

열방성 액정고분자와 열가소성 고분자 블렌드의 유변학적/형구학적 연구

정현욱 · 정병준* · 김우년 · 현재천

고려대학교 공과대학 화학공학과, *LG 화학 고분자연구소
(1996년 4월 23일 접수)

A Rheological/Morphological Study on the Blends of Thermotropic Liquid Crystalline Polymers and Thermoplastic Polymers

H. W. Jung, B. J. Jeong*, W. N. Kim and J. C. Hyun

Department of Chemical Engineering, Korea University, Anam-dong, Seoul 136-701, Korea
*LG Chemical Ltd/Research Park, P. O. Box 108, Yusong, Taejon 305-343, Korea
(Received April 23, 1996)

요 약

두 종류의 열방성 액정고분자 (hydroxybenzoic acid와 ethylene terephthalate의 공중합체)와 세 종류의 엔지니어링 고분자 (polycarbonate, polyethylene terephthalate, polyetherimide)와의 블렌드들에 대해 유변학적/형구학적 연구를 한 결과, 블렌드의 유동거동과 물성이 현저히 다른 두 그룹으로 나뉘어짐을 발견하였다. 즉 연속상의 조업온도가 분산상의 전이온도보다 높은, 그룹A에 속하는 블렌드의 전단점도/신장점도는 액정고분자를 첨가할수록 감소하고, 블렌드의 신장점도는 연속상의 그것처럼 신장변형률속도가 커질수록 증가하였다. 또한 분산상의 점도가 연속상의 그것보다 작아서 분산상이 미세섬유구조의 형태로 존재하였다. 이와 대조적으로 연속상의 조업온도가 액정고분자의 전이온도보다 낮은, 그룹B에 속하는 블렌드는 반대의 거동을 보였고, 분산상의 미세섬유구조가 존재하지 않았다. 그러나 연신변형이 주가 되는 방사공정을 거치면, 그룹A와 B블렌드 공히 분산상이 비슷한 미세섬유구조의 형태로 존재하고 기계적 성질도 크게 향상되는 결과를 보였다. 이는 블렌드내의 신장유동이 분산상의 섬유구조형성에 결정적 역할을 하기 때문이라 판단된다.

Abstract — The rheological/morphological study on the blends made of two kinds of thermotropic liquid crystalline polymers(LCP: copolymers of hydroxybenzoic acid and ethylene terephthalate) and three kinds of engineering thermoplastic polymers (polycarbonate, polyethylene terephthalate, polyetherimide) has revealed that these blends can be classified into two groups exhibiting quite different flow behavior and properties from each other. The group A in which the operating temperature of the continuous(matrix) phase is higher than that of the dispersed(LCP) phase, comprises the blends which are characterized by their shear/extensional viscosities decreasing with the addition of the liquid crystalline polymers, their extensional viscosity resembling that of the continuous phase to increase with the extensional strain rate, and the microfibril structure of the dispersed phase due to the lower viscosity of the dispersed phase relative to that of the continuous phase. In contrast, the group B in which the operating temperature of the continuous phase is lower than that of the dispersed phase, exhibits the opposite behavior and the microfibril structure of the dispersed LCP phase does not exist. However, after going through the spinning process which is dominated by extensional flows, both the group A and B blends display similar microfibril structure of the dispersed LCP phase and the improved mechanical properties. This is supposedly attributable to the fact that ex-

tensional flows play a dominant role in forming the fibrillar structure of the dispersed phase.

Keywords: Liquid crystalline polymers, engineering polymers, blends, viscosity ratio, extensional viscosity, microfibril structure, morphology.

1. 서 론

엔지니어링 고분자는 좋은 기계적 강도와 열적 성질을 가지고 있으므로 여러 분야에 사용되고 있다[1]. 그 중에서 본 연구의 대상인 polycarbonate(PC)와 polyethylene terephthalate(PET)는 우수한 열안정성, 인장성, 광학성 등의 성질로 인하여, polyetherimide(PEI)는 뛰어난 열적, 기계적, 전기적 특성과 난연성으로 인하여 각광을 받고 있는 고분자들이다. 그러나 이러한 고성능의 엔지니어링 고분자를 사용하여 원하는 제품으로 만드는 데는 비교적 높은 생산비용이 드는 것이 보통이다[2]. 따라서 고분자의 좋은 성질들을 그대로 유지 내지는 더 우수하게 하면서 생산비용을 줄이는 방법들(예를 들면 공정온도를 낮추는 방법 등)이 필요하게 된다[3].

이와 같은 엔지니어링 고분자의 생산성을 향상시키는 방법의 하나로 액정고분자와의 블렌드가 새로운 복합소재로서 주목을 받고 있다[4-6]. 이는 높은 강도와 탄성률, 좋은 성형성, 낮은 열팽창 등의 우수한 특성을 가지는 액정고분자가 첫째, 블렌드내에서 점도감소를 통하여 압출온도와 압출토크를 줄이는 공정조제(processing aids)의 역할을 하는 동시에, 둘째로 블렌드의 성질향상에 결정적인 도움을 주는 미세섬유구조의 형태로 블렌드내에 존재하여 블렌드를 섬유강화복합재료로 만드는 효과를 낼 수 있기 때문이다[7-9].

일반적으로 열방성 액정고분자는 유연한 열가소성 고분자와 비교하면 몇가지 특이한 거동을 보인다[10-13]. 즉 고온에서 방향성을 가지는 특성 이외에도 결정과 nematic 구조 전이온도 이상에서 점도와 용융체의 강도가 온도증가에 따라 급격히 감소하는 강한 온도의존성을 가지고[14, 15], 신장유동에서는 신장변형률속도를 높여주면 신장점도가 감소하는 선형고분자(예를 들면, HDPE 등)의 거동을 따르는 것으로 알려지고 있다[16]. 엔지니어링 고분자와 블렌드될 때 위와 같은 액정고분자의 유변학적 특성들이 매우 중요하여 그동안 많은 연구결과가 발표되었다[17-20]. 즉 액정고분자의 양을 조절함으로써 사출과 압출에 공히 적당한 범등급

(universal grade)의 물성을 가질 수 있고[21], 액정고분자로 인한 단순한 점도감소뿐만 아니라 신장유동이 중요한 고분자공정에서는 블렌드의 용융강도(melt strength)로 표현되는 신장점도가 중요하고[22], 액정고분자가 블렌드내에서 미세섬유구조로 바뀌는 현상(*in-situ* fibrillation)으로 인한 물성향상을 유도하는 공정조건을 제시하는 결과[23-25]들이 그것이다.

본 연구에서는 60/40 HBA/PET와 80/20 HBA/PET의 액정고분자와 엔지니어링 고분자 PC, PET, PEI와의 블렌드 시스템을 대상으로 유변학적 거동, 형구학적 고찰, 그리고 기계적 특성과의 상관관계를 살펴보고, 이를 바탕으로 블렌드의 생산성향상과 물성개선을 가능케 하는 공정조건을 찾고자 한다.

2. 실험

2.1. 블렌드의 제조

블렌드 제조를 위해 액정고분자로는 Unitika사가 생산한 제품인 p-hydroxybenzoic acid(HBA)와 PET의 공중합체인 상품명 Rodrun의 두가지 종류(HBA60 mol%/PET 40 mol%=LCP1과 HBA80 mol%/PET20 mol%=LCP2)를 사용하였고, 엔지니어링 고분자로는 삼양사의 PC, 동양폴리에스터의 PET, 그리고 General Electric의 PEI를 사용했다. 이 고분자들의 중요한 물성은 Table 1에 나타나 있다. 고분자들을 블렌드 제조

Table 1. Characteristics of polymer samples used in this work.

	ρ^a (g/cm ³)	T_g^b (°C)	T_m^b (°C)	Maker
LCP1	1.40	58.4	201.1	Unitika Co.
LCP2	1.41	70.2	281.7	Unitika Co.
PC	1.20	151.2	-	Samyang Co.
PET	1.40	81	255	Tongyang Polyester Co.
PEI	1.27	218.1	-	General Electric

a : measured in our laboratory by specific gravity chain balance

b : measured in our laboratory by DSC

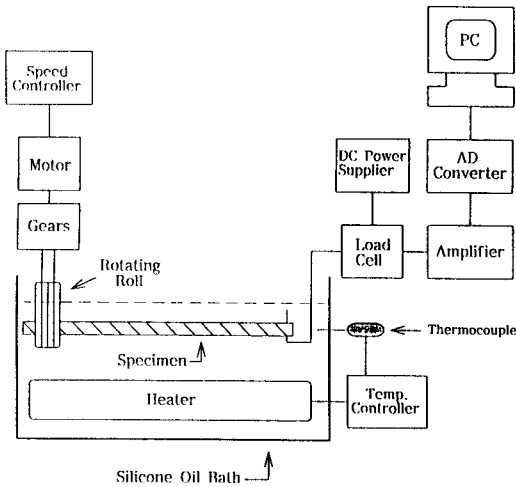


Fig. 1. Schematic diagram of the extensional rheometer.

전 24시간 동안 100°C에서 진공건조시켰다. 제조한 블렌드 시스템은 PC/LCP1, PC/LCP2, PET/LCP2, PEI/LCP2이다. 블렌드에 투입되는 액정고분자의 양은 0, 10, 20, 30, 100 무게%로 하여 시편들을 제조하였다.

또한 PC/LCP1, PC/LCP2 블렌드를 큰 연신비를 가지는 방사장치를 이용하여 섬유 형태의 제조해서 인장강도를 측정하였고, 섬유과단면의 형구학적 관찰을 하였다.

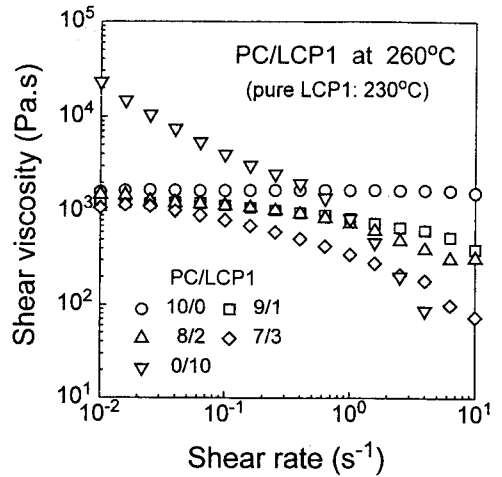
2.2. 전단유동과 신장유동 실험

전단유동장에서의 블렌드들의 거동을 알아보기 위하여 Rheometrics사의 RMS-800를 사용하여 cone-and-plate 모드(cone의 각도=0.1 rad, plate 직경=25 mm)로 rate-sweep test를 행했다. 전단변형률속도의 범위는 0.01~10 s⁻¹ 였다. 방사, 필름제조, blow 성형 등 신장유동이 지배적인 고분자공정에서의 거동예측을 위해 선 전단점도뿐만 아니라 신장점도의 측정이 중요하다.

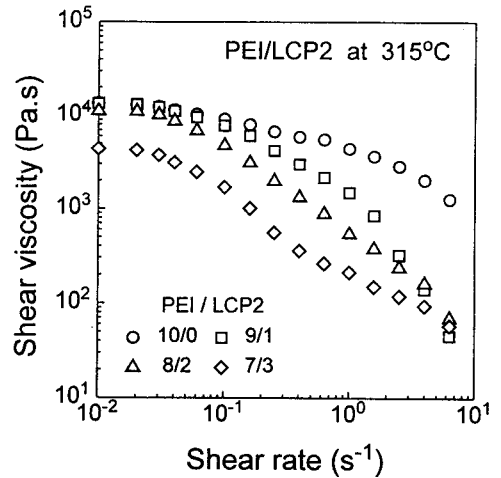
신장유동장에서 블렌드들의 유변학적 거동을 살펴보기 위하여 압출기로 제조한 시편들을 본 연구실에서 자체 제작한 Meissner type의 신장점도기를 사용하여 실험하였다. 항온의 조건에서 일정한 신장변형률속도를 유지하면서 신장점도를 측정하는 이 장치(Fig. 1)의 온도범위는 상온~300°C이고, 신장변형률속도범위는 0.1~3 s⁻¹였다.

2.3. 인장실험

방사공정을 통해서 제조한 PC/LCP1과 PC/LCP2



(a)



(b)

Fig. 2. Shear viscosity : (a) PC/LCP1 blends at 260°C and (b) PEI/LCP2 blends at 315°C.

블렌드의 섬유시편의 기계적 특성을 cross-head 속도를 250 mm/min로 해서 Instron tensile tester를 사용하여 시편당 3~5번 실험해서 평균을 취하였다.

2.4. 형구학적 관찰

블렌드내의 분산상의 형구학적 변화를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(scanning electron microscope)를 사용해서 액체질소에서 파단시키고 gold coating시킨 시편의 파단면의 사진을 찍었다. 특히 방사전과 방사후의 시편내의 분산상의 형태를 관찰하여 액정고분자와 연

속상고분자의 점도비, 신장유동장과의 관계, 블렌드의 기계적 특성을 연결지어 블렌드의 제조공정조건을 밝히고자 한다.

3. 실험결과 및 토의

3.1. 전단점도 실험결과

실험데이터를 분석해 본 결과, 본 연구의 대상인 액정고분자 블렌드 시스템이 연속상의 조업온도가 분산상의 그것보다 높은 그룹A(PC/LCP1, PEI/LCP2)와 연속상의 조업온도가 분산상의 그것보다 낮은 그룹B(PC/LCP2, PET/LCP2)로 나누어지고, 두 그룹에 속한 블렌드들의 여러가지 유변학적/형구학적 거동이 대조적으로 서로 다르다는 것을 발견했다.

먼저 그룹A에 속하는 PC/LCP1의 경우를 보면, Fig. 2가 보이는 바와 같이, 순수 PC의 전단점도는 전단변형률속도가 증가해도 거의 일정한 뉴턴유체의 거동을 보이는 반면, 순수 LCP1의 전단점도는 전단변형률속도에 따라 크게 감소하는 전단담화(shear thinning) 현상을 보인다. 또한 Table 1에 나와 있듯이 LCP1의 용융온도가 200°C이고, PC의 조업온도가 260°C이기 때문에 PC/LCP1 블렌드는 260°C이상에서 제조하게 되며 이 온도구간에서 LCP1의 점도가 PC의 점도보다 크게 작게 된다. 따라서 LCP1을 첨가할수록 블렌드의 전단점도는 감소하게 되고, 전단점도의 전반적 경향은 뉴턴유체의 거동(PC의 특성)에서 서서히 전단담화(LCP1의 특성)로 전이되어간다[26-28]. 특히 전단변형률속도가 큰 구간에서 액정고분자를 첨가하는 효과가 뚜렷하게 나타난다. PEI/LCP2 블렌드도 위 블렌드와 유사한 거동을 보인다[29].

한편, 그룹B에 속하는 PC/LCP2 블렌드의 경우, 순수 PC의 전단점도는 위에서 설명한 바와 같이 뉴턴유체의 거동을 보이고, LCP2의 전단점도는 LCP1과 마찬가지로 전단담화의 거동을 보인다(Fig. 3). 그러나 그룹A와 달리, LCP2의 조업온도가 280°C로 PC의 그것(260°C)보다 높아서 블렌드를 280°C이상에서 제조하게 되고, 따라서 PC의 전단점도가 LCP2보다 오히려 작게 되기(전단변형률속도가 매우 큰 경우만 제외하고)때문에 액정고분자를 첨가해도 블렌드의 전단점도가 별로 변화하지 않는다. 같은 이유로 PET/LCP2 블렌드의 경우도 액정고분자의 전단점도가 연속상보다 높고, 따라서

액정고분자를 첨가할수록 블렌드의 전단점도는 오히려 증가하게 된다.

이상 설명한 것과 같이 블렌드의 전단거동이 두 그룹 사이에서 크게 다르게 되고, 이는 뒤에서 설명하는 바와 같이 분산상의 변형을 좌우하는 분산상과 연속상의 점도의 비(ratio)를 크게 다르게 하는 요인이 된다. 즉 그룹A에 속하는 블렌드의 경우만 액정고분자를 첨가할수록 전단점도가 전단변형률속도의 전구간에서 감소하게 되고, 액정고분자가 블렌드내에서 미세섬유구조의 형태로 존재하게 된다. 전단점도의 감소는 블렌드의 공정조건을

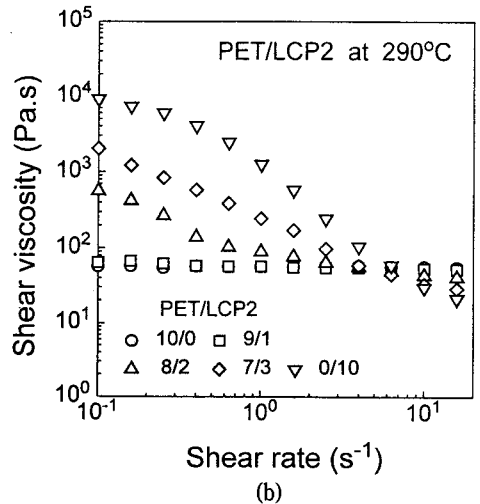
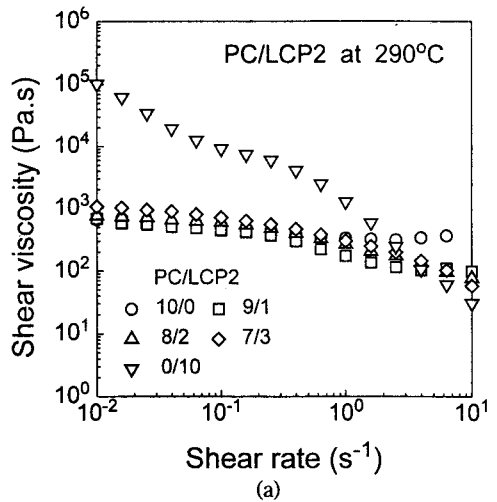


Fig. 3. Shear viscosity : (a) PC/LCP2 blends at 290°C and (b) PET/LCP2 blends at 290°C.

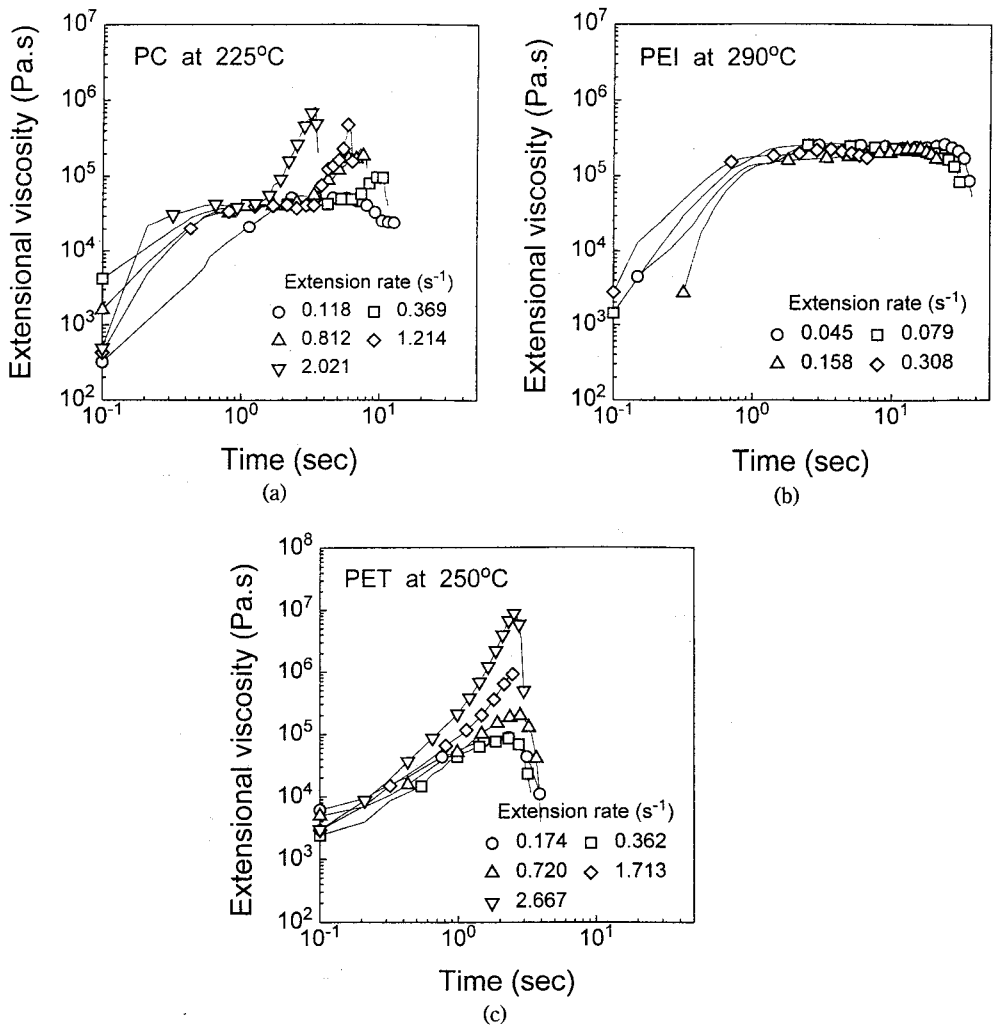


Fig. 4. Extensional viscosity growth function of engineering polymers : (a) PC, (b) PEI, and (c) PET.

쉽게 만들고, 따라서 블렌드의 생산성을 높여 주는 효과를 가져다 준다.

3.2. 신장점도 실험결과

압출된 시편들을 가지고 본 연구실에서 제작한 Meissner type의 신장점도기(extensional rheometer)를 사용해서 신장변형률속도와 온도를 일정하게 유지하면서 신장점도(η_E)를 시간의 함수로 측정하였다. Fig. 4가 보여 주듯이 PC와 PET는 신장변형률속도가 어느 정도 이상이면 변형경화(strain hardening)현상을 일으키고, 또 신장변형률속도가 클수록 이 현상이 더 심화됨에 반

해, PEI는 이러한 변형경화현상이 일어나지 않는 거동을 보였다. 액정고분자인 LCP1과 LCP2의 경우는 Fig. 5에 나타나 있듯이 신장변형률속도가 증가할수록 신장점도가 감소하는 경향을 보였다. 이는 선형고분자인 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)와 유사한 거동[16]으로 액정고분자가 막대(rod)구조를 가졌다는 점에서 충분히 예상되는 것이고, 위에서 설명한 PC나 PET가 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)와 같은 거동[30]을 하는 것도 다 같이 유연한(flexible) 구조를 가졌다는 점으로 설명될 수 있다.

일반적으로 Figs. 4와 5에 있는 시간에 따라 변하는 신장점도성장곡선(extensional viscosity growth curve)

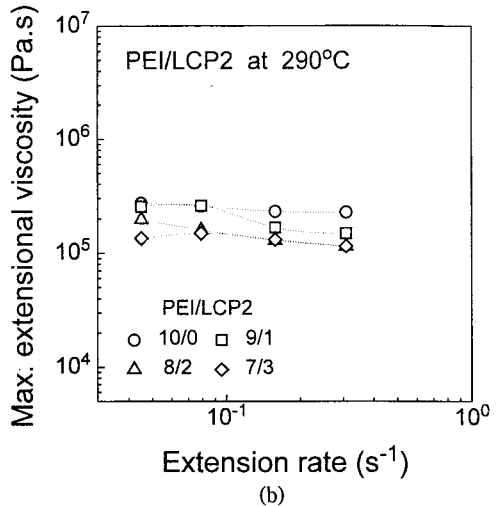
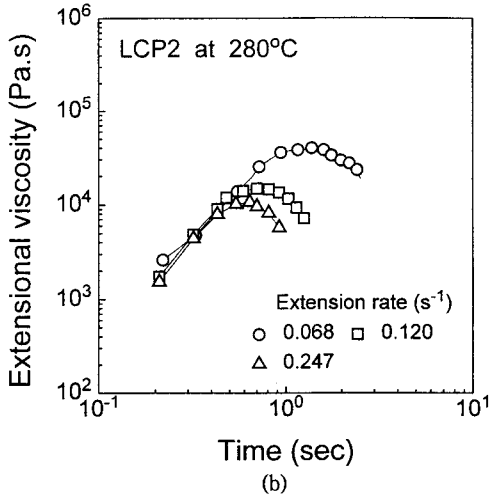
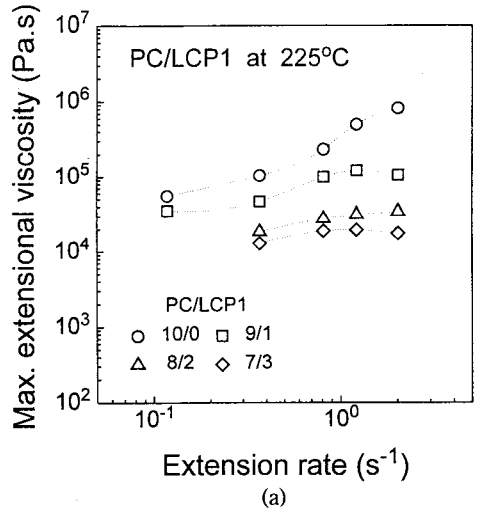
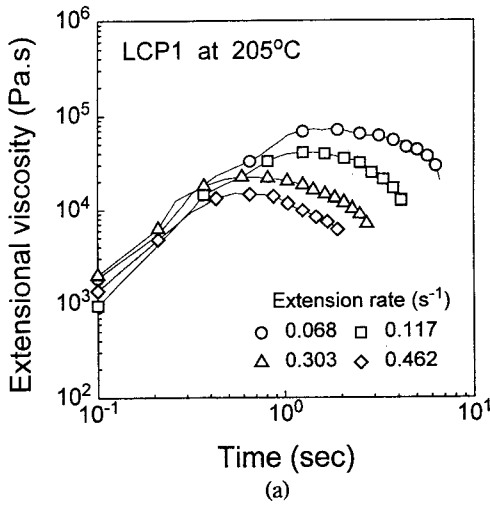


Fig. 5. Extensional viscosity growth function of liquid crystalline polymers : (a) LCP1 and (b) LCP2.

Fig. 6. Maximum extensional viscosity : (a) PC/LCP1 blends at 225°C and (b) PEI/LCP2 blends at 290°C.

이 보여주는 바와 같이, 신장점도의 값은 시편의 양이 한정돼 있는 본 신장점도기의 실험에서 정상상태(steady state)에 도달하기가 어려운 것이 보통이다. 따라서 신장점도성장곡선에서의 최대신장점도값을 살펴봄으로써, 신장변형률속도에 대한 신장점도의 의존성을 정성적으로 고찰하는 것이 보통이다[31]. 이러한 방법으로 블렌드들의 신장점도 결과를 다시 그린 것이 Figs. 6와 7이다. 즉 그룹A의 PC/LCP1의 성분인 순수 PC는 신장점도가 신장변형률속도에 따라 증가하고, LCP1은 반대로 감소하므로 블렌드의 경우(Fig. 6a)는 액정고분자의 조성이 커

질수록(30무게%까지), 신장점도의 크기가 작아지는 동시에 신장변형률속도에 대해서 신장점도가 증가하는 경향도 줄어들게 된다. 하지만 액정고분자가 30무게%까지 되어도 액정고분자처럼 신장점도가 신장변형률속도에 대해 감소하는 경향으로 전이하지는 않았다. PEI/LCP2 블렌드의 경우도 액정고분자를 첨가할수록 신장점도가 감소하지만, 계속 순수 PEI처럼 신장변형률속도에 대해서 신장점도가 거의 의존하지 않는 거동을 보였다. 결론적으로 말해서 그룹A의 블렌드(액정고분자의 조성이 30무게%까지)의 신장점도는 연속상의 그것과 유사했다.

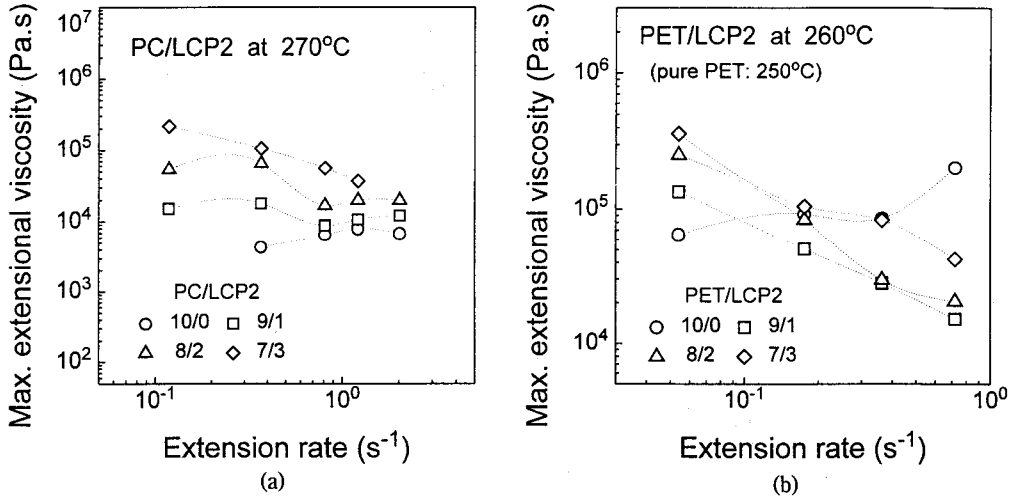


Fig. 7. Maximum extensional viscosity : (a) PC/LCP2 blends at 270°C and (b) PET/LCP2 blends at 260°C.

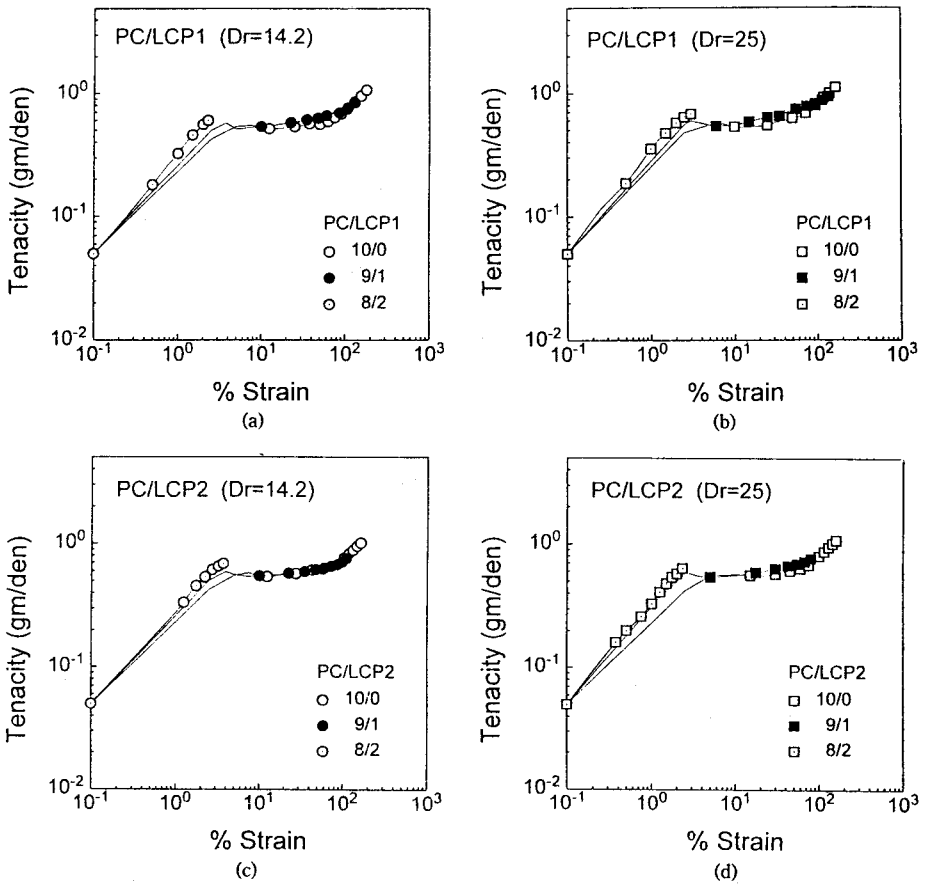
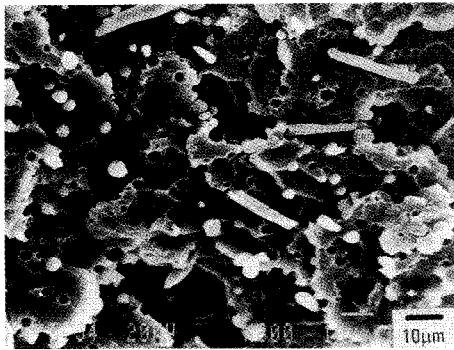
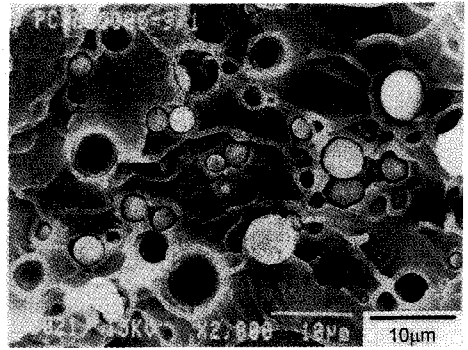


Fig. 8. Tenacity-strain curves : (a) PC/LCP1 blends at draw ratio=14.2, (b) PC/LCP1 blends at draw ratio=25, (c) PC/LCP2 blends at draw ratio=14.2, and (d) PC/LCP2 blends at draw ratio=25.



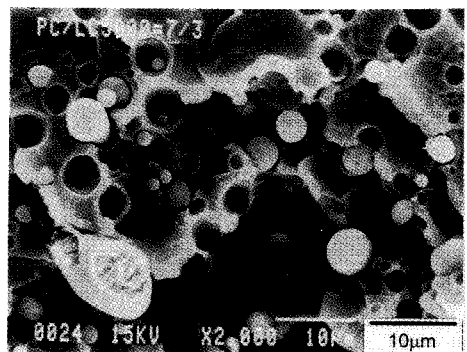
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 9. Scanning electron micrographs of cryogenically-fractured cross-sectional surfaces of PC/LCP1 blends : (a) LCP 10 wt% samples and (b) LCP 30 wt% samples.

Fig. 10. Scanning electron micrographs of cryogenically-fractured cross-sectional surfaces of PC/LCP2 blends : (a) LCP 10 wt% samples and (b) LCP 30 wt% samples.

그룹B의 PC/LCP2 블렌드의 신장거동(Fig. 7a)을 살펴보면, 순수한 PC의 최대신장점도가 신장변형률속도에 따라 증가하고, LCP2의 신장점도는 감소하는 경향은 그룹A와 비슷하나 블렌드의 신장점도는 액정고분자의 조성이 10무게%이상에서 모두 액정고분자(분산상)의 신장점도와 유사한 경향을 보였다. PET/LCP2의 경우도 블렌드의 액정고분자의 조성이 10무게%이상에서 블렌드의 신장점도가 액정고분자(분산상)의 신장점도와 같은 거동을 보여, 연속상과 비슷하게 거동하는 그룹A 블렌드와는 반대의 대조를 보였다. 이와 같이 그룹A와 그룹B의 블렌드의 신장점도의 거동이 상반되는 것은 위에서 설명한 바와 같이 액정고분자와 연속상고분자의 조업온도의 상대적 크기가 서로 반대이기 때문으로 사료된다.

신장점도는 용융상태의 고분자물질이 신장유동에서 어떤 거동을 하느냐에 대한 정보를 제공하는 중요한 유

변학적 특성으로, 특히 용융상태에서 신장변형을 할 때 견딜 수 있는 물질의 힘, 즉 용융강도의 개념과 비슷하게 해석될 수 있다. 따라서 일정한 온도에서 신장변형률속도를 유지시키면서 구한 신장점도성장곡선으로부터 그 온도와 그 신장변형률속도하에서의 응력-변형 곡선을 얻을 수 있다.

3.3. 블렌드 섬유유의 인장실험결과

미세섬유구조의 형태로 존재하는 액정고분자가 블렌드의 기계적 성질에 주는 영향을 살펴보기 위해서 블렌드 섬유유의 인장실험을 하였다. 그 결과 Fig. 8이 보여 주듯이 PC/LCP1과 PC/LCP2 블렌드 섬유 모두 액정고분자의 조성이 클수록 강도와 초기 탄성률이 공히 증가하였고, 높은 연신비로 제조해서 잘 배향된 섬유구조를 가지는 시편의 경우는 탄성률이 더 크게 증가하였다. 이



(a)



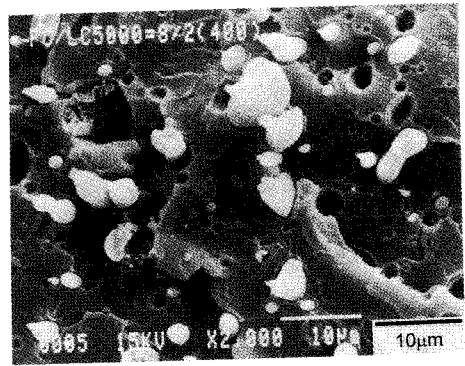
(b)

Fig. 11. Scanning electron micrographs of cryogenically-fractured cross-sectional surfaces of PC/LCP1 blends (LCP 20 wt%) : (a) draw ratio=14.2 and (b) draw ratio=25.

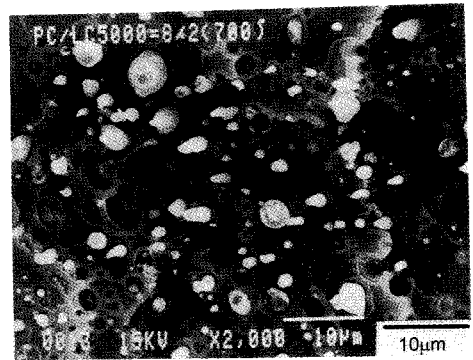
와 같이 블렌드 섬유는 기계적 성질이 크게 향상된 것은 아래의 설명과 같이 블렌드내에 미세섬유구조의 액정고분자가 존재하기 때문이다.

3.4. 블렌드 구조의 형구학적 관찰

연신시키지 않은 시편에 대한 형구학적 관찰 결과, 그룹A의 PC/LCP1 블렌드의 경우, 액정고분자의 함량이 10무게%면 분산상인 액정고분자가 구형으로 배열돼 있고, 30무게%면 섬유구조를 형성함을 알 수 있다(Fig. 9). 이에 반해 그룹B의 PC/LCP2 블렌드의 경우는 액정고분자의 함량이 30무게%에서도 분산상이 구형으로 존재하였다(Fig. 10). 이는 블렌드 제조온도에서 블렌드내에서의 분산상과 연속상의 점도비가 작을수록 분산상의 변형이 잘 되고 따라서 섬유구조의 형성도 잘 된다고 알려진 바에 기인한다[32]. 즉 본 연구에서도 그룹



(a)



(b)

Fig. 12. Scanning electron micrographs of cryogenically-fractured cross-sectional surfaces of PC/LCP2 blends (LCP 20 wt%) : (a) draw ratio=14.2 and (b) draw ratio=25.

A의 블렌드에서 이 점도비가 그룹B의 블렌드에서보다 작기 때문이다. 이 점도비는 성분에 따라 다른 것은 물론이지만, 같은 물질이라도 온도와 변형률속도에 따라 크게 다르기 때문에, 어느 특정 블렌드내에서 분산상이 섬유구조의 형태로 존재하기 위해서는 공정온도, 변형률속도와 분산상의 조성 등이 최적조건을 이루어야 된다.

또한 분산상의 섬유구조 형성과 연신비의 관계를 보면, 그룹A의 PC/LCP1 블렌드(액정고분자 조성 20무게%)의 경우가 보여 주듯이(Fig. 11), 연신비가 클수록 액정고분자가 균일하고 연신방향으로 잘 배향된 섬유구조를 형성하였다. 그룹B의 PC/LCP2 블렌드의 경우는 경향은 같으나 분산상의 섬유구조의 크기가 일정하지 않고 불균일하게 분포돼 있음을 알 수 있다(Fig. 12).

위의 연신시키지 않은 시편과 연신시킨 시편의 결과가 말해 주듯이, 연신이 분산상의 섬유구조의 형성에 결정

적 역할을 하는 것으로 판단된다[33]. 따라서 블렌드내에 섬유구조형성을 위해선 그룹A의 쌍을 택하고 또 블렌드 제조과정에서 가능한 한 많은 신장유동을 유발시켜야 됨을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 액정고분자와 열가소성 고분자의 블렌드 몇가지 시스템에 대해서 전단/신장점도 실험, 인장실험과 시편과단면 사진의 형구학적 관찰을 통해서 블렌드의 유변학적, 형구학적, 기계적 특성들의 연관성을 살펴 보았다. 실험결과, 선정된 블렌드 시스템은 유동거동과 물성이 현저히 다른 두 그룹으로 나뉘어졌으며 연속상과 분산상의 조업온도의 상대적 크기가 달랐다. 즉 연속상의 조업온도가 높은 그룹A(PC/LCP1, PEI /LCP2)와 분산상의 조업온도가 높은 그룹B(PC/LCP2, PET/LCP2)가 그것이다.

그룹A에 속하는 블렌드의 전단점도/신장점도는 액정고분자를 첨가할수록 감소하고, 블렌드의 신장점도는 연속상의 그것처럼 신장변형률속도가 커질수록 증가하였다. 또한 분산상의 점도가 연속상의 그것보다 작아서 분산상이 미세섬유구조의 형태로 존재하고 따라서 기계적 특성이 좋았다. 그룹B에 속하는 블렌드의 전단점도/신장점도는 액정고분자를 첨가할수록 증가하고, 블렌드의 신장점도는 분산상의 그것처럼 신장변형률속도가 커질수록 감소하였다. 또한 분산상의 점도가 연속상의 그것보다 커서 분산상의 섬유구조가 존재하지 않았다. 한편 연신변형이 증가 되는 방사공정을 거쳐서 얻은 블렌드 섬유의 경우는 그룹A와 B 공히 분산상이 미세섬유구조의 형태로 존재하고 기계적 성질도 크게 향상되는 결과를 보였다. 이는 블렌드내의 신장유동이 분산상의 섬유구조형성에 결정적 역할을 하기 때문으로 생각된다.

감 사

본 연구는 한국과학재단 특정기초과제 93-0300-02-01-3의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. A. Brydson, "Plastic Materials", 5th ed., Butterworths, London, 1989.
2. L. A. Utracki, *Polym. Eng. Sci.*, **35**, 2 (1995).
3. M. R. Nobile, D. Acierno, L. Incarnato, E. Amendola, L. Nicolais, and C. Carfagna, *J. Appl. Polym. Sci.*, **41**, 2723 (1990).
4. C. S. Brown and P. T. Alder, "Polymer Blends and Alloys", edited by M. G. Folkes and P. S. Hope, Chapman & Hall, London, 1993, p.195.
5. D. Dutta, H. Fruitwala, A. Kohli, and R. A. Weiss, *Polym. Eng. Sci.*, **30**, 1005 (1990).
6. A. Siegmann, A. Dagan, and S. Kenig, *Polymer*, **26**, 1325 (1985).
7. C. Carfagna, P. A. Netti, L. Nicolais, and A. T. Dibenedetto, *Polymer Composites*, **13**, 169 (1992).
8. G. Kiss, *Polym. Eng. Sci.*, **27**, 410 (1987).
9. C. Carfagna, E. Amendola, L. Nicolais, D. Acierno, O. Francescangeli, B. Yang, and F. Rustichelli, *J. Appl. Polym. Sci.*, **43**, 839 (1991).
10. K. Huang, Y. G. Lin, and H. H. Winter, *Polymer*, **33**, 4533 (1992).
11. H. Sugiyama, D. N. Lewis, J. L. White, and J. F. Fellers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 2329 (1985).
12. W. J. Jackson and H. F. Kuhfuss, *J. Polym. Sci.*, **14**, 2043 (1976).
13. D. K. Yang and W. R. Krigbaum, *J. Polym. Sci.*, **27**, 819 (1989).
14. A. D. Gotsis and D. G. Baird, *Rheol. Acta*, **25**, 275 (1986).
15. F. P. La Mantia and A. Valenza, *Polym. Eng. Sci.*, **29**, 625 (1989).
16. T. S. Wilson and D. G. Baird, *J. Non-Newton. Fluid Mech.*, **44**, 85 (1992).
17. S. K. Kwon and I. J. Chung, *Polym. Eng. Sci.*, **35**, 1137 (1995).
18. W. N. Kim and M. M. Denn, *J. Rheol.*, **36**, 1477 (1992).
19. A. Mehta and A. I. Isayev, *Polym. Eng. Sci.*, **31**, 971 (1991).
20. F. P. La Mantia, A. Valenza, M. Paci, and P. L. Magagnini, *Polym. Eng. Sci.*, **30**, 7 (1990).
21. F. P. La Mantia, A. Valenza, and P. L. Magagnini, *J. Appl. Polym. Sci.*, **44**, 1257 (1992).
22. F. P. La Mantia, A. Valenza, and F. Scargiali, *Polym. Eng. Sci.*, **34**, 799 (1994).
23. J. He, W. Bu, and H. Zhang, *Polym. Eng. Sci.*, **35**, 1695 (1995).
24. R. Gonzalez-Nunez, B. D. Favis, P. J. Carreau,

- and C. Lavallee, *Polym. Eng. Sci.*, **33**, 851 (1993).
25. D. E. Turek, G. P. Simon, and C. Tiu, *Polym. Eng. Sci.*, **35**, 52 (1995).
26. D. Beery, S. Kenig, A. Siegmund, and M. Narkis, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 14 (1992).
27. M. R. Nobile, E. Amendola, and L. Nicolais, D. Acierno, and C. Carfagna, *Polym. Eng. Sci.*, **29**, 244 (1989).
28. T. M. Malik, P. J. Carreau, and N. Chapleau, *Polym. Eng. Sci.*, **29**, 600 (1989).
29. M. R. Nobile, D. Acierno, L. Incarnato, and L. Nicolais, *J. Rheol.*, **34**, 1181 (1990).
30. S. H. Lee, B. M. Kim, and J. C. Hyun, *Korean J. of Chem. Eng.*, **12**, 345 (1995).
31. Y. Ide and J. L. White, *J. Apply. Polym. Sci.*, **22**, 1061 (1978).
32. W. J. Milliken and L. G. Leal, *J. Non-Newt. Fluid Mech.*, **40**, 355 (1991).
33. A. Kohli, N. Chung, and R. A. Weiss, *Polym. Eng. Sci.*, **29**, 573 (1989).