 반면, m-SEBS와 m-PS는 PPS와/또는 PET와의 부분적인 반응을 통해 상용화를 시켜서 더 큰 효과를 보인 것으로 판단된다. 이상의 결과로 용도에 따라 적당한 상용화제 및 그 함량, 그리고 가공조건에서 PPS/PET/상용화제 삼원블렌드를 제조하면 경제성과 물성을 모두 만족하는 선형 PPS alloy grade로서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. G. N. Avgeropoulos, F. C. Weissert, P. H. Biddison, and G. A. Boehm, *Rubber Chem. Technol.*, **49**, 93 (1976).
2. G. I. Taylor, *Proc. Roy. Soc.*, **A138**, 41 (1932).
3. G. I. Taylor, *Proc. Roy. Soc.*, **A146**, 501 (1934).
4. S. Wu, *Polym. Eng. Sci.*, **27**, 335 (1987).
5. R. Fayt, R. Jerome, and Ph. Teyssie, *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.*, **27**, 775 (1989).
6. T. Ouhadi, R. Fayt, R. Jerome, and Ph. Teyssie, *Polym. Commun.*, **27**, 212 (1986).
7. D. F. Aycok and S. P. Ting, U.S. Patent 4,600,741 (1986).
8. D. F. Aycok and S. P. Ting, U.S. Patent 4,642,358 (1987).
9. C. E. Koning and L. V. D. Vondervoort, in *Proceedings of the SPE 50th Annual Technical Conference and Exhibits*, 1435 (1992).
10. Monsanto Company, European Patent 202,214 (1986).
11. M. L. Di Lorenzo, M. Avella, R. Avolio, I. Bonadies, C. Carfagna, M. Cocca, M. E. Errico, and G. Gentile, *J. Appl. Polym. Sci.*, **125**, 3880 (2012).
12. S. Bose, A. R. Bhattacharyya, P. V. Kodgire, A. Misra, and P. Potschke, *J. Appl. Polym. Sci.*, **106**, 3394 (2007).
13. L. A. Utracki, *Polymer Alloys and Blends: Thermodynamics and Rheology*, Hanser, Munich, 1989.
14. I. Fortelny and A. Zivny, *Polymer*, **36**, 4113 (1995).
15. L. A. Wood, *J. Polym. Sci.*, **28**, 319 (1958).
16. W. Tang, X. Hu, J. Tang, and R. Jin, *J. Appl. Polym. Sci.*, **106**, 2648 (2007).
17. A. A. Collyer, *Rubber Toughened Engineering Plastics*, Springer, London, 1994.
18. K. Cho, J. Yang, S. Yoon, M. Hwang, and S. V. Nair, *J. Appl. Polym. Sci.*, **95**, 748 (2005).
19. R. Hiroi and H. Tanaka, *Des. Monomers Polym.*, **14**, 251 (2011).
20. SK Chemicals, European Patent 2,383,311 A2 (2011).