



폴리프로필렌/에틸렌-옥텐 공중합체 블렌드의 기계적 성질 및 웰드라인 물성에 미치는 폴리프로필렌-옥텐 공중합체의 영향에 관한 연구

구효선 · 손영곤[†]

공주대학교 공과대학 신소재공학부

접수일(2011년 8월 19일), 수정일(1차: 2011년 8월 3일, 2차: 8월 16일), 게재확정일(2011년 9월 7일)

Effect of Poly(propylene-co-octene) as a Compatibilizer on Mechanical Properties and Weldline Characteristics of Polypropylene/Poly(ethylene-co-octene) Blends

Hyo Seon Koo and Younggon Son[†]

Advanced Materials Science and Engineering, College of Engineering,

Kongju National University, Cheonan, ChungNam 330-717

(Received August 19, 2011, Revised August 3, 2011, August 16, Accepted September 7, 2011)

요약 : 이 연구에서는 메탈로센 (metallocene) 촉매로 중합된 에틸렌-옥텐 공중합체를 충격보강제로 사용한 복합 폴리프로필렌 (PP)에 상용화제로 프로필렌-옥텐 공중합체의 영향에 관하여 조사하였다. 사용된 프로필렌-옥텐 공중합체는 실험실에서 메탈로센 촉매를 사용하여 중합하였다. 상용화제가 첨가되지 않은 복합 PP의 경우 웰드라인에서 기계적 물성이 매우 낮았는데 상용화제의 첨가에 따라 웰드라인의 기계적 강도가 현저히 증가하였다. 그러나 상용화제가 첨가된 복합 PP라도 웰드라인이 없는 시편에서는 물성개선이 크지 않은 것으로 관찰되었는데, 이는 제조된 상용화제의 분자량이 매우 낮기 때문이었다. 적절한 조건에서 분자량이 높은 프로필렌 옥텐 공중합체를 제조한다면 상용화제로서 효과가 클 것으로 기대할 수 있었다.

ABSTRACT : Effect of poly(propylene-co-octene) as a compatibilizer in toughened polypropylene/ poly(ethylene-co-octene) (EOC) was investigated. The EOCs used were metallocene catalyzed commercial linear low density polyethylene and they are elastomeric materials. The poly(propylene-co-octene) was synthesized by metallocene catalyst in our laboratory to be used as a compatibilizer in PP/EOC blends. PP/EOC blends without compatibilizer shows very low mechanical properties in specimens with weldlines while incorporation of a compatibilizer significantly increases the mechanical properties of specimens with weldlines. However, compatibilized PP/EOC blends does not show increased impact property in a weldline free specimen and it is attributed to low molecular weight of the poly(propylene-co-octene) synthesized in present study. It is expected that the poly(propylene-co-octene) having increased molecular weight provides very good performance as an effective compatibilizer in toughened polypropylene/EOC blends.

Keywords : polypropylene, poly(ethylene-co-octene), poly(propylene-co-octene), weldline

I. 서 론

폴리프로필렌 (polypropylene, PP)은 범용 고분자로서 내 화학성, 내 수분성, 강인성, 우수한 가공성 및 저 가격으로 인해 그 사용량이 꾸준히 증가하고 있다. PP는 다양한 응용 분야에서 사용되고 있지만 저온에서의 내 충격성이 충분하지 못한 이유 때문에 엔지니어링 플라스틱이 적용되는 분야까지 진출하기에는 한계가 있다. PP의 내 충격성은 고무상의 충격보강제 도입으로 인해 크게 개선될 수 있으며, 이에 관한 연구가

지속적으로 진행되어 오고 있다. 그간 연구된 고무 상 물질들은 에틸렌-프로필렌 공중합체 (poly(ethylene-co-propylene), EPR),¹⁻³ 에틸렌-프로필렌-디엔 고무 (ethylene-propylene-diene rubber, EPDM)^{4,5} 및 스티렌/에틸렌-부틸렌/스티렌 (SEBS)⁶⁻⁸ 등 여러 종류가 연구되었는데, 그 중 EPR 및 EPDM이 경제적 인 측면 및 물성적인 면에서 상업적으로 성공한 충격 보강제이다. 최근에는 메탈로센 촉매로 합성된 poly(ethylene-co-octene) (EOC)이 PP의 충격보강제로서 주목을 받고 있다.⁹⁻¹⁵ EOC는 저밀도 에틸렌 공중합체로서 공 단량체 (comonomer)로 옥텐을 사용하여 폴리에틸렌의 결정화를 낮추어 고무와 같은 성질을 부여할 수 있으나 전통적인 방법인 지글러-나타

[†] 대표저자 E-mail: sonyg@kongju.ac.kr

(Zigler-Natta) 촉매를 사용하여 합성한 경우 옥텐이 분자량이 낮은 중에 주로 공중합되어 원하는 정도의 특성을 얻을 수 없었다. 그러나 메탈로센 촉매기술이 발전하여 메탈로센 촉매로 EOC를 합성하는 경우 공 단량체가 분자량에 상관없이 모든 중에 골고루 분포되어 고무와 같은 특성을 가진 초 저밀도 LLDPE가 합성 가능하게 되었다. EOC는 EPR 보다는 충격 보강 성능이 높고 EPDM 보다는 경제적이기 때문에 EPR 및 EPDM을 대체하여 사용량이 늘어나고 있다.

PP/EOC와 같은 고분자 블렌드에서 두 상 간의 계면 장력이 블렌드의 상 구조 및 물성에 큰 영향을 미치는 것은 많은 연구에 의해서 확인되었다.¹⁶⁻¹⁷ 이러한 관점에서 보면 EOC로 보강된 내 충격 PP의 경우 EOC에서 차지하는 옥텐의 양이 두 상 간의 계면장력에 영향을 미칠 것이고 결국 내 충격 PP의 물성에 영향을 미칠 것을 쉽게 예상할 수 있다. 우리 그룹에서는 최근에 다양한 옥텐 함량을 가지는 EOC를 이용하여 충격보강 PP를 제조하였고 옥텐 함량이 복합 PP의 물성에 미치는 영향을 관찰하였다.¹⁸ 그 결과 EOC에서 차지하는 옥텐의 양이 많을수록 EOC와 PP의 계면장력은 감소하였고 복합 PP의 충격강도는 증가하는 것을 관찰하였다.

충격 보강 복합 PP의 경우 대부분 사출성형에 의해서 최종 제품이 가공된다. 그리고 사출 성형품에는 대부분 웰드라인(weldline)이라고 불리는 불량이 존재하고 균일 고분자에 비해 고분자 블렌드는 웰드라인에서의 강도 저하가 심하다고 보고되어 있다.¹⁹ EOC의 투입에 따라 복합 PP의 내 충격성은 크게 증가하는 것으로 보고되었으나, EOC로 충격 성능을 보강한 PP의 웰드라인의 특성에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

이 연구에서는 옥텐의 함량이 4~13 mol %인 메탈로센 중합 poly(ethylene-co-octene)를 사용하여 충격보강 복합 PP를 제조하였고, 이렇게 제조한 복합 PP의 웰드라인 특성을 관찰하였다. 또한 웰드라인에서의 물성 감소를 보완하고자 메탈로센 중합 poly(propylene-co-octene) (PP-octene)을 합성하여 EOC/PP에 첨가하여 상용화제로서의 역할을 관찰하였다.

II. 실험

1. 재 료

실험에 사용된 폴리프로필렌 (PP)은 대한유화 제품을 사용하였고, 고무 상으로 사용된 poly(ethylene-co-octene) (EOC)은 메탈로센 촉매로 합성된 4개 제품을 Dow Chemical Co.에서 구입하여 사용하였다. 약어에서 EOC뒤에 표시한 숫자는 EOC에서 차지하는 octene의 mol %를 나타낸다. 또한 PP과 EOC의 상용화제로 poly(propylene-co-octene)을 사용하였는데, 프로필렌과 1-octene을 1:1의 무게 비로 투입하여 메탈로센 촉매로 합성하여 사용하였다. 사용한 재료들의 특성을 표 1에 나타내었다.

2. 복합 PP의 제조

PP에 충격 보강제로서 종류가 다른 EOC를 10 wt. % 또는 20 wt. % 혼합한 복합 PP를 제조하였다. 또한 상용화제로서 PP-octene 공중합체를 사용한 복합 PP도 제조하였다. 복합 PP의 성분은 약어의 뒤에 있는 숫자로 나타냈다. 즉 PP/EOC12/PP-octene(85/10/5)는 PP 85 wt.%, octene의 양이 12 mole %인 EOC 10 wt. % 와 PP-octene 5 wt.%를 혼합한 복합 PP를 의미한다. 복합 PP 제조 시 산화방지제 1500 ppm (Irganox1010: Igarfos168 = 2:1)을 첨가하였다. 각각의 재료의 혼련은 본 실험실에서 자체 제작한 micro compounder를 사용하였고, 온도는 200 °C로 고정하고, mixing cycle 횟수는 50회로 하였다. 사용된 micro compounder는 혼련이 끝난 후 시료를 바로 채취하지 않고 고압으로 사출하여 인장 시편과 충격강도 시편을 제작할 수 있는데 compounder의 자세한 사양은 참고 문헌에서 찾을 수 있다.²⁰ 인장 테스트시편의 경우 웰드라인이 있는 것과 없는 시편을 각각 제작하였다.

3. 특성 분석

합성된 PP-octene의 특성을 조사하기 위하여 시차주사 열량계 (DSC)를 이용하여 열 분석을 하였다. 먼저 시료의 온도를

Table 1. Characteristics of Polymers Used in This Study

Polymer	Abbreviation	Manufacturer	Trade name	Melt Flow Index (g/10 min)
polypropylene	PP	Korean Petrochemicals	CB5230	30
poly(ethylene-co-octene)	EOC4	Dow Chemicals	EG8480	1.0
	EOC7		EG8003	1.0
	EOC10		EG8100	1.0
	EOC13		EG8842	1.0
poly(propylene-co-octene)	PP-octene	Synthesized	-	> 200

200 °C 까지 최대 속도로 승온시킨 후 3 분 동안 등은 유지시켰다. 그리고 상온까지 분당 -20 °C의 속도로 냉각시켜 cooling thermogram을 얻었다. 사용된 DSC 장비는 TA사의 모델명 DSC Q1000이었다.

인장 시험은 만능시험기(model Hounsfield H25KS)를 사용하였다. 인장 속도 50 mm/min로 상온에서 5 kN의 load cell을 이용하여 측정하였고 인장 시편의 규격은 ASTM D412이다. 충격강도는 -20 °C에서 측정하였다. 웰드라인의 충격 강도는 인장강도 시편을 이용하여 웰드라인 시편 제작 후 웰드라인이 있는 가운데 부분만 취하여 웰드라인 부분이 위쪽으로 오도록 하여 -10 °C에서 측정하였고 5 회 측정하여 평균을 구하였다.

PP와 PP/PP-octene 혼합물의 전단 점도를 캐필러리 점도계를 사용하여 190 °C에서 측정하였다. 사용된 다이는 길이 20.2 mm 직경 1.0 mm 이고 캐필러리 점도계에 대한 자세한 사양은 참고 문헌에서 찾을 수 있다.²¹

III. 결과 및 고찰

그림 1에 이 연구에서 쓰인 PP, 상용화제로 사용된 메탈로센 촉매 중합 poly(propylene-co-octene) PP에 PP-octene을 5.9 wt. % 혼합한 두 혼합물의 DSC 곡선을 나타냈다.

폴리프로필렌의 결정화 피크 온도 (T_c)는 132.5 °C 정도로 관찰되었는데, 옥텐을 공 단량체로 합성한 PP-octene 공중합체의 T_c 는 84.6 °C로 순수한 PP에 비해 48 °C 정도 낮아졌다. 또한 결정화 시 방출하는 에너지도 순수한 PP에 비해 현저히 낮아진 것을 볼 수 있는데 이는 프로필렌과 옥텐의 공중합이 잘 이루어져 순수한 프로필렌만 존재하는 PP보다 옥텐의 존재가 결정화를 방해하여 나타난 결과이다. 따라서 의도한 대로 PP-octene 공중합체가 잘 합성되었음을 확인할 수 있었다. 또한 이렇게 합성한 PP-octene 공중합체를 PP에 소량 혼합하여 그 혼합물의 T_c 를 측정한 결과 PP 만 존재하는 경우에 비해 현저히 T_c 낮아진 것을 확인할 수 있는데 이는 제조된 PP-octene이 PP와 상용성이 있기 때문이다. PP와 PP-octene의 블렌드 방법에 따라서 T_c 에 차이가 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 용액 블렌드 방법으로 혼합한 경우가 훨씬 더 균일한 상 구조를 보이기 때문이다. 용융 상태에서 혼합한 경우에는 PP와 PP/PP-octene 블렌드의 T_c 차이가 1 °C정도로 작은 것으로 관찰되었는데 이는 PP와 PP-octene이 기본적으로는 상 분리된 구조를 보이는 것을 의미한다. 그러나 용액 블렌드한 PP/PP-octene 블렌드의 T_c 는 PP의 T_c 보다 현저히 낮아졌고 또한 두 경우 모두 PP-octene의 결정화 피크가 보이지 않는 것을 보아 PP-octene과 PP사이의 친화성이 꽤 높음을 알 수 있고 이로서 합성된 PP-octene이 PP의 상용화제로서 사용될 수 있음을 알 수 있다.

이 연구에서 합성된 PP-octene의 기본 특성인 octene의 몰비에 대한 정보가 중요한데 이는 PP 및 PP-octene의 용융 온도

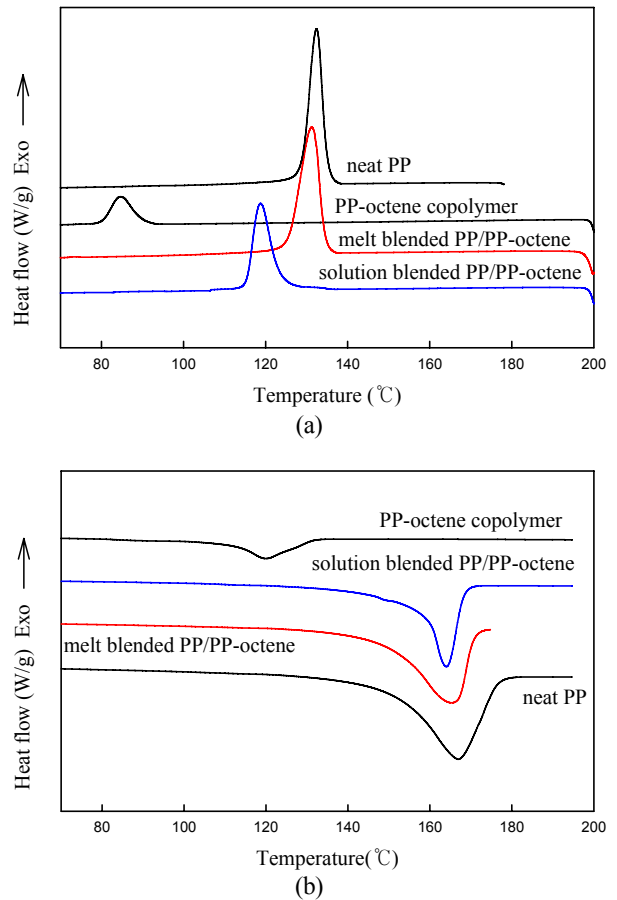


Figure 1. DSC curves. Heating and Cooling rate = -20 °C/min. (a) cooling curve (b) heating curve.

로부터 유추할 수 있다. Thomann 등²²은 다양한 몰 비를 가지는 PP-octene을 합성하고 합성한 공중합체의 용융온도를 측정하여 다음에 나타낸 Flory식이 그들의 데이터를 잘 fitting 함을 관찰하였는데 그들이 제시한 데이터로부터 본 연구에서 합성한 PP-octene에서 차지하는 octene의 몰 비는 약 28 % (무게 비 49 %) 임을 알 수 있는데 이는 투입한 옥텐이 거의 다 반응에 참여한 것임을 의미한다. PP-octene에서 차지하는 옥텐의 몰 비가 증가함에 따라 PP와 PP-octene의 상용성은 떨어지므로 PP와 PP-octene의 상용성을 증가시키기 위해서는 octene의 양을 더욱 낮춘 PP-octene을 제조하면 더 우수한 상용화제를 제조할 수 있을 것으로 기대된다.

$$\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_m^o} = -\frac{R}{\Delta H_m^o} \ln X_B \quad (1)$$

여기서 T_m : melting point of copolymer, T_m^o : melting point of homopolymer, R : gas constant, ΔH_m^o : Heat of fusion per mole, X_B : mole fraction

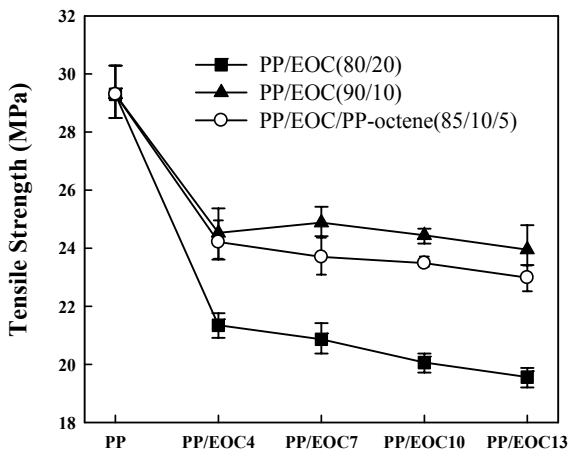


Figure 2. Tensile strength of toughened PP. Four different EOCs with various amounts of octenes were used as a impact modifier of PP.

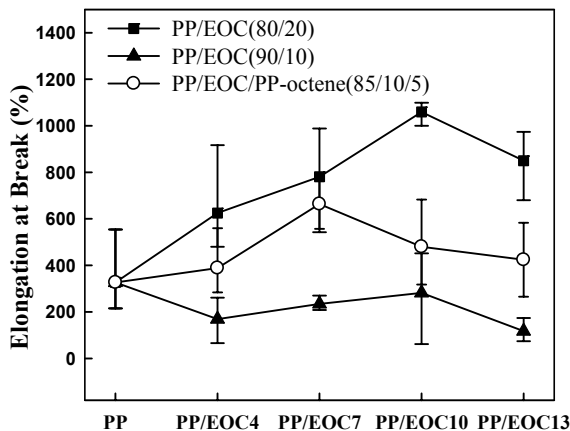


Figure 3. Elongation-at-break of toughened PP. Four different EOCs with various amounts of octenes were used as a impact modifier of PP.

또한 PP/PP-octene 블렌드의 용융온도는 PP의 용융온도와 거의 차이가 없음을 볼 수 있는데 이는 결정상에서 PP와 PP-octene이 완전히 상 분리된 구조를 보이는 것을 의미한다.

그림 2와 3에 이 연구에서 제조한 충격 보강 PP의 인장 실험 결과를 나타냈다. 순수한 PP에 비해서 충격보강제로 poly(ethylene-co-octene) (EOC)를 투입하였을 경우 파단 신율은 증가하였고, 인장 강도는 감소하였음을 볼 수 있다. 비교적 강직 (stiff)한 PP에 충격보강제를 첨가하여 얻은 당연한 결과라고 할 수 있다. 충격보강제로 사용된 EOC에서 차지하는 옥텐의 양에 따라서 복합 PP의 기계적 특성이 달라지는 것을 볼 수 있는데 옥텐의 양이 많을수록 파단 신율은 증가하고 인장강도는 약간 떨어지는 것으로 관찰되었다.

EOC에서 옥텐이 많아질수록 EOC의 밀도는 감소하고 더

말랑 말랑해져 충격보강제로서의 특성이 좋아진다. 또한 이전의 연구에 의하면 옥텐의 양이 높을수록 PP와의 친화력이 증가하는 것으로 관찰되었다.¹⁸ 이러한 이유들로 인해 EOC에서 옥텐이 많아질수록 복합 PP의 충격강도가 높아지는 것으로 설명할 수 있다. 또한 EOC의 양이 10 wt.%에서 20 wt.%로 증가하면 파단 신율은 증가하고 강도는 감소하는 걸 볼 수 있는데 충격보강제의 증가에 따른 취성 증가 및 강도 감소의 당연한 결과라 할 수 있다.

EOC의 양을 10 wt.% 투입하고 메탈로센 중합PP-octene 공중합체를 5 wt.% 투입한 경우, 웰드라인이 없는 부분의 파단 신율 및 강도는 EOC를 10 wt.% 함유한 복합 PP와 EOC를 20 wt.% 함유한 복합 PP의 중간 정도로 관찰되었다. PP-octene도 이 연구에서 충격보강제로 쓰인 EOC처럼 메탈로센 촉매로 중합되었고 EOC와 다른 점은 에틸렌이 프로필렌으로 바뀐 점이다. 따라서 PP-octene도 고무와 같은 거동을 보일 것으로 생각된다. PP-octene이 PP와 EOC의 상용화제로서 역할을 못 하더라도 고무와 같은 특성에 의해서 파단 신율을 높일 수 있다.

그림 4에 충격 보강 PP의 충격 강도 실험 결과를 나타냈다. 파단 신율 실험 결과와는 달리 상용화제로 PP-octene을 사용한 복합 PP의 충격 강도가 상용화제를 사용하지 않은 복합 PP에 비해 오히려 낮은 것을 볼 수 있다. 파단 신율 및 충격 강도 결과만 보면 PP-octene이 상용화제로서의 효과가 없다고 생각할 수 있다.

그림 5와 6에 웰드라인 영역의 파단신율 및 충격강도 결과를 나타냈다. 일반적으로 사출성형 방법으로 가공된 제품에는 거의 예외 없이 웰드라인이 발생하는데 다른 부위에 비해서 웰드라인 영역의 물성은 현저히 낮고 복합 PP와 같이 서로 다른 종류의 고분자를 혼합한 블렌드의 경우에는 그 물성 저하가 더 크다고 알려져 있다. 이를 보강해주기 위해서 상용화제를 사용하는데 이 경우 상용화제의 효과는 웰드라인 영역에

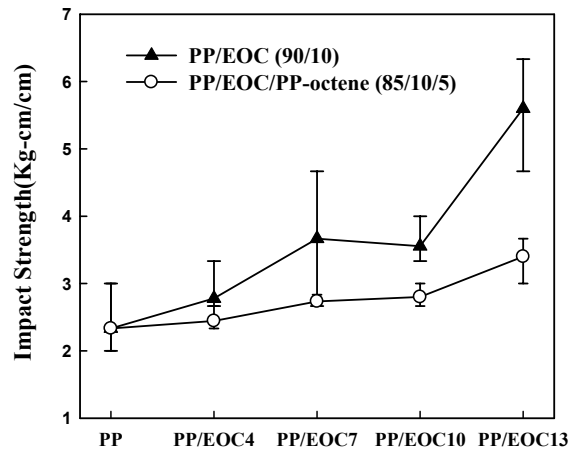


Figure 4. Izod impact strength of toughened PP without weldlines at -20°C.

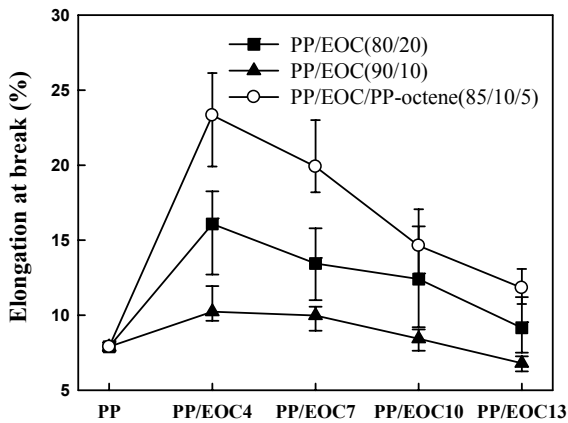


Figure 5. Elongation at break of specimens with weldlines.

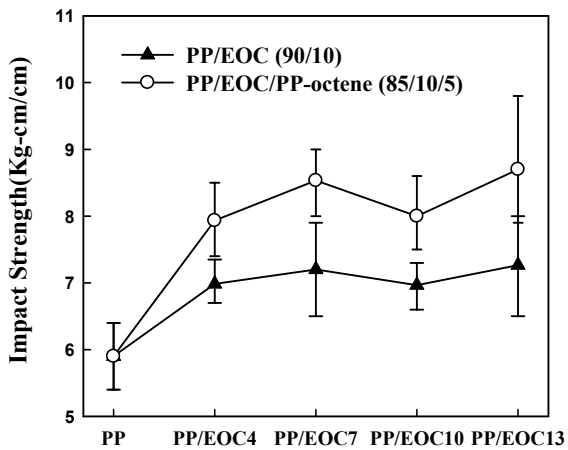


Figure 6. Izod impact strength of specimen with weldlines at -10°C.

서 뚜렷하다고 알려져 있다.¹⁹ 웰드라인이 없는 영역에서와 달리 웰드라인 영역의 파단 신율 및 충격강도는 상용화제로 쓰인 PP-octene의 도입에 의해 크게 개선된 것을 볼 수 있다. 파단 신율의 경우는 고무상의 양이 10%에 상용화제를 도입한 경우가, 고무상의 양이 20%이고 상용화제가 없는 경우보다 더 높은 것을 볼 수 있다. 또한 웰드라인이 없는 영역에서는 상용화제가 투입된 경우가 충격강도가 더 낮았던 반면 웰드라인 영역에서는 상용화제의 도입으로 웰드라인의 충격강도가 크게 개선된 것을 볼 수 있다. 이로서 이 연구에서 제조한 PP-octene 공중합체가 PP/EOC계, 특히 웰드라인 영역에서 상용화제로서의 효과가 있음을 확인할 수 있다.

그런데 웰드라인이 없는 시편에서는 상용화제의 효과가 없는 것으로 관찰되었는데 그 이유는 다음과 같은 것으로 추정된다. 이 연구에서 쓰인 PP-octene 공중합체는 합성할 때 프로필렌과 옥텐을 1:1의 비율로 투입하여 제조한 것이다. 그 외에도 프로필렌/옥텐의 비를 1/2, 1/3으로 두 조합을 더 제조

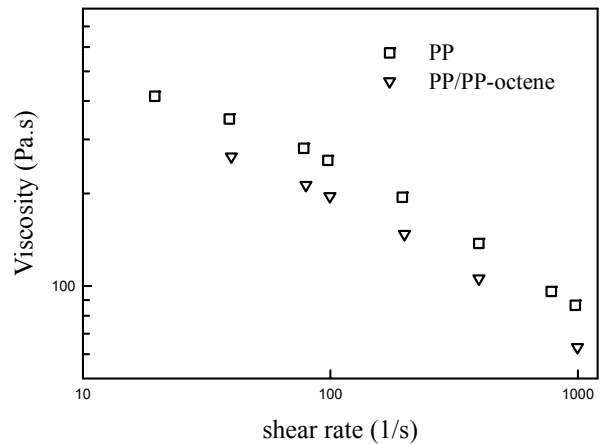


Figure 7. Viscosity of neat PP and PP/PP-octene copolymer mixture.

하였는데 제조한 공중합체는 상온에서 왁스와 같은 형태로 분자량이 매우 낮아서 사용할 수가 없었다. 1:1로 제조한 경우는 파우더 형태로 고분자라 할 정도의 분자량은 되었으나 일반 캐필러리 점도계로는 점도를 측정할 수도 없을 정도로 점도가 매우 낮았다.

그림 7에 순수한 PP와 PP에 제조한 PP-octene을 5.9 wt.% 혼합한 혼합물의 점도를 나타냈다. 5.9%는 PP/PP-octene/EOC 85:5:10 블렌드에서 PP와 PP-octene의 비와 동일한 비율이다. 소량의 PP-octene 혼합에 의해서 PP의 점도가 현저히 떨어진 것을 볼 수 있다. 이것은 제조한 PP-octene의 분자량이 매우 낮기 때문이고 이 때문에 복합 PP의 물성에는 부정적인 영향을 미쳤을 것으로 짐작할 수 있다. 그럼에도 불구하고 웰드라인에서의 상용화제의 효과는 있는 것으로 보아 적절한 중합 조건에서 분자량이 어느 정도 되는 PP-octene을 제조한다면 차후 훨씬 물성이 개선된 복합 PP를 제조할 수 있을 것으로 예상된다.

III. 결 론

메탈로센 촉매로 중합한 poly(propylene-co-octene)이 충격 강화 PP/EOC 블렌드에 효과적인 상용화제로 사용될 수 있음을 확인하였다. 상용화제의 분자량이 낮은 경우 웰드라인이 있는 시료에서 상용화제의 효과가 매우 높았고, 웰드라인이 없는 경우에는 그 효과가 미미하였다. 이로서 상용화제의 제조 시 분자량의 효과가 매우 큼을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역 거점 연구단 육성사업/에너지자립형 그린 빌리지 핵심기술사업단)

참 고 문 헌

1. F. Mighri, M.A. Huneault, A. Ajjji, G. H. Ko, and F. Watanabe, "Rheology of EPR/PP blends", *J. Appl. Polym. Sci.*, **82**, 2113 (2001).
2. M. Yazdani-Pedram, R. Quijada, and M. A. Lopez-Manchado, "Use of Monomethyl Itaconate Grafted Poly(propylene)(PP) and Ethylene Propylene Rubber (EPR) as Compatibilizers for PP/EPR Blends", *Macromol. Mat. Eng.*, **88**, 875 (2003).
3. D. Yang, B. Zhang, Y. Yang, Z. Fang, G. Sun, and Z. Feng, "Morphology and properties of blends of polypropylene with ethylene-propylene rubber", *Polym. Eng. Sci.*, **24**, 612 (1984).
4. M. Arroyo, R. Zitzumbo, and F. Avalos, "Composites based on PP/EPDM blends and aramid short fibres. Morphology/behaviour relationship", *Polymer*, **41**, 6351 (2000).
5. M. Oksuz and M. Erolu, "Effect of the Elastomer Type on the Microstructure and Mechanical Properties of Polypropylene", *J. Appl. Polym. Sci.*, **98**, 1445 (2005).
6. A. K. Gupta and S. N. Purwar, "Crystallization of PP in PP/SEBS blends and its correlation with tensile properties", *J. Appl. Polym. Sci.*, **29**, 1595 (1984).
7. A. K. Gupta and S. N. Purwar, "Studies on binary and ternary blends of polypropylene with SEBS, PS, and HDPE. I. Melt rheological behavior", *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 1799 (1985).
8. A. Bassani and L. A. Pessan, "Toughening of polypropylene with styrene/ethylene-butylene/styrene tri-block copolymer: Effects of reactive and nonreactive compatibilization", *J. Appl. Polym. Sci.*, **86**, 3466 (2002).
9. S. Paul and D. D. Kale, "Impact modification of polypropylene copolymer with a polyolefinic elastomer", *J. Appl. Polym. Sci.*, **76**, 1480 (2000).
10. V. Choudhary, H. S. Varma, and I. K. Varma, "Polyolefin blends: effect of EPDM rubber on crystallization, morphology and mechanical properties of polypropylene/EPDM blends. 1", *Polymer*, **32**, 2534 (1991).
11. A. N. L. Da Silva, M. C. G. Rocha, L. Lopes, B. S. Chagas, and F. M. B. Coutinho, "Rheological and Thermal Properties of Binary Blends of Polypropylene and Poly(ethylene-co-1-octene)", *J. Appl. Polym. Sci.*, **79**, 1634 (2001).
12. N. Kukaleva, F. Cser, M. C. Jollands, and E. Kosior, "Comparison of Structure and Properties of Conventional and "High-Crystallinity" Isotactic Polypropylenes and Their Blends with Metallocene-Catalyzed Linear Low-Density Polyethylene. I. Relationships between Rheological Behavior and Thermal and Physical Properties", *J. Appl. Polym. Sci.*, **77**, 1591 (2000).
13. A. L. M. Da Silva, M. C. G. Rocha, F. M. B. Coutinho, R. E. S. Bretas, and M. Farah, "Mechanical and rheological properties of composites based on polyolefin and mineral additives", *Polymer Testing*, **21**, 647 (2002).
14. M. A. L. Manchado, M. Valle, R. Sapunar, and R. Quijada, "Behavior of Poly(ethylene-co-olefin) Polymers as Elastomeric Materials", *J. Appl. Polym. Sci.*, **92**, 3008 (2004).
15. T. MacNally, P. McShane, G. M. Nally, W. R. Murphy, M. Cook, and A. Miller, "Rheology, phase morphology, mechanical, impact and thermal properties of polypropylene/metallocene catalysed ethylene 1-octene copolymer blends", *Polymer*, **43**, 3785 (2002).
16. D. R. Paul and S. Newman, "Polymer Blends; Vols. I and II", Academic Press, New York, (1978).
17. S. Wu, "Chain structure, phase morphology, and toughness relationships in polymers and blends", *Polym Eng Sci*, **30**, 753 (1990).
18. H. Lee, D. H. Kim, and Y. Son, "Effect of octene content in poly(ethylene-co-1-octene) on the properties of poly(propylene)/poly(ethylene-co-1-octene) blends", *J. Appl. Polym. Sci.*, **103**, 1133 (2007).
19. S. Fellahi, A. Meddad, B. Fisa, and B. D. Favis, "Weldlines in injection-molded parts: A review", *Adv. Polym. Tech.*, **14**, 169 (1995).
20. Y. Son, "Development of a novel microcompounder for polymer blends and nanocomposite", *J. Appl. Polym. Sci.*, **112**, 609 (2009).
21. H. Lee, D. H. Kim, and Y. Son, "Anomalous rheological behavior of polyethylene melts in the gross melt fracture regime in the capillary extrusion", *Polymer*, **47**, 3929 (2006).
22. R. Thomann, J. Kressler, and R. Mulhaupt, "Crystallization of syndiotactic poly(propylene-co-octene)", *Polymer*, **39**, 1907 (1998).