

ABS/PMMA 블렌드에 미치는 고무형태와 카본블랙 첨가에 따른 영향

최 치 훈 · 이 수 민 · 윤 이 근 · 손 경 호* · 김 병 규

부산대학교 고분자공학과, *효성바스프(주) 개발과
(1993년 10월 18일 접수, 1994년 8월 25일 채택)

Effect of Type of Rubber and Carbon Black Addition on ABS/PMMA Blends

C. H. Choi, S. M. Lee, L. K. Yoon, K. H. Shon*, and B. K. Kim

Dept. of Polymer Science and Eng., Pusan Nat'l Univ., Pusan 609-709, Korea

*Dev. Section, Hyosung-BASF Co., Ltd., Ulsan 680-180, Korea

(Received October 18, 1993, Accepted August 25, 1994)

요 약 : 두 가지 종류의 고무로부터 ABS를 제조한 후, 각 ABS를 PMMA와 블렌딩하여 블렌드의 물폴로지, 기계적 성질 및 용융물성을 검토하였다. 또한 블렌드에 카본블랙을 첨가하여 카본블랙의 분산형태 및 블렌드 물성에 미치는 영향을 조사하였다. PMMA함량에 따라 블렌드의 굴곡탄성률, 인장항복강도 및 표면광택은 증가하였으며, 파단신율 및 충격강도는 감소하였다. 카본블랙을 첨가 하였을 경우, 블렌드 물성은 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 아울러 사용한 ABS 형태 및 카본블랙 첨가에 따른 용융거동을 조사하였다.

Abstract: Two types of ABS were prepared from different types of rubber, and blends of the ABS and PMMA were compounded and evaluated in terms of morphology, mechanical and rheological properties. In addition, the effect of carbon black in the ABS/PMMA blends were studied. With increasing PMMA content, flexural modulus, tensile yield strength, and surface gloss of the blends increased, but elongation at break and Izod impact strength decreased. With carbon black addition, mechanical properties were generally decreased. Effects of the type of ABS, and carbon black on melt properties were also studied.

1. 서 론

고분자블렌드는 두 가지 이상의 성분을 사용하여 최적의 물성을 창출할 수 있으므로 최근까지 공업적으로 널리 사용되는 고분자의 개발방법이다[1, 4]. 그러나, 대부분의 블렌드는 비상용성에 기인하여 물성의 저하가 수반되곤 한다. 이는 두 성분간의 계면인력이 좋지 않을 때 흔히 발생하는 문제이다. 그러나 부분상용계 블렌드에서 계면인력이 충분한 경우에는

혼합법칙을 따르거나 그 이상으로 물성이 향상되기도 한다[5, 6].

ABS 수지는 그 자체가 SAN을 고무입자로 강인화시킨 열가소성 합금으로 내충격성 및 가공성이 우수하고 외관이 좋아 각종 자동차 부품, 가전제품 및 생활용품 등의 housing제로 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 고무상의 존재로 인해 내열성, 난연성, UV 안전성이 미흡하고, 경도 및 내마모성이 낮아 표면손상이 쉬운 문제점이 있다. ABS의 이러한 단점

은 ABS/PVC[7], ABS/PC[8], ABS/nylon[9] 및 ABS/PMMA[10] 합금에서 적절히 개선되고 있다.

ABS/PMMA 합금에 관한 앞서의 연구(10, 11)에 의하면, ABS/PMMA의 상거동은 SAN/PMMA에 준하였다. ABS/PMMA계 합금을 상분리계 합금으로 제조하는 경우 ABS가 연속상을 이루는 조성에서는 기계물성이 혼합법칙 이상으로 증가하였으며 아울러 표면광택이 현저하게 증가하였다. 따라서 본 연구에서는 PMMA의 함량을 30~45%로 고정하고 고무입자의 영향을 관찰하기 위해 두 가지 종류의 ABS를 사용하여 블렌드를 제조한 후, 기계물성 및 유변학적 거동을 관찰하였다. 또한 카본블랙(CB, carbon black) 첨가에 따른 물성변화를 관찰하였다.

2. 실험

2. 1. 고분자 시료 및 용융 블렌딩

본 실험에서는 g-ABS1(효성 BASF, 그래프트율=61%), g-ABS2(럭키, 그래프트율=150%), SAN(효성 BASF, AN 함량=35%)을 사용하여 부타디엔 고무 함량이 14%로 동일한 ABS-1 및 ABS-2를 제조하였다. 이들 ABS수지와 중량평균분자량이 70,000 정도인 PMMA(Lucky)를 기초수지로 사용하여 블렌드를 제조하였다. 카본블랙으로는 Carbot사의 carbot 880(직경=16nm)을 사용하였다. 블렌딩하기 전에 우선 고분자시료를 열풍건조기를 사용하여 80°C에서 5시간 이상 건조한 후 Henschel mixer로 premixing을 하였다. 용융블렌딩은 동방향 2축압출기(ZE25, L/D=33, Berstorff)로 행하였으며, 가공온도 프로파일 및 rpm은 각각 230-235-240-235°C 및 300이었다. ABS/PMMA의 중량조성은 100/0, 70/30, 65/35, 60/40, 55/45 및 0/100으로 하였으며, 카본블랙은 0.5 part(phr) 첨가하여 실험하였다.

2. 2. Morphology

사출시편을 적당한 크기로 절단하여 4% OsO₄ 수용액에서 72시간 정도 염색시킨 후 microtome(Reichert-Jung SuperNava)으로 박편(두께; 100nm)을 취한 후, 투과전자현미경(TEM)(Jeol, JEM-1200 EX II)으로 합금의 morphology를 관찰하였다.

2. 3. 기계물성

인장시편 및 충격시편은 각각 ASTM D-638M

및 ASTM D-256에 따라 사출하여 제조하였다. 광택은 별도의 사출시편을 제조하여 광택계(450)로 측정하였으며, 최소 10개의 값을 평균하여 구하였다.

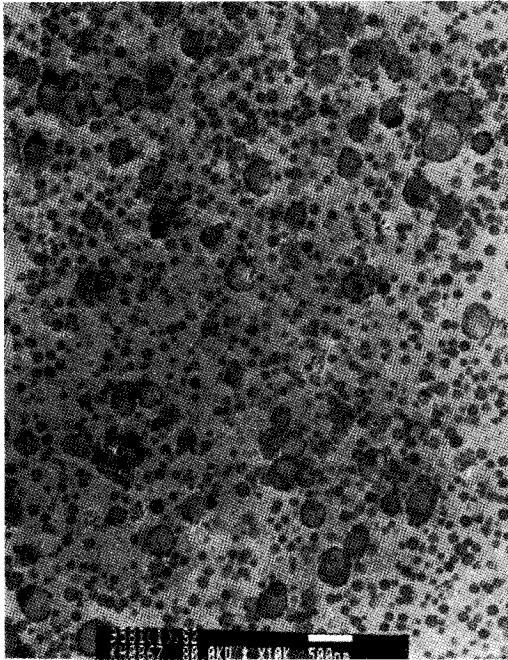
2. 4. 유변물성

압출물을 80°C, 36시간 이상 감압건조한 후, hot press(200kgf/cm², 230~240°C)를 사용하여 직경이 1"인 disc형으로 제작하였다. 유변물성은 RDS(Rheometrics Dynamics Spectrometer, RDS II)를 사용, 220°C에서 parallel plate 지형으로 측정하였다. 먼저 strain sweep을 통해 선형범위를 파악한 후, 선형이 유지되는 최고의 strain level(15%)에서 rate sweep을 행하였다.

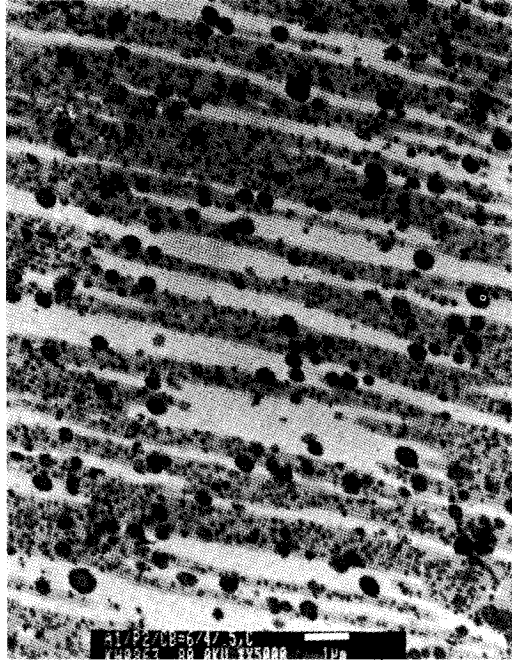
3. 결과 및 고찰

3. 1. Morphology

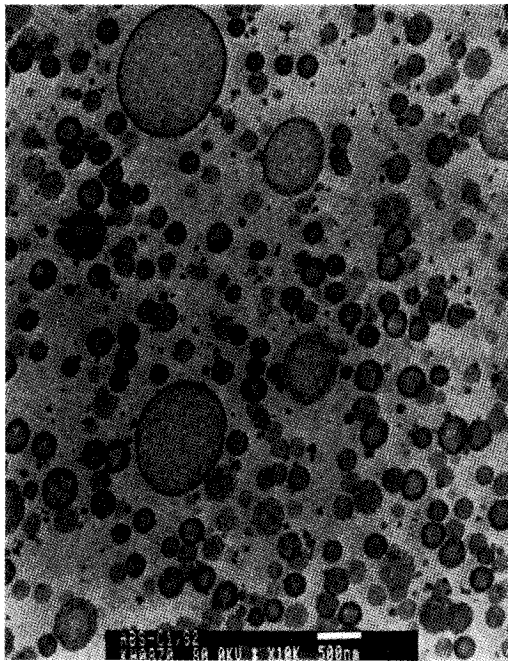
Fig. 1(a)는 ABS-1, (b)는 ABS-2의 TEM 사진이다. ABS-1의 경우 큰 고무입자는 300~500nm, 작은 입자는 100nm정도로 입경분포는 bimodal 이고, ABS-2의 경우 250nm의 고무입자가 주로 분포되어 있고 1000nm정도의 크기를 갖는 큰 입자도 관찰되었다. Fig. 2는 ABS/PMMA/카본블랙(60/40/0.5, 중량비) 합금의 TEM 사진으로 (a)는 사출시편의 중심부를 (b)는 표면부의 morphology를 나타내고 있다. 카본블랙의 함량이 0.5 phr이므로 morphology는 ABS/PMMA의 구조와 유사할 것으로 예상된다. 카본블랙의 ABS 및 PMMA와의 친화력의 차이와 점도비에 따라 2상에의 불균일한 분포를 고려할 수 있으나 사진(×5,000배)에서 이를 확인할 수 없었다. 블렌드는 사출시 흐름방향으로 stratification 되어 있는 일종의 라멜라 구조를 형성하고 있으며, 아울러 OsO₄의 염색 정도에 따라 뚜렷한 ABS-PMMA 상분리 구조를 관찰할 수 있었다[11]. ABS상은 고무입자(검은 입자)와 상대적으로 어둡게 나타나는 SAN으로 분리되어 있으며, PMMA상은 밝은 부분을 이루고 있다. 고무입자는 주로 SAN상 내부에 갇혀 있으나 일부 큰 고무입자는 SAN-PMMA 계면이나 PMMA상 내부로 이동하여 있음을 관찰할 수 있다. 또한, 시편의 중심부에 비해 표면부에서의 domain 크기가 훨씬 작음을 볼 수 있다. 전단력하에서 분산상의 변형은 무차원 파라미터인 capillary number(χ)와 점도비(λ)에 의해 주로 결정된다[12,13].



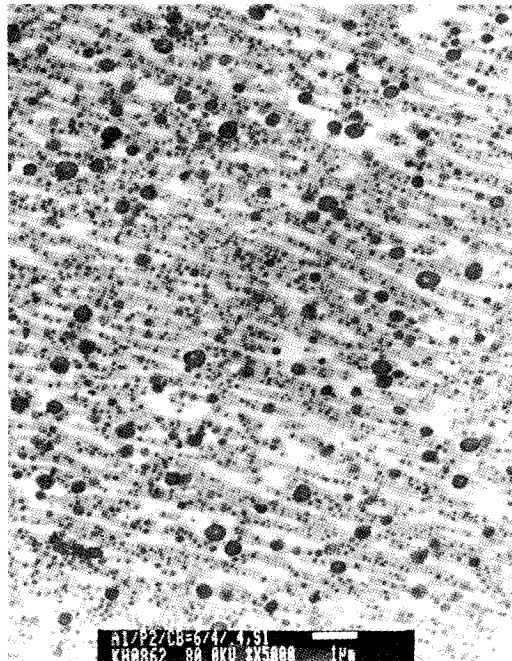
(a)



(a)



(b)

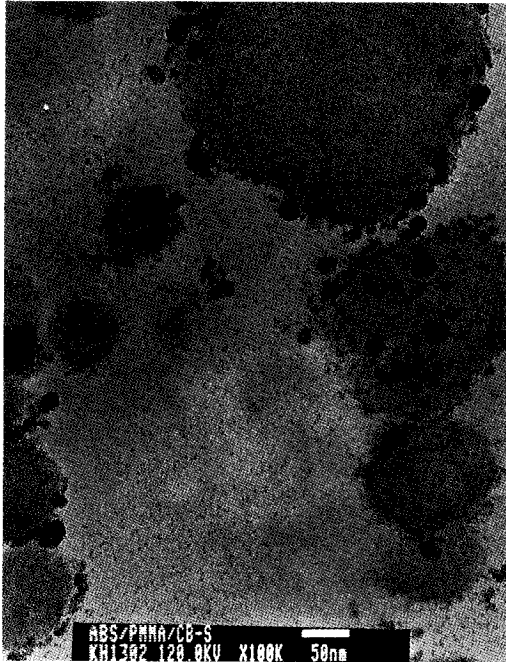


(b)

Fig. 1. TEM micrographs of ABS-1 and ABS-2;
 (a) ABS-1 ($\times 10,000$)
 (b) ABS-2 ($\times 10,000$)

$$\chi = \sigma d / \nu_{12} \quad (1)$$

$$\lambda = \eta_d / \eta_m \quad (2)$$



(c)

Fig. 2. TEM micrographs of ABS/PMMA/CB(60/40/0.5) blend ;
 (a) center (×5,000)
 (b) skin layer (×5,000)
 (c) center (×100,000)

여기서, σ 는 외부에서 가해지는 전단응력, d 는 분산상의 직경, ν_{12} 는 계면장력, η_a 와 η_m 는 각각 분산상과 매트릭스의 점도를 나타낸다. 점도비가 일정할 때, 변형은 계면장력과 점성력의 비에 의해 결정된다. 계면장력(d/ν_{12})은 입자를 구형으로 유지하려는 힘이고, 점성력은 입자를 연신시키려는 경향이 있다. 만약 점성력이 계면장력보다 더 크면 변형이 일어나 입자는 파괴된다. 사출시 벽면(표면층)에서 전단응력이 최대가 되므로 점성력($\sigma = \eta_m \dot{\gamma}$)은 벽면에서 최대, 중심부에서 최소가 된다[14, 15]. 이러한 영향으로 중심부에서는 상대적으로 안정한 굵은 입자로 남아있고 벽쪽으로 갈수록 입자가 파괴되어 보다 미세한 구조를 갖게 된다. 또한 사출시 금형표면에서부터 냉각이 시작되므로 벽면 부근의 분산상은 충분히 완화되기 전에 고화되어 분산상의 형태가 미세하며 연신된 상태에 보다 가깝게 유지되는 효과도 나타나고 있다 [14].

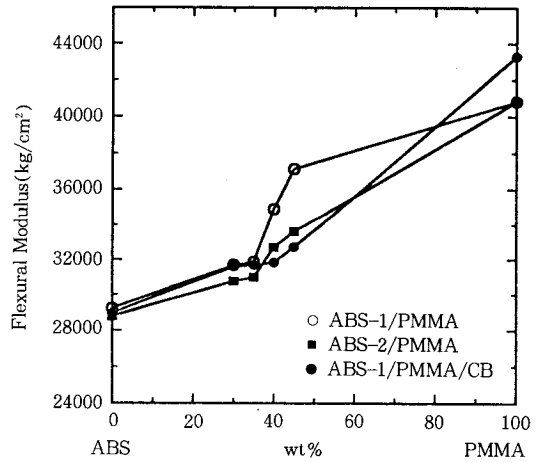


Fig. 3. Flexural modulus vs. composition for ABS/PMMA blends.

카본블랙의 분산상태는 물성에 영향을 미칠 수 있으므로 확인이 필요하다. Fig. 2(c)는 고배율(×100,000배)에서의 TEM 사진이다. 카본블랙 입자들이 주로 큰 고무입자 주위에 붙어 있는 것을 관찰할 수 있다.

3. 2. 기계물성

Fig. 3은 ABS-1/PMMA, ABS-2/PMMA 및 ABS/PMMA/CB 블렌드의 굴곡탄성률을 조성의 함수로써 나타내었다. ABS-1/PMMA 블렌드에서 굴곡탄성률은 PMMA함량이 40, 45%에서 혼합법칙 이상으로 증가하였다. 30, 35%에서 40, 45%로 함량이 증가할 때 굴곡탄성률은 비교적 큰폭으로 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 구조변화와 관련이 있을 것으로 생각된다. 즉, PMMA 함량이 35% 이하에서는 구형 또는 타원형의 분산상으로 존재하나, 40, 45%에서는 라멜라 또는 co-continuous구조를 가지게 되어 물성향상에 영향을 주는 것으로 생각된다. ABS-2/PMMA 블렌드에서도 조성에 따라 비슷한 경향을 나타낸다. 그러나 ABS-1/PMMA 블렌드에 비하여 전반적으로 낮은 탄성률을 갖고 있다. 카본블랙을 0.5 part 첨가시키면 ABS-rich조성에서 전반적으로 탄성률은 변화하지 않았으나, PMMA에서는 약간 증가하였다. 블렌드물의 탄성률은 혼합법칙에서 음의 편차를 보이고 있다.

Fig. 4는 ABS-1/PMMA, ABS-2/PMMA 및

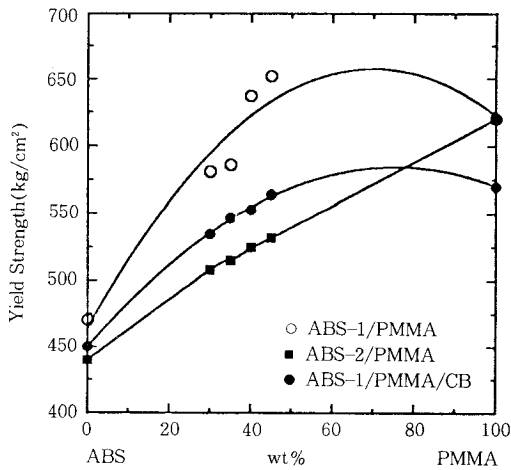


Fig. 4. Tensile yield strength vs. composition for ABS/PMMA blends.

ABS/PMMA/CB 블렌드의 항복강도를 조성의 함수로써 나타내었다. 세 가지 계 모두 혼합법칙으로부터 양의 편차를 보이며 ABS-1/PMMA > ABS/PMMA/CB > ABS-2/PMMA 블렌드 순으로 편차의 정도는 줄어들었다. ABS-1에 비해 ABS-2가 50kg/cm² 정도 작는데 이는 부타디엔 함량은 일정하나 그래프트율이 높으므로 고무상인 g-ABS-2의 함량이 상대적으로 많이 들어갔기 때문이라 생각된다. 카본블랙이 첨가된 ABS-1의 인장항복강도는 역시 약간 감소하였다. 카본블랙 첨가에 따라 블렌드의 항복강도는 전반적으로 감소하였으며, ABS-1/CB 블렌드에 비해 PMMA/CB 블렌드에서 더 크게 감소하였다. 일반적으로 입자충전 플라스틱의 인장강도는 탄성률과 파단신율의 부피분율 의존성으로부터 그 거동을 짐작할 수 있다고 알려져 있다($\sigma = E\epsilon$) [16]. 플라스틱에서도 입자형태의 충전재는 매트릭스의 탄성률을 증가시킨다는 사실은 잘 알려져 있다. 인장탄성률 E는 충전재의 부피분율에 따라 증가하고, 파단신율 ϵ 는 부피분율에 따라 감소하므로 이들 두 값의 기여도에 의해 인장강도가 결정된다. 그러므로, 낮은 부피분율의 입자충전 플라스틱에서 항복강도는 미충전 플라스틱에 비해 충전재의 부피분율이 증가할수록 감소한다. 항복강도와 신율은 충전재와 매트릭스 고분자간의 계면인력에도 크게 영향을 받는다. 카본블랙이 0.5 phr 첨가된 ABS-1/PMMA 블렌드에서 항복강도가 저하되는 이유는 입자충전에 따른 탄성률-신율의 변화와 더

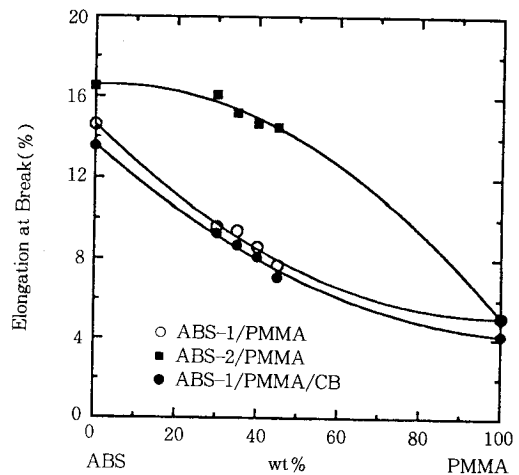


Fig. 5. Elongation at break vs. composition for ABS/PMMA blends.

불어 카본블랙이 고무-SAN간의 계면에 존재하므로 (Fig. 2. (c)) 계면인력을 약화시키기 때문이라 생각할 수 있다 [16, 17].

Fig. 5는 블렌드의 파단신율을 조성의 함수로 나타낸 것이다. ABS-1/PMMA 및 카본블랙이 0.5 phr 첨가된 ABS/PMMA/CB 블렌드에서는 PMMA 함량 증가에 따라 파단신율은 혼합법칙에서 음의 편차를 보이며 감소하였으나, ABS-2/PMMA 블렌드에서는 양의 편차를 보이고 있다. 일반적으로 플라스틱에 입자형태의 충전재를 충전시키면, 파단신율은 충전재의 부피분율에 따라 감소한다 [18].

Fig. 6은 블렌드의 충격강도(notched Izod)를 조성의 함수로 나타내었다. PMMA 함량에 따라 충격강도는 혼합법칙에서 크게 감소하는 경향을 보이고 있으며, ABS-2/PMMA > ABS-1/PMMA > ABS/PMMA/CB 블렌드 순이며, ABS자체의 충격강도에 의해 그 크기는 크게 좌우되는 것 같다. ABS에서 충격강도는 고무함량, 고무의 그래프트율, 고무에 그래프트된 SAN의 AN함량, 매트릭스의 AN함량 등 여러가지 인자에 의해 영향을 받는다 [19, 20]. ABS-2가 ABS-1에 비해 충격강도가 높는데 이는 g-ABS 함량에 크게 영향을 받는 것으로 생각된다. SAN을 g-ABS로 보강시키면 보통 20~30 중량%에서 brittle-tough 전이가 일어난다. 본 실험에 사용된 ABS-1과 ABS-2 내의 g-ABS 함량을 그래프트율에서 계산해 보면 각각 23, 35%이다. 카본블랙 첨가의 경우

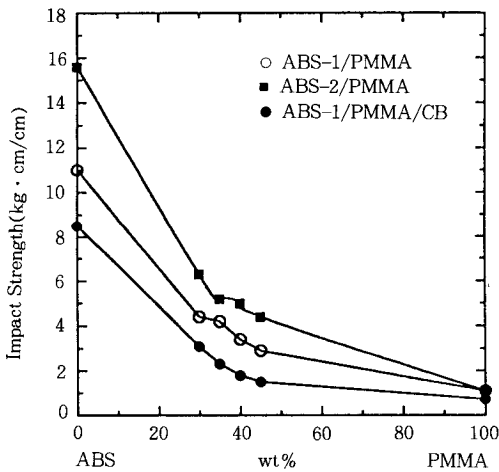


Fig. 6. Notched Izod impact strength vs. composition for ABS/PMMA blends.

충격강도는 전반적으로 감소하고 있다. 실온에서 충전 입자의 존재는 catastrophic 균열 성장에 필요한 에너지를 감소시킨다. 충전재는 응력집중자로 작용하여 복합재료의 균열성장이 가능한 위치를 제공하게 되어 충격강도의 감소요인이 된다[16, 21]. 특히, 충전재와 매트릭스 간의 계면인력이 부족하여 박리가 일어난다면 그 감소폭은 증가한다. 한편, 강직한 입자가 균열 성장과 연관된 에너지를 분산시키는 역할을 수행하여 충격강도를 높일 수도 있으나 입자강화 복합재료에서는 실제로 이러한 균형화 효과는 보이지 않는다. 그러므로 충전재 자체의 고유한 취성과 소성변형의 제약에 의해 고무강화 플라스틱에서 나타나는 충격강인화는 기대할 수 없다[16]. 이러한 이유로 인해 카본블랙 충전계에서는 미충전계에 비교하여 전반적인 충격강도의 감소를 나타내는 것 같다.

Fig. 7은 블렌드의 광택을 PMMA 조성에 따라 나타낸 것이다. 광택은 ABS-1/PMMA > ABS-2/PMMA > ABS/PMMA/CB 블렌드 순으로 나타난다. 블렌드의 표면광택은 가공조건, 상분리구조, 성분간의 굴절률 차이, 첨가제의 종류 및 크기 등에 영향을 받는다. ABS수지의 경우에는 고무함량 및 크기에 영향을 많이 받게 되는데, 함량 또는 크기가 증가할수록 광산란이 많이 일어나게 되어 표면광택은 낮아지게 된다. ABS에 PMMA를 넣게 되면 광택은 증가하는데 이러한 현상은 고무입자의 농도감소에 따른 산란정도의 감소와 ABS/PMMA 블렌드의 라멜라구조(Fig. 2)

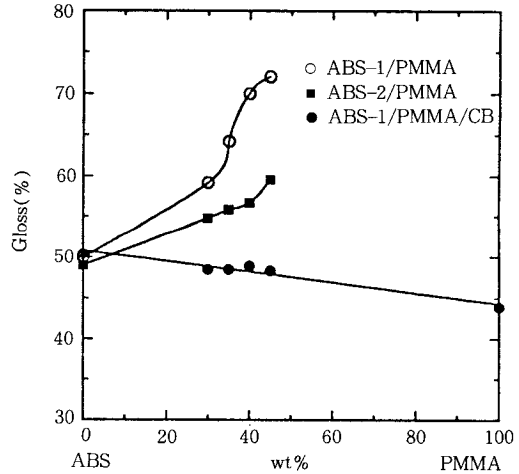


Fig. 7. Gloss of unfilled and carbon black(0.5) filled ABS/PMMA blends.

에 기인한 반사율의 증가와 관계가 있다고 생각된다 [11, 22]. 그러나 카본블랙을 첨가한 블렌드는 PMMA 함량에 따라 광택이 단조 감소하였다. 흑색 착색제로서 카본블랙이 가장 널리 사용되고 있는데, 그 중에서도 입자가 작은 것일수록 반사율이 낮고 흡광도가 높다[23, 24]. ABS/PMMA/CB계에서 사용된 카본블랙은 평균입경이 16nm로 가장 작은 grade 중의 하나이다. 그러므로 충전계에서의 광택특성은 고무입자의 양과 구조적인 인자보다는 카본블랙의 흡광효과가 주요인자로 작용하는 것 같다.

3. 3. 유변물성

White 등[25]은 입자충전 고분자 용융체를 크게 두 범주로 나누어 설명하였다. 직경이 10 μ m order인 큰 유리구, 유리섬유, 아라미드섬유, 또는 셀룰로오스 섬유인 경우, 이들 입자들은 현탁 또는 유화계와 같이 수력학적 상호작용(hydrodynamic interaction)을 일으키며 부피분율에 따라 점도가 선형적으로 증가한다고 보고하였다. 이 때, 충전계의 점도는 낮은 전단속도에서 Newtonian 거동을 나타내고, 높은 전단속도에서 기초수지와 유사한 전단담화 거동을 나타낸다. 반면에 0.5 μ m 이하의 입경을 갖는 카본블랙, 탄산칼슘, 활석 및 이산화티타늄과 같은 작은 입자일 때는 낮은 전단속도에서 입자간 인력(interparticle interaction)에 의한 항복거동을 나타낸다[26, 27]. 이러한 거동은 고무개질 고분자계와 유사하다[28,

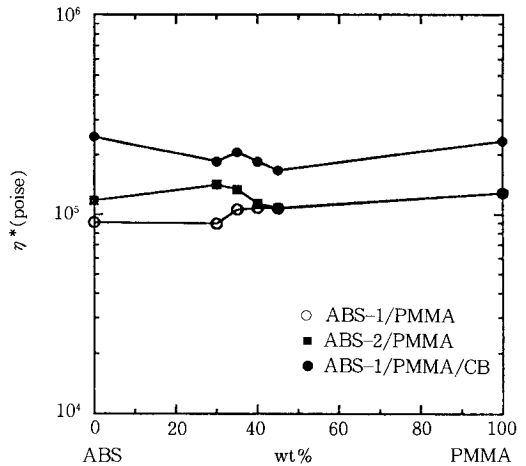
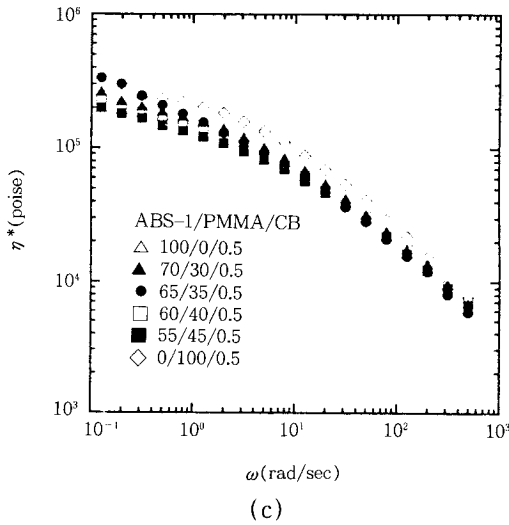
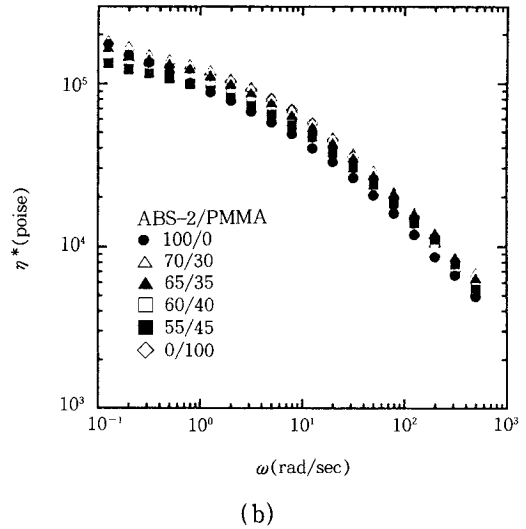
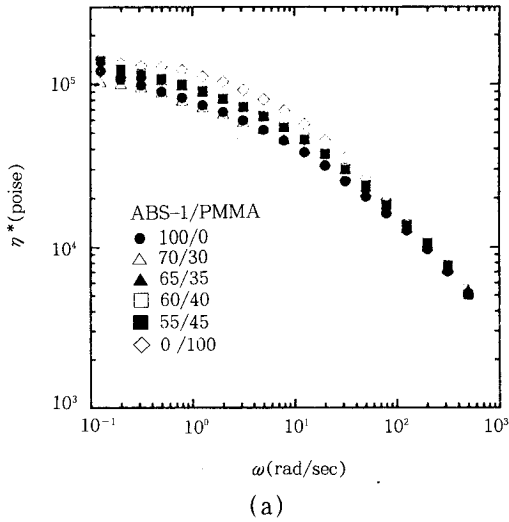


Fig. 8. Complex viscosities vs. frequency for ABS/PMMA blends; (a) ABS-1/PMMA, (b) ABS-2/PMMA, (c) ABS-1/PMMA/CB blends.

Fig. 9. Complex viscosities vs. composition for ABS/PMMA blends.

29]. Champman 등[30]은 이러한 충전재의 효과를 입자응집에 기인한 메카니즘이라 보고하였다. 또한 같은 부피분율에서는 입경이 줄어들수록 점도상승효과가 더욱 뚜렷해지고, 충전재에 코팅과 같은 표면처리를 하면 입자간 인력을 감소시켜 항복응력을 감소시킴을 관찰하였다.

Fig. 8 (a), (b), (c)는 각각 ABS-1/PMMA,

ABS-2/PMMA, ABS-1/PMMA 블렌드의 복합점도를 주파수의 함수로 나타내었으며, Fig. 9는 조성의 함수로 나타내었다. ABS-2의 점도가 ABS-1에 비해 약간 큰 것을 알 수 있는데, 이는 고무함량의 차이에 기인하는 것으로 보인다. 그러나 단순히 g-ABS함량만을 생각한다면 더 큰 점도의 상승이 기대되나 고무입자의 크기가 상대적으로 크기 때문에 그 증가폭은 반감되는 것으로 생각된다. 카본블랙이 0.5phr 첨가된 ABS/PMMA/CB 블렌드의 복합점도는 전 조성에서 ABS-1/PMMA 블렌드의 점도 이상이다. 점도 거동은 모든 조성에서 전형적인 열가소성수지의 전단

담화(shear-thinning) 거동을 나타내고 있으며, 카본블랙 함량이 증가할수록 점도는 약간 증가하였다. 충전계에서 점도는 충전재 함량뿐만 아니라 입자크기, 형태, 형상비에도 크게 영향을 받는다. 본 실험에서 카본블랙 함량은 1 phr 이하로 충전제로서는 아주 작은 양이다. 그럼에도 불구하고 입자 첨가에 의한 점도상승효과가 뚜렷하며 이는 사용한 카본블랙 입자가 작고 고무입자와의 응집에 기인된 효과로 생각된다(Fig. 2(c)). 농축계($\phi \geq 0.15$)에서 관찰되는 낮은 전단속도에서의 항복응력은 나타나지 않았다[25,26]. 이는 아직 응집에 의한 의사-겔 구조의 발달에 필요한 농도가 되지 않았음을 암시하고 있다.

참고 문헌

1. "Polymer Blends," 1, D. R. Paul and S. Newman Eds., Academic Press, New York (1978).
2. "Polymer Alloys and Blends," L. A. Utraki Eds., Hansel Publishers, New York (1990).
3. V. J. Triacca, S. Ziaee, J. W. Barlow, H. Keskkulas, and D. R. Paul, *Polymer*, **32**, 1401 (1991).
4. B. D. Favis and J. P. Chalifoux, *Polymer*, **29**, 1761 (1988).
5. T. M. Malik, P. J. Carreau, and N. Chapleau, *Polym. Eng. Sci.*, **29**, 600 (1989).
6. M. Lee and S. Chen, *Polym. Eng. Sci.*, **33**, 686 (1993).
7. S. N. Maiti, U. K. Saroop, and A. Misra, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 27 (1992).
8. H. Suarez, J. W. Barlow, and D. R. Paul, *J. Appl. Polym. Sci.*, **29**, 3253 (1984).
9. Y. Aoki and M. Watanabe, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 878 (1986).
10. B. K. Kim, G. S. Shin, Y. J. Kim, and T. S. Park, *J. Appl. Polym. Sci.*, **47**, 1581 (1993).
11. Y. J. Kim, G. S. Shin, I. T. Lee, and B. K. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, **47**, 295 (1993).
12. L. A. Utraki, M. M. Dumoulin, and P. Toma, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 34 (1986).
13. L. A. Utraki and Z. H. Shi, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 1824 (1992).
14. F. Ghiam and J. L. White, *Polym. Eng. Sci.*, **31**, 76 (1991).
15. J. T. Lindt and A. K. Ghosh, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 1802 (1992).
16. J. A. Manson and L. H. Sperling, "Polymer Blends and Composites", 373, Plenum Press, New York (1976).
17. "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering," 7, J. I. Kroschwitz, H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, G. Menges Eds., Wiley Interscience, New York (1985).
18. M. Nakis and L. Nicolais, *J. Appl. Polym. Sci.*, **15**, 469 (1971).
19. Y. Aoki, *Macromolecules*, **20**, 2208 (1987).
20. H. Kim, H. Keskkula, and D. R. Paul, *Polymer*, **32**, 1447 (1991).
21. C. B. Bucknall, "Toughened Plastics", 154, Applied Science, London (1977).
22. G. H. Meeten, "Optical Properties of Polymer", 327, Elsevier Applied Science, London (1986).
23. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 2, J. I. Kroschwitz, H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, G. Menges Eds., Wiley Interscience, New York (1985).
24. R. Gachter and H. Muller, "Plastic Additives", 648, Oxford University Press, New York (1990).
25. J. L. White in "Polymer Compatibility and Incompatibility: Principles and Practices", K. Solc, ed., MMI Press, New York (1982).
26. Y. Suetsugu and J. L. White, *J. Appl. Polym. Sci.*, **28**, 1481 (1983).
27. S. Toki and J. L. White, *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 3171 (1982).
28. H. K. Chuang and C. D. Han, *J. Appl. Polym. Sci.*, **29**, 2205 (1984).
29. G. S. Shin and B. K. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. **48**, 945 (1993).
30. F. M. Champman and T. S. Lee, *Soc. Plast. Eng. J.*, **26**, 37 (1970).