

블렌드 조성과 상용화제가 PP/SAN 과 PP/ABS 블렌드의 기계적 물성에 미치는 영향

박정훈 · 성운모 · 현재천[†] · 김우변 · 홍병권* · 홍준희* · 임양수*
고려대학교 화학공학과, 유변 공정 연구센터, *현대·기아 자동차 연구 개발 본부
(2001년 9월 14일 접수, 2001년 12월 6일 채택)

The Effects of Blend Composition and Compatibilizer on the Mechanical Properties of the PP/SAN and the PP/ABS Blends

J. H. Park, W. M. Sung, J. C. Hyun[†], W. N. Kim,
B. K. Hong*, J. H. Hong*, and Y. S. Lim*

Department of Chemical Engineering, Korea University, Seoul, Korea
Applied Rheology Center, Seoul, Korea

*R & D Division for Hyundai Motor Company & Kia Motors Corporation,
Namyang-Myun, Whasung-Gun, Kyunggi-Do, Korea

[†]e-mail: jchyun@grtrkr.korea.ac.kr

(Received September 14, 2001; accepted December 6, 2001)

요약 : Polypropylene(PP : 연속상)/poly(styrene- α -acrylonitrile)(SAN : 분산상), 그리고 PP/poly(acrylonitrile-butadiene-styrene)(ABS : 분산상) 블렌드를 혼합 조성, shear rate, 그리고 상용화제(PP-SAN copolymer)의 첨가량을 변화시켜가면서 이축압출기를 통해 제조하였다. 압출공정시 PP/SAN 블렌드에서 SAN을 0에서 40 wt%로 첨가함에 따라 분산상의 크기가 증가하였으며, 굴곡강도와 인장강도는 하락하는 경향을 나타내었다. 스크류의 속도가 10에서 60 rpm으로 증가됨에 따라 분산상의 크기가 감소하였고, 굴곡강도와 인장강도는 상승하였다. 상용화제가 5 phr 첨가된 PP/SAN 블렌드에서 최대의 기계적 물성값과 최소의 분산상 크기를 나타내었다. 상용화제가 첨가됨에 따라, PP/ABS 블렌드의 굴곡강도와 인장강도가 증가되었고, 상용화제가 5 phr 첨가되었을 때 굴곡강도 및 인장강도가 최고값을 나타내었다.

ABSTRACT : Polypropylene(PP : continuous phase)/poly(styrene- α -acrylonitrile)(SAN : dispersed phase) blends, and PP/poly(acrylonitrile-butadiene-styrene)(ABS : dispersed phase) blends, containing various amounts of compatibilizer(PP-SAN graft copolymer), were prepared at various shear rates by using twin-screw extruder. In the PP/SAN blend, the average size of the dispersed particles(SAN) was increased with SAN content, while the flexural strength and tensile strength were decreased with SAN content. When the screw rpm was increased from 10 to 60 rpm, the size of the dispersed phase was decreased while the flexural strength and the tensile strength were increased. Maximum mechanical strength and minimum droplet size were observed when the 5 phr compatibilizer was added to the PP/SAN blends. The mechanical strength of PP/ABS blends such as flexural strength and tensile strength increased by adding compatibilizer was reached maximum when blends contained 5 phr compatibilizer.

Keywords : PP/SAN blend, PP/ABS blend, morphology, mechanical property.

서 론

고분자 블렌드란 두 개 이상의 서로 다른 고분자를 혼합함으로써, 기존의 고분자 재료로는 낼 수 없었던 고강도, 내화학성, 내열성, 그리고 치수 안정성 등의 물성 향상을 도모하는 공정이라 할 수 있다. 특히, 새로운 물질을 합성하는데 필요한 경비와 시간을 절감하면서 다양한 물성을 지닌 재료를 만들 수 있다는 장점으로 인해 현재 많은 연구가 이루어지고 있다.¹⁻³ 이와 같은 새로운 재료의 창출로서의 고분자 블렌드 외에, 최근에는 자동차에 사용되는 고분자의 재활용과 같은 환경적 측면을 고려한 고분자 블렌드에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

그러나 대부분의 고분자 블렌드에서 나타나는 수치들간의 비상용성은 블렌드의 기계적 물성값을 하락시키는 결과를 나타내었고, 결국 고분자 블렌드의 응용 범위를 한정시키는 결과를 초래하였다. 이러한 고분자 블렌드의 단점을 극복하고 최종적으로 블렌드에 요구되어지는 높은 수준의 물성을 만족시키기 위한 방법으로, 고분자 블렌드에 상용화제와 같은 첨가제를 사용하여 블렌드의 상용성을 향상시키는 연구가 수행되어지고 있다.⁴⁻⁸

고분자 블렌드에 사용되는 상용화제는 블렌드시 상용화제가 고분자 상들과 일으키는 작용메카니즘에 따라 크게 물리적 상용화제와 화학적 상용화제로 나뉘어 진다. 물리적 상용화제는 각각의 고분자 상에 상용성을 나타내는 공중합체의 형태를 띠고 있는 것으로, 블렌드시 고분자간의 계면 장력을 낮추어 줌으로써 블렌드의 기계적 물성을 향상시키는 결과를 나타내게 된다. 화학적 상용화제는 물리적 상용화제와 동일하게 공중합체의 형태를 띠고 있으나, 무수산 (maleic anhydride : MAH)이나 에폭시와 같은 작용기를 지니고 있어 아민기(-NH₂)나 카르복실산(-COOH)기를 가지고 있는 고분자와 용융 블렌드시 화학적 반응을 통해 블렌드의 계면 결합을 향상시키게 된다.⁹

위와 같은 상용화제를 이용한 고분자 블렌드의 상용성 향상은 연속상과 분산상의 분산정도에 매우 밀접하게 연결되어 있으며, 따라서 고분자 블렌드의 최종 물성은 각 분산상의 형태학을 조절함으로써 최적화 될 수 있다고 할 수 있다. 일반적으로 블렌드의 분산상 크기와 분산정도는 구성 고분자들간의 유변학

적 성질과 열역학적 성질에 많은 영향을 받으며, 외적 요인으로 블렌드시 고분자의 조성과 공정변수에 의존하게 된다.⁵

이러한 고분자 블렌드의 형태학에 관한 기존의 연구들을 살펴보면, Wu는 각 고분자상의 표면장력을 이용하여 블렌드시 분산상의 크기를 예측하는 식을 발표하였고,¹⁰⁻¹² Favis는 폴리올레핀과 폴리아미드의 이성분계 블렌드에서 분산상에 대한 연속상의 점도비와 조성이 형태학에 미치는 영향에 대해 연구하였다.^{13,14} 그들은 분산상에 대한 연속상의 점도비가 일정한 범위를 벗어나게 되면 분산상의 변형과 파괴가 어렵게 되어 분산상의 크기가 증가되지만, ionomer를 투입할 경우 계면장력이 하락하여 분산상의 크기가 급격히 감소한다고 발표하였다. Macosko 등은 상용화제의 종류와 블렌드의 조성이 형태학과 분산상의 합체(coalescence)에 미치는 영향과 가공 초기에 형태학이 형성되는 과정에 대해 연구하였는데,¹⁵ 상용화제가 블렌드시 계면 장력을 감소시키기보다는 합체의 방지에 더욱 큰 역할을 한다고 보고하였다.¹⁶

비상용성을 나타내는 고분자의 블렌드에 관한 연구로, Hale 등은 폴리부틸렌 테레프탈레이트(PBT)와 아클릴로 니트릴-부타디엔-스티렌 공중합체(ABS) 블렌드에 상용화제로 글리세릴메타아크릴레이트(GMA)를 사용하여, 상용화제의 첨가로 인한 블렌드의 충격강도 상승 결과에 대해 보고하였다.¹⁷ Pietrasanta 등은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)과 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)의 블렌드에 반응 상용화제로 GMA를 사용하여, HDPE/PET 블렌드의 기계적 강도에 대한 최적의 상용화제 첨가량을 찾기 위한 실험에 대해 연구하였다.¹⁸

본 연구에서는 자동차에 사용되는 고분자 중 가장 많은 양을 차지하는 폴리프로필렌(PP)과 ABS의 재활용을 위한 PP/ABS 블렌드의 물성변화를 알아보기 위해, ABS에서 부타디엔이 포함되지 않은 스티렌-아크릴로 니트릴 공중합체(SAN)를 이용한 PP/SAN 블렌드를 제조하였다. PP/SAN 블렌드의 혼합 조성비와 블렌드시 공정조건의 변화에 따른 분산상의 크기 변화와 이에 따른 블렌드의 기계적 물성값 변화에 대해서 알아보았고, 물리적 상용화제를 첨가하였을 경우 분산상 크기의 변화와 이에 따른 기계적 물성값의 변화에 대해서도 알아보았다. PP/SAN 블렌드에서 찾아낸

공정조건을 바탕으로 하여, PP/ABS 블렌드의 혼합조성에 따른 기계적 물성값의 변화와 상용화제 첨가에 따른 블렌드의 기계적 물성값 변화에 대해서 알아보았다.

실 험

재료 및 블렌드 제조. 본 연구에 사용된 고분자인 PP, SAN, ABS에 대한 자세한 설명은 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용된 상용화제는 일본유지(NOF)에서 제조한 Modiper 제품으로 PP가 70 wt%, SAN이 30 wt% 함유되어 있는 PP/SAN 그래프트 공중합체를 사용하였다.

블렌드는 스크류의 L/D 가 30인 Brabender사의 동방향 이축혼련압출기를 사용하였으며, 공정온도는 주입부의 온도를 150 °C, 배럴의 온도는 190 °C, 그리고 다이의 온도는 200 °C로 설정하여 실험하였다. 블렌드의 종류와 공정조건에 대한 자세한 설명은 Table 2에 나타내었다. 압출기를 통해 제조된 블렌드 시료는 펠렛으로 가공된 후, 90 °C의 진공오븐에서 3시간 건조 후 hot press를 통해 190 °C에서 기계적 물성 실험을 위한 인장 시편과 굽곡 시편으로 제조되었다.

형태학적 구조 관찰. 블렌드 시편의 형태학적 구조를 관찰하기 위해 JEOL사의 JSM-5200 주사전자현미경(scanning electron microscope : SEM)을 사용하였다. 실험용 시편으로는 hot press에서 제조한 굽곡 시편을 액체 질소에 넣고 급냉시킨 후, 시편을 파단내어 그 단면을 25 kV의 가속전압으로 1000의 배율로 관찰하였다. 분산상의 크기는 image analyzer를

Table 1. Characteristics of the Polymers Used in This Study

polymer	supplies	\overline{M}_n	\overline{M}_w	T_g (°C)	melt density (g/cm ³)	η_0 (Pas, 190 °C)
PP	Samsung Chem. (HI-520)	4.1×10^4	2.3×10^5	-10	10	2.8×10^3
SAN	LG Chem. (81HF)	5.6×10^4	1.0×10^5	105	6.2	9.5×10^3
ABS	LG Chem. (RS-800)	3.4×10^4	1.0×10^5	105	5.5	3.5×10^4

η_0 : zero shear viscosity.

Table 2. Blending Conditions of the PP/SAN and PP/ABS Blends

blend ratio (PP/SAN)	screw speed [rpm]	compatibilizer contents[phr]	blend ratio (PP/ABS)	screw speed[rpm]	compatibilizer contents[phr]
90/10	30	-	100/0	30	-
80/20	30	-	90/10	30	-
70/30	30	-	80/20	30	-
60/40	30	-	65/35	30	-
			50/50	30	-
90/10	10	-	35/65	30	-
90/10	20	-	20/80	30	-
90/10	30	-	0/100	30	-
90/10	40	-			
90/10	50	-	90/10	30	5
90/10	60	-	90/10	30	10
			90/10	30	15
90/10	30	5.0			
80/20	30	5.0			
60/40	30	5.0			
70/30	30	2.5			
70/30	30	5.0			
70/30	30	7.5			
70/30	30	10			

사용하여 측정하였으며, 각 시편 당 200개 이상의 분산상을 대상으로 크기를 측정하였다.

기계적 물성 측정. 블렌드의 기계적 물성 측정을 위해 Instron사의 4467모델을 사용하여 상온에서 실험하였다. 굽곡강도는 ASTM D-790에 따라 cross-head speed는 1.2 mm/min, span length는 48 mm로 실험하였으며, 인장강도는 ASTM D-638에 따라 cross-head speed는 1.5 mm/min, gauge length는 13 mm로 실험하였다.

결과 및 고찰

상용화제 첨가량에 따른 블렌드의 물성 변화. Figure 1은 상용화제를 사용한 PP/SAN(70/30) 블렌드의 기계적 물성 실험으로, 상용화제가 첨가되기 전보다 첨가된 후에 기계적 물성값이 증가하는 경향을 나타내었다. Figure 1에서 보면, 상용화제 5 phr이 첨가될 경우 굽곡강도는 33.4에서 42.3 MPa로, 인장강도는 26.2에서 33.1 MPa로 증가하는 결과를 나타내었다. PP에 SAN이 그래프트된 공중합체 형태의 상용화제가 PP/SAN 블렌드에 첨가되면, PP와 SAN의 계면장력을 떨어뜨리게 되고, 이로 인해 분산상간의

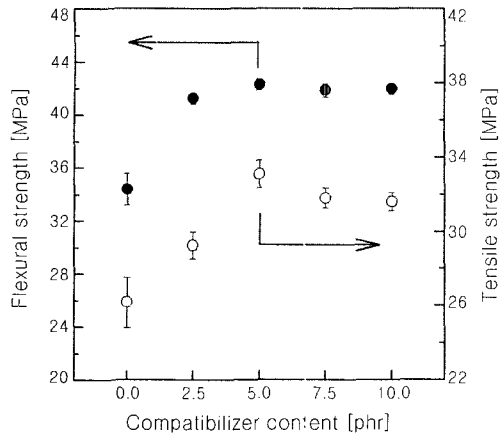


Figure 1. Mechanical properties of the PP/SAN (70/30)blends with variable compatibilizer content (● : flexural strength, ○ : tensile strength).

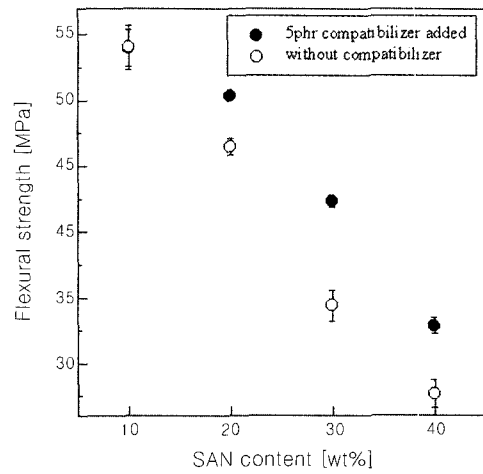


Figure 2. Flexural strength of the PP/SAN blends with variable SAN content (● : compatibilizer added, ○ : none compatibilizer added).

Table 3. Droplet Size of the PP/SAN Blends

blend ratio (PP/SAN)	screw speed [rpm]	compatibilizer contents [phr]	droplet size [μm]
90/10	30	-	3.5
80/20	30	-	4.2
70/30	30	-	5.1
60/40	30	-	8.4
90/10	10	-	3.7
90/10	20	-	3.6
90/10	30	-	3.2
90/10	40	-	3.0
90/10	50	-	2.6
90/10	60	-	2.5
70/30	30	2.5	4.4
70/30	30	5.0	3.6
70/30	30	7.5	3.7
70/30	30	10	4.0

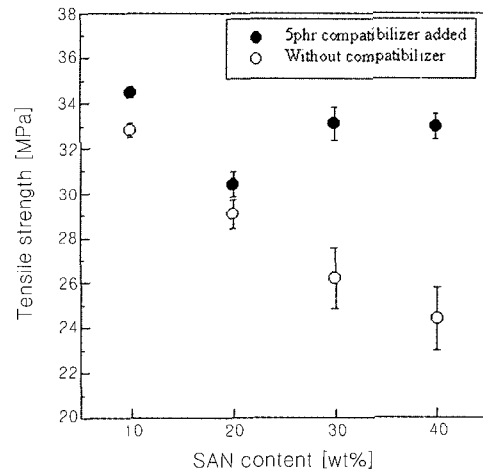


Figure 3. Tensile strength of the PP/SAN blends with variable SAN content (● : compatibilizer added, ○ : none compatibilizer added).

합체가 억제되어 파괴 우세의 평형에 도달하게 된다. 이러한 과정을 거쳐 분산상은 작은 크기로 형성되게 되고, 이를 통해 블렌드는 보다 향상된 기계적 물성을 나타내게 된다. Table 3에서 보면, 상용화제가 첨가되기 전에 5.1 μm 이던 분산상의 크기가 상용화제가 5 phr이 첨가된 후에는 3.5 μm 로 작아지는 결과를 나타내고 있다. 상용화제는 블렌드시 고분자의 계면장력을 감소시켜 분산상의 크기를 감소시킴으로써

분산상이 연속상속으로 고르게 분산되는 것을 가능하게 한다.

PP/SAN 블렌드에서 상용화제의 첨가량이 5 phr로 증가됨에 따라 분산상의 크기가 작아지고 기계적 물성값이 상승하는 결과를 나타내었으나, 상용화제가 7.5 phr과 10 phr이 첨가된 블렌드의 경우 분산상 크기의 큰 변화를 나타내고 있지 않았다. 특히, 굴곡

강도의 경우 상용화제가 5 phr이 첨가된 블렌드와 비교하여 거의 비슷한 물성값을 나타내고 있었으며, 인장강도의 경우 약간 하락한 결과를 나타내고 있었다. 이는 7.5 phr이상의 상용화제가 첨가되었을 경우 PP와 SAN의 계면에서 상용화제가 너무 과량으로 존재하여, 결과적으로 PP와 SAN간의 계면 결합력을 떨어뜨린 결과로 사료된다.

5 phr의 상용화제가 첨가된 경우, Figure 2와 3에서 보듯이 블렌드의 굴곡강도와 인장강도가 전체조성에서 상승한 결과를 나타내고 있었다. 특히, PP/SAN 조성이 70/30, 60/40인 블렌드의 경우 상용화제로 인한 물성값의 상승폭이 90/10, 80/20 조성보다 더 큰 값을 나타내고 있었다. 굴곡강도의 경우 90/10의 비율에서 상용화제가 첨가되더라도 54.0 MPa로 동일한 물성값을 나타내고 있었으나 60/40의 비율에서는 상용화제 첨가 후 27.7에서 32.8 MPa로 5.1 MPa이 상승한 결과를 나타내었고, 인장강도의 경우 90/10의 비율에서는 32.8에서 34.5 MPa로 1.7 MPa 상승한 결과를 나타내었으나 60/40의 비율에서는 상용화제 첨가 후 24.4에서 33.0 MPa로 8.6 MPa이 상승한 결과를 나타내었다. 기계적 물성값의 상승폭은 인장강도가 굴곡강도보다 더 큰 값을 나타내고 있었는데, 이는 상용화제의 첨가로 인해 나타난 시편의 유연성이 인장강도의 상승에 더 큰 영향을 미치고 있었기에 나타난 결과로 사료된다. 고분자 블렌드의 경우 열역학적으로 비상용성을 나타내는 블렌드계라 할지라도, 분산상 입자가 연속상에 작고 고르게 분산되어 있을 경우 우수한 기계적 물성을 나타내는 것으로 보고되어 있다.^{19,20} PP/SAN과 같은 비상용성 블렌드의 경우 두 개의 상간에는 어떠한 상호작용도 존재하지 않기 때문에, 블렌드의 기계적 물성은 분산상의 크기 변화에 매우 밀접하게 영향을 받게 된다.

Figure 4에는 PP/ABS(90/10) 블렌드의 상용화제 첨가 후 물성값의 변화를 나타내었다. Figure 4에서 보면, 상용화제 첨가 후 기계적 물성값이 상승하는 경향을 나타내었으며, 상용화제의 첨가량이 5 phr 일 경우 기계적 물성값의 최고치를 나타내고 있었으나, 상용화제가 10, 15 phr이 첨가된 블렌드의 경우 비슷하거나 약간 감소한 물성값을 나타내고 있었다. 굴곡강도의 경우 상용화제가 5 phr 첨가되었을 때 51.2 MPa의 굴곡강도를 나타내었으나 15 phr이 첨가되었

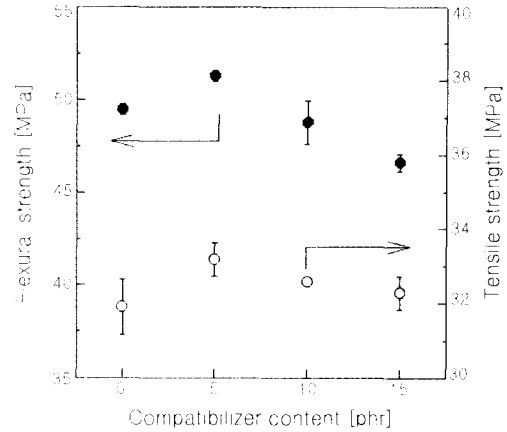


Figure 4. Mechanical properties of the PP/ABS (90/10) blends with variable compatibilizer content (● : flexural strength, ○ : tensile strength).

을 때는 46.6 MPa로 줄어드는 경향을 나타내었다. 인장강도의 경우, 상용화제가 5 phr 첨가되었을 때는 33.2 MPa의 굴곡강도를 나타내었으나 15 phr이 첨가되었을 때는 32.3 MPa로 거의 동일한 물성값을 나타내었다. 일반적으로, 상용화제의 첨가량이 증가함에 따라 과량으로 첨가된 상용화제는 고분자의 계면에 두껍게 분포하면서 블렌드의 기계적 물성값을 떨어뜨리게 되는데, 상용화제의 첨가로 인해 블렌드에 부여된 유연성의 증가가 인장강도보다는 굴곡강도에 더 많은 영향을 미치고 있었다. 특히, 이러한 거동은 굴곡 실험에서 더 명확하게 나타나고 있었는데, PP/SAN 블렌드보다는 PP/ABS 블렌드가 상용화제의 과잉첨가에 따른 강도값의 하락 폭이 더 크게 나타나고 있었다. 이는 ABS에 포함되어 있는 PBD(polybutadiene)와 상용화제의 첨가에 의한 블렌드의 유연성 향상이 PP/ABS 블렌드의 굴곡강도 하락에 더 크게 작용하고 있었기에 나타난 현상으로 사료된다.

혼합 조성에 따른 블렌드의 물성 변화. Figure 2와 3은 PP/SAN 조성변화에 따라, 상용화제가 첨가되지 않은 블렌드와 5 phr의 상용화제가 첨가된 블렌드의 굴곡강도와 인장강도를 나타내었다. Table 3은 분산상인 SAN의 조성 변화에 따른 분산상의 크기 변화를 나타낸 것으로, SAN의 조성이 10 wt%일 때 3.5 μm이던 분산상의 크기가 40 wt%일 때는 8.4 μm로 증가하는 결과를 나타내었다.

상용화제가 첨가되지 않은 PP/SAN 블렌드에서 SAN의 함량이 10 wt%인 경우와 40 wt%인 경우의 기계적 물성값을 비교해보면, 굴곡강도의 경우 54.0에서 27.7 MPa로, 인장강도의 경우 40.0에서 23.4 MPa로 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 블렌드시 분산상의 전체 부피가 증가되면서 분산상 서로간에 마주칠 수 있는 확률이 증가되고 결과적으로 분산상의 합체와 파괴 상호간의 평형에서 합체가 우세한 평형에 도달하여 생겨난 현상이라 할 수 있다.²¹⁻²⁴

Figure 5에는 PP/ABS 블렌드의 조성에 따른 기계적 물성값의 변화를 나타내었다. Figure 5에서 보면, PP/ABS 블렌드의 전체 조성에 대한 기계적 물성값이 두 고분자의 첨가량이 비슷해지는 영역에서 기계적 물성값의 최소치를 나타내고 있었다. 굴곡강도의 경우 35/65 조성의 블렌드에서 31.2 MPa로 최소값을 나타낸 후 ABS의 첨가량이 증가함에 따라 물성값도 증가하는 경향을 나타내었으며, 인장강도도 50/50의 블렌드 조성에서 23.8 MPa로 최소의 물성값을 나타낸 후 ABS의 첨가량이 증가함에 따라 물성값도 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 PP와 ABS의 완전한 비상용 거동을 나타내는 것으로, PP/ABS 블렌드시 혼합 조성이 블렌드의 최종 물성에 미치는 영향을 잘 나타내고 있다고 할 수 있다. 따라서, 폐자동차에서 수거되는 PP와 ABS의 조성비를 여분의 PP를 첨가함으로써 조성비를 조절할 경우, 상용화제나 공

정조건의 변화 없이도 일정 수준의 기계적 강도를 지닌 비상용 블렌드를 제조할 수 있음을 알 수 있었다.

스크류 속도에 따른 블렌드의 물성 변화. 고분자 블렌드에 있어서 연속상내에 존재하는 분산상 크기는 전단속도의 변화에 민감하게 영향을 받게 된다. 이러한 전단속도와 분산상 크기의 상관 관계를 예측한 식으로, Wu는 나일론과 ethylene-propylene rubber (EPR)를 각각 연속상과 분산상으로 사용하여 (1)식과 같이 계면장력과 점도비를 상관시켜 분산상의 크기를 나타내는 식을 제시하였다.¹⁰⁻¹²

$$D = \frac{4\Gamma \eta_r^{20.84}}{G \eta_m} \quad (1)$$

여기서, G 는 전단속도, η_m 은 연속상의 점도, η_r 은 분산상의 점도에 대한 연속상의 점도비이며, D 는 분산상의 지름이고, Γ 는 계면장력 그리고 γ 는 표면장력이다. 위 식에서 지수의 (+)부호는 점도비가 1 이상인 경우, (-)부호는 점도비가 1 이하인 경우에 적용된다.

Figure 6은 압출공정시 스크류 회전속도를 변화하여 얻은 블렌드 시편의 SEM 사진으로, 스크류 회전속도를 증가시킬수록 분산상의 크기가 작아짐을 확인할 수 있었다. Table 3에 나타내었듯이, 스크류의 회전속도가 10 rpm일 경우 3.7 μm 이던 분산상의 크기가 40 rpm에서는 3.0 μm 로, 그리고 60 rpm에서는 2.5 μm 로 작아지는 경향을 확인할 수 있었다. 블렌드 공정 조건 중 중요한 변수중 하나인 스크류의 회전속도 증가는 이축압출기 배럴 속에 있는 블렌드의 전단응력을 증가시키게 되고, 이렇게 증가된 전단응력은 분산상의 파괴를 증가시켜 분산상의 크기를 줄이게 된다. 일반적으로 스크류 회전속도의 증가는 블렌드의 혼합기 내에서의 체류시간을 하락시키는 결과를 초래하게 되고, 이러한 체류시간의 감소는 분산상의 크기를 증가시키는 결과를 나타내게 된다.²⁵ 그러나, 본 실험의 결과에서는 블렌드시 스크류 회전속도의 증가에 따른 전단응력의 증가가 체류시간의 감소에 따른 영향보다는 블렌드의 분산상 입자 크기에 더 큰 영향을 미치고 있음을 나타내고 있었다. Figure 7은 위 방법으로 제조한 블렌드의 굴곡강도와 인장강도의 변

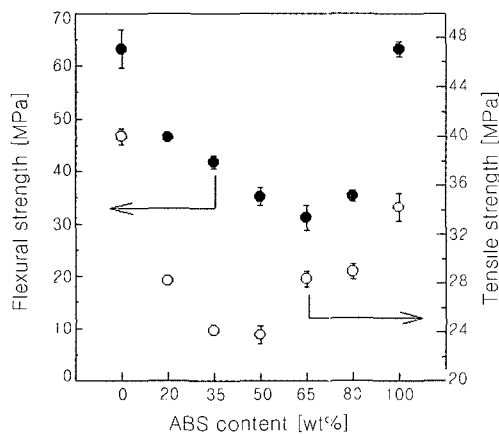


Figure 5. Mechanical properties of the PP/ABS blends with variable ABS content (●: flexural strength, ○: tensile strength).

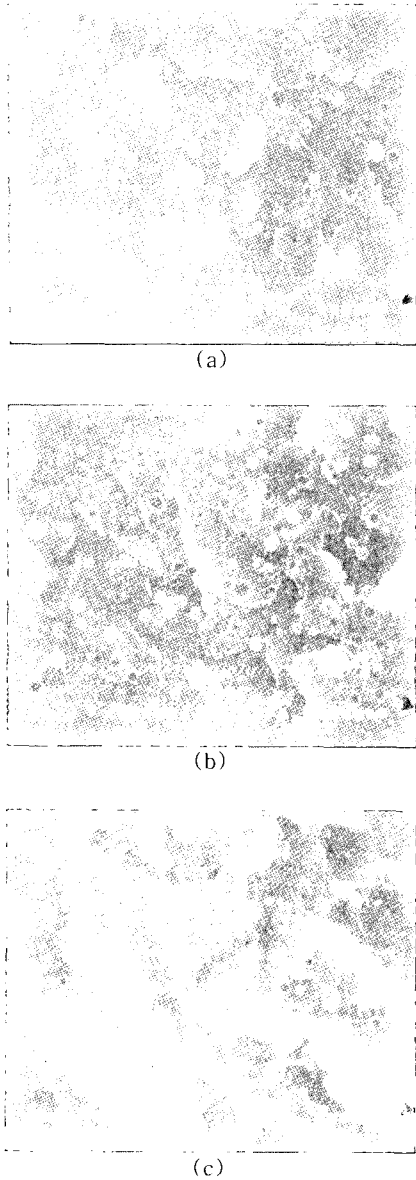


Figure 6. SEM micrographs of the PP/SAN (90/10) blends with variable screw speed. (a)10 rpm, (b)40 rpm, and (c)60 rpm.

화에 대한 것으로써, 스크류의 회전속도 값이 증가할수록 기계적 물성값도 소폭으로 증가하는 경향을 나타내고 있었다. 스크류의 회전속도가 10 rpm일 때의 물성값과 60 rpm일 때의 물성값을 비교해 보면, 굴

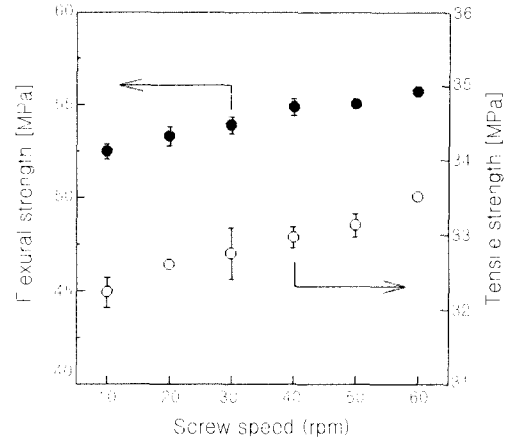


Figure 7. Mechanical properties of the PP/SAN (90/10)blends with variable screw speed(● : flexural strength, ○ : tensile strength).

곡강도는 52.5 MPa에서 55.7 MPa로 인장강도는 32.0에서 33.5 MPa로 증가한 결과를 나타내고 있었다. 이는 분산상의 크기 감소로 인한 블렌드의 상용성 증가로 인해 나타난 현상으로, 서로 비상용성을 나타내는 고분자 블렌드시 높은 회전속도로 가공할 경우 향상된 기계적 물성을 지닌 블렌드를 제조할 수 있음을 나타내고 있다.

결 론

PP/SAN, 그리고 PP/ABS 블렌드에서 블렌드의 조성, 스크류의 회전속도, 그리고 상용화제의 첨가가 블렌드의 최종 morphology와 기계적 물성에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

상용화제가 첨가된 PP/SAN 블렌드의 경우, 상용화제 첨가로 인한 PP/SAN 블렌드의 계면장력 감소로 인해 분산상의 크기가 작아지는 결과를 나타내었고, 이로 인해 블렌드의 상용성이 증가하여 높은 기계적 물성값을 나타내었다. 특히, 일정한 양(5 phr)의 상용화제가 첨가된 블렌드의 조성 변화에 따른 물성값 변화 실험의 경우, 상용화제가 첨가되지 않은 동일 조성의 블렌드와 비교하여, 90/10의 조성에서 인장강도의 미세한 증가를 나타내고 있었으나, 60/40의 조성에서는 인장강도가 크게 증가한 결과를 나타내고 있었다. 이는 상용화제의 첨가로 인해 블렌드의

유연성이 상승함으로써 나타난 현상으로, 굴곡보다는 인장실험이 시편의 유연성 향상에 따른 물성값 향상에 더 큰 영향을 받고 있음을 나타낸다고 할 수 있다. PP/ABS 블렌드의 경우, 상용화제 5 phr 첨가시 최대의 기계적 강도를 나타내고 있었으나, 상용화제의 첨가량이 15 phr로 증가함에 따라 물성값이 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 과량으로 첨가된 상용화제가 블렌드 내의 계면에서 두꺼운 상을 형성하면서 유연성을 향상시키나, 결과적으로는 각 고분자 상 사이에서 윤활제와 같은 역할을 수행하면서 기계적 강도를 하락시켜 나타난 현상이라 할 수 있다. 상용화제의 과잉첨가에 따른 기계적 물성값의 하락폭은 PP/SAN 블렌드보다 PP/ABS 블렌드가 더 컸으며, 특히 인장강도보다는 굴곡강도가 블렌드의 유연성에 더 민감하게 영향을 받고 있었다.

조성의 변화에 따른 블렌드의 경우, 분산상의 첨가량이 증가함에 따라 합체에 의해 분산상의 크기가 증가하였고, 이로 인해 블렌드의 기계적 물성은 하락하는 경향을 나타내었다. 특히, PP/ABS 블렌드의 경우, 두 상의 조성이 비슷해지는 영역에서 기계적 물성값의 최소치를 나타내고 있었다.

스크류의 회전속도 변화에 따른 블렌드의 경우, 회전속도를 증가시키에 따라 전단응력이 증가되면서 분산상의 크기가 감소하였고, 이로 인해 블렌드의 상용성이 향상되면서 굴곡강도와 인장강도가 증가한 결과를 나타내고 있었다.

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단(KOSEF)에서 지정한 우수연구센터(ERC)인 유변공정연구센터(Applied Rheology Center)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. L. A. Utracki, *Polym. Eng. Sci.*, **23**, 602 (1983).
2. W. N. Kim and C. M. Burns, *J. Appl. Polym. Sci.*, **28**, 1409 (1990).
3. Y. S. Chun, H. S. Lee, H. C. Jung, and W. N. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, **72**, 733 (1999).
4. L. A. Utracki, "Polymer Alloys and Blends", Hanser, New York, 1989.
5. D. R. Paul and C. B. Bucknall, "Polymer Blends", John Wiley & Sons, New York, 2000.
6. J. H. Choi, J. H. Ryu, and S. Y. Kim, *Korea-Australia Rheology Journal*, **12**, 135 (2000).
7. H. T. O, H. R. Kim, and J. K. Kim, *Korea-Australia Rheology Journal*, **13**, 83 (2001).
8. J. H. Kim, M. J. Kim, C. K. Kim, and J. W. Lee, *Korea-Australia Rheology Journal*, **13**, 125 (2001).
9. S. Al-Malaika, "Reactive Modifiers for Polymers", Blackie Academic & Professional, London, 1997.
10. S. Wu, *Polym. Eng. Sci.*, **27**, 335 (1987).
11. S. Wu, *Polymer*, **35**, 549 (1988).
12. S. Wu, *J. Appl. Polym. Sci.*, **35**, 549 (1988).
13. B. D. Favis and J. P. Chalifoux, *Polym. Eng. Sci.*, **27**, 1591 (1987).
14. B. D. Favis and J. P. Chalifoux, *Polymer*, **29**, 1761 (1988).
15. U. Sundararaj and C. W. Macosko, *Macromolecules*, **28**, 2647 (1995).
16. P. Guegan, C. W. Macosko, T. Ishizone, A. Hirao, and S. Nakahama, *Macromolecules*, **27**, 4993 (1994).
17. W. Hale, H. Keskkula, and D. R. Paul, *Polymer*, **40**, 365 (1999).
18. Y. Pietrasanta, J. J. Robin, N. Torres, and B. Boutevin, *Macromol. Chem. Phys.*, **200**, 142 (1999).
19. T. Kunori and P. H. Geil, *J. Macromol. Sci.-Phys. B*, **18**, 93 (1980).
20. T. Kunori and P. H. Geil, *J. Macromol. Sci.-Phys. B*, **18**, 135 (1980).
21. M. Yoshida, J. J. Ma, K. Min, J. L. White, and R. P. Quirk, *Polym. Eng. Sci.*, **30**, 30 (1990).
22. S. Endo, K. Min, J. L. White, and T. Kyu, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 45 (1986).
23. R. Fayt, R. Jerome, and P. Teyssie, *Polymer*, **187**, 873 (1986).
24. S. Datta and D. J. Lohse, *Macromolecules*, **26**, 2064 (1993).
25. C. Sirisinha, S. B-Limcharoen, and J. Thunyarittikorn, *J. Appl. Polym. Sci.*, **82**, 1232 (2001).