

# 제 7 장

특수엔지니어링 고분자를  
포함한 블렌드

## 제 7장 특수 엔지니어링 고분자를 포함한 블렌드

특수 엔지니어링 고분자는 유리 전이 온도 및 용융 온도가 매우 높고 화학적 안정성이 뛰어나며 우수한 기계적 강도를 가지고 있기 때문에 내열성, 기계적 강도, 및 내구성이 요구되는 구조물 등에 금속, 나무, 석재 등 기존의 재료를 대체할 수 있는 신소재로서 현재 세계적으로 널리 연구되고 있다. 특수 엔지니어링 고분자는 기존의 재료에 비해 가볍고, 경제성 및 가공성이 우수하기 때문에 이에 대한 수요는 확대되고 있는 추세이다. 특수 엔지니어링 고분자로는 poly(ether imide) (PEI), poly(phenylene sulfide) (PPS), poly(amide imide) (PAI), 그리고 poly(ether ether ketone) 등을 들 수 있다. 특수 엔지니어링 고분자 및 특수 엔지니어링 고분자들의 블렌드가 구조재료 사용되기 위해서는 재료의 물성이 가장 중요한 역할을 하기 때문에 특수 엔지니어링 고분자 및 특수 엔지니어링 고분자 블렌드의 물성에 관한 연구는 향후 국내 산업 기술의 국제 경쟁력 향상에 기여하게 될 것으로 보이며, 이에 대한 검토는 블렌드 연구의 또 다른 가능성을 제시한다.

## 7.1 Poly(ether ether ketone) (PEEK)을 포함한 블렌드

Poly(ether ether ketone) (PEEK)는 결정형 특수 엔지니어링 고분자로서 기계적 강도가 우수하고 열안정성 및 화학적 안정성이 우수하기 때문에 여러 가지 복합재료의 매트릭스 물질로 널리 사용되고 있다. 본 절에서는 PEEK가 포함된 고분자 블렌드 시스템을 알아보고 그 상용성에 대해서 논하고자 한다. 특수 엔지니어링 고분자는 물성적인 측면에서 매우 우수하기 때문에 많은 관심을 모으고 있으나 그에 반해 가공의 어려움 등으로 인해 실용화에 상당한 어려움을 겪고 있다. 이러한 어려움을 극복하고자 블렌드 기법이 도입되는데, 블렌드 시스템의 성공 여부는 도입되는 조성과 엔지니어링 고분자의 상용성에 있다 하겠다. 따라서, 여기서는 현재 많이 사용되고 있는 블렌드 시스템으로서 PEEK/PEI와 PEEK/액정고분자(LCP) 블렌드 시스템의 상용 가능성과 특징에 대해서 알아보하고자 한다.

### 7.1.1 PEEK와 PEI 블렌드의 결정화

PEI는 특수 엔지니어링 고분자로서 무정형 고분자이며, 무정형 상태의 PEEK와는 전 조성 범위에서 상용성이 있는 것으로 알려져 있다. PEEK와 PEI와의 장점을 모두 가진 새로운 물질을 개발하기 위하여 두 고분자의 블렌드에 관한 연구가 광범위하게 이루어지고 있으며 최근에는 많은 연구자들이 PEEK와 PEI와의 블렌드에서 PEEK의 결정화 과정과 형태학적 구조에 관한 연구를 수행하였다.

Hudson 등은 PEEK 결정 단위 격자는 블렌드의 조성에 관계없이 일정하지만 구정은 PEI의 무게 분율이 증가 할 수록 점차로 열린 형태의 구조를 갖는다고 보고하였다. 이 결과로부터 PEI는 PEEK의 결정화 속도를 느리게 하는 역할을 함을 알 수 있었다.

Crevecoeur와 Groeninckx는 PEI와 PEEK의 블렌드에서 PEEK의 결정화 거동을 열분석과 소각 X-선 산란을 이용하여 연구하였다. 그들은 무정형 상태의 블렌드는 하나의 유리 전이 온도를 나타내었으며, Fox 식으로 예측한 유리 전이 온도와 실험으로 구한 유리 전이 온도가 잘 일치한다고 보고하였다. 결정형 상태의 블렌드에서는 PEEK가 결정화함에 따라 블렌드의 유리 전이 온도가 상승하게 된다고 보고하였다.

Lee 등은 PEEK/PEI 블렌드 시스템의 열적 특성과 형태학적 구조 관계를 고찰하고 상호작용 계수를 구하였다. 그림 7.1은 PEEK/PEI 무정형 블렌드의  $T_g$ 를 나타내는데 실험으로 측정된  $T_g$ 가 실선으로 표시된 Fox 식으로 예측한 경우와 잘 일치함을 알 수 있다. 이는 PEEK/PEI 블렌드를 액체질소에 급냉으로 인하여 PEEK의 결정화도가 감소하였기 때문이라고 해석할 수 있으며, PEEK의 결정화도가 블렌드 시스템의  $T_g$ 에 영향을 미치는지에 대해서는 많은 연구자들의 논란의 대상이 되어왔다.

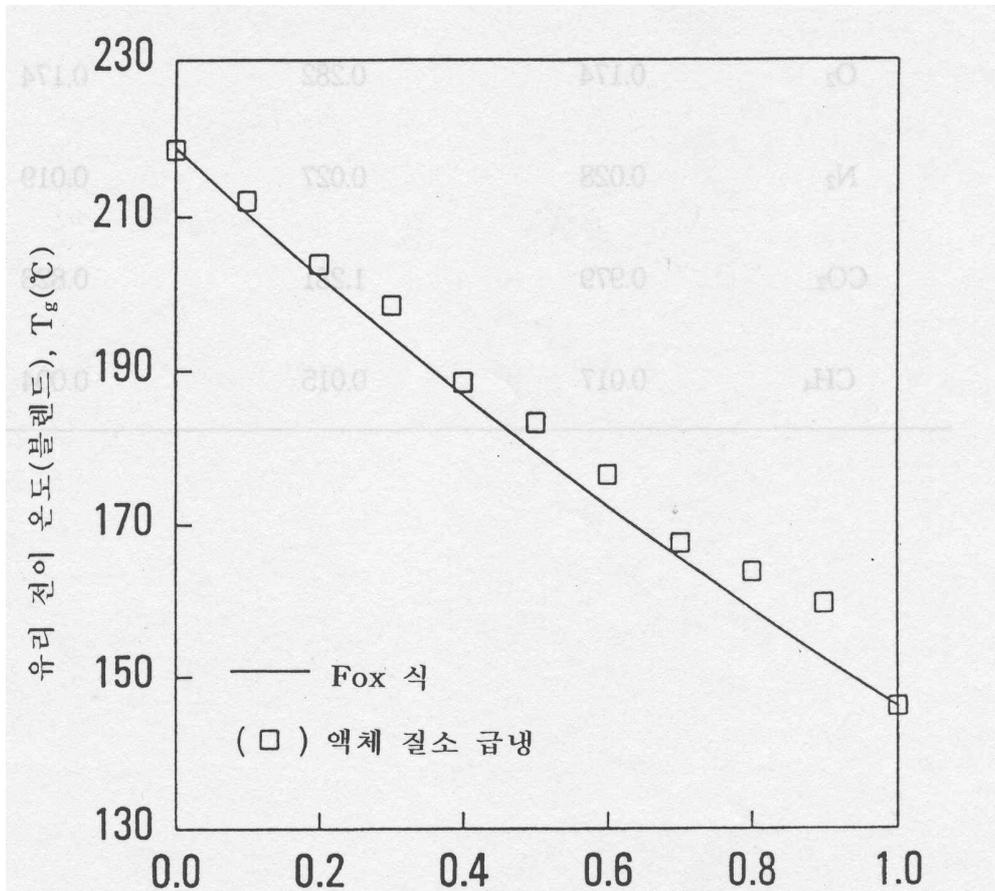


그림 7.1 무정형 PEEK/PEI 블렌드의  $T_g$ 에 따른 블렌드 조성효과. (곡선은 Fox 식의 수학적 모델을 나타낸다)

일반적으로 PEEK/PEI 블렌드는 무정형 상태에서 전 조성 범위에서 상용성이 있는 것으로 알려져 있으나, PEI는 무정형 고분자이지만 PEEK는 결정형 고분자이므로 PEEK의 결정화로 인한 상분리가 일어날 수 있다고 보고되고 있다. PEEK/PEI 블렌드의 등온 결정화 과정은 몇몇 연구자들에 의하여 보고되고 있다. Crevecoeur와 Groeninckxs는 PEEK가 결정화를 함에 따라서 PEEK/PEI 블렌드의  $T_g$ 는 증가하며, 무정형 블렌드에서와 같이 하나의  $T_g$ 를 나타낸다고 보고하였다. 그림 7.2에서 보면 PEEK의  $T_g$ 는 PEI의 무게 분율이 증가함에 따라 20 K까지 증가함을 볼 수 있으며, PEI  $T_g$ 는 PEEK의 무게 분율이 증가함에 따라 8 K까지 감소함을 볼 수 있다. 완전히 상용성이 있는 고분자 블렌드에서는 하나의  $T_g$ 를 관찰할 수 있지만 부분적으로 상용성이 있는 고분자 블렌드에서는 중앙으로 이동된 두개의  $T_g$ 를 관찰할 수 있다고 알려져 있다. 따라서 그림 7.2의 결과로부터 냉각속도를 느리게 하여 얻은 결정형 상태를 가지고 있는 PEEK/PEI 블렌드는 부분적으로 상용성이 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 PEEK/PEI 블렌드에서 PEEK가 결정화하는 과정에서 PEI가 라멜라 (lamellae) 다발 사이로 배제되기 때문이다.

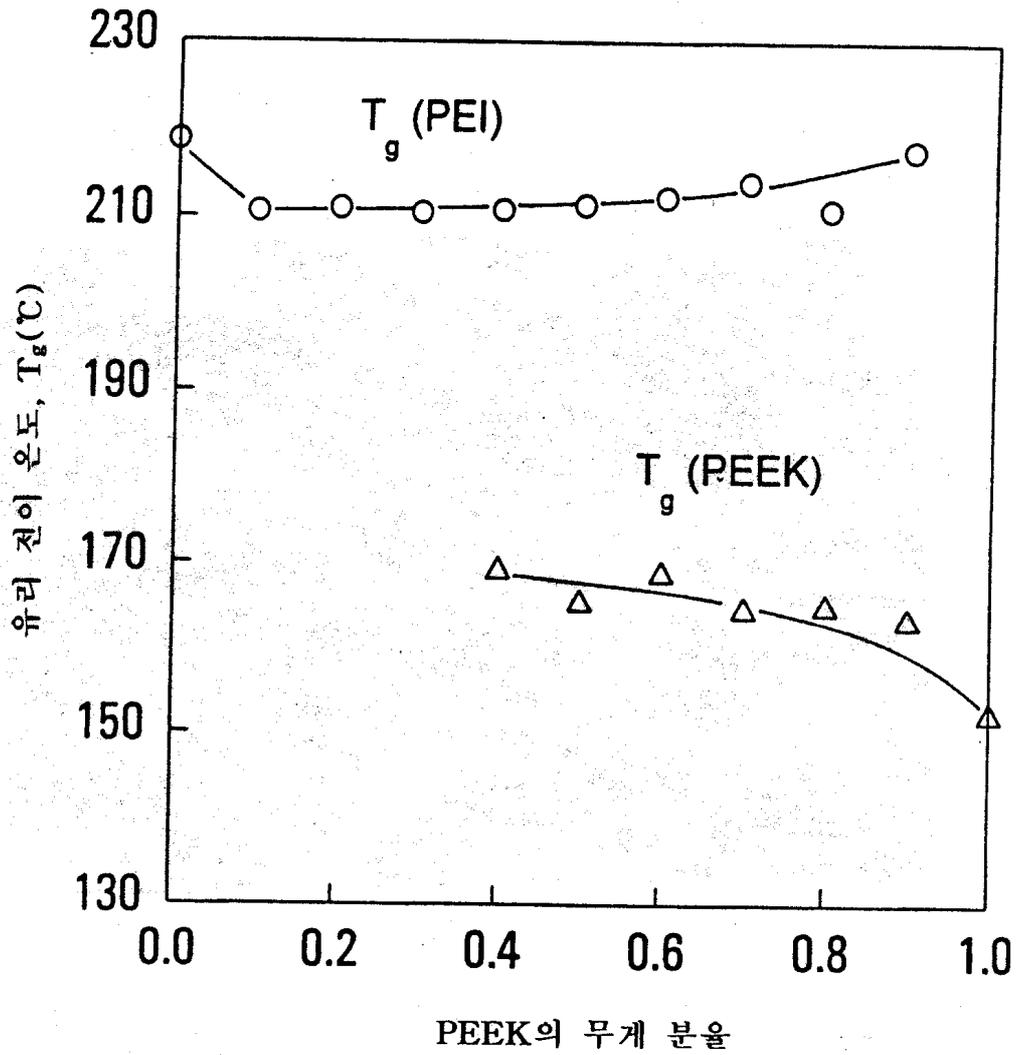


그림 7.2 느린 냉각 (5K/min)에 의해 얻어진 결정성 PEEK/PEI 블렌드에서의 조성에 따른 두 개의 T<sub>g</sub>.

순수한 PEEK의 결정화로 인한 이중 용융거동 현상이 Bas 등에 의해 이미 확인된 바 있으며, 블렌드에서 PEEK의 결정화로 인한 두 개의  $T_g$  관찰은 당연한 결과로 생각되어진다. Chen과 Porter는 PEEK/PEI 무정형 블렌드의 밀도를 측정하여 블렌드의 밀도가 단순 가산 법칙으로 예측한 밀도보다 작게 나타나는 결과로부터 PEEK/PEI 블렌드에서 두 성분간의 상호 작용은 인력에 의한 것이라고 보고하였고, Hsiao와 Sauer는 용융점 강하 방법을 통하여 PEEK/PEI 블렌드는 매우 약한 인력을 가지고 있다고 확인하였다. 이런 상황을 미루어 볼 때 PEEK/PEI 블렌드는 두 성분간에 약한 인력이 있어서 Flory-Huggins 상호작용 계수 ( $\chi_{12}$ )는 음의 값일 것을 추론할 수 있다. Chun 등은 유리 전이 온도와 상호작용 계수와의 관계를 설명하는 (7-1)식~(7-4)식 등을 이용하여 표 7.1에 PEEK/PEI 무정형 블렌드의 Flory-Huggins 상호작용 계수 ( $\chi_{12}$ )가 조성에 따라 나타내었다.

$$T_{gm} = \frac{w_1 T_{g1} + kw_2 T_{g2}}{w_1 + kw_2} + \frac{Aw_1w_2}{(w_1 + kw_2)(w_2 + bw_2)(w_1 + cw_2)^2} \quad (7-1)$$

$$+ \frac{(w_2\Delta T_2\Delta C_{p2} - w_1\Delta T_1\Delta C_{p1})}{8(w_1 + kw_2)(\Delta C_{p1} - w_2\delta C_p^g)}$$

$$A = \frac{\chi_{12}R(T_{g1} - T_{g2})c}{M_1\Delta C_{p1}} \quad (7-2)$$

$$k = \frac{\Delta C_{p2} + w_1\delta C_p'}{\Delta C_{p1} - w_2\delta C_p^g} \quad (7-3)$$

최근에는 atomic force microscope (AFM), X-선 산란기법 등을 이용해서 결정거동과 형태학적 특징에 대해 활발히 연구중이며, 다양한 측정방법을 통해 구한 유리 전이 온도와 조성과의 관계에 대하여 여러 연구자들이 발표하였다.

표 7.1 무정형 Poly(ether ether ketone) (PEEK)와 poly(ether imide) (PEI) 블렌드의 고분자 상호작용 계수 ( $\chi_{12}$ ) (Y. S. Chun, H. S. Lee, H. C. Jung, and W. N. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, **72**, 733, 1997)

PEEK/PEI 블렌드	$\chi_{12}^b$
1 : 9	-8.08
2 : 8	-4.67
3 : 7	-8.04
4 : 6	-3.00
5 : 5	-4.32
6 : 4	-4.34
7 : 3	-2.59

<sup>a</sup> 모든  $\chi_{12}$  값은 (7-1)식으로부터 계산된 값임.

### 7.1.2 PEEK와 액정 고분자와의 블렌드

고분자와 고분자의 블렌드에서 두 성분간의 Flory-Huggins 고분자-고분자간 상호작용 계수 ( $\chi_{12}$ )는 상용성뿐만 아니라 블렌드의 물리적 성질에 미치는 영향이 매우 크므로 이에 대한 연구는 블렌드의 물성에 관한 연구에서 상당히 중요하다. 앞에서 수 차례 언급된바 있듯이 상용성이 있는 고분자 블렌드의 Flory-Huggins 고분자-고분자간 상호작용 계수 ( $\chi_{12}$ )에 관하여서는 상당히 많은 고분자들에 대하여 보고되어져 있으며, 용융점 강하, 광산란 기법, 역 가스 크로마토 그래피, 기상 수축 등의 방법으로 연구되고 있다. 부분적으로 상용성이 있는 고분자 블렌드의  $\chi_{12}$ 는 Kim과 Burns에 의하여 최근 활발히 연구되어져 왔다.

부분적으로 상용성이 있는 고분자 블렌드의  $\chi_{12}$ 는 임계값보다 큰 양의 값을 가지게 되는데 최근에는 양의 값을 가지는  $\chi_{12}$ 와 블렌드의 물리적 성질과의 관계에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Yeung 등은 블렌드의 표면장력 ( $\gamma$ )과  $\chi_{12}$ 와의 관계를 연구하였고, Willet 등은 용접된 고분자의 계면을 쪼개는 힘은  $\chi_{12}$ 에 반비례한다고 보고하였다. 부분적으로 상용성이 있는 고분자 블렌드에서는 블렌드의 계면에서 각 성분이 서로 침투해 들어가는 거리인 평형두께 ( $d_{\infty}$ )를 정의할 수 있는데, Helfand와 Tagami는  $\chi_{12}$ 와 평형두께와의 관계식을 제안하였다. Han과 Kim은 상용성이 있는 블렌드에서의  $\chi_{12}$ 와 zero 전단 점도 ( $\eta_0$ )와의 관계에 관하여 보고하였다.

액정 고분자를 포함한 고분자 블렌드의 Flory-Huggins 고분자-고분자간 상호 작용계수 ( $\chi_{12}$ )에 관하여서는 Krause가 용해도 계수 방법을 이용하여 poly (butylene terephthalate)와 액정 고분자와의  $\chi_{12}$ 를 구하였으며, Meuse와 Jaffe는 ten Brinke가 제안한 상호작용 이론을 이용하여 액정 고분자를 포함한 블렌드의  $\chi_{12}$ 를 결정하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 Meuse와 Jaffe가 지적한 바와 같이 액정 고분자의 이방성이 고려되지 않았기에 엄밀한 상호작용 계수라고 정의할 수 없다.

Jung 등은 PEEK와 p-hydroxy benzoic acid/poly(ethylene terephthalate) (HBA/PET)의 공중합체인 열방성 액정 고분자 (Rodrun 5000)와의 블렌드에서 이방성이 고려된  $\chi_{12}$ 를 구하였다. PEEK와 같은 분자구조가 유연한 고분자의 결정은 접힌 사슬 구조를 가지는데 반하여 열방성인 Rodrun 5000의 결정은 접힌 사슬 구조를 가지지 않으며 한쪽 방향으로 배향을 한 NPL (nonperiodic layer) 구조를 갖는다. 즉, 네메틱 상태에서 같은 종류의 단량체가 서로 이웃하게 되는 경우 고체 결정 상태를 보이게 된다. 이러한 NPL 구조는 Amundson 등이 Rodrun 5000에 대하여 NMR의 연구를 통하여 제안한 바 있다. 또한 Rodrun 5000은 용융 상태에서도 한쪽 방향으로 배향을 하는 네메틱 상태를 나타내므로, 용융 상태와 고체 결정 상태에서 구조의 변화가 크지 않다. 이는 Rodrun 5000의 용융엔탈피가 3 J/g로 매우 작게 나타나는 것에서도 확인 할 수 있다. 따라서 Rodrun 5000은 냉각속도에 따른 구조의 변화가 크지 않기 때문에 냉각속도에 따른 유리 전이 온도의 변화는 무시할 수 있다.

PEEK/Rodrun 5000 블렌드에서 PEEK의 유리 전이 온도가 감소하며, Rodrun 5000의 유리 전이 온도가 증가하는 결과로부터 PEEK와 Rodrun 5000은 부분적으로 상용성이 있음을 알 수 있었다. 이와 유사한 결과는 Bretas와 Baird에 의하여서도 보고된 바 있다. PEEK/LCP 블렌드 시스템의 유리 전이 온도 관찰로 알 수 있듯이 LCP의 방향성이 시스템 전반에 영향을 줄 것이라 예측할 수 있으며, 따라서 상호작용 계수도 이러한 점을 고려해야 한다. Jung등은 (7-4), (7-5)식 그리고 (7-6)식과 실험에 의해 결정된 겉보기 부피 분율로부터 Rodrun 5000의 이방성을 고려한 상호작용 계수와 불규칙도 ( $y/x_1$ )를 구하였으며, 표 7.2에 나타내었다.

$$\exp\left(\frac{-2}{y}\right) = 1 - \phi_1\left(1 - \frac{y}{x_1}\right)$$

(7-4)

$$\ln\left(\frac{\phi_1'}{\phi_1''}\right) + \phi_1' x_1 m \left(\frac{y}{x_1} - \frac{1}{x_1 m}\right) - \phi_1'' (x_1 m - 1)$$

$$+ x_1 m \left(1 - \frac{1}{x_2}\right) (\phi_2' - \phi_2'') + 2m \left[1 + \ln\left(\frac{x_1}{y}\right)\right] + x_1 m x_{12} (\phi_2'^2 - \phi_2''^2) = 0$$

(7-5)

$$\ln\left(\frac{\phi_2'}{\phi_2''}\right) + \phi_1' x_2 \left(\frac{y}{x_1} - \frac{1}{x_1 m}\right) - \phi_1'' x_2 \left(1 - \frac{1}{x_1 m}\right)$$

$$+ (x_2 - 1) (\phi_2' - \phi_2'') + \frac{2x_2}{y} + x_2 x_{12} (\phi_1'^2 - \phi_1''^2) = 0$$

(7-6)

여기서,  $\phi$ 는 부피 분율,  $x_2$ 는 성분 2의 중합도,  $y/x_1$ 는 불규칙 정도

(degree of disorder),  $n$ 은 중합도, 그리고  $\chi_{12}$ 는 고분자-고분자 상호작용 계수이다.

표 7.2 Poly(ether ether ketone) (PEEK)와 Rodrun 5000 액정고분자 블렌드의 불규칙 정도 (degree of disorder,  $y/x_1$ ) 와 상호작용 계수 ( $\chi_{12}$ ) (H. C. Jung, H. S. Lee, Y. S. Chun, S. B. Kim, and W. N. Kim, *Polym. Bull.*, **41**, 387, 1998)

블렌드 <sup>a</sup>	$\Phi_1'$	$\Phi_1''$	$y$	$y/x_1$	$\chi_{12}^b$
0.7	0.9643	0.0342	25.68	0.92	0.066
0.8	0.9696	0.0461	17.77	0.89	0.065
0.9	0.9892	0.0561	10.48	0.82	0.073

<sup>a</sup> PEEK의 무게 분율.

<sup>b</sup> (7-4), (7-5), 그리고 (7-6)식으로부터 계산된 값임.

PEEK의 반복단위를 격자 단위 부피로 Rodrun 5000과 PEEK에 대하여  $x_{1m} = 60.5$  그리고  $x_2 = 48.6$ 의 값을 사용하였다. 표 4.2에서 보면 Fox 식을 이용하여 구한 각상의 겉보기 부피 분율과 PEEK와 Rodrun 5000의  $\chi_{12}$ 는 350°C에서  $0.070 \pm 0.004$ 의 값을 가짐을 알 수 있다.

## 7.2 Poly(phenyl sulfide)를 포함한 블렌드

Polyphenyl sulfide (PPS) 수지는 1970년대 초 미국의 필립스 석유사에 의하여 상업화된 이후로 꾸준한 용도 개발과 제조 기술의 발달을 통하여 내열성 및 내화학성이 요구되는 분야에 있어서 기존의 poly(ethylene terephthalate) (PET) 수지를 대체하고 있는 고성능 열가소성 수지이다.

본 절에서는 최근 들어 많은 분야에서 각광받고 있는 PPS의 블렌드 시스템의 연구 진행상황을 대략적으로 검토해 보고, 그 중 PPS/LCP, 및 PPS/탄소섬유 블렌드 시스템에 대하여 자세히 고찰해봄으로써 PPS에 대한 특징과 전반적인 지식을 넓히는데 그 목적을 삼고자 한다.

PPS의 연구는 물성 향상과 더불어 적용범위의 확대를 목적으로 진행되었는데 먼저 유리섬유, 탄소 섬유 또는 유리/광물질 충전제 등의 첨가하여 복합 재료화하는 방안이 상업적으로 많이 응용되고 있다. 섬유상 충전제의 첨가의 경우 PPS의 강성과 탄성계수에 있어서 상당한 향상을 보인 반면, 섬유가 공정 동안에 고체 상태로 남아 있는 이유로 인하여 공정상의 어려움과 더불어 비용의 상승 효과를 가져왔다.

다른 방안으로는 PPS의  $T_g$  상승을 위하여 분자구조를 조절하는 방법이 있는데 이는 PPS 고유의 특성인 고온, 산소 분위기에서의 가교반응을 이용하거나 PPS의 중합시 단량체로써 p-dichlorobenzene,

m-dichlorobezene, 그리고 trichloro-aromatic material 등을 이용하는 방법이다. 그러나, 이러한 방법을 통한 새로운 수지의 개발은 시간과 비용이라는 측면에서 경제성이 떨어지므로 현재에는 이종의 고분자와의 블렌드를 통한 물성 향상을 도모하는 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다. PPS연구도 상용성 및 상호작용관계, 결정화 거동과 형태학적 구조 연구가 근간을 차지하고 있으며 물성 향상을 위한 제안 등으로 진행되고 있다.

Landry와 Teegarden는 여러 가지 모델 화합물의 혼합열을 조사하여 PPS와의 상용성을 예측하였는데, 각 화합물의 혼합 엔탈피는 각 화합물 사이의 상호작용과 분산력 효과의 합으로 설명하고 있다. 즉, polysiloxane의 모델 화합물에 있어서 방향족 곁가지 존재는 PPS 모델 화합물, 다시 말해 phenyl sulfide와의 상용성을 향상시키며, 이는 페닐기 사이의  $\pi$ -전자 상호작용과 페닐기의 존재에 의한 분산력의 감소에 기인한 것이라고 추정하였다. 또한 카르보닐 계통의 화합물과의 혼합에서는 방향족 계통보다는 지방족 계통이, 탄화수소 사슬이 길어지면 길어질수록 PPS 모델 화합물과의 혼합에서 훨씬 혼합이 용이해지는 것을 확인하였으며, 이는 페닐기와 카르보닐기 사이에서의 유발 쌍극자 상호작용과 탄화수소 사슬이 카르보닐기 사이의 분해를 방지하기 때문인 것으로 추정하였다.

결정화 거동의 연구 또한 블렌드 시스템의 근본적인 이해를 위해 빠뜨릴 수 없는 연구분야로서 Radhakishnan과 Joshi은 PPS와 PS의 블렌드에 있어서 분말 블렌딩, 용융 블렌딩, 그리고 용액 블렌딩 등 각각의 블렌딩 기술을 시도한 후 결정화 거동에 대하여 조사하였다. PPS에 PS를 첨가함에 따라 결정의 크기는 감소하지만 반 결정화 시간 (crystallization half time)은 증가하며, 결정을 둘러싸고 있는 무정형 매개체의 증가는 열처리를 통한 결정의 성장을 저해하여 용액 블렌딩의 경우에 분말 또는 용융 블렌딩의 경우보다 PPS결정의 형성에 있어 확연한 감소를 보인다고 보고하였다.

Golovoy등은 PPS와 polyarylate (PAR)의 블렌드를 도입하여 유리 전이 거동과 형태학적 구조를 분석하였다. PPS와 PAR 블렌드 가공 공정시, PAR의 분자량이 감소하는데, PPS의 함량이 많아질수록 그리고 공정이 반복될수록 분자량 감소 정도가 크며, PAR 45% (무게비)의 경우 순수 PAR의 무게 평균분자량 약 49,600에서 PPS/PAR 블렌드의 압출, 사출성형 후에는 GPC분석 결과 약 31,000의 값을 보였다고 보고하였다. 이는 PPS의 공정시에 방출되는 SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S 등에 의하여 PAR의 가수분해 속도가 증가하기 때문이며 PET, PC 등과의 블렌드에서도 같은 효과를 보일 것이라고 예측하고 있다.

상용성 고분자 블렌드의 경우에는 결정화 거동에 있어서 결정화 성분의 용융점 감소와 구정 성장 속도의 감소가 그리고 비상용성 고분자 블렌드의 경우에는 결정화 거동과 형태학적 변화는 계면에서의 기

핵화와 결정성 고분자에 의한 이차 성분의 배척 (rejection), 증진 (engulfment), 그리고 변형에 의해 좌우되며, 이에 따라 블렌드의 결정화 거동은 각 성분의 혼화도, 상대 용융 점도, 화학적 상용성, 함량, 그리고 분산상의 형태학적 구조에 영향을 받는다는 사실은 이미 이 책의 전 부분에 걸쳐 증명되고 있다. 이러한 결정화 거동을 좀 더 명확하게 관찰하고자 많은 실험장치들이 도입되었는데, Nadkarni와 Radhakrishnan은 X-선 산란기법을 이용하여 PPS와 HDPE 또는 poly(tetrafluoro ethylene) PTFE의 분말 블렌딩을 통하여 블렌드의 결정 구조와 형태학적 구조에 대하여 조사하였는데 PPS/HDPE의 경우 결정화도가 혼합법칙보다 훨씬 큰 값을 갖는다는 것을 발견하였고, 이는 블렌드의 분말 공정시에 압축성형 온도 보다 낮은 유리 전이 온도를 갖는 HDPE의 흐름이 일어나서 조밀성과 배향을 형성하기 때문이라고 설명하였으며, 이를 형태학적 구조 관찰을 통하여 확인하였다.

X-선 산란기법과 더불어 NMR은 최근 블렌드 연구에 있어서 필수장비로 꼽히는데 블렌드의 분산상 구조 연구에 탁월한 능력을 발휘하였으며, PPS와 poly(ether sulfone) (PES)에 응용되기도 하였다. 이 밖에도 PPS/bisphenol-A polysulfone (PSF), PPS/PEI, PPS/PSF/PEI, PPS/PTFE, PPS/고무, 그리고 PPS/nylon 블렌드등이 연구 또는 상업적으로 응용되고 있다.

열방성 액정 고분자 (LCP)와 유연한 분자 사슬을 가지고 있는 고분자의 블렌드는 LCP 조성이 낮을 경우 블렌드의 점도를 감소시킨다는 장점을 가지고 있다. Lee등은 DSC와 레오미터 등을 사용해 PPS/LCP 블렌드 시스템의 상호작용 여부와, 유연학적 데이터를 통한

블렌드의 구조를 해석하였다. 그림 7.3은 액정 고분자인 vectra와 PPS (9/1) 블렌드의 형태학적 구조를 나타내는데 여러 연구자들에 의해서 확인된 바 있듯이 액정 고분자인 Vectra와 PPS 사이의 접촉을 관찰할 수 없으며, PPS의 용융 온도 ( $T_m$ )와 결정 온도 ( $T_c$ )에 대한 열처리 효과는 미미하고, 두 고분자의  $T_m$  강하는 어떠한 조성에도 발견되지 않았다. 이 결과는 Seppla와 그 외 연구자들이 순수한 PPS의 용융 온도가 283°C에서 285°C에 위치한다는 보고와 거의 동일하며 따라서 두 조성간의 상호작용은 거의 없는 것으로 판단된다.

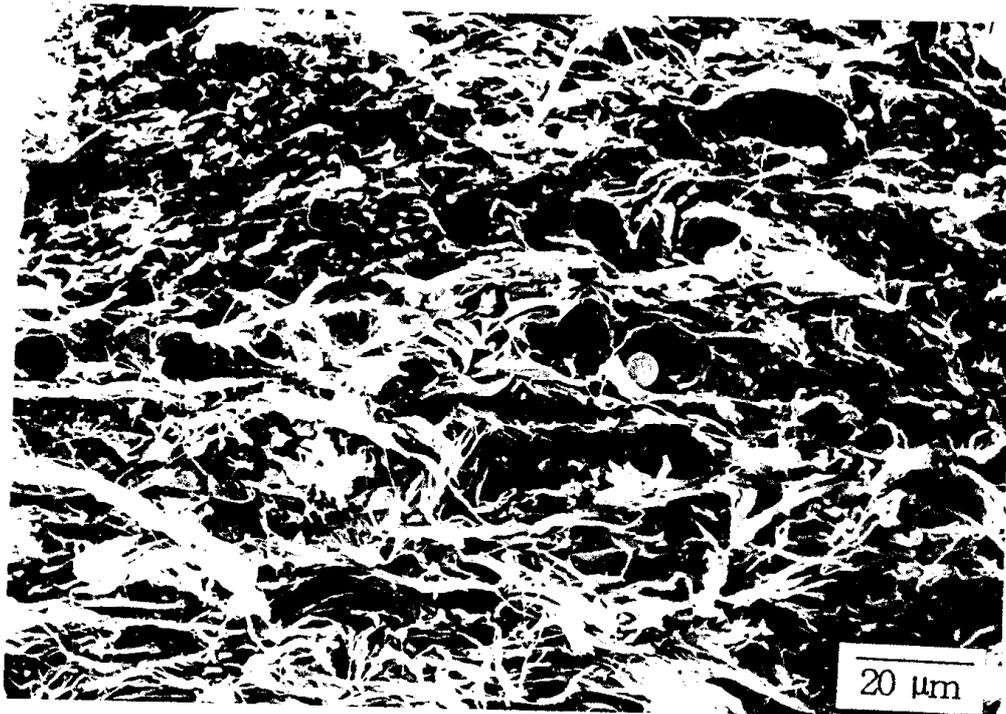


그림 7.3 Vectra/PPS (9/1) 블렌드의 저온 파단표면의 주사 전자 현

미경사진.

그림 7.4는 액정 고분자인 vectra와 PPS 블렌드의 점도 변화를 나타내는데 전 조성에서 전단 박화 현상을 보이며 이러한 현상은 LCP가 가지는 특이한 구조 때문으로 생각되어지며, 열방성 액정 고분자의 섬유 구조는 열방성 액정 고분자와 등방성 상과의 점도비와 전단속도에 영향받음을 보고하였다.

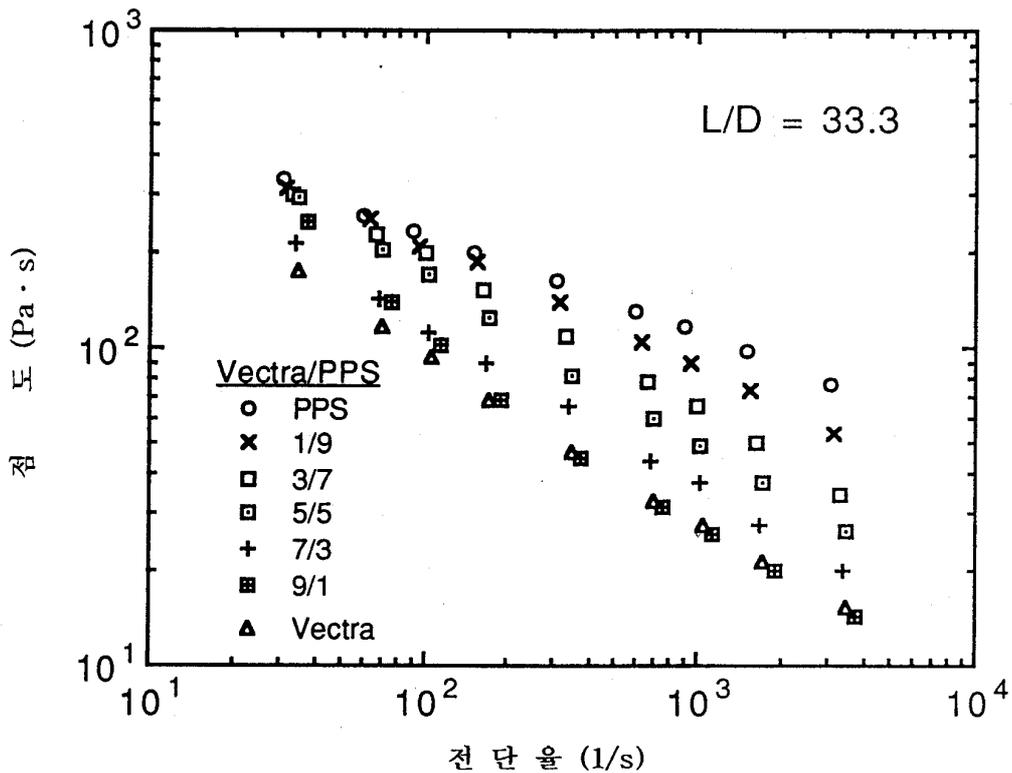


그림 4.4 Vectra/PPS 블렌드에 대한 모세관 점도 데이터. (330°C에

서  $L/D=33.3$ 이다)

한편, LCP 와 PPS는 고온 특성화 고분자로서 전기 또는 전자 산업에 특히 유용하게 사용된다. 최근 PPS/LCP 블렌드가 사출 성형하는 동안 인화 (flashing)를 방지하며 또한 인화 생성의 성질은 블렌드의 LCP 조성 함량에 따라 좌우됨이 보고되면서, 실제 가공에 있어서 PPS/LCP의 형구학적 연구는 새로운 전기를 맞이하게 되었고, 실용적인 측면에서 그 관심 또한 증대되었다. LCP의 함량은 블렌드의 기계적 성질에 지대한 영향을 가지므로 조성에 따른 블렌드의 형태학적 구조, 특히 시편 내에서 LCP의 through-thickness의 연구는 여러모로 의미 있는 일이라 하겠다.

