

폴리프로필렌/폴리카보네이트 블렌드의 유변학적 성질에 관한 연구

정현욱 · 이재식* · 김우년 · 현재천

고려대학교 화학공학과, *삼양중앙연구소
(1996년 5월 28일 접수)

A Study on Rheological Properties of Polypropylene/Polycarbonate Blends

Hyun Wook Jung, Jae Sik Lee*, Woo Nyun Kim and Jae Chun Hyun

Department of Chemical Engineering, Korea University, Anam-Dong, Seoul 136-701, Korea
*Samyang Group R&D Center, 63-2 Hwaam-Dong, Yusung-Gu, Taejeon 305-348, Korea
(Received May 28, 1996)

요 약

폴리프로필렌(PP)/폴리카보네이트(PC) 블렌드의 유변학적 고찰을 통해 블렌드의 수축현상과 분산상의 변형의 연관성을 연구했다. 블렌드의 수축현상은 압출과정에서 변형됐던 분산상이 고온에서 다시 원래의 무변형 상태로 복귀하면서 나타나는 탄성변형의 풀림으로 추정되고 압출팽윤의 데이터와도 부합된다. 압출온도를 최대한 낮게 해서(250°C) 제조한 블렌드의 경우가 최대한 높게 한 경우(290°C)보다 수축이 더 큰 사실을 설명하기 위하여 순수 PC와 PP의 전단점도비와 신장점도비를 측정 비교한 결과, 두 값이 공히 높은 온도의 경우가 오히려 작게 되어 점성에 의한 분산상의 전단변형이나 신장변형이 수축의 원인이 아니라는 것을 알았다. 한편, 법선응력과 전단응력의 데이터로부터 얻은 물질풀림시간의 비는 낮은 온도의 경우가 작아서 수축현상이 분산상의 탄성에 의한 변형이라는 것을 확인했다.

Abstract—The relationship between the shrinkage phenomenon of polypropylene(PP)/polycarbonate(PC) blends and the deformation of the dispersed phase has been investigated using rheological means. It is believed that this shrinkage is attributed to the relaxation of the elastic deformation of the dispersed phase in the blends which has been made earlier during the extrusion process, and this is well corroborated by the extrudate swell data. In order to explain the fact that the blends produced at the lowest possible temperature(250°C) shrink more than those at the highest possible temperature(290°C), the shear viscosity ratio and the extensional viscosity ratio of pure PC and PP have been measured and compared. The results demonstrate, however, that the viscous shear and extension deformations of the dispersed phase are not responsible for the blends shrinkage, since both the ratios exhibit lower values for the high temperature case. On the other hand, the ratio of the relaxation times of PC and PP which have been obtained from the normal stress and shear stress data, gives smaller values for the lower temperature case. This confirms that the shrinkage of the blends occurs when the elastic deformation of the dispersed phase relaxes.

Keywords: Dispersed phase deformation, elasticity ratio, extensional viscosity ratio, PP/PC blends, relaxation time ratio, shear viscosity ratio, shrinkage.

1. 서 론

폴리프로필렌(PP)은 값이 싸고, 성형성, 저흡수성, 내화학성, 내용매성, 전기절연성 등이 좋아서 전선피복, 가전제품의 골격, 포장재 등으로 많이 사용되고 있다. 하지만 인장강도, 충격강도, 열안정성 등이 나빠서 그 사용이 제한되는 경우가 있다. 이러한 PP의 품질을 개선하고자 다른 엔지니어링 고분자와의 블렌드가 이용되고 있고 이들에 대한 연구가 많이 수행돼 왔다(1,2). 그 한 예로 인장강도, 충격강도, 열안정성이 우수한 PC를 PP 연속상내에 분산시켜서 PP의 물성을 향상시킨 블렌드를 들 수 있다(3). 일반적으로 엔지니어링 고분자와의 블렌드의 물성은 분산상의 변형이 많이 될수록 좋아진다고 알려져 있고(4,5), 이러한 분산상의 변형을 지금까지는 전단점도비와 전단응력을 이용해서 설명하려 하였다(6).

전단점도비는 분산상으로 존재하는 고분자의 전단점도를 연속상으로 존재하는 고분자의 전단점도로 나눈 비로서, 전단유동장에서 블렌드가 응력을 받을 때, 분산상과 연속상의 전단변형속도의 상대적 크기를 결정하는 인자가 된다. 즉, 분산상의 점도가 작을수록(점도비가 작을수록) 분산상의 변형이 잘 되고 이러한 점을 증명하는 실험결과가 발표된 바 있다(7,8). PP/PC 블렌드의 경우에 대해서도 비슷한 연구가 있다(9). 하지만 블렌드 제조시 전단유동 뿐만 아니라 신장유동도 일어나고 따라서 분산상의 변형과 크기는 전단점도비나 전단응력과 같은 전단유동특성에 따라 좌우되는 전단변형과 신장점도비와 신장응력과 같은 신장유동특성에 좌우되는 신장변형으로 이루어져 있어, 이러한 신장유동특성에 대한 중요성은 이미 문헌에서 언급된 바 있으나(10,11), 아직까지 분산상의 변형에 대해서 신장유동특성을 중심으로 수행한 연구는 별로 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 PP/PC 블렌드의 전단유동특성과 신

장유동특성을 공히 고찰하고, 특히 전단점도비, 신장점도비, 탄성비(물질풀림시간의 비)를 측정하여 압출해서 얻은 시편이 고온에서 수축하는 현상을 설명하고자 한다. 비슷한 수축현상을 나타내는 PP/LDPE 블렌드를 보고한 결과(12)에서 연구자들은 이러한 수축현상이 용융탄성, 계면장력 등과 관련있으리라고 추정했다. 본 연구에서는 PP/PC 블렌드의 경우 이러한 상관성을 좀 더 확실히 하고자 압출팽윤(extrudate swell)을 측정했고, 압출제조온도를 달리 해서 얻은 블렌드에 대해서 전단유동과 신장유동특성을 고찰하고 수축현상과의 연관성을 규명하고자 한다.

2. 실험

2.1. 블렌드의 제조

Table 1에 설명된 고분자 PP와 PC를 무게비로 혼합하여 24시간 90°C에서 진공건조시킨 후 압출기로 250°C와 290°C에서 봉상의 형태로 여러가지 조성의 블렌드 시편을 제조했다(screw 회전속도=30 rpm, die 직경=2 mm, die 길이=40 mm, 겉보기 벽면전단변형률속도=164 sec⁻¹).

2.2. 전단실험과 신장실험

모세관 점도기를 사용해서 전단유동장에서의 거동을 설명하는 전단점도를 측정했다. 또한, Rheometrics사의 RMS-800을 사용하여 cone-and-plate 모드로 rate-sweep test를 행하여 법선응력, 전단응력과 전단점도를 측정했다. 신장유동장에서의 거동을 살펴보기 위해서 압출기로 제조한 시편을 본 연구실에서 제작한 Meissner type의 신장점도기를 사용해서 블렌드의 신장점도를 180°C, 신장변형률속도 0.02~4.93 sec⁻¹의 구간에서 측정했다(블렌드의 경우 시편의 수축현상이 발생하지 않는 180°C 이하에서만 측정이 가능하고, 순수한 PP나 PC의 경우는 수축이 안 생기므로 높은 온도에

Table 1. Physical properties of PP and PC used in this study

	M.I.(g/10 min)	ρ^a (g/cm ³)	Mn	Mw	MWD	T _g ^b (°C)	T _m ^b (°C)	Maker
PP	3.2	0.903	101,000	458,000	4.53	0	165	LG-Caltex Co.
PC	6.0	1.20	16,100	24,970	1.55	151.2	-	Samyang Co.

a : measured in our laboratory by specific gravity chain balance

b : measured in our laboratory by DSC

서도 가능했음).

2.3. 수축(shrinkage)실험

위에서 제조한 시편을 가지고 신장점도를 측정하는 과정에서 발견한 PP/PC 블렌드의 수축현상의 데이터를 얻기 위하여 길이 20 cm의 압출된 시편들을 온도 160°C~290°C의 항온조에서 5분간 담귀 수축의 정도를 측정했다.

2.4. 압출팽윤(extrudate swell)실험

수축과 관련이 있을 것으로 추측되는 압출팽윤을 모세관 점도기의 출구에서의 굽기측정과 압출기에서 절단된 시편의 굽기측정의 두가지 방법으로 측정했다. 즉 전자 방법은 die 출구에서 0.5 cm 되는 위치에서 빛을 조사하여 직경을 재는 것이고, 후자는 문헌의 방법[13]과 같이 압출기 출구로부터의 시편 길이가 10 cm 되었을 때, 이를 자르고, 자른 부위에서 9 cm 떨어진 부분의 직경을 측정하는 것이다.

2.5. 주사전자현미경(SEM)사진

제조온도가 다른 시편들의 수축 전과 후의 블렌드내의 분산상의 형구학적(morphological) 변화를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(scanning electron microscope)을 사용하여 액체 질소속에서 파단시키고 금으로 코팅한 시편의 파단면 사진을 찍었다.

3. 실험결과와 토론

3.1. 전단실험결과

Fig. 1에 나타나 있듯이 PP/PC의 모든 블렌드의 전단점도가 전단변형률속도에 따라서 감소하는 전단담화(剪斷淡化: shear thinning)를 보여주고 있고, PC보다 PP의 거동을 따르고 있으며 이러한 경향은 온도가 낮은 250°C의 경우가 290°C의 경우보다 더 뚜렷했다. Fig. 2는 순수한 PP와 PC의 전단점도를 다시 그린 것으로 PC는 온도에 민감한 반면 PP는 온도에 따라 별로 변화하지 않는다. 이렇게 온도의존도가 크게 다른 점도로 인하여 PP/PC 블렌드 제조시 공정조건인 압출온도를 바꾸면 고분자의 변형의 정도가 크게 다르게 될 수 있음을 뒤에서 다시 설명하기로 한다. Fig. 3은 순수한 PP, PC와 PP/PC(80/20) 블렌드의 법선응력과 전단응

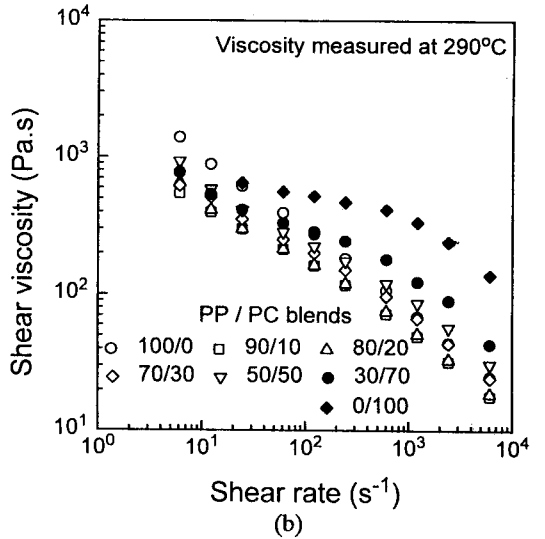
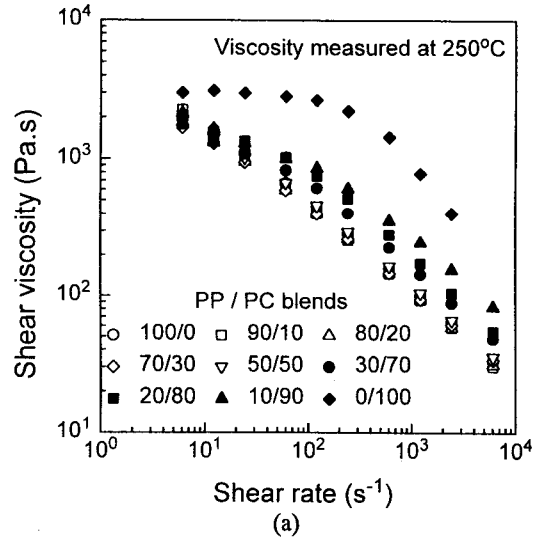


Fig. 1. Shear viscosity data of PP/PC blends measured at (a) 250°C and (b) 290°C.

력의 데이터를 보여주고 있고 이들을 이용해서 얻은 물질폴립시간의 결과는 뒤에서 설명한다.

3.2. 신장실험결과

블렌드의 신장점도는 시편의 수축이 일어나지 않는 180°C에서 측정했고, 순수한 PP와 PC는 수축이 일어나지 않기 때문에 이러한 제한이 없으므로 블렌드 제조온도인 250°C와 290°C에서 측정했다. 이렇게 얻은 신장점도 데이터의 일부가 일정한 신장변형률속도에서 시간에 따

라 변하는 신장점도성장곡선(extensional viscosity growth curve)으로 Fig. 4에 표시돼 있다.

일반적으로 시편의 양이 한정돼 있는 본 신장점도기에서의 측정신장유동을 장시간 지속할 수 없기 때문에 신장점도의 값이 정상상태(steady state)에 도달하기가 어렵고 따라서 Fig. 4의 신장점도성장곡선에서 신장점도의 최대점을 찾아 신장변형률속도에 대해서 고찰하는 것이 보통이다. 이러한 방법으로 신장변형률속도에 대한 신장점도 값을 얻은 결과가 Fig. 5에 제시돼 있다.

여기서 우리가 중요하게 관찰할 수 있는 것은 순수 PP는 신장점도가 신장변형률속도가 커짐에 따라서 감소하는 신장담화(伸長淡化: extension thinning)현상을 보임에 반해, PC는 신장점도가 신장변형률속도가 커짐에 따라서 증가하는 신장농화(伸長濃化: extension thickening)현상을 나타내고 있다. 이러한 점은 Fig. 2에 나타난대로 PP, PC 공히 전단담화를 보이는 것과 대조적인 결과다. 다시 말해서 변형의 정도가 약한 전단유동에서는 차이점을 보이지 않는 고분자물질이 변형의 정도가 강한(strong flows) 신장유동에서는 그 차이점을 극명하게 보여주는 것이다. 바로 이점 때문에 고분자물질의 유변학적 연구에서는 신장유동에서의 거동을 필히 고찰해야하고 이 거동을 말해 주는 물질함수인 신장점도를 측정해야 하는 것이다. 이러한 대조적인 신장유동의 거동은 다른 고분자 용융체에서 흔히 볼 수 있는 바, 일반적으로 선형의 고분자(예: HDPE)는 신장담화, 가지가 많은 고분자(예: LDPE)는 신장농화의 경향을 보인다(14).

3.3. 수축실험결과

Fig. 6에 보이는 바와 같이 원래의 길이가 20 cm인 시편들을 고온의 액체에 넣으면 크기는 4~6 cm로까지 줄어들었고, 같은 조성의 블렌드라도 압출온도가 낮은 250°C의 경우가 290°C에 비해 수축의 정도가 더 컸다. 또한 순수한 PP나 PC는 수축현상을 거의 보이지 않았고, 블렌드의 경우는 분산상(PC)의 조성이 커질수록 수축이 증가했고, 측정온도가 180°C까지는 수축 정도가 작다가 온도가 올라갈수록 수축이 커져서 190~220°C 근처에서 최대를 보였다(Fig. 7). 이러한 수축 현상은 상용성이 없는 PP와 PC를 블렌드하는 경우 압출과정에서 상들의 계면에서 발생한 분산상의 변형이

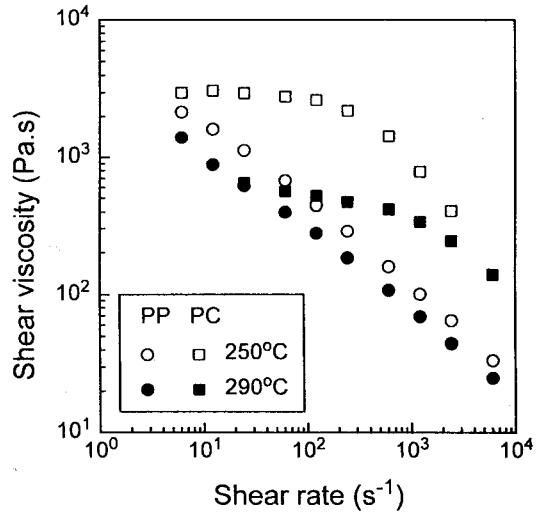


Fig. 2. Shear viscosity data of pure PP and PC.

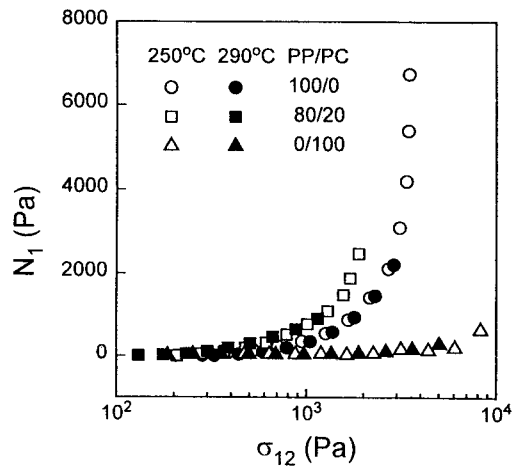


Fig. 3. Normal stress difference N₁-shear stress σ₁₂ plot for PP/PC blends.

고온에서 다시 풀어져서 원래상태로 돌아가기 때문으로 판단된다. 즉 블렌드내에서 탄성변형을 한 고분자물질이 고온의 용융상태에서 다시 변형이전의 상태로 복귀한다고 볼 수 있다.

3.4. 주사전자현미경(SEM)사진

Fig. 8과 9는 제조온도가 250°C와 290°C인 블렌드 시편의 수축 전과 후의 단면사진을 각각 보여 주고 있다. 분명히 250°C에서 압출한 블렌드내의 분산상의 변형이 290°C의 경우보다 많이 돼 있음을 알 수 있다. 따

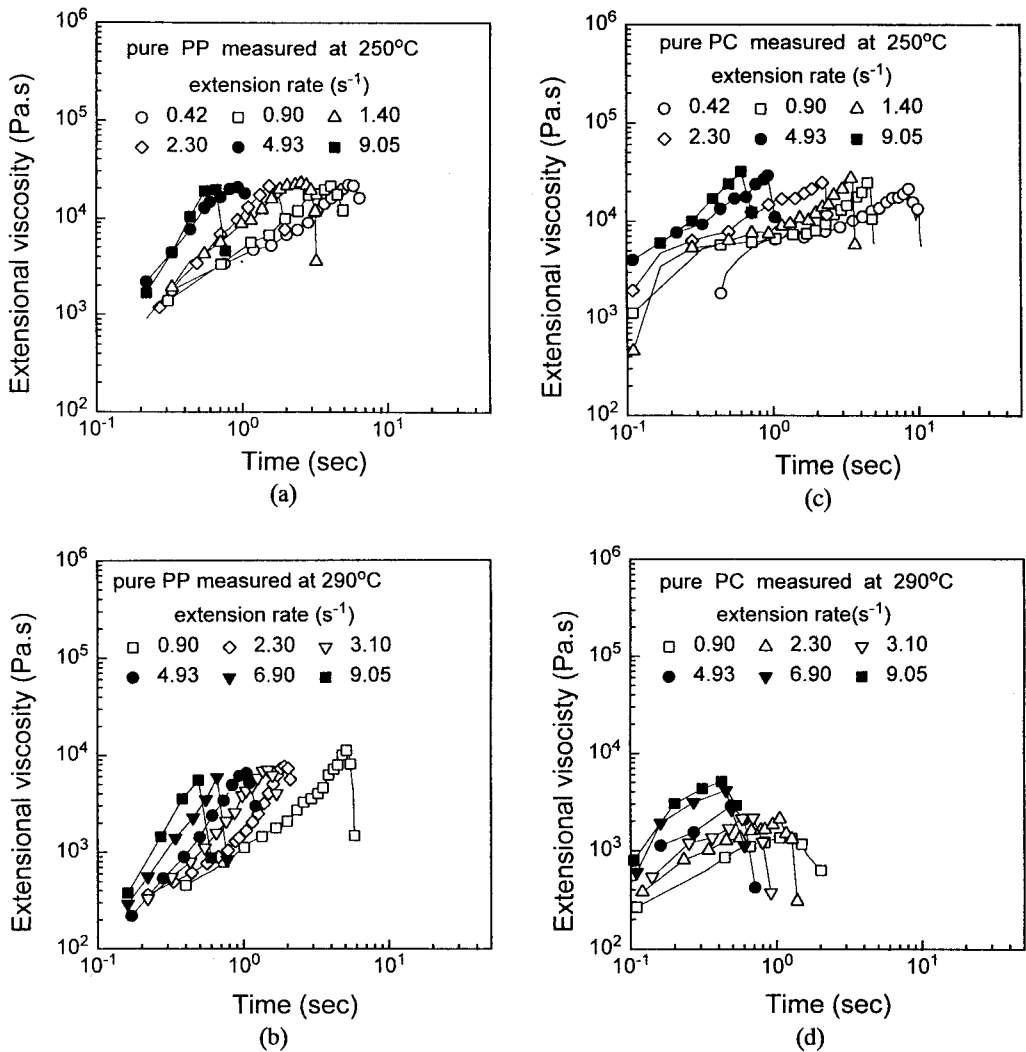


Fig. 4. Extensional viscosity growth function of pure PP measured at (a) 250°C and (b) 290°C and of pure PC measured at (c) 250°C and (d) 290°C.

라서 이러한 변형이 용융상태의 고온에서 다시 이완돼서 원래의 무변형으로 복귀하는 과정이 위에서 관찰한 수축이므로, 당연히 250°C의 경우가 수축이 크게 된다. Fig. 6가 이를 확인해 주고 있다. 왜 250°C에서 압출할 때 변형이 더 많이 되는가를 뒤에서 고찰하기로 한다.

3.5. 압출팽윤(extrudate swell) 측정결과

위에서 설명한대로 압출과정에서 발생한 블렌드내의 분산상의 탄성변형이 이완되면서 나타나는 것이 수축이므로 수축의 정도는 블렌드내의 탄성변형에 비례하고,

따라서 이러한 탄성변형의 정도는 압출에서의 압출팽윤으로 알 수 있으리라 판단된다. 압출구 근처에서 빛을 주사하여 직경을 측정된 결과와 압출구에서 시편을 자른 후 일정거리에서의 직경을 측정된 결과가 Fig. 10에 제시돼 있다. 후자의 결과가 Fig. 7과 잘 일치함을 알 수 있다. 이는 Fig. 6와 7에서 나타난 수축 데이터가 탄성변형이 완전히 이완된 상태와의 비교이므로 탄성변형이 완전히 풀릴 수 없는 전자보다는 후자의 결과와 비슷한 것은 당연하다고 생각된다.

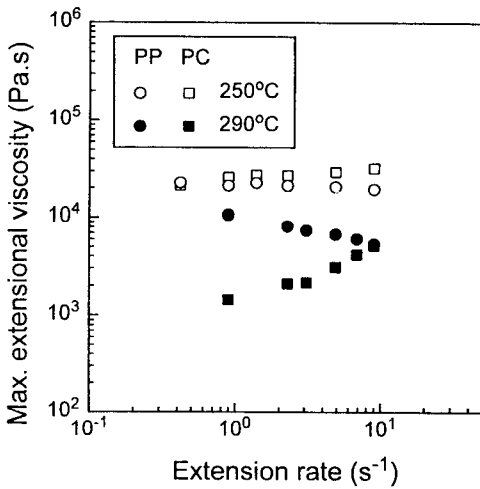
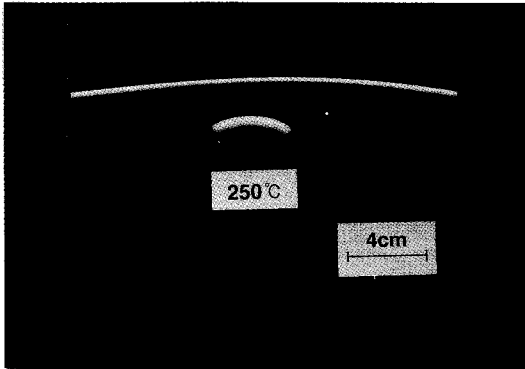
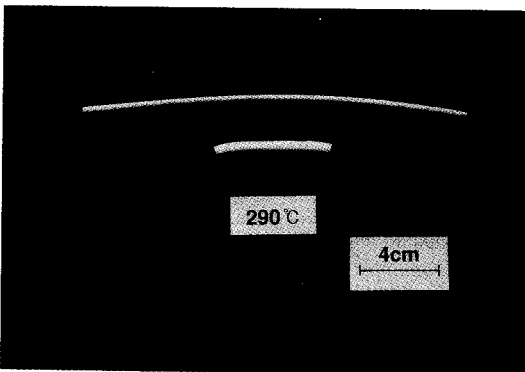


Fig. 5. Maximum extensional viscosity of pure PP and PC.

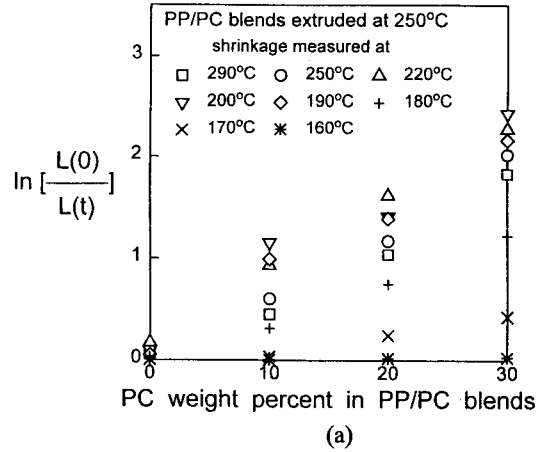


(a)

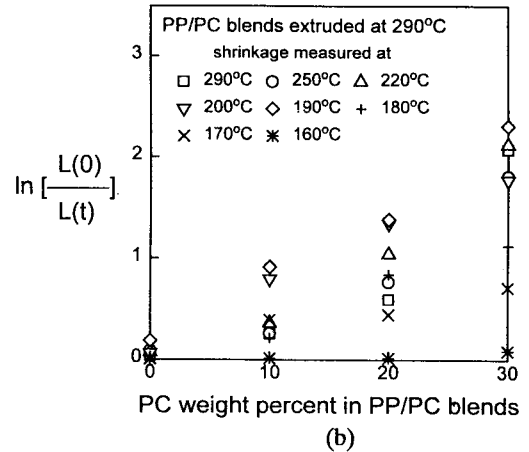


(b)

Fig. 6. Pictures of the strands before and after shrinkage(5 min in an oil bath at 220°C) of (a) PP/PC=80/20 blends extruded at 250°C and (b) the same blends extruded at 290°C.



(a)

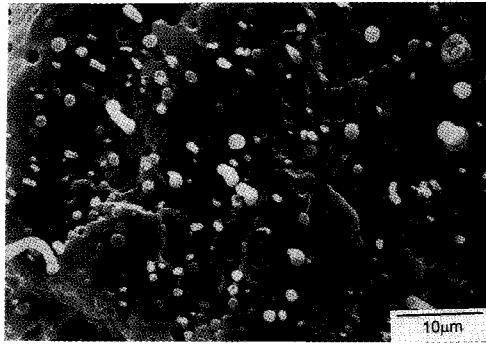


(b)

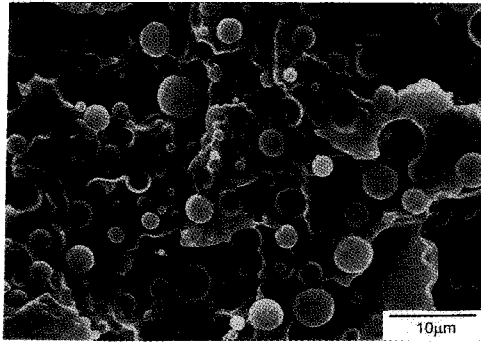
Fig. 7. Shrinkage data of (a) PP/PC blends extruded at 250°C and (b) the same blends extruded at 290°C. (L(0)=Initial length(20 cm) of the samples, L(t)= Final length of the samples after 5 min in the oil bath.)

3.6. 전단점도비와 신장점도비

지금까지 블렌드를 제조하는 압출과정에서 발생한 탄성변형이 용융상태에서 이완되면서 시편이 수축하게 된다는 것을 SEM 사진과 압출팽윤 측정결과 등으로부터 확인할 수 있었다. 또한 이러한 탄성변형과 수축이 압출 온도가 다를 때 현저히 다르게 됨을 발견했다. 이제 어떤 유동의 기구(mechanism)에 의해서 변형이 발생하고 온도가 왜 큰 영향을 주느냐를 고찰하기로 한다. 특히 낮은 온도인 250°C에서 압출한 시편이 290°C의 경우보다 변형이 더 많이 된 이유에 대해서 알아 보기로 한다.



(a)

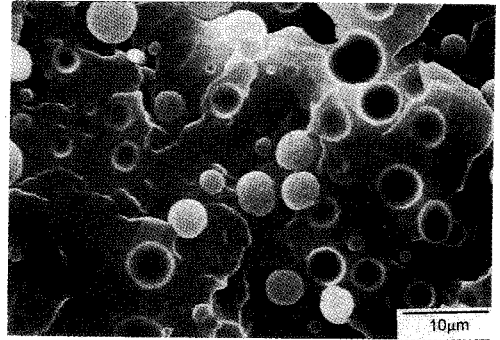


(b)

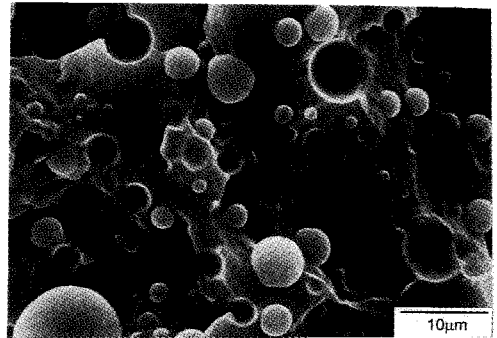
Fig. 8. Scanning Electron Micrographs($\times 2000$) of the fracture surfaces of PP/PC=80/20 blends extruded at 250°C: (a) before shrinkage and (b) after shrinkage.

먼저 압출기내에서의 전단변형을 설명하는 전단점도를 따져본다. 즉 블렌드내의 상의 계면에서의 각상의 변형은 각상의 전단점도에 반비례하리라고 추정되기 때문에(계면에서의 전단응력은 각상에서 같고 전단변형률속도와 전단점도의 곱이 전단응력이 되기 때문임), 전단점도가 작을수록 전단변형이 크게 된다, 따라서 분산상인 변형은 분산상의 전단점도가 작을수록, 또는 분산상과 연속상의 전단점도비의 값이 작을수록 크게 된다. 이러한 전단점도비의 개념을 가지고 분산상의 변형을 고찰한 연구는 몇몇 발표된 바 있다(15,16).

Fig. 2의 결과를 토대로 전단점도비(본 연구의 경우, PC의 점도를 PP의 점도로 나눈 결과)를 구한 결과가 250°C와 290°C에 대해서 각각 Fig. 11에 나타나 있다. 그러나 예상과는 달리 250°C의 전단점도비의 값이 290°C 때보다 더 크고 특히 본 실험의 조건인 전단변형률속도 164 sec^{-1} 근처에서 더 크게 됨을 알 수 있다. 따



(a)



(b)

Fig. 9. Scanning Electron Micrographs($\times 2000$) of the fracture surfaces of PP/PC=80/20 blends extruded at 290°C: (a) before shrinkage and (b) after shrinkage.

라서 전단점도비의 개념으로는 본 실험에서 발견한 250°C에서 분산상의 변형이 더 크게 됨을 설명할 수 없다. 다시 말해서 전단점도비는 점성변형을 설명할 뿐 탄성변형은 설명할 수 없음을 보여주고 있다.

다음은 압출기의 die내에서의 신장변형에 대하여 분산상과 연속상의 신장점도비를 고찰해 보기로 한다.

먼저 신장점도기의 측정결과(Fig. 5)를 토대로 계산한 250°C와 290°C에서의 신장점도비의 값들이 Fig. 12에 나타나 있다. 다음 본 실험의 die내에서의 유체의 신장변형률속도의 값을 구해야 되는데 이를 위해서는 두개의 값-신장변형의 크기와 신장변형이 진행되는 시간-이 필요하다. 신장변형의 크기는 die입구에서의 단면적의 비로부터 쉽게 구하고(본 실험에선 $2\ln(5/2) = 1.833$), 신장변형의 시간은 Fig. 13에서 유체가 a 위치에서 b 위치까지 흐르는 시간이 된다(문헌(17)에 나온 PP의 15°의 각을 이용해서 본 실험의 유체속도를 써서

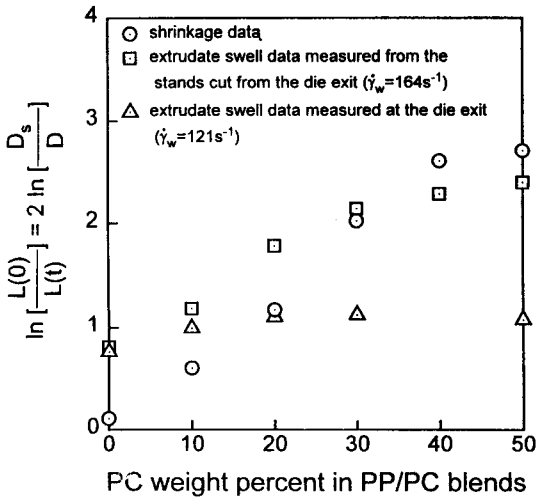


Fig. 10. Extrudate swell data of PP/PC blends measured at 250°C.

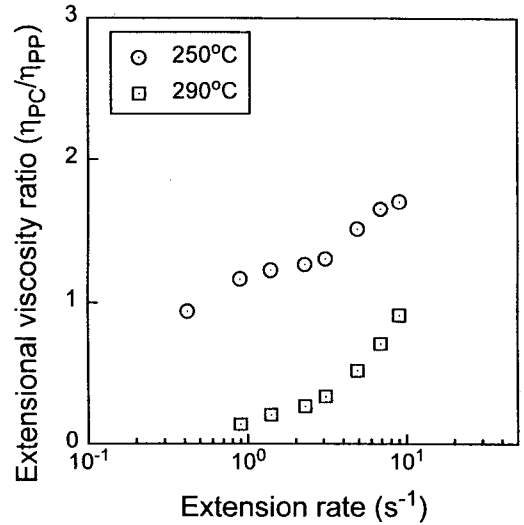


Fig. 12. Extensional viscosity ratio of pure PP and PC measured at 250°C and 290°C.

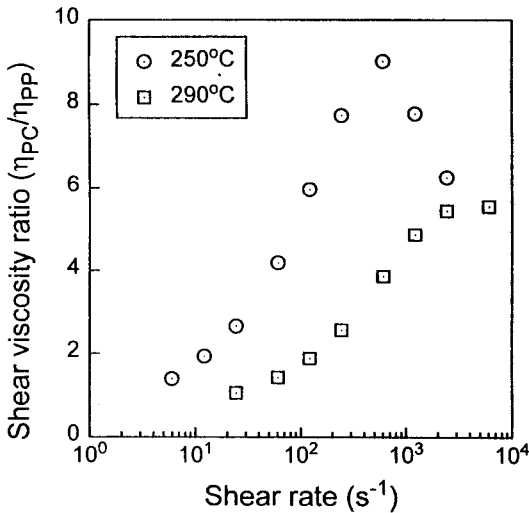


Fig. 11. Shear viscosity ratio of pure PP and PC measured at 250°C and 290°C.

구한 값이 0.032 sec 임). 그러면 신장변형률속도의 값은 신장변형의 크기를 시간으로 나눈 56.57 sec⁻¹가 된다.

그런데 이렇게 구한 신장변형률속도의 값인 56.57 sec⁻¹는 Fig. 12에 나와 있듯이 신장점도기의 측정범위를 벗어난 것이다(Meissner type의 신장점도기로는 2~5 sec⁻¹의 신장변형률속도가 지금까지 측정 가능한 최대로 보고돼 있다[18]). 따라서 본 실험에서의 신장

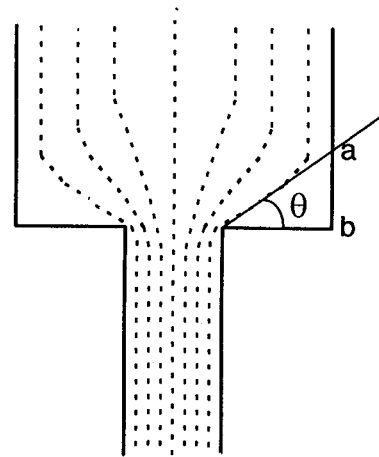


Fig. 13. Streamlines of PP flow at the die entrance region.

점도비의 값을 구하는 것은 추정에 의해서만 가능하게 된다. Fig. 12의 데이터들을 신장변형률속도 56.57 sec⁻¹까지 추정해도 250°C의 경우가 290°C보다 신장점도비의 값이 크리라고 판단된다. 즉 신장점도비가 의미하는 점성신장변형은 높은 온도의 경우가 작게 되어, 본 연구의 대상인 압출온도가 낮은 경우에 블렌드의 수축이 더 커지는 현상을 설명하지 못함을 알 수 있다.

3.7. 탄성비

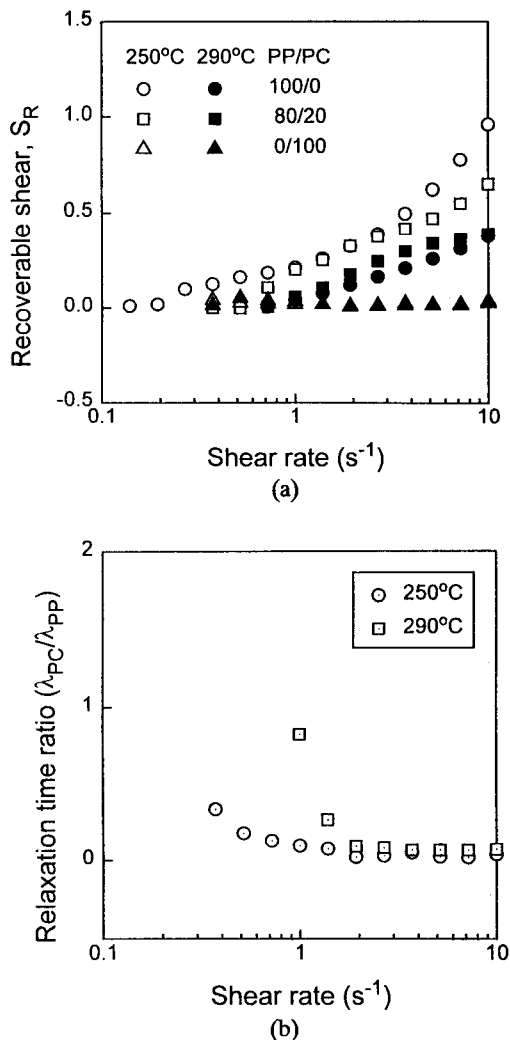


Fig. 14. (a) Recoverable shear ($S_R=N_1/2\sigma_{12}$) and (b) Relaxation time ratio of pure PP and PC (Relaxation time (λ)= $S_R/\dot{\gamma}$).

위에서 설명한 바와 같이 전단점도비와 신장점도비의 값을 비교한 결과, 분산상의 점성변형(전단점성변형과 신장점성변형 공히)은 압출온도가 높은(290°C) 쪽이 더 크게 되어, 압출온도가 낮은(250°C) 쪽이 더 크게 되는 수축현상을 설명하지 못한다.

따라서 우리는 여기서 두 물질의 탄성비(elasticity ratio)를 비교해 보고자 한다. Fig. 3에 나와 있는 법선 응력과 전단응력의 비로부터 구한 recoverable shear ($S_R=N_1/2\sigma_{12}$)와 물질의 풀립시간(relaxation time)의

비를 도시하면 Fig. 14가 된다. 낮은 온도(250°C)의 경우가 이 탄성비의 값이 작게 나타났다. 일반적으로 탄성체의 변형은 탄성이 작을수록 더 크게 일어난다. 본 연구에서도 제조온도가 낮은 온도에서 분산상 PC 탄성과 연속상 PP 탄성의 비가 작으므로 높은 온도에서보다 탄성변형이 더 크게 되고, 따라서 이 탄성변형이 원상태로 돌아가면서 생기는 수축도 더 크게 된다. 결국 블렌드의 수축현상은 분산상의 탄성변형을 좌우하는 탄성비에 따라서 결정됨을 확인했다.

4. 결 론

서로 상용성이 없는 PP와 PC 블렌드에 관해서 압출 과정에서 생기는 변형에 대한 연구를 고온에서의 블렌드의 수축데이터와 SEM 사진의 결과를 중심으로 수행했다. 압출과정에서 변형됐던 분산상이 고온에서 다시 원래의 무변형의 상태로 복귀하면서 나타나는 탄성변형의 이완현상으로 추정되는 블렌드의 수축현상은 압출팽윤의 데이터와 잘 부합하는 사실로부터 확인됐다. 또한 압출온도를 최대한 낮게 한 경우(250°C)와 최대한 높게 한 경우(290°C)의 제조된 블렌드들 중에서 전자의 수축이 더 큰 사실을 설명하기 위하여 순수 PC와 PP의 전단 점도비와 신장점도비와 탄성비를 계산하여 비교했다. 그 결과 점성변형을 좌우하는 전단점도비와 신장점도비로는 수축현상의 차이를 설명할 수 없었고, 탄성변형을 좌우하는 탄성비로써 가능했다. 다시 말해서 압출과정에서의 분산상의 점성변형이 아닌 탄성변형이 블렌드의 수축현상의 원인이 된다는 사실을 확인했다.

감 사

본 연구는 1995년도 교육부 신소재분야 연구지원 (Ministry of Education Research Fund for Advanced Materials in 1995)의 의해 이루어졌으며 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. J. Karger-Kocsis, "Polypropylene structure, blends and composites", Chapman & Hall, London, 1995.

2. J. A. Brydson, "Plastic Materials", 5th ed., Butterworths, London, 1989.
3. B. Fisa, B. D. Favis, and S. Bourgeois, *Polym. Eng. Sci.*, **30**, 1051 (1990).
4. M. M. Dumoulin, P. Toma, L. A. Utracki, I. Jinnah, and M. R. Kamal, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 34 (1986).
5. B. R. Liang, J. L. White, J. Spruiell, and B. C. Goswami, *J. Appl. Polym. Sci.*, **28**, 2011 (1983).
6. M. T. Heino, P. T. Hietaoja, T. P. Vainio, and J. V. Seppala, *J. Appl. Polym. Sci.*, **51**, 259 (1994).
7. M. V. Tsebrenko, A. V. Yudin, T. I. Ablazova, and G. V. Vinogradov, *Polymer*, **17**, 831 (1980).
8. A. Rudin, D. A. Loucks, and J. M. Goldwasser, *Polym. Eng. Sci.*, **20**, 741 (1980).
9. J. M. Willis and B. D. Favis, *Polym. Eng. Sci.*, **28**, 1416 (1988).
10. E. Martuscelli, R. Palumbo, and M. Kryszewski, "Polymer Blends", Plenum Press, New York, 1980.
11. M. R. Nobile, D. Acierno, L. Incarnato, E. Amendola, L. Nicolais, and C. Carfagna, *J. Appl. Polym. Sci.*, **41**, 2723 (1990).
12. A. Santamaria, M. E. Munoz, J. J. Pena, and P. Remiro, *Die. Ange. Makro. Chemie.*, **134**, 63 (1985).
13. W. N. Kim and C. M. Burns, *Makromol. Chem.*, **190**, 661 (1989).
14. W. Minoshima and J. L. White, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, **19**, 251 (1986).
15. B. D. Favis and J. P. Chalifoux, *Polym. Eng. Sci.*, **27**, 1591 (1987).
16. O. Ishizuka and K. Koyama, *Polymer*, **21**, 164 (1980).
17. T. F. Ballenger and J. L. White, *J. Appl. Polym. Sci.*, **15**, 1949 (1971).
18. H. M. Laun and H. Munstedt, *Rheol. Acta*, **17**, 415 (1978).