

## Polycarbonate/Polybutylene Terephthalate/Impact Modifier 블렌드의 유동특성, 기계적 성질 및 내화학성

류 민 영<sup>†</sup>

서울산업대학교 금형설계학과 정밀기계기술연구소  
(2001년 9월 3일 접수, 2002년 1월 26일 채택)

### Flow Characteristics, Mechanical Properties and Chemical Resistance of Polycarbonate/Polybutylene Terephthalate/Impact Modifier Blends

Min-Young Lyu<sup>†</sup>

*Institute of Precision Machinery Technology,  
Department of Die & Mould Design, Seoul National Univ. of Technology,  
172 Gongreung 2-Dong, Nowon-Gu, Seoul 139-743, Korea  
†e-mail: mylyu@duck.snut.ac.kr*

*(Received September 3, 2001; accepted January 26, 2002)*

**요약** : 본 논문은 폴리카보네이트 (PC)/폴리부틸렌 테레프탈레이트 (PBT)/충격보강제 (IM) 블렌드에서 PC와 PBT의 조성비에 따른 기계적 성질 및 유동 특성을 조사하였다. 부타디엔계 IM과 부틸 아크릴레이트계 IM을 사용하여 각각의 함량에 따른 상온에서의 기계적 물성의 변화와 저온에서의 충격강도를 관찰하였다. 블렌드의 내화학성을 살펴보기 위해 PC/PBT/IM 블렌드를 유기용제인 신너에 침지시킨 후 기계적 물성의 변화를 분석하였다. 블렌드에 PC 함량이 많아질수록 인장 및 굴곡강도가 선형적으로 증가하였고 열변형 온도 역시 증가하였다. 충격강도는 PC의 함량이 약 50 wt% 일 때까지 급격히 증가하며 그 이상의 함량에서는 일정하게 유지되었다. 유동성은 PC함량이 증가할수록 감소하였다. IM의 종류에 따라서 충격특성이 다르게 관찰되었는데, 부틸 아크릴레이트계 IM은 0 °C 이상의 온도에서 부타디엔계 IM보다 충격강도가 다소 높게 나타났으나 0 °C 미만에서는 충격강도가 현저하게 낮아졌다. 내화학성 실험에서는 블렌드에서 PC의 함량이 많을수록 인장 및 굴곡강도가 감소하는 반면 충격강도는 증가하였다. 이는 유기용제에 약한 PC가 연화되면서 나타나는 현상이라 사료된다.

**ABSTRACT** : Mechanical properties, flow characteristics and chemical resistance of polycarbonate (PC)/polybutylene terephthalate (PBT)/impact modifier (IM) blends were investigated over the various composition ranges of PC and PBT. Mechanical properties of the PC/PBT/IM blends for different IMs, butadiene based IM and butyl acrylate based IM, were studied for various compositions of the IMs. Impact strength at low temperature was also observed. For the study of chemical resistance of the PC/PBT/IM blends, the blends were dipped in organic solvent, thinner, and then variations of mechanical properties were analyzed. Tensile and flexural strengths were increased linearly and heat distortion temperature (HDT) also increased as PC content in the blends increased. Impact strength increased drastically as PC content increased up to 50 wt% and stayed stable value. Flowability decreased as PC content increased. Impact strengths of the blend were various for different IMs. Butyl acrylate based IM showed slightly higher impact strength than butadiene based IM for the temperature above 0 °C. However, butadiene based IM showed remarkably higher impact strength than butyl acrylate based IM for the temperature below 0 °C. Through the experiment of chemical resistance it was observed that tensile and flexural strengths decreased, and impact strength increased as PC content in the blends increased. PC in the blend would become mild and ductile when it contacted with organic solvent. Thus the impact strength increased while tensile and flexural strength decreased.

**Keywords** : polycarbonate, polybutylene terephthalate, impact modifier, chemical resistance, mechanical property.

## 서 론

폴리카보네이트(PC)와 폴리부틸렌 테레프탈레이트(PBT)는 엔지니어링 플라스틱으로써 플라스틱 산업에 널리 사용되고 있는데 두 소재를 비교하면, PC는 높은 기계적 물성을 가지나 내화학성이 낮고, PBT는 내화학성은 좋으나 PC에 비해 기계적 물성이 낮다. PC와 PBT의 블렌딩은 이 두 소재의 장점을 유지하며 단점을 보강하기 위해 행해지고 있는데, 실제응용에서는 PC/PBT 블렌드의 기계적 물성을 확고히 하기 위해 여러 종류의 충격보강제(IM)를 사용하여 PC/PBT/IM 블렌드를 만들어 우수한 충격강도와 내화학성이 요구되는 분야에 응용되고 있다.<sup>1,2</sup> 성형성 측면에서도 PC, PBT 그리고 IM의 함량에 따라 흐름성이 다양하게 변화하기 때문에 조성비를 조절하여 가공성을 높일 수 있다.

PC/PBT 블렌드에 관한 기존의 연구는 주로 블렌드의 형태학적 그리고 물리적 성질의 고찰을 통하여 상용성을 관찰하는 논문이 많다.<sup>2-8</sup> 이러한 논문들은 PC와 PBT의 miscibility를 조사하기 위해 블렌드의 편차 열분석(DTA), 유리전이온도( $T_g$ ) 분석, 주사전자 현미경(scanning electron microscope, SEM)과 투과전자현미경(transmission electron microscope, TEM)을 통한 조직분석 등을 수행하였다. 또한 블렌드의 점탄성 거동을 살펴보기나 블렌딩 조건을 달리하여 두 소재의 miscibility도 조사하였다. 그리고 PC/PBT 블렌드를 사출성형으로 시편을 제작하면서 성형조건과 성형 후 에이징 조건에 따른 물성변화의 연구도 있으며,<sup>9,10</sup> PC와 PBT사이에서 일어나는 에스테르 교환반응의 메커니즘과 이에 따른 블렌드의 조직을 규명하고자 한 연구도 있다.<sup>11,12</sup> 두 재료가 완전히 miscible하지 않기 때문에 IM을 넣은 블렌딩에 관한 연구는 다수를 차지하고 있다.<sup>13-20</sup> PC/PBT/IM 블렌드에 대한 연구는 충격강도가 높게 나타나는 것에 대한 연구 즉 내충격 메커니즘을 규명하고자 하는 연구가 대부분을 차지하고 있다. 그러나 실제 응용에서 필요로 하는 PC/PBT/IM 블렌드가 그들의 조성에 따라 보이는 다양한 기계적 물성과 흐름특성의 추이, 그리고 내화학성에 대한 연구가 미흡한 실정이다.<sup>21,22</sup> 또한 IM의 종류와 함량에 따른 상온 및 저온에서의 충격강도의 변화에 대한 연구 역시 미흡하다.

본 연구에서는 먼저 PC/PBT/IM 블렌드에서 PC와 PBT의 함량에 따른 물리적 성질과 흐름특성을 조사하였다. 그리고 IM의 종류와 함량에 따른 기계적 물성과 흐름성 그리고 저온에서 충격강도의 변화를 관찰하였다. 또한 SEM을 통하여 IM의 종류와 함량에 따른 IM의 분산상태를 관찰하였다. 마지막으로 PC/PBT/IM 블렌드에서 그 조성에 따라 내화학성의 변화를 살펴 보았다. 블렌드를 유기 용제인 신너(thinner)에 침지시킨 후 꺼내 상온에서 에이징하면서 에이징 시간에 따라 기계적 물성의 변화를 파악함으로써 블렌딩의 내화학 특성을 규명 하였다.

## 실 험

**재료 및 시편 제작.** PC/PBT/IM 블렌드에서 PC는 삼양사의 TRIREX<sup>®</sup> 3030을 사용하였고, PBT는 동사의 TRIBIT<sup>®</sup> 1700S를 사용하였다. TRIREX<sup>®</sup> 3030은 bisphenol A (BPA)와 phosgene의 계면 중합에 의해서 제조된 선형 PC이며 31000 정도의 중량 평균 분자량을 갖는다. TRIBIT<sup>®</sup> 1700S는 고상 중합에 의해 90000 정도의 중량 평균 분자량을 갖는 PBT이다. 또한 IM으로 Kureha Chemical사의 Paraloid EXL2602와 Paraloid EXL2313가 사용되었는데, Paraloid EXL 2602는 부타디엔계 고무 코어에 폴리메틸 메타크릴레이트(PMMA) 셸이 그래프트된 IM이며 Paraloid EXL2313은 부틸 아크릴레이트계 고무 코어에 PMMA 셸이 그래프트된 IM이다. 본 실험에 사용된 수지와 함량은 Table 1에 요약 하였다. 블렌딩은 PC와 PBT를 모든 조성 영역에서, IM을 3 phr에서 30 phr까지 혼합하여 L/D가 40이며 배럴의 직경이 19 mm인 동 방향 회전 이축 압출기(APV)를 사용하였다. 배럴의 온도는 구간별로 200 °C에서 265 °C, 다이의 온도는 270 °C로 설정하여 압출하였다. 기계적 물성을 측정하기 위한 인장, 굴곡, 충격시편과 열변형 온도(HDT)를 측정하기위한 시편은 사출하여 제조하였다. 사출은 75 ton (Battenfeld 75)사출기를 사용하였으며, 사출 시 노즐의 온도는 블렌드의 조성에 따라 흐름성의 차이가 있어 255 °C에서 325 °C, 금형의 온도는 60 °C로 사출하였다.

**기계적 물성 및 점도 측정.** 인장 특성과 굴곡 특성은 Instron 4204를 이용하여 상온에서 ASTM D638과

**Table 1. Materials Used in Polycarbonate (PC)/Polybutylene Terephthalate (PBT)/Impact Modifier (IM) Blends**

material	grade	supplier	remarks
PC	SYC TRIREX <sup>®</sup> 3030	Samyang Co.	$M_n$ : 31000
PBT	SYC TRIBIT <sup>®</sup> 1700S	Samyang Co.	$M_n$ : 90000
impact modifier	Paraloid EXL2602	Kureha Chemical	butadiene based
	Paraloid EXL2313	Kureha Chemical	butyl acrylate based

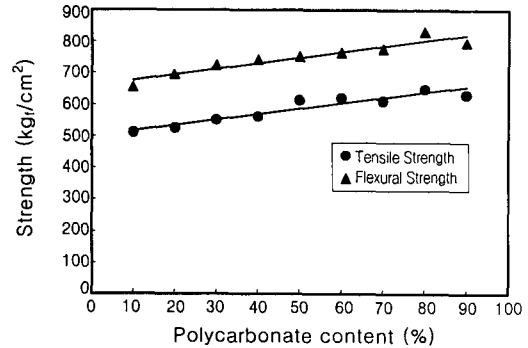
D790를 기준으로 측정하였다. 충격강도는 CEAST사의 충격강도 측정기를 이용하여 -40 °C에서 상온 (25 °C) 까지 ASTM D256을 기준으로 측정하였다. 열변형 실험은 Rosand사의 열변형 온도 측정기를 사용하여 ASTM D648을 기준으로 HDT를 측정하였다. 수지의 점도는 Rosand사의 capillary rheometer를 사용하여 전단점도를 측정하였다.

**형태학적 관찰.** PC/PBT/IM 블렌드에서 IM의 분산상과 계면에서의 파단 현상을 관찰하기 위하여 SEM을 사용하여 사출된 시편의 파단면을 촬영하였다. 본 관찰에 사용된 SEM 장치는 Stereoscan 360 (Cambridge Instruments)이며 시료의 파단면은 사출한 시편을 30분간 액체 질소에 담근 후 파단 시켜 얻었다.

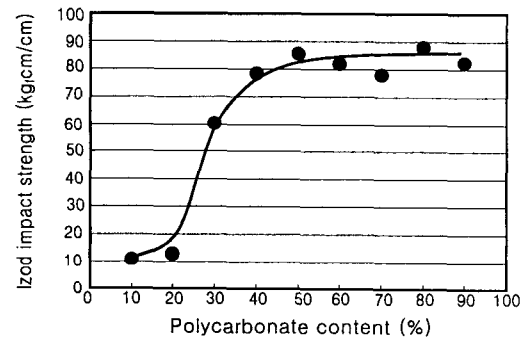
**내화학성 측정.** 내화학성 실험에 이용된 용제는 PC/PBT 블렌드 수지의 도장 (painting)에 주로 이용되는 acrylic/urethane 계열 도장용 신너인 T-725 신너 ((주) 대한비케미칼)를 사용하였다. 이 신너의 주성분과 함유량은 톨루엔 10~20%, 부틸아세테이트 20~30%, 셀로솔브 아세테이트 5~10% 그리고 크실렌 15~20%이다. 이 신너에 PC/PBT/IM 블렌드 시편을 24시간 침지시켜 꺼낸 후 에이징 시간을 달리하여 기계적 물성의 변화를 평가하였다. 시편의 에이징은 1, 24, 72 그리고 168 시간 (1주일) 동안 대기 중에서 수행하였다.

### 결과 및 고찰

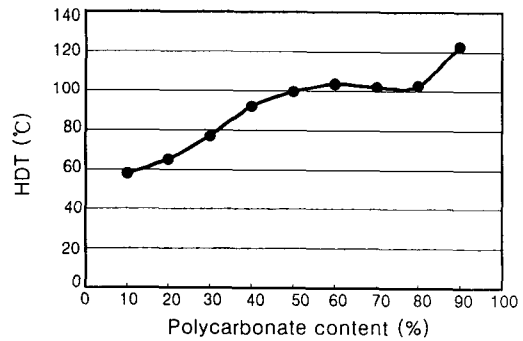
**PC/PBT/IM 블렌드의 기계적 성질 및 점도.** 부타디엔계 IM이 6 phr 혼합된 PC/PBT/IM 블렌드의 기계적 물성 변화를 PC 함량에 따라 비교 분석하였다. Figure 1(a)는 PC 함량에 따른 인장강도와 굴곡강도의 변화를 나타낸 것이다. 인장강도와 굴곡강도는



(a)



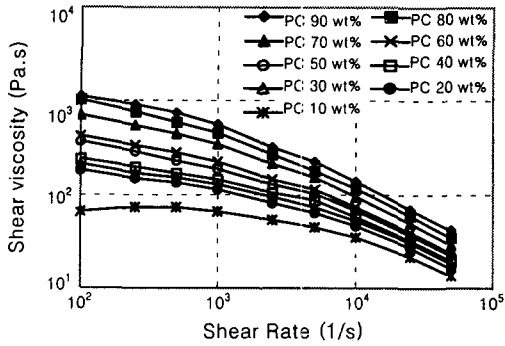
(b)



(c)

**Figure 1.** Variations of physical properties of polycarbonate (PC)/polybutylene terephthalate (PBT)/impact modifier (IM) blends with PC content for 6 phr of butadiene based IM. (a) Tensile and flexural strengths, (b) Izod impact strength, and (c) Heat distortion temperature (HDT).

PC 함량이 증가할수록 선형적으로 증가하였는데, 각각 500~640 kg/cm<sup>2</sup>와 680~820 kg/cm<sup>2</sup>로 분포

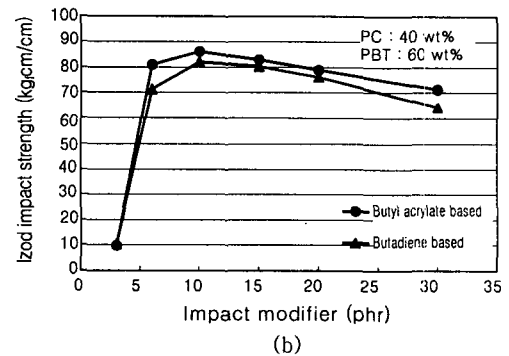
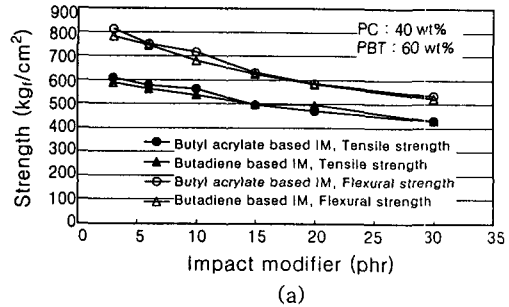


**Figure 2** Shear viscosity of polycarbonate(PC)/polybutylene terephthalate (PBT)/impact modifier (IM) blends for 6 phr of butadiene based IM.

하고 있다. Figure 1(b)는 PC 함량에 따른 Izod 충격강도의 변화를 나타낸 것이다. 충격강도는 20~40 wt%의 PC 함량에서 강도가 10 kg<sub>cm</sub>/cm에서 80 kg<sub>cm</sub>/cm로 급격히 증가함을 보였다. 이것은 PC 함량이 점차로 증가함에 따라 PBT 상에 분산되어 있는 PC 영역들이 서로 네트워크를 형성하기 때문으로 보인다.<sup>14</sup> PC 함량이 50 wt%이상으로 PC가 매트릭스에서 주를 이룰 때는 충격강도가 증가됨이 없이 85 kg<sub>cm</sub>/cm 정도로 일정하게 유지되고 있다. Figure 1(c)는 PC 함량에 따른 HDT를 나타낸 것이다. HDT는 PC 함량이 증가함에 따라 58 °C에서 123 °C까지 증가하는데 PC함량이 50~80 wt%에서는 일정한 값을 보이고 있다. Figure 2는 PC 함량에 따른 전단점도를 도시한 것이다. PC 함량이 증가할수록 전단점도는 증가하여 흐름성이 감소함을 알 수 있다.

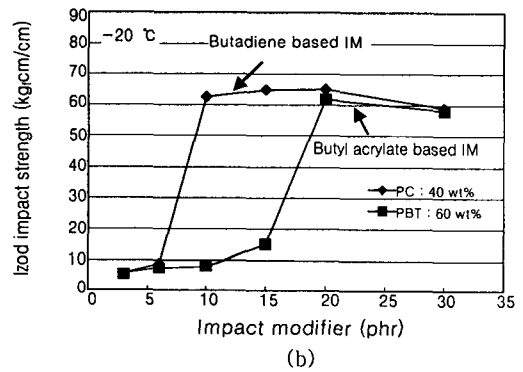
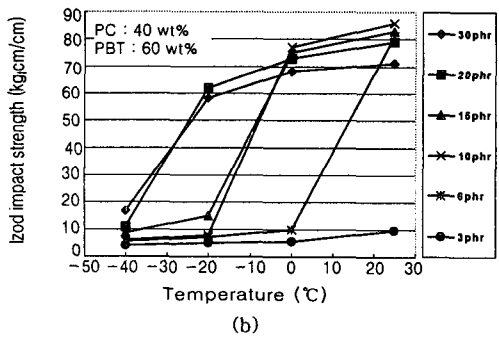
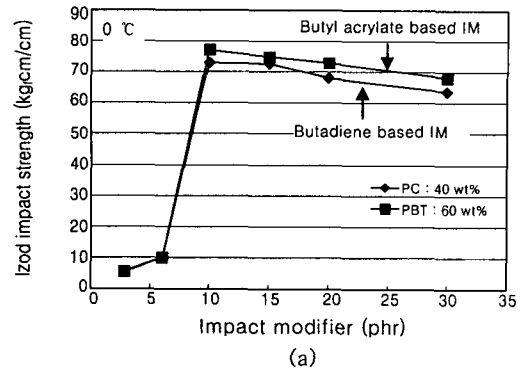
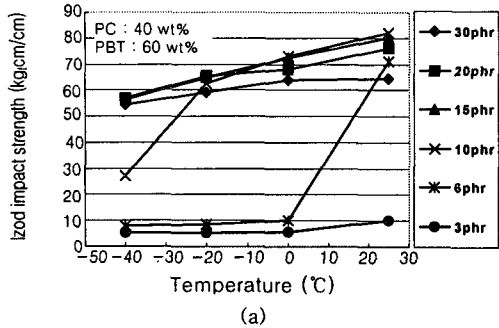
**부타디엔계와 부틸 아크릴레이트계 IM의 비교.** PC/PBT/IM 블렌드에서 IM의 종류가 다른 두 가지 IM을 사용하여 기계적 물성을 살펴보았다. 본 실험에서의 블렌드는 PC와 PBT의 함량을 각각 40 wt%와 60 wt%로 고정하고 IM의 함량을 3 phr에서 30 phr까지 변화시키면서 물성을 비교하였다. 사용된 IM은 EXL2602와 EXL2313으로 앞의 실험부분에서 설명한 바와 각각 부타디엔계 IM과 부틸 아크릴레이트계 IM이다.

Figure 3에 IM 종류와 함량에 따른 인장강도와 굴곡강도 그리고 상온에서의 충격강도를 나타내었다. 인장강도와 굴곡강도 (Figure 3(a))는 IM 함량이 증가함에 따라 선형적으로 감소하며, 두 IM 간의 차이



**Figure 3.** Mechanical properties of polycarbonate (PC)/polybutylene terephthalate (PBT)/impact modifier (IM) blends with various IM contents for different IMs. (a) Tensile and flexural strengths and (b) Izod impact strength.

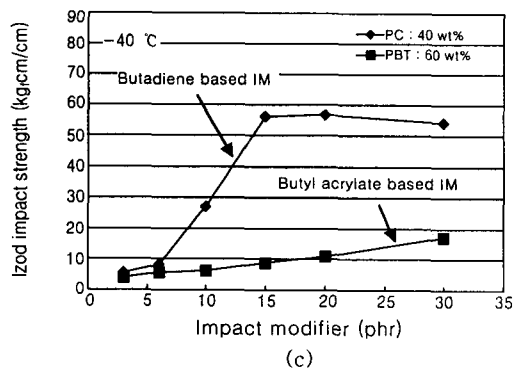
는 무시할 정도로 작다. Figure 3(b)는 IM 종류와 함량에 따른 상온에서의 충격강도를 나타낸 것이다. 부틸 아크릴레이트계 IM이 부타디엔계 IM보다 다소 높은 충격강도를 보이고 있으며 공히 10 phr의 함량에서 최대의 충격강도를 보이고 있다. 이는 compatibility가 없는 IM과 PC/PBT에서 IM 함량이 10 phr 이상이 되면 IM과 매트릭스와의 접착력이 감소하여 나타나는 현상이라 생각된다. Figure 4는 IM 종류와 함량에 따른 상온 및 저온에서의 충격강도를 나타낸 것이다. Figure 4(a)와 (b)를 비교해볼 때 부타디엔계 IM (EXL2602)을 사용할 때가 부틸 아크릴레이트계 IM (EXL2313)을 사용할 때보다 연성-취성 전이온도 (ductile-brittle transition temperature)가 더 낮음을 알 수 있다. 또한 부타디엔계 IM은 상온에서의 결과 (Figure 3(b))와 달리 저온 (-20 °C 이하)에서 부틸 아크릴레이트계 IM보다 충격강도가 더 우수하



**Figure 4.** Izod impact strength of polycarbonate (PC)/polybutylene terephthalate (PBT)/impact modifier (IM) blends with various test temperatures for different IMs and their contents. (a) Butadiene based IM and (b) Butyl acrylate based IM.

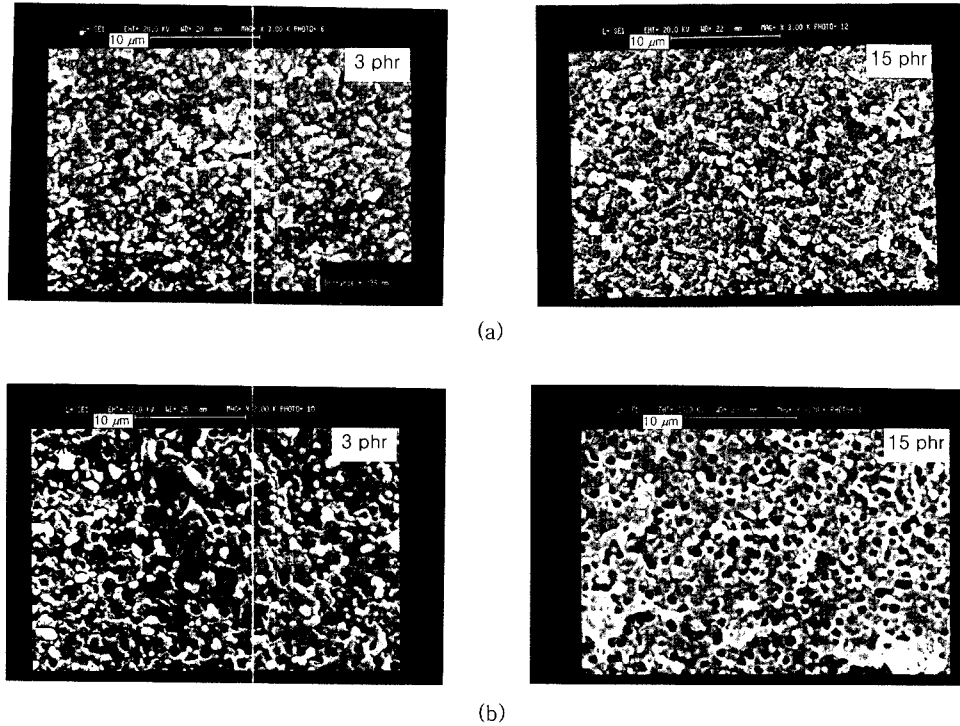
다 (Figure 5). 이것은 부타디엔계 IM이 부틸 아크릴레이트계 IM보다  $T_g$ 가 더 낮아서 나타나는 현상이라 사료된다. 두 IM 공히 0 °C 이상에서 IM의 함량이 10 phr일 때 최대의 충격강도를 보이고 있으나 (Figure 3(b), 5(a)) 저온 (-20, -40 °C)으로 갈수록 충격강도가 최대가 되는 IM의 함량이 증가하고 있다 (Figure 5(b), 5(c)). 이러한 현상은  $T_g$ 가 낮은 IM의 함량이 많아야 저온 충격강도를 높일 수 있음을 말해준다. 부타디엔계 IM의 경우 -20 °C와 -40 °C에서 그의 함량이 15~20 phr일 때 최대값을 나타내고 있으며 온도가 낮아질수록 최대값이 IM 함량이 높은 쪽으로 전이됨을 볼 수 있다. 부틸 아크릴레이트계 IM의 경우 -20 °C에서 함량이 20 phr일 때 최대값을 보이나 -40 °C에서는 30 phr까지도 최대점이 나타나지 않고 있다.

Figure 6의 SEM사진은 PC 40 wt%, PBT 60



**Figure 5.** Characteristics of impact strength for different IMs and their contents at low temperatures. (a) Izod impact strength at 0 °C, (b) Izod impact strength at -20 °C, and (c) Izod impact strength at -40 °C.

wt%일 때 IM 종류 (부타디엔계, 부틸 아크릴레이트계)와 함량에 따른 PC/PBT/IM 블렌드의 파단면을 보여주고 있다. 파단면은 앞의 실험부에서 설명한 바



**Figure 6.** Scanning electron microscopy (SEM) of cross-sectioned polycarbonate (PC)/polybutylene terephthalate (PBT)/impact modifier (IM) blends. (a) Butadiene based IM, PC: 40 wt%, PBT: 60 wt% and (b) Butyl acrylate based IM, PC: 40 wt%, PBT: 60 wt%.

와 같이 액체질소로 냉각 후 얻은 것이므로 어느 정도 저온에서의 파단면이다. 파단면에서 IM 입자들이 떨어져 나간 양상을 볼 수 있으며, 부틸 아크릴레이트계 IM의 계면이 부타디엔계 IM보다 더 깨끗하게 떨어져 나갔음을 알 수 있다. 이것으로 보아 부틸 아크릴레이트계 IM은 저온에서 IM과 매트릭스 사이의 계면 접착력이 부타디엔계 IM보다 약함을 알 수 있다.

PC/PBT/IM 블렌드의 내화학성. PBT는 강산과 강알칼리를 제외하고는 거의 대부분의 용제에 우수한 내화학성을 보여주는 반면 PC는 대부분의 용제 특히 유기용제에 대해 취약한 특성을 보인다.<sup>23,24</sup> 본 실험에서는 부타디엔계 IM을 6 phr 사용하였을 때 PC/PBT/IM 블렌드의 PC 함량에 따른 내화학성을 관찰하였다. Figure 7은 PC 함량과 에이징 시간에 따른 인장강도 (Figure 7(a)), 굴곡강도 (Figure 7(b)) 그리고 충격강도 (Figure 7(c))의 변화를 보여주고 있다. 인장강도와 굴곡강도는 에이징 시간이 증가함에 따라

물성이 회복되고 있으며, 블렌드에서 PC의 함량이 많을수록 물성저하가 심함을 보여주고 있다. 그러나 충격강도의 경우 인장 및 굴곡강도와는 달리 침지 후에도 물성저하가 없으며, 블렌드내에 PC함량이 많을수록 침지 후에 강도가 높게 나타나고 있다. 유기용제에 약한 PC함량이 많은 시편이 침지 후 시편이 팽윤이 되고 연화되어 충격강도가 증가되는 현상이라 사료된다. 블렌드의 PC 함량에 따라 신너에 침지시키기 전과 침지 후 에이징이 일주일 경과했을 때의 인장강도와 굴곡강도의 변화를 고찰해 보면, 인장강도와 굴곡강도는 일주일 에이징 후의 값이 침지 전의 값에 비해 각각 57~100, 66~100% 회복되었고, 회복량은 PC 함량이 감소할수록 증가하는 경향을 보이고 있는데 PC함량이 30 wt% 이하에서는 침지 전후의 강도변화가 없었다 (Figure 7(a), (b)). 일주일 에이징 후의 충격강도 (Figure 7(c))는 PC 함량에 따라 증가하는데, 최대 38%까지 증가하였다. 결국 PC/PBT/IM

결론

본 논문에서는 높은 기계적 물성을 가지나 내화학성이 낮은 PC와, PC에 비해 기계적 물성이 떨어지나 내화학성이 강한 PBT, 그리고 IM이 함유된 블렌드에 대해서 연구하였다. 즉 본 연구는 PC/PBT/IM 블렌드에서 각 소재의 조성에 따라 변화하는 물리적 성질과 흐름특성을 조사하였고, 블렌드의 유기용제에 대한 내화학성을 관찰하였다. 이러한 연구결과는 아래에 정리하였으며 PC/PBT/IM 블렌드를 플라스틱 산업에 응용하는데 매우 중요한 자료가 되리라 생각된다.

PC/PBT/IM 블렌드의 물리적 성질 및 점도. 인장강도와 굴곡강도는 PC 함량이 증가할수록 선형적으로 증가하였다. 그리고 HDT 역시 PC 함량이 증가할수록 증가하였다. 충격강도는 20~40 wt%의 PC 함량에서 급격히 증가하나 50 wt% 이상의 PC 함량에서는 일정한 강도를 유지하였다. PC 함량이 증가할수록 점도가 감소하였다.

부타디엔계와 부틸 아크릴레이트계 IM의 비교. PC/PBT/IM 블렌드에서 부틸 아크릴레이트계 IM이 혼합된 블렌드가 부타디엔계 IM이 혼합되었을 때보다 상온에서의 충격강도가 다소 우수하였다. 또한 IM 종류에 관계없이 IM 함량이 10 phr일 때 최대의 충격강도를 보였다. 그러나 저온에서 블렌드의 충격특성은 부타디엔계 IM가 부틸 아크릴레이트계 IM보다 매트릭스의 계면 접착력이 강하여 연성-취성 전이온도가 더 낮았으며 저온충격강도가 더 우수하였다. 그리고 충격강도가 저온에서 최대가 되는 IM의 함량은 보강제의 종류와 측정온도에 따라 다르게 나타났으며 상온 때보다 더 많은 함량이었다.

PC/PBT/IM 블렌드의 내화학성. 유기 용제인 신너로 화학처리가 된 블렌드의 인장강도와 굴곡강도가 감소하였으며 PC 함량이 증가함에 따라 강도의 감소량이 증가하였다. PC함량에 따라 강도의 감소 폭이 화학처리 전에 비해 인장강도는 0~43% 그리고 굴곡강도는 0~34% 였다. 충격강도는 화학처리 후에 오히려 강도의 증가를 보였는데, PC 함량이 증가할수록 증가하였으며 화학처리 전에 비해 충격강도가 최대 38% 증가하였다. 블렌드가 유기용제에 접촉하면서 연화되어 인장 및 굴곡강도는 저하되고 충격강도는 증가되었으며, 연화되는 정도는 PC/PBT/IM 블렌드에서

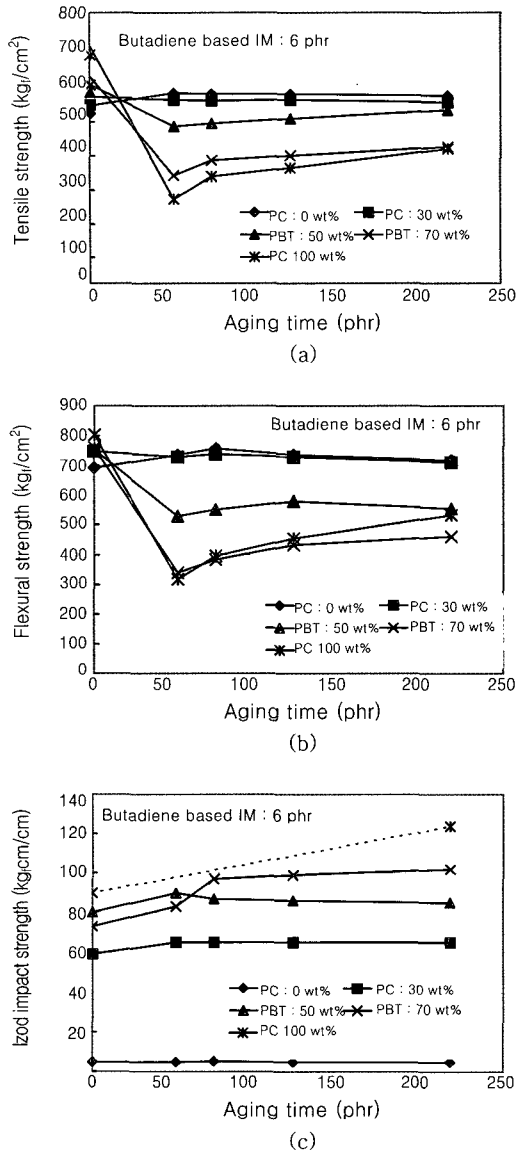


Figure 7. Variations of mechanical properties of polycarbonate (PC)/polybutylene terephthalate (PBT)/impact modifier (IM) blends for various aging times after dipping in the thinner for 24 hours. (a) Tensile strength, (b) Flexural strength, and (c) Izod impact strength.

블렌드가 유기용제에 침지되었을 때 PC때문에 재료가 연화되어 인장강도 및 굴곡강도는 감소하나 연성이 증가하게 되어 충격강도는 증가하는 현상을 보인다.

PC의 함량이 많을수록 증가하였다.

감사의 글 : 실험과 재료를 제공해준 삼양사에게 감사 드리며, 이 논문은 서울산업대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습.

참 고 문 헌

1. G. O. Shonaike and G. P. Simon, "Polymer Blends and Alloys", Marcel Dekker, NY, 1999.
2. D. C. Wahrmund, D. R. Paul, and J. W. Barlow, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 2155 (1978).
3. A. W. Birley and X. Y. Chen, *Brit. Poly. J.*, **16**, 77 (1984).
4. I. I. Perepechko, V. A. Danilov, V. V. Nizhegorodov, N. P. Bessonova, and E. V. Konyukhova, *Polymer Science*, **35**, 193 (1993).
5. V. A. Danilov, I. I. Perepechko, V. V. Nizhegorodov, Y. K. Godovsky, E. V. Konyukhova, and S. I. Belousov, *Polymer Science, Ser. A*, **36**, 57 (1994).
6. S. Y. Hobbs, V. L. Groshans, M. E. J. Dekkers, and A. R. Shultz, *Polym. Bull.*, **17**, 335 (1987).
7. M. Okamoto and T. Inoue, *Polymer*, **35**, 257 (1994).
8. A. C. M. van Bennekom, D. van den Berg, J. Bussink, and R. J. Gaymans, *Polymer*, **38**, 5041 (1997).
9. H. Bertilsson, B. Franzen, and J. Kubat, *Plastics and Rubber Processing and Applications*, **10**, 137 (1988).
10. H. Bertilsson, B. Franzen, and J. Kubat, *Plastics and Rubber Processing and Applications*, **10**, 145 (1988).
11. J. Devaux, P. Godard, and J. P. Mercier, *J. Polym. Sci.*, **20**, 1881 (1982).
12. J. Devaux, P. Godard, and J.P. Mercier, *Polym. Eng. Sci.*, **22**, 229 (1982).
13. J. Wu, Y.-W. Mai, and B. Cotterell, *J. Mater. Sci.*, **28**, 3373 (1993).
14. J. Wu and Y.-W. Mai, *J. Mater. Sci.*, **28**, 6167 (1993).
15. J. Wu, Y.-W. Mai, and A. F. Yee, *J. Mater. Sci.*, **29**, 4510 (1994).
16. J. Wu, D.-M. Yu, Y.-W. Mai, and A. F. Yee, *J. Mater. Sci.*, **35**, 307 (2000).
17. S. Hashemi, *Polym. Eng. Sci.*, **37**, 912 (1997).
18. S. Y. Hobbs, M. E. J. Dekkers, and V.H. Watkins, *Polym. Bull.*, **17**, 341 (1987).
19. S. Y. Hobbs, M. E. J. Dekkers, and V. H. Watkins, *J. Mater. Sci.*, **23**, 1219 (1988).
20. M. E. J. Dekkers, S. Y. Hobbs, and V. H. Watkins, *J. Mater. Sci.*, **23**, 1225 (1988).
21. A. W. Birley and X. Y. Chen, *Brit. Poly. J.*, **17**, 297 (1985).
22. A. Golovoy, M. F. Cheung, and H. van. Oene, *Polym. Eng. Sci.*, **28**, 200 (1988).
23. F. W. Billmeyer, "Textbook of Polymer Science", John Wiley & Sons, NY, 1984.
24. W. F. Christopher and D. W. Fox, "Polycarbonates", Chapman & Hall, London, 1962.