

범퍼커버용 열가소성 폴리올레핀 수지의 개발: 2. 고무점도의 영향

유 태 옥·박 봉 현·최 치 훈†

현대자동차 승용제품개발1연구소 비금속재료기술팀
(1996년 5월 16일 접수)

Development of Thermoplastic Polyolefins for Bumper Cover: 2. Effect of Rubber Viscosity

Tae-Wook Yoo, Bong-Hyun Park, and Chi-Hoon Choi†

Passenger Car Engineering & Research Center 1, Hyundai Motor Company, Ulsan 681-791, Korea

(Received May 16, 1996)

요 약: 폴리프로필렌 블록공중합체/에틸렌-프로필렌 고무 블렌드에서 고무의 점도 및 함량이 유변 특성, 모폴로지, 기계적 물성에 미치는 효과에 관하여 연구하였다. 고무함량을 40 wt%까지 변화시키면서 이축압출기를 사용하여 용융블렌딩을 행하였다. 복합점도 대 고무함량 플롯에서는 선형성으로부터 약간의 양의 편차를 나타내었다. 주사전자현미경 사진에서 분산상의 크기는 고무의 점도가 감소할수록 감소하는 것을 관찰하였다. 그리고 사출시편의 표면부근에서는 연신된 구조가 관찰되었다. 굴곡탄성율, 인장강도, 록웰경도 및 금형수축율은 고무함량에 따라 감소하였으며, 신율 및 충격강도는 증가하였다.

ABSTRACT: The effect of viscosity and content of ethylene-propylene rubber (EPR) on rheology, morphology, and mechanical properties of polypropylene (PP) block copolymer/EPR blends was studied. Melt blends were prepared in a twin-screw extruder varying rubber content up to 40 wt%. Complex viscosity vs. rubber content plot showed a slight positive deviation from the additivity. Scanning electron micrographs (SEM) of blends showed that the size of dispersed phase was decreased with decreasing the viscosity of rubber. And the elongated structure was observed near the surface of injection-molded specimen. Flexural modulus, tensile strength, Rockwell hardness, and mold shrinkage were decreased with rubber content, however, elongation at break and notched Izod impact strength were increased.

Keywords: PP, EPR, rheology, morphology, mold shrinkage.

서 론

자동차 범퍼커버용 재료로서 가장 널리 사용되고 있는 수지중의 하나가 열가소성폴리올레핀 (thermoplastic polyolefin, TPO)으로서 PP와 고무를 블렌드한 재료이다. 이 밖에도 폴리카보네이트(PC)/폴리부틸렌테레프탈레이트(PBT) 블렌드, 폴리우레탄 반응사출성형 (reaction injection molding, RIM), 고무개질 PBT 등이 사용되고 있으나, 가격, 성능 및

리사이클성 면에서 TPO 범퍼의 수요가 계속 증가추세에 있다.^{1,2} 최근에는 범퍼커버용 수지로서 저수축/저선팽창계수형, primerless형, mold-in-color형 그리고 thin-wall형 재료의 개발이 시도되고 있다.³ 한편 일본의 Toyota 자동차에 super olefin polymer (SOP)라 부르는 고유동성/고탄성율의 TPO 범퍼를 개발하였는데, 이는 분자레벨의 미세구조를 조절함으로써 기존의 TPO와 비교하여 굴곡탄성율 및 열변형온도(HDT)를 상당히 개선시켰다고 한다.^{4,5} 중합기

술의 발달로 다단계의 공정을 거쳐 반응기 내부에서 고무상을 형성시킨 reactor TPO도 개발되고 있는데,⁶ 성능/가격 면에서 유리하여 유럽에서는 일부 차종에 적용중이다.

범퍼커버용 TPO 수지의 물성은 일차적으로 사용하는 원료수지의 배합비에 따라 결정된다. 일반적으로 저온충격강도를 향상시키기 위하여 단일 중합체가 갖는 물성을 일정수준 유지하면서 내충격성을 향상시킨 PP 블록공중합체를 매트릭스로 사용하며, 유동성 및 물성을 고려하여 고무를 한가지 이상 사용하게 된다. 고무로서는 같은 올레핀계 수지로서 혼화성 (compatibility)이 있는 에틸렌-프로필렌 고무 (EPR) 또는 에틸렌-프로필렌-디엔 고무 (EPDM)가 주로 사용된다.⁷⁻⁹ EPR의 물성은 분자량, 분자량 분포 및 에틸렌/프로필렌 함량비에 따라 변하며, 분자량이 같을 경우 프로필렌 함량이 높을수록 T_g 가 낮아져 충격보강효과가 우수하다.^{10,11} 또한 고무상의 분산 및 분포에 따라 블렌드의 물성이 변화할 수 있으므로 최적물성을 조절하기 위해서는 가공조건의 설정도 중요하다. 화학적인 개질방법으로서 압출공정중에 반응이 동반되도록 과산화물이나 다관능성 단량체를 첨가하여 모폴로지 및 물성을 조절할 수도 있다.¹²⁻¹⁴

앞선 실험에서는 고무상이 동일하나 에틸렌 함량 및 용융지수 (MI)가 다른 PP 블록공중합체를 매트릭스로 각각의 PP/EPR 블렌드를 제조한 후, 모폴로지 및 물성을 고찰하였다.¹⁵ 본 실험에서는 매트릭스인 PP는 동일한 수지를 사용하고 고무상으로서 EPR 또는 EPDM을 사용하여 PP/고무의 함량비가 100/0~60/40인 블렌드를 제조하였다. 사용한 고무의 점도 및 고무함량에 따른 유변학적 거동을 관찰하고 아울러 모폴로지 및 기계적 물성에 미치는 효과를 조사하였다.

실 험

원료물질. 매트릭스로서는 MI가 16이고 에틸렌 함량이 8 wt%인 PP 블록공중합체를 선정하여 사용하였다. 고무로서는 펠렛형태의 EPR 또는 에틸렌-프로필렌-디엔 공중합체를 3종 선정하여 압출용융 혼련하였다. EPR1, EPR2는 프로필렌함량이 26, 27 wt%이고 MI가 각각 3.5 및 0.7인 수지이고,

EPR3는 프로필렌함량이 28 wt%이고 MI가 0.4인 수지였다. 여기서 EPR3는 디엔으로서 ethylidene norbonene을 사용하고 iodine 값이 15%인 고무이다.

컴파운딩 및 시편제조. PP/고무의 함량비가 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 및 60/40인 블렌드를 제조하고자 하였다. 함량비에 따라 원료수지를 균일하게 혼합한 후, 동방향 이축압출기 (ZSK 25, W & P)로 가공온도 220 °C에서 300 rpm으로 컴파운딩하였다. 용융가공시 수지의 분해를 방지하기 위하여 열안정제 및 산화방지제를 0.3 part 공통처방하였다. 이렇게 하여 제조한 압출물을 80 °C의 열풍건조기에서 5시간 건조한 후, 사출성형하여 물성측정을 위한 시편을 제조하였다.

물성측정. MI는 230 °C, 2.16 kgf 하중하에서 측정하였다 (ASTM D1238). 유변물성은 parallel plate fixture를 사용하여 점탄성시험기 (RMS 800, Rheometrics)로 정상상태 및 동적상태에서 측정하였다. 간격은 1.5 mm로 고정하였으며, 측정온도는 220 °C였다. 모폴로지는 액체질소내에서 인장시편을 냉동파쇄하여 고무를 녹여낸 후 주사전자현미경 (SEM, ISI-DS130C)으로 관찰하였다. 만능시험기 (Shimazu)를 사용하여 굴곡탄성율은 10 mm/min의 크로스헤드 속도로 측정하였으며 (ASTM D 790), 인장강도 및 신율은 50 mm/min의 크로스헤드 속도로 측정하였다 (ASTM D638). 경도는 록웰경도계를 사용하여 R-scale로 측정하였으며 (ASTM D785), 충격강도는 상온 및 -30 °C에서 충격시험기 (TMI)로 측정하였다 (ASTM D256). 저온 충격강도 시험시에는 냉동기내에서 3시간동안 방치하여 꺼낸 후 5초 이내에 시험을 행하였다. 금형수축율은 두께 3.2 mm인 인장시험편을 사용하여 측정하였다 (ASTM D955).

결과 및 고찰

유변물성. Fig. 1은 고무 함량에 따른 블렌드의 MI 거동을 나타낸 그림이다. 전반적으로 고무함량에 따라 MI는 감소하는 거동을 나타내었으며, 사용한 고무의 MI가 낮을수록 블렌드의 MI 또한 낮았다. MI는 점도의 역수와 관련되는 값이므로 분산상인 고

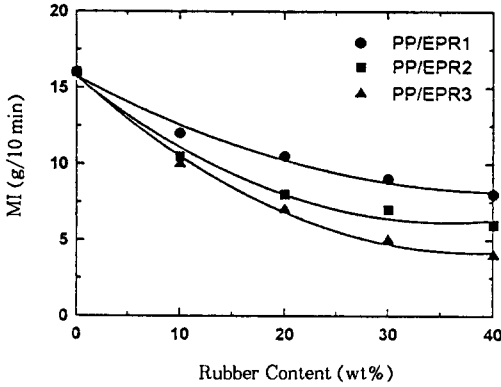


Figure 1. MI vs. rubber content for PP/rubber blends.

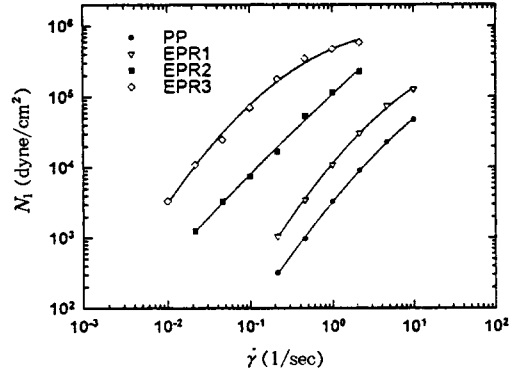


Figure 3. N_1 vs. $\dot{\gamma}$ for PP and rubbers.

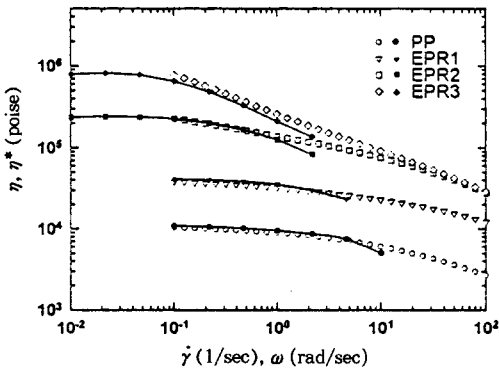


Figure 2. η , η^* vs. $\dot{\gamma}$, ω for PP and rubbers.

무의 MI가 높은 PP/EPR1 블렌드가 같은 조성의 EPR2 및 EPR3 블렌드에 비하여 가공성이 우수하다고 할 수 있다.¹⁶

Fig. 2는 정상 및 동적 상태에서 측정된 PP 및 고무의 전단속도 대 전단점도 거동을 나타내었다. 낮은 전단속도에서는 점도가 일정한 값 (zero shear viscosity, η_0)을 가졌고, 높은 전단속도에서는 점도가 감소하는 전형적인 pseudoplastic 거동을 나타내었다. 정상전단점도(η)와 동적전단점도(η^*)가 비교적 잘 일치하였으나 $1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^1$ 의 전단속도영역에서는 약간의 편차가 발생하였다. PP가 가장 낮은 점도 거동을 나타내었으며, EPR1 < EPR2 < EPR3 순으로 점도는 증가하였다. 점도거동은 고분자의 형태, 분자량, 분자량분포, 가지화의 정도 및 가교도 등에 의존한다.¹⁷ 일반적으로 낮은 전단속도 영역에서의 η ,

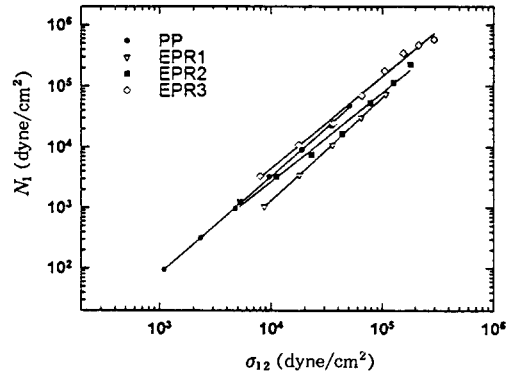


Figure 4. N_1 vs. σ_{12} for PP and rubbers.

는 중량평균분자량의 3.5승에 비례하고, 분자량분포가 넓을수록 비뉴토니안 거동 (전단속도 의존성)이 증가하는 것으로 알려져 있다.¹⁸ 그러므로 EPR1에 비하여 EPR2, EPR3의 분자량이 높고, 분자량분포가 크다는 것을 알 수 있다. Fig. 3 및 4는 전단속도($\dot{\gamma}$) 및 전단응력(σ_{12}) 대 일차법선응력차(N_1)를 플롯한 그림이다. N_1 은 고분자의 탄성을 나타내며, 다이 팽창의 정도를 예측하는데 사용할 수 있다. 동일 전단속도에서 N_1 은 점도와 마찬가지로 PP < EPR1 < EPR2 < EPR3의 순으로 증가하였으나, 동일 전단응력하에서 N_1 은 EPR1 < EPR2 < PP < EPR3의 순이었다. 일반적으로 N_1 은 전단속도에 대해 플롯할 경우 분자량 및 분자량분포가 증가할수록 증가하나, 전단응력에 대해 플롯할 경우 온도와 분자량에는 무관하고 단지 분자량분포에 의존한다.^{18,19} EPR의 경우 N_1 의 거동은 점도순서와 일치하였다. Fig. 5는 $\omega = 2$

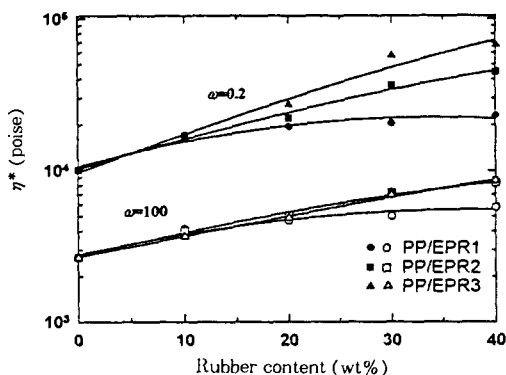


Figure 5. η^* vs. rubber content for PP/rubber blends.

및 $\omega=100$ 에서의 η^* 를 고무의 함량에 따라 플롯한 그림이다. 고무의 종류에 관계없이 블렌드의 η^* 는 지수혼합법칙에서 양의 편차를 보였다. 비상용계 블렌드의 점도거동은 모폴로지에 따라 양 또는 음의 편차를 보인다. 즉, 분산상간의 상호인력이 크거나 interlocking된 구조를 가지면 점도는 상승하게 되고, 매트릭스-분산상간의 inter-layer slip이 일어나게 되면 점도는 감소한다. 고무함량 20 wt% 이상에서는 분산상인 고무의 점도에 영향을 받아 η^* 는 $\omega=0.2$ 에서 $EPR1 < EPR2 < EPR3$ 블렌드, $\omega=100$ 에서 $EPR1 < EPR2 \cong EPR3$ 블렌드 순이었다. 그러나 90/10 블렌드에서는 η^* 가 반대로 $EPR1 > EPR2 > EPR3$ 블렌드 순이었다. 이는 고무함량이 상대적으로 낮은 90/10 블렌드에서는 분산상인 고무의 점도에 영향을 받기 보다는 모폴로지에 영향을 더 크게 받을 수 있다. 즉, 분산상인 고무입자의 크기가 작을수록 수력학적 부피 (hydrodynamic volume) 및 인력이 증가하여 점도 상승효과가 큰 것으로 생각되며,²⁰ 이는 SEM 사진에서 확인할 수 있었다.

모폴로지. SEM 사진은 사출시의 흐름방향과 동일한 방향으로 냉동과단시켜 헬탄으로 고무상을 추출한 후 표면부와 중심부로 나누어 관찰하였다. Fig. 6 (a)는 PP 블록공중합체의 SEM사진으로 추출된 고무상이 직경 1~3 μm 의 검은 hole로 뚜렷하게 관찰되었다. 이는 PP 블록공중합체 제조시 첨가된 에틸렌이 단순하게 PP말단에 블록형태로 부가반응하는 것뿐만 아니라 EPR상을 형성하여 헬탄에 녹아나왔음을 알 수 있다. PP/EPR1 (70/30) 블렌드에서 고무상은 직경이 약 0.5~1 μm 정도의 타원형 또는 실

린더형태로 분산되어 있다. 표면부의 경우 사출시 흐름방향으로 잘 연신된 구조를 나타내었으며, 중심부에서는 연신의 정도가 둔화되어 원형 또는 타원형의 분산상이 많이 존재하였다(Fig. 6 (b), (c)). PP/EPR2 (70/30) 블렌드는 표면부에서 약간 연신된 형태의 고무상을 관찰할 수 있었으나 중심부에서는 잘 관찰되지 않았다(Fig. 6 (d), (e)). PP/EPR3 (70/30) 블렌드에서는 표면부와 중심부에서 직경이 1~2 μm 인 고무입자들이 원형으로 분산되어 있었다. 그러나 자세히 관찰해보면 표면부에서는 분산상이 약간 변형되어 있음을 관찰할 수 있다(Fig. 6 (f), (g)). 고무종류에 관계없이 중심부보다 표면부의 입자크기가 더 작은 것을 알 수 있는데, 이는 두가지 효과로 설명할 수 있다. 즉, 표면부에서는 전단속도 구배가 크므로 분산상에 가해지는 전단응력이 증가하고, 금형내에서 수지의 고화가 표면쪽에서부터 진행되므로 분산상의 응집 및 완화가 일어날 충분한 시간이 없기 때문이다.¹¹ 또한 블렌드에 사용한 고무의 점도가 높을수록 분산상의 입자크기는 증가하고 원형으로 분산되려는 경향을 관찰할 수 있었다. 이는 압출기내에서 용융혼련시 분산상인 고무의 점도가 클수록 break-up이 더 어렵고, 이러한 모폴로지가 사출성형시에도 그 경향이 유지되기 때문으로 생각된다.

이성분계 고분자 블렌드에서 분산상의 입자크기는 두 상의 계면에서 발생하는 계면장력과 성분들의 점도, 가공온도 및 스크류 회전속도 등에 의해 결정된다고 한다.^{21,22} 단순전단흐름하에서 분산입자의 변형정도 (D)는 capillary number(κ)와 점도비(λ)로 표현할 수 있다.²³

$$D = (\kappa/2)[(19\lambda + 16)/(16\lambda + 16)] \quad (1)$$

$$\kappa = \sigma \cdot d/\nu_{12} \quad (2)$$

$$\lambda = \eta_d/\eta_m \quad (3)$$

여기서 σ 는 외부에서 가해지는 전단응력 ($=\eta_m \times \dot{\gamma}$), d 는 분산입자의 직경, ν_{12} 는 계면장력, η_d 및 η_m 은 분산상과 매트릭스의 점도를 각각 나타낸다. Van Oene은 흐름상태하에서의 ν_{12} 는 매트릭스 및

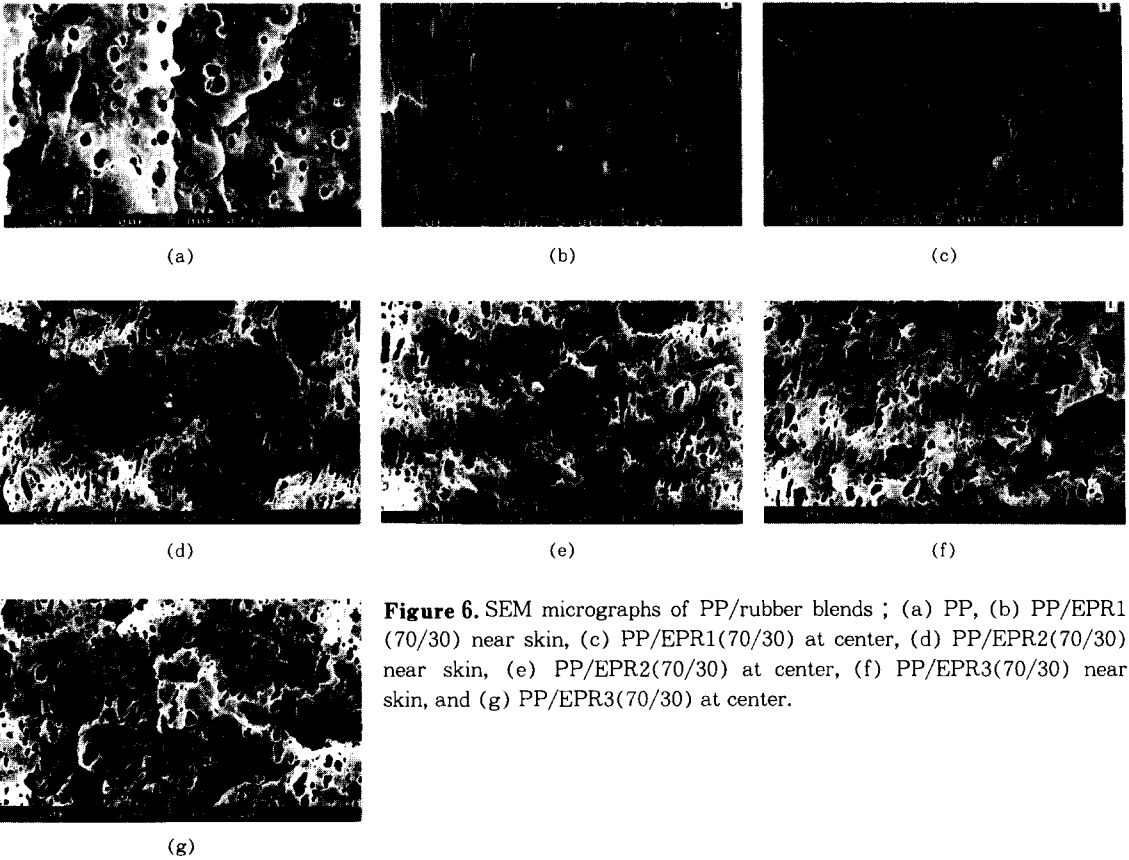


Figure 6. SEM micrographs of PP/rubber blends ; (a) PP, (b) PP/EPR1 (70/30) near skin, (c) PP/EPR1(70/30) at center, (d) PP/EPR2(70/30) near skin, (e) PP/EPR2(70/30) at center, (f) PP/EPR3(70/30) near skin, and (g) PP/EPR3(70/30) at center.

분산상의 탄성에 의해 변화하며, 아래 식으로 표현된다고 보고하였다.²⁴

$$\nu_{12} = \nu_{12}^{\circ} + (d/12) (N_{1,d} - N_{1,m}) \quad (4)$$

여기서, ν_{12}° 는 정적상태에서의 계면장력을, $N_{1,d}$ 및 $N_{1,m}$ 는 각각 분산상 및 매트릭스의 일차법선응력차를 나타낸다. 식 (1)에서 κ 가 증가할수록, 즉 η_m 이 증가하거나 ν_{12} 가 작을수록, D 는 증가함을 알 수 있다. 여기서 σ 는 입자를 연신시키려는 힘이고 d/ν_{12} 는 입자를 구형으로 유지하려는 힘이라고 볼 수 있다. 또한, 식 (4)에서 $N_{1,d} < N_{1,m}$ 일 경우 ν_{12} 를 감소시키는 역할을 하고, $N_{1,d} > N_{1,m}$ 일 경우 분산상의 $N_{1,d}$ 가 클수록 ν_{12} 는 증가한다. 그러므로, $N_{1,m}$ 이 일정할 때 D 는 $N_{1,d}$ 가 작을수록 커진다. 이러한 이론식은 실제로 압출, 사출과 같은 복잡한 유동장하에서

의 변형을 예측하기는 어렵다. 그러나 그 경향은 실험결과와 일치함을 확인할 수 있었다. 즉, 분산상인 고무의 탄성이 감소할수록 D 가 증가하여, 입자크기는 감소하고 연신된 구조의 모폴로지를 나타내었다.

기계적 물성. Fig. 7 및 8은 고무함량에 따른 블렌드의 굴곡탄성율 및 인장강도를 나타내었다. 고무함량에 따라 블렌드의 굴곡탄성율은 거의 선형적으로 감소하였으며, 동일조성에서는 EPR1 > EPR2 > EPR3 블렌드 순으로 증가하였다. 이는 모폴로지와 관련하여 나타나는 것으로 생각할 수 있다. 즉, 분산입자가 작을수록 그리고 분산상이 원형으로 존재하기 보다는 연신된 구조일수록 굴곡탄성율은 증가하였다. 인장강도의 경우 고무함량에 따라 선형적으로 감소하는 거동을 보였으나, 분산상인 고무의 종류에 따른 물성의 차이는 관찰되지 않았다. PP/고무 블렌드의 물성은 조성에 의해 거의 결정된다. 고무는 보통 PP

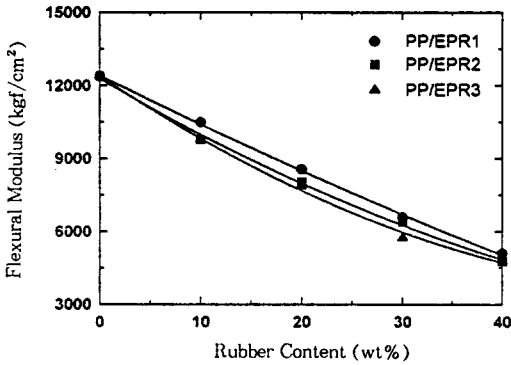


Figure 7. Flexural modulus vs. rubber content for PP/rubber blends.

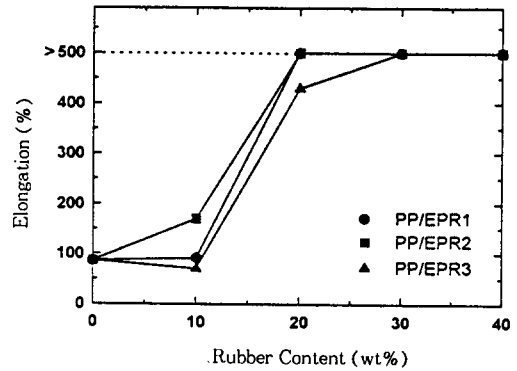


Figure 9. Flexural modulus vs. rubber content for PP/rubber blends.

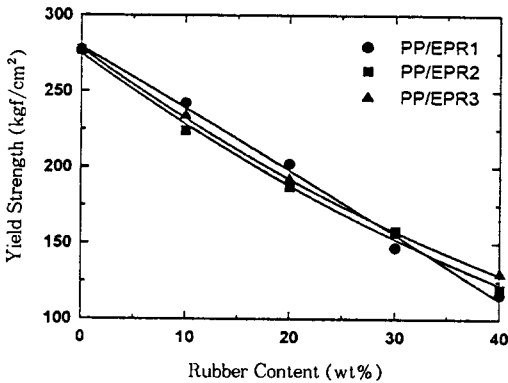


Figure 8. Yield strength vs. rubber content for PP/rubber blends.

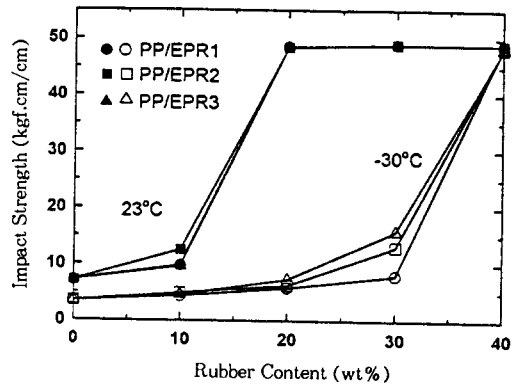


Figure 10. Yield strength vs. rubber content for PP/rubber blends.

보다 점도가 높으므로 60~70 wt% 이하의 함량에서는 PP가 매트릭스를 형성하게 된다.^{25,26} 본 실험에서 사용된 고무함량은 40 wt% 이하로서 PP가 전부 매트릭스를 형성하는 조성이므로, 굴곡탄성률 및 인장강도는 고무함량증가에 따라 거의 선형적으로 감소하는 거동을 보이는 것으로 생각할 수 있다. Fig. 9 및 10은 고무 함량에 따른 블렌드의 파단신율 및 상온, -30 °C에서의 충격강도를 나타내었다. 신율은 고무 10 wt% 첨가시에는 큰 변화가 없었으나, 20 wt% 이상 첨가시에는 급격히 증가하여 30 wt% 이상의 고무함량에서는 모두 500% 이상의 신율을 나타내었다. 고무함량 10, 20 wt%에서 블렌드의 신율을 비교하면 EPR2 ≥ EPR1 > EPR3 블렌드 순으로 증가하였다. 이는 SEM 사진에서 관찰한 결과와 일치하지 않

는다. 이는 신율이 단순히 분산상인 고무입자의 크기에만 의존하는 것이 아니라 고무자체의 인장물성에도 의존함을 나타낸다. 상온에서의 고무함량에 따른 충격강도 거동은 신율거동과 유사하였다(Fig. 8). 고무함량 10% 이하에서는 충격보강이 일어나지 않으며, 20 wt% 이상에서는 NB 거동을 나타내었다. 즉, 고무함량 10~20 wt% 사이에서 brittle-ductile (BT) 전이가 일어남을 알 수 있었다. 고무종류에 따른 PP/고무 블렌드의 충격강도변화는 뚜렷하게 관찰되지 않았으나, 신율과 마찬가지로 EPR2 블렌드가 약간 높은 값을 나타내었다. -30 °C에서는 BT 전이가 일어나는 조성이 30~40 wt% 고무함량으로 이동하였다. 전반적으로 EPR1 블렌드에 비하여 EPR2 및 EPR3 블렌드의 충격강도가 높았다. 고무보강 열가

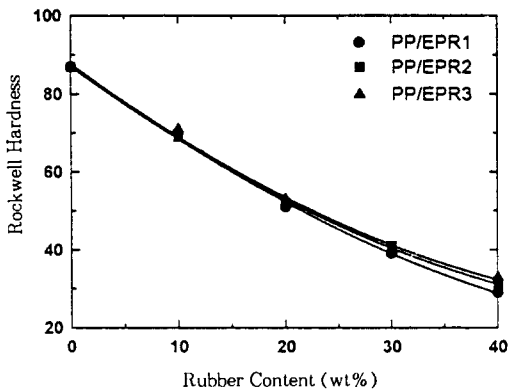


Figure 11. Rockwell hardness vs. rubber content for PP/rubber blends.

소성수지의 경우 충격강도는 고무의 종류, 입자크기, 농도 및 매트릭스-고무간 계면접착력, 입자간 거리에 의존한다.²⁷⁻²⁹ PP/EPR 블렌드의 경우 일반적으로 입자크기가 작을수록 충격강도는 증가하며, 최적 입자크기는 0.3~0.5 μm 로 알려져 있다. 그러나, 분자량이 높고 분자량분포가 넓은 EPR2, EPR3 블렌드가 입자는 크지만 오히려 -30 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 충격강도가 우수하였다. Fig. 11은 고무함량에 따른 블렌드의 록웰 경도를 나타내었다. 고무첨가에 따라 경도는 거의 선형적으로 감소하였으나, 고무의 점도효과는 관찰되지 않았다.

금형수축율. Fig. 12는 EPR 함량에 따른 블렌드의 금형수축율을 나타내었다. PP의 금형수축율은 $16 \times 10^{-3} \text{ cm/cm}$ 이었다. 고무 10 wt% 첨가시에는 수축율이 동일하거나 약간 증가하는 거동을 보였으나, 20 wt% 이상에서는 감소하는 거동을 나타내었다. 일반적으로 무정형고분자에 비하여 결정성고분자의 수축율이 더 크다. 이는 결정성고분자의 경우 T_m 이상에서 냉각시 비체적의 급격한 감소가 일어나기 때문이다.³⁰ 그러므로 고무함량이 증가함에 따라 블렌드내에서 PP의 결정영역이 상대적으로 감소하여 수축율이 감소하는 것으로 생각된다. 또한 금형수축율은 고무함량에 따른 효과뿐만 아니라 사용한 고무의 점도에 영향을 크게 받는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 사용한 고무의 점도가 낮을수록 고무첨가에 따른 금형수축율의 감소폭이 증가하였다. 이는 SEM사진에서 관찰한 모폴로지와 관련하여 설명할 수 있다. 즉, 분산상의 점도가 낮을수록 매트릭스인 PP와의

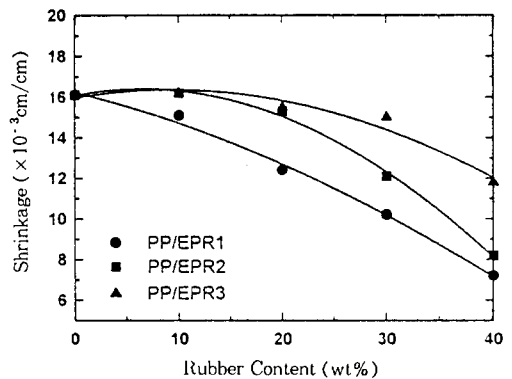


Figure 12. Mold shrinkage vs. rubber content for PP/rubber blends.

점도비가 감소하여 더 작은 입자로 break-up되고, 아울러 표면층에서 연신된 구조를 형성할수록 금형수축율이 감소한다고 생각할 수 있다. 범퍼커버는 자동차부품중에서도 대형부품으로 최근 형상이 더욱 복잡해지고 중량도 증가하고 있다. 설계 및 차체와의 장착성을 고려할 때 금형수축율이 낮을수록 유리하다고 할 수 있다. 그러므로 수축율면에서 본다면 같은 고무함량에서는 점도가 낮은 고무를 사용할수록 범퍼커버용 수지로서 적당하다고 볼 수 있다.

결 론

범퍼커버용 TPO 수지의 개발을 목적으로 점도가 다른 고무를 사용하여 PP/고무 블렌드를 제조하고 유변학적, 모폴로지 및 기계적 물성을 측정하였다. MI가 높은 저점도의 고무를 사용할수록 동일 고무함량에서 상대적으로 유동성이 우수한 블렌드를 제조할 수 있었다. 복합점도 대 조성거동에서는 선형성에서 약간의 양의 편차를 나타내었다. 10% 고무함량에서 EPR1 블렌드의 점도상승이 EPR2 및 EPR3 블렌드에 비하여 높은 이유는 고무입자의 크기 및 상호인력 효과로 설명하였다. 주사전자현미경으로 모폴로지를 관찰한 결과, 블렌드의 경우 점도가 낮은 고무를 사용할수록 입자크기는 감소하였으며, 사출시편의 중심부에서 표면층으로 갈수록 고무입자의 변형이 더 심하게 일어났다. 그러나, 점도가 높은 고무를 사용하여 블렌드를 제조하였을 경우는 입자가 클뿐만 아니라 표면층 부근에서도 변형이 거의 일어나지 않았다.

이는 동적흐름상태하에서 분산상 및 매트릭스의 η 및 N_1 으로 해석하였다. 고무함량에 따라 굴곡탄성율, 인장강도, 신율, 충격강도, 경도 등의 기계적 물성은 거의 결정되었고 고무의 점도효과는 뚜렷하게 관찰되지 않았으나, 금형수축율은 저점도의 고무를 사용할수록 고무함량 증가에 따른 수축율 감소효과가 더 크게 나타났다.

범퍼커비용 TPO 수지는 저온에서의 높은 내충격성을 요구한다. 충격강도를 높이기 위하여 고무함량을 높이면 다른 기계적 물성의 감소를 초래하며 재료비가 상승하므로 바람직하지 않다. $-30\text{ }^\circ\text{C}$ 에서는 BT 전이가 일어나는 고무함량은 20~30 wt%가 될 수도 있고 30~40 wt%가 될 수도 있다. 이러한 관점에서 원료수지의 선정에 있어서 가장 중요한 인자가 되는 것이 고무에 있다고 생각된다. 즉, 모폴로지 조절에 따른 물성향상과 더불어 충격보강효과가 우수한 고무를 사용함으로써 상업적으로 유용한 블렌드를 제조할 수 있겠다.

참 고 문 헌

1. J. Maxwell, "Plastics in the Automotive Industry", p. 106, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, 1994.
2. L. A. Utraki and M. M. Dumalin, "Polypropylene: Structure, Blends and Composites", ed. by J. Karger-Kocsis, vol. 2, p. 64, Chapman & Hall, London, 1995.
3. "Automotive Plastics Report 94", Market Search Inc., 1994.
4. T. Nishio, T. Nomura, T. Yokoi, H. Iwal, and N. Kawamura, SAE 920525, 121 (1992).
5. T. Nomura, T. Nishio, H. Sato, and H. Sano, *Kobunshi Ronbunshu*, **50**, 87 (1993).
6. D. Domingham, "Plastics for Engineers", p. 105, Hanser, Munich, 1993.
7. D. Hoppner and J. H. Wendorff, *Colloid Polym. Sci.*, **268**, 500 (1990).
8. K. C. Dao, *Polymer*, **25**, 1527 (1984).
9. N. K. Kalfoglou, *Angew. Macromol. Chem.*, **129**, 103, (1985).
10. L. D'Orazio, C. Mancarella, E. Martuscelli, and F. Polato, *Polymer*, **32**(7), 1186 (1991).
11. L. D'Orazio, C. Mancarella, E. Martuscelli, G. Sticotti, and P. Massari, *Polymer*, **34**(17), 3671 (1993).
12. K. J. Kim and B. K. Kim, *Eur. Polym. J.*, **28**, 1487 (1992).
13. B. K. Kim and K. J. Kim, *Adv. Polym. Technol.*, **12**, 263 (1993).
14. L. K. Yoon, C. H. Choi, and B. K. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, **56**, 239 (1995).
15. C. H. Choi, T. W. Yoo, J. H. Hong, M. H. Ro, and Y. S. Lim, *Polymer(Korea)*, **20**(3), 489 (1996).
16. K. Walters, "Rheometry: Industrial Application", p. 263, Research Studies Press, Chichester, 1980.
17. W.W. Grassley, "Physical Properties of Polymers", ed. by J. E. Mark, p. 136, ACS, Washington, 1984.
18. W. Minoshima, J. L. White, and J. E. Spruiell, *Polym. Eng. Sci.*, **20**(17), 1166 (1980).
19. G. H. Pearson and L. J. Garfield, *Polym. Eng. Sci.*, **18**(7), 583 (1978).
20. Hünstedt, *Polym. Eng. Sci.*, **21**(5), 259 (1981).
21. S. Wu, *Polym. Eng. Sci.*, **28**, 796 (1988).
22. L. A. Utraki, M. M. Dumoulin, and P. Toma, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 34 (1986).
23. B. D. Favis and J. P. Chalifoux, *Polym. Eng. Sci.*, **27**(20), 1591 (1987).
24. J. E. Curry, "Polymer Blends and Alloys", eds. by M.J. Folkes and P. S. Hope, Blackie Academic & Professional, London, 1993.
25. R. Ranalli, "Developments in Rubber Technology", eds. by A. Whelan and K. S. Lee, vol. 3, p. 31, Applied Science Publishers, London, 1985.
26. W. Y. Hsu and S. Wu, *Polym. Eng. Sci.*, **33**(5), 293 (1993).
27. J. Jancar, A. DiAnselmo, and A. T. DiBenedetto, *Polym. Commun.*, **32**(12), 369 (1991).
28. J. H. Kim, H. Keskkula, and D. R. Paul, *J. Appl. Polym. Sci.*, **35**, 1563 (1988).
29. S. Wu, *Polymer*, **26**, 1855 (1985).
30. A. W. Birley, B. Haworth, and J. Batchelor, "Physics of Plastics: Processing, Properties and Materials", p. 55, Hanser, New York, 1991.