

가교체 종류에 따른 Semi-IPN Poly(phenylene oxide) 블렌드와 BaTiO₃ 복합재료의 유전특성

장용균 · 이호일 · 성원도* · 박상훈* · 윤호규[†]

고려대학교 신소재공학과, *EMW Antenna

(2008년 12월 10일 접수, 2009년 1월 19일 수정, 2009년 2월 4일 채택)

Dielectric Properties of Semi-IPN Poly(phenylene oxide) Blend/BaTiO₃ Composites with Type of Cross-linker

Yong Kyun Jang, Hoil Lee, Won Mo Seong*, Sang Hoon Park*, and Ho Gyu Yoon[†]

Department of Materials Science & Engineering, Korea University,

Anam-dong 5-1, Seongbuk-gu, Seoul 136-713, Korea

*EMW Antenna, Gasan-dong 459-2, Geumcheon-gu, Seoul 153-803, Korea

(Received December 10, 2008; Revised January 19, 2009; Accepted February 4, 2009)

초록: 가교체의 종류에 따른 semi-IPN(interpenetrating polymer network) poly(phenylene oxide) (PPO) 블렌드와 BaTiO₃(BT) 복합재료의 유전특성을 조사하였다. PPO와 BT를 톨루엔에 분산하고 MEK 용매에 석출하여 얻어진 precursor PPO 복합재료에, 가교체와 과산화물을 용융혼합하는 방법으로 복합재료를 제조하였다. Precursor PPO 복합재료는 PPO와 BT를 단순히 용융혼합한 복합재료보다 높은 유전율을 나타냈으며 대수혼합법칙에 의한 이론값과도 일치하였다. 가교체로서 triallyl isocyanurate의 도입에 의해 PPO 수지의 배향분극이 감소하여 유전율과 유전손실 모두 크게 감소하였다. 4,4'-(1,3-phenylene diisopropylidene)bisaniline (Bisaniline)을 2,2-bis(4-cyanatophenyl)propane (CPP)와 혼합하여 가교하였을 경우에는 Bisaniline의 아민기에 의해 유전율과 손실이 증가하였으나, 치밀한 수지 조직과 충전제 계면상태를 관찰할 수 있었으며, 이것으로부터 굴곡강도와 탄성률이 향상된다는 것을 설명할 수 있었다.

Abstract: The dielectric properties of semi-IPN poly(phenylene oxide) (PPO) blend/BaTiO₃(BT) composites are investigated. The composites are fabricated via melt-mixing of crosslinker and peroxide in precursor PPO composite obtained by precipitating the suspension consisted of PPO, BT and toluene into methylethyl ketone, poor solvent of PPO. The permittivity of the precursor PPO composites shows higher value than that of integral-blended PPO composites by extruder and coincides with the theoretical value calculated by logarithmic rule of mixture. The blend of PPO and cross-linked triallyl isocyanurate is most effective for lowering the permittivity and loss tangent owing to the suppression of the orientation polarization of matrix. In contrast, 4,4'-(1,3-phenylene diisopropylidene) bisaniline, which has amine unit in its structure, increases the permittivity as well as loss tangent of the composite, but it has the ability to densify the matrix resin and the interfacial adhesion between the matrix and filler to improve flexural strength and modulus.

Keywords: semi-interpenetrating polymer network, poly(phenylene oxide) blend, BaTiO₃, dielectric properties, cross-linker, polarization.

서 론

폴리페닐렌옥사이드(poly(phenylene oxide), PPO)는 파괴인성, 치수안정성 및 난연성 등이 우수하고 흡수율이 낮은 고분자이며,^{1,2} 성형을 용이하게 하기 위한 열가소성 수지와와 공중합, 나아가 에폭시와 같은 열경화성 수지와와 블렌드도 연구되고 있다.^{3,4} 최근에는 낮

은 유전손실과 유전상수를 이용하여 고주파 대응 고분자 소재로서 정보통신 분야 및 정보처리 분야에 응용하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다.⁵⁻⁸

세라믹 유전체는 높은 유전 상수, 정전용량, 및 품질계수를 갖고, 낮은 편차(tolerance)를 나타내는 등의 이점으로부터 소형화를 필요로 하는 안테나 기술 분야에서 응용되어 왔으나,^{9,10} 깨지기 쉽고 강도가 낮으며, 고온 열처리에 기인한 고가라는 단점때문에 이를 대체할 수 있는 고분자 소재의 필요성이 대두된다. 고분자 재료는 고분자 특유의

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: hgyoon@korea.ac.kr

유연성을 바탕으로 이와 같은 세라믹 재료의 한계를 극복할 수 있으나, 유전상수가 낮기 때문에 고유전율을 만족하기에 그다지 유용하지 않다. 고분자 재료의 유전율을 향상시키는 가장 일반적이고 효과적인 방법은 고유전성 세라믹 충전제를 복합화하는 것인데, 이러한 경우에는 고분자와 충전제 계면에서 발생하는 계면분극(interfacial polarization)에 의해 주파수와 관계없이 0.02 이상의 높은 유전손실이 발생한다는 단점이 있다.¹¹

인쇄회로기판 등에 적용하기 위한 저유전성 고분자재료를 달성하기 위해서 액정 고분자를 사용하거나¹² 내열 특성이 우수한 폴리이미드의 개질,^{13,14} 에폭시 수지의 수산화 저감 방법,¹⁵ 열가소성 수지를 가교화하는 방법,⁸ 시아네이트계 수지의 합성 등이¹⁶ 제안되었으나, 낮은 유전손실을 유지하면서 유전상수를 높이거나 낮게 조절할 수 있는 방법은 제시되고 있지 않는 실정이다.

본 연구에서는 낮은 유전손실을 갖는 PPO/BaTiO₃(BT) 복합재료를 제조하기 위해, PPO와 BT를 포함하는 톨루엔 현탁액을 PPO의 용매인 methylethyl ketone(MEK)에 석출하여 건조해서 얻어진 precursor PPO 복합재료를 이용하였으며, 이 precursor PPO 복합재료에 3 종류의 서로 다른 가교체를 용융혼합하여 semi-IPN(interpenetrating network) PPO 복합재료를 제조한 뒤, 이들의 유전율과 유전손실, 그리고 기계적 특성 등을 비교, 분석하였다.

실 험

원재료. 본 연구에 사용된 원재료들의 구조를 Table 1에 나타내었다. 기저수지로서 열가소성 수지인 poly(phenylene oxide) ($M_w=45000$, GE Plastics, USA, 이하 PPO)를 사용하였으며, semi-IPN 구조를 갖도록 하기 위한 가교체로는 triallyl isocyanurate(Degussa, German, 이하 TAIC), 2,2-bis(4-cyanatophenyl)propane(Tokyo Chemical Co., Japan, 이하 CPP), 그리고 4,4'-(1,3-phenylene diisopropylidene)bisaniline(Sigma Aldrich, USA, 이하 Bisaniline)의 3 종류를 적용하였다. 개시제로는 di-*tert* butyl peroxide(NOF

Co., Japan)를 사용하였으며, 고분자의 유전율을 증가시키기 위하여 평균크기 700 nm의 barium titanate(BaTiO₃, Sigma Aldrich, USA, 이하 BT)를 충전제로서 적용하였다.

시편제조. PPO 복합재료의 제조는 충전제 함량이 50 vol%인 precursor PPO 복합재료를 사전에 제조하는 방법을 통해 이루어졌다. 마그네틱 스티러를 이용하여 적정량의 PPO를 톨루엔에 완전히 용해한 뒤 충전제인 BT를 넣고 초음파를 통해 4시간 동안 분산시킨다. 이 용액을 2 L의 methylethyl ketone(MEK) 용매에 일정한 속도로 적하하면 PPO의 용해도 계수 차이에 의해 PPO가 충전제 표면을 고르게 코팅한 형태의 PPO/BT 복합물이 석출되며,¹⁷ 이 복합물을 100 °C에서 24시간 동안 건조시킴으로써 precursor PPO 복합재료를 얻었다.

제조한 precursor PPO 복합재료를 건조, 분쇄하고 가교체, 그리고 개시제를 자전 및 공전이 동시에 이루어지는 C-mixer(Thinky Co., ARE-250, Japan)를 사용하여 2000 rpm의 속도로 2분간 혼합한 후, 직경 11 mm의 이축 혼련기(Bau Tech, BA-11, Korea)를 이용하여 용융 혼합함으로써 복합재료를 제조하였다. PPO 대비 가교체 함량은 7 : 3으로 고정하였고, 개시제는 가교체 대비 1.0 phr을 적용하였다. 이축 혼련기의 온도 구배는 320~340 °C로, 그리고 screw speed는 50 rpm으로 설정하였다.

제조된 복합재료는 hot press(Carver Co., USA)를 사용하여 340 °C에서 성형하였으며, 직경 10 mm, 두께 0.5 mm 디스크 형태의 시편을 제작하여 유전특성 측정용 시편으로 사용하였다.

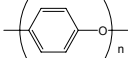
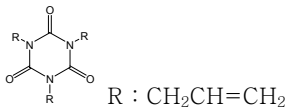
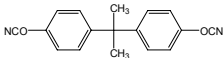
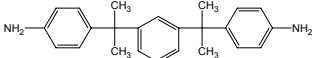
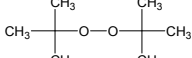
측정. TA Instruments사의 시차 주사 열량계(DSC, TA-2910)를 사용하여 질소 분위기에서 10 °C/min 승온 속도로 0~300 °C까지 가교체의 가교반응온도 등을 확인하였다. 가교체의 가교반응시간과 이에 상응하는 점도 변화는 Rheometric Scientific Co.의 advanced rheometric expansion system(ARES)를 이용하여 shear strain 5%의 조건에서 측정하였다. 유전특성은 microwave dielectrometer(Advanced Electronics Technology, Japan)로 유전율(ϵ')과 유전 손실($\tan\delta$)을 구하였다.

결과 및 토론

Figure1 (a)에 PPO 및 가교체, 그리고 개시제로 이루어진 혼합물의 DSC 결과를 나타내었다. TAIC의 반응온도를 예로 나타낸 바와 같이, PPO와 가교체를 혼합하면 가교체 자체보다 다소 높은 온도에서 가교반응 피크를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 즉, TAIC은 과산화물에 의해 약 182 °C에서 가교 피크를 나타내고 있는 반면, PPO와 혼합되었을 경우에는 187 °C로써 5 °C 가량 높은 피크 온도를 보이고 있으며(Figure1 (b) 참조), 이것은 PPO에 의해 가교체의 확산이 방해되기 때문인 것으로 판단된다. 여기서 CPP/Bisaniline을 혼합하여 가교를 유도한 것은 Bisaniline 단독으로는 유전율 및 유전손실이 상대적으로 너무 높게 나타나서 낮은 유전율과 유전손실을 목적으로 하는 본 연구의 목적과 맞지 않았기 때문이다. 또한, CPP/Bisaniline 혼합비는 5 : 5로 고정하였다. 그럼에서 흡열 피크는 PPO의 결정이 녹는 온도로서, 가교체의 혼합에 의해 용융온도 및 결정화도가 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

Figure1 (b)에는 각 가교체와 과산화물과의 가교반응 결과를 비교

Table 1. Raw Materials Used in This Study

| | |
|---|---|
| Poly(phenylene oxide) (PPO) |  |
| Triallyl isocyanurate (TAIC) |  |
| 2,2-bis(4-cyanatophenyl)propane (CPP) |  |
| 4,4'-(1,3-phenylene diisopropylidene)bisaniline |  |
| Di- <i>tert</i> butyl peroxide |  |

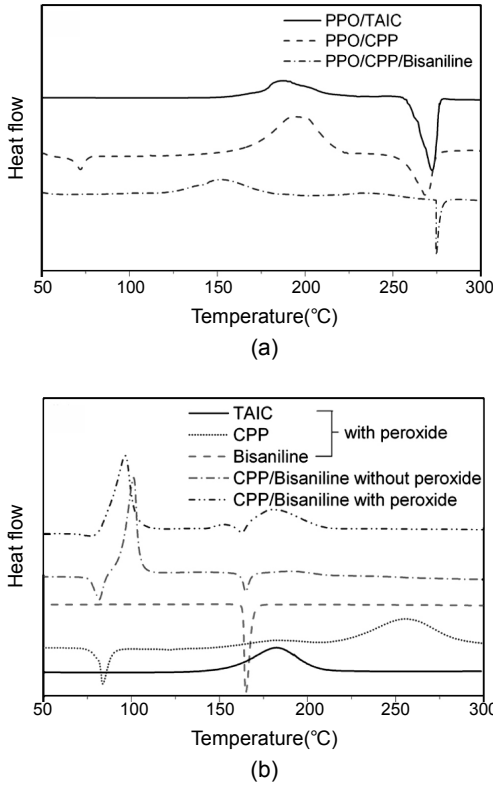


Figure 1. DSC results of (a) the blends of PPO and cross-linkers; (b) the reaction of several cross-linkers with peroxide. For comparison, the case of CPP/Bisaniline mixture without peroxide is shown in (b).

하였다. CPP는 가열에 의해 약 215 °C에서 340 °C의 범위에 걸쳐 TAIC과 같은 triazine환 구조로 변환하는데,¹⁸ 결정이 용융된 후 180 °C 부근에서 약한 가교반응과 255 °C 부근에서 triazine환 변환 반응에 따른 발열 피크를 보이고 있다. 이 CPP에 Bisaniline을 혼합한 뒤 개시제를 적용하면 약 100 °C 부근과 180 °C 부근에서 두 개의 발열반응이 일어난 반면 255 °C에서의 triazine환 변환반응은 일어나지 않았다. 개시제를 적용하지 않은 CPP/Bisaniline 혼합물이 약 100 °C 부근에서만 발열 반응이 발생하는 것으로부터, 100 °C 근처에서 발생하는 발열 반응은 CPP의 시안기와 Bisaniline의 아민기가 반응하는 것이며, 후자는 개시제에 의한 가교반응으로 판단된다. 이와 같은 결과를 Figure 1(a)와 비교하면 PPO/PPP에서도 triazine 환 변환은 일어나지 않고 가교반응 만이 나타나고 있다는 것을 알 수 있으며, PPO/PPP/Bisaniline의 경우는 150 °C와 240 °C 부근에서 발열 피크가 나타나는 것으로부터, CPP와 Bisaniline의 반응, CPP의 가교반응 등이 복잡하게 발생하는 것으로 추측된다.

300 °C에서 반응시간 증가에 따른 저장 및 손실탄성률과 점도의 변화를 Figure 2에 나타내었다. 일반적으로 가교반응을 일으키는 물질의 경우, 겔화시간은 G' 과 G'' 이 같아지는 시점, 즉 $\tan \delta$ 가 1 이 되는 시간으로 정의되는데,¹⁹ TAIC을 적용하면 겔화시간이 빨라져서 약 250초에서 겔화가 발생하는 반면, 상대적으로 분자크기가 큰 CPP 및 Bisaniline은 352초 및 370초에서 겔화가 일어났다. Figure 2(b)에서와 같이 겔화시간 이후 점도는 급격하게 상승하는

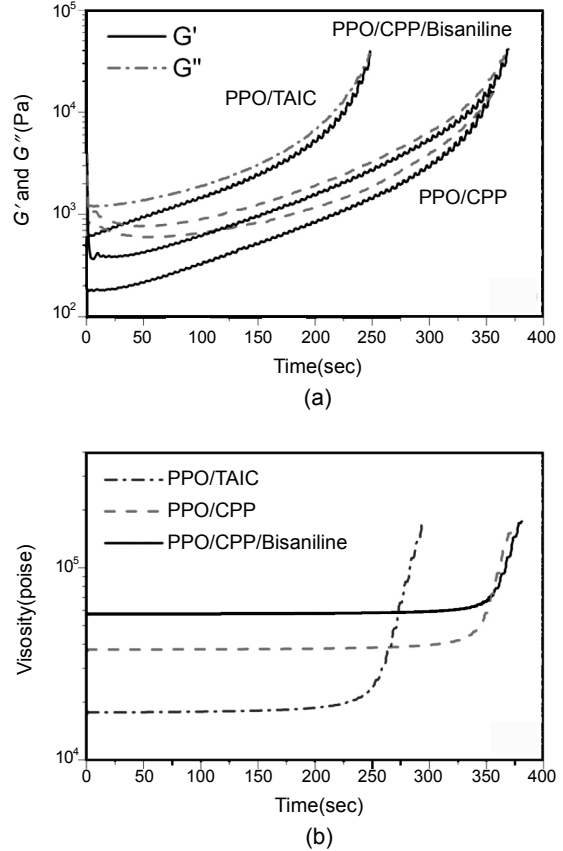


Figure 2. The variation of (a) storage and loss moduli; (b) viscosity of PPO blends with crosslinking reaction time at 300 °C.

데, 겔화가 빠른 PPO/TAIC 시스템은 점도가 낮게, 그리고 겔화가 가장 느린 PPO/PPP/Bisaniline은 점도도 가장 높게 나타나고 있어, 본 연구에서의 점도와 겔화시간은 서로 비례관계에 있다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 설정한 이축 혼련기의 온도 및 screw speed는 Figures 1과 2의 결과를 바탕으로 이루어졌다.

Figure 3은 BT 함량에 따른 precursor PPO 복합재료의 유전특성을 나타낸 것이다. 그림 안의 숫자는 BT의 함량을 의미한다. 유전을 실수부뿐만 아니라 유전손실도 BT 함량이 증가함에 따라 증가하고 있으며, 유전율은 주파수와 관계없이 일정한 값을 보이고 있는 반면, 손실은 서서히 증가하고 있다. 순수한 PPO의 유전손실은 최초 1 GHz에서 매우 낮은 0.0002 값을 보이지만, 3 GHz로 주파수가 증가하면 0.001로 그 증가 폭이 크게 나타났다. 그러나, BT를 충전함으로써 이러한 현상은 감소하였으며, 주파수 증가에 따라 거의 일정하게 손실이 증가하였다.

Figure 3(a)의 1 GHz에서의 유전율 결과를 이용하여 BT 함량에 따른 유전율 실수부의 변화를 구했으며, 검은 원으로써 Figure 4에 나타내었다. 실선은 가장 간단한 이론인 대수 혼합법칙을²⁰ 이용하여 구한 이론값으로써, 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\log \epsilon_{\text{compos}} = (1 - v_f) \log \epsilon_{\text{matrix}} + v_f \log \epsilon_{\text{filler}} \quad (1)$$

여기서 v_f 는 충전제의 체적 분율을, ϵ 는 유전율을 의미한다. Figure 4

에는 어떠한 표면처리도 하지 않은 BT를 PPO와 단순히 integral blending한 뒤, 이축 혼련기로 용융혼합한 복합재료의 유전율도 함께 비교하였다. Precursor PPO 복합재료의 유전율은 이론값과 잘 일치하고 BT 함량이 증가함에 따라 증가 폭도 크게 나타나고 있으나, integral blending으로 제조한 복합재료는 40 vol%를 전후해서 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있으며, 또한, precursor PPO 복합재료보다 낮은 것으로 나타났다. 충전제의 표면처리 없이 integral

blending으로 제조한 복합재료는 충전제 함량이 증가할수록 수지와 충전제 간의 분산이 어려워지게 되고, 충전제 표면을 매트릭스 수지가 고르게 에워쌀 수 없게 되어, 충전제 표면에 다량 존재하게 되는 void의 영향에 의해 유전율이 낮게 평가된 것으로 판단된다. Precursor PPO 복합재료도 60 vol%의 BT를 충전하게 되면 이와 같은 현상에 의해 유전율이 감소하고 있다. 한편, 두 복합재료의 유전손실은 거의 유사하였다.

고분자 복합재료의 유전특성은 고분자의 배향분극에 의한 유전특성, 충전제인 유전체에 의한 유전특성 및 고분자와 충전제의 계면에서 발생하는 계면분극에 의한 유전특성 등 3가지 요인에 의해 발생한다.²¹ 즉, 고분자 복합재료의 유전율과 유전손실을 제어하기 위해서는 위의 3가지 요소를 구조 제어하면 가능하다고 할 수 있는데, 본 연구에서 precursor를 이용하여 제조한 복합재료는 void의 발생을 억제할 뿐만아니라 고분자와 충전제의 계면에서 발생하는 -OH의 계면분극에 의한 유전율과 유전손실 증가를 억제할 수 있는 수단으로 생각할 수 있다.

한편, 고분자 자체의 배향 분극을 억제하는 구조적인 수단으로써는 대칭구조와 환 구조를 갖는 moiety를 도입하는 것이 가장 유효하다고 할 수 있다.²² Figure 5에는 이와 같은 구조로써 그 효과가 매우 좋은 것으로 알려진 TAIC을 이용하여⁵ 제조한 semi-IPN PPO 복합재료의 유전특성을 나타내었다.

주파수 1 GHz에서 precursor PPO 복합재료와 비교하면, BT 함량이 20~40 체적%일 때 precursor PPO 복합재료의 경우는 8.17~16.33의 값을 나타낸 반면, TAIC을 도입함으로써 4.76~12.98로 유전율이 낮아지고 있으며, 유전손실에서도 0.0038~0.0062에서

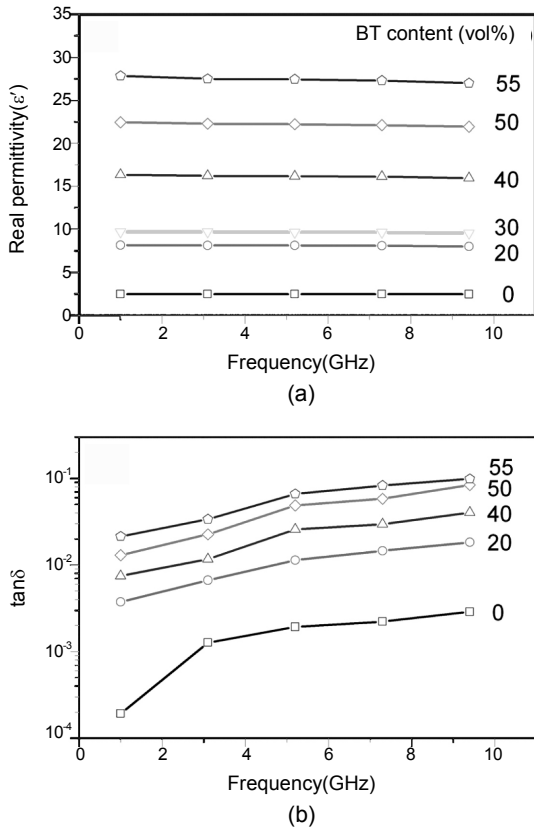


Figure 3. (a) Real permittivity; (b) loss tangent of precursor PPO composites with BT content as a function of frequency.

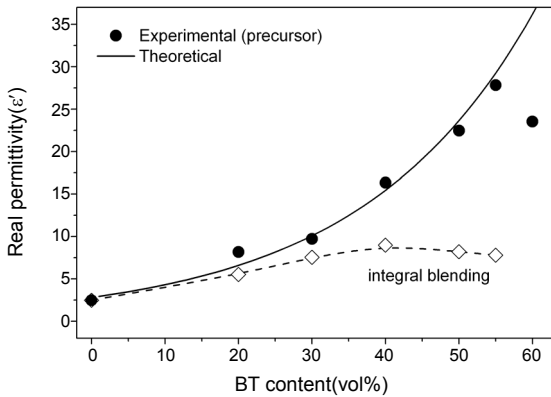


Figure 4. Comparison of the permittivity of precursor PPO composites with theoretical values calculated by logarithmic rule of mixture at 1 GHz. Integral-blended PPO composites are also compared together.

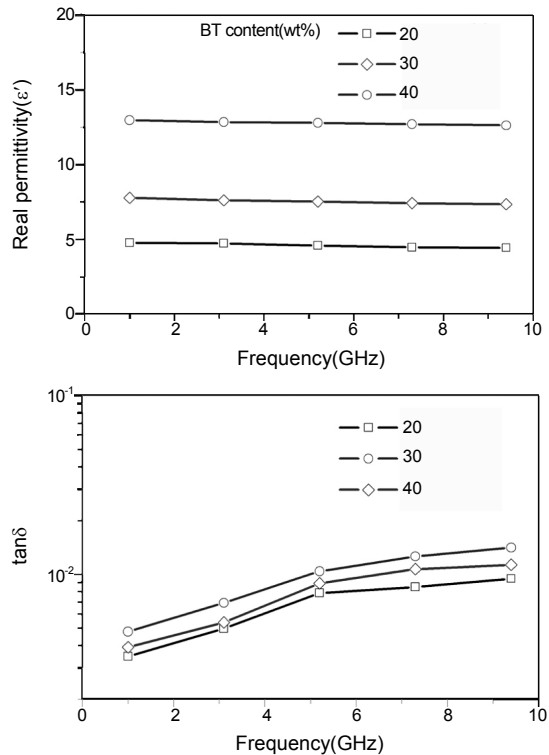


Figure 5. Dielectric properties of semi-IPN PPO/TAIC composites with BT content as a function of frequency.

0.0035~0.0048로 낮아지는 것을 알 수 있다. 이와 같이 대칭구조를 갖고 낮은 유전율의 구조를 나타내는 성분의 가교체를 도입함으로써 저유전율뿐만 아니라 저유전손실 특성을 달성할 수 있었다.

PPO/TAIC 이외에 PPO/ CPP, 그리고 PPO/ CPP/ Bisaniline semi-IPN 복합재료도 Figures 3과 4에서와 같이 유전율은 BT 함량 증가에 따라 증가하고 주파수 의존성이 없으며, 유전손실은 주파수에 따라 거의 유사하게 증가하는 것으로 나타났으나, 그 값에서는 다소의 차이를 보이는 것으로 측정되었다. Figure 6에 가교체 종류에 따른 주파수 1 GHz, BT 함량 40 vol%에서의 유전율과 유전손실을 비교하여 나타내었다.

유전율은 12.7~16.5의 값을 나타내고 있고 유전손실은 모든 복합재료에서 0.01 이하 값을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 모든 특성에서 PPO/TAIC, PPO/ CPP 순서로 가장 낮은 물성을 보이고 있다. PPO/ CPP/ Bisaniline은 Bisaniline이 9.0 wt% 포함되어 있고 아민기의 강한 전자 편향에 기인하여 높은 유전율을 나타냈으며, 특히 유전손실은 precursor PPO 복합재료보다 높은 값을 보이는 것으로 나타났다.

고분자의 유전율과 유전손실을 낮추는 방법으로 제안되는 것으로

는 1) 물 체적당 물 분극률이 작은 분자 도입, 2) 굴절률이 낮은 unit 도입, 3) 분자 내 극성기 감소, 4) bulky한 구조 도입, 5) 전기장에 정렬하기 어려운 구조 도입, 6) 고분자 내 불순물 제거, 및 7) 흡수율을 감소시키는 구조 도입 등을 들 수 있다.²⁰ 본 연구에서 사용된 TAIC은 전기장에 의해 정렬하기 어려운 구조를 갖는 대표적 유기물이기 때문에 가장 낮은 유전특성을 나타낸 반면, Bisaniline의 경우는 비록 방향족 환의 연결이 메타구조로써 비교적 정렬하기 어려운 구조에 속하지만 분자 말단에 극성이 강한 아민이 있기 때문에 높은 유전율과 손실을 나타내었다고 판단된다. CPP에서의 cyanate와 방향족 환, 그리고 메틸기(-CH₃) 등은 비교적 정렬하기 어렵고 물 체적당 물 분극률이 낮은 분자 형태를 갖고 있다고 할 수 있다.

PPO/ CPP/ Bisaniline 복합재료는 Bisaniline에 의해 저유전특성을 달성하기 어려우나, 아민의 비교적 강한 수소결합으로부터 높은 기계적 특성을 달성할 수 있다는 장점이 있다. Figure 7은 BT 함량 40 vol%에서 각 수지 시스템의 탄성률과 강도를 비교한 것이다. Semi-IPN 구조를 도입하여 PPO 수지보다 높은 기계적 물성을 달성할 수 있으며, 특히 Bisaniline으로부터 발생하는 강한 수소 결합은 충전제

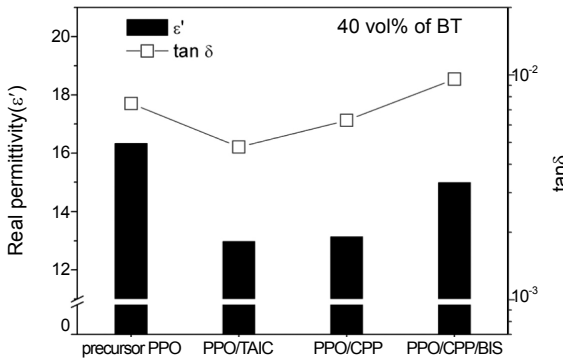


Figure 6. Comparison of dielectric properties of semi-IPN PPO composites filled with 40 vol% of BT at 1 GHz.

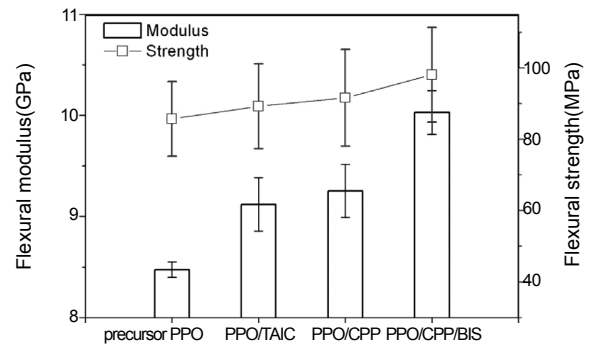


Figure 7. Comparison of mechanical properties of semi-IPN PPO composites filled with 40 vol% of BT.

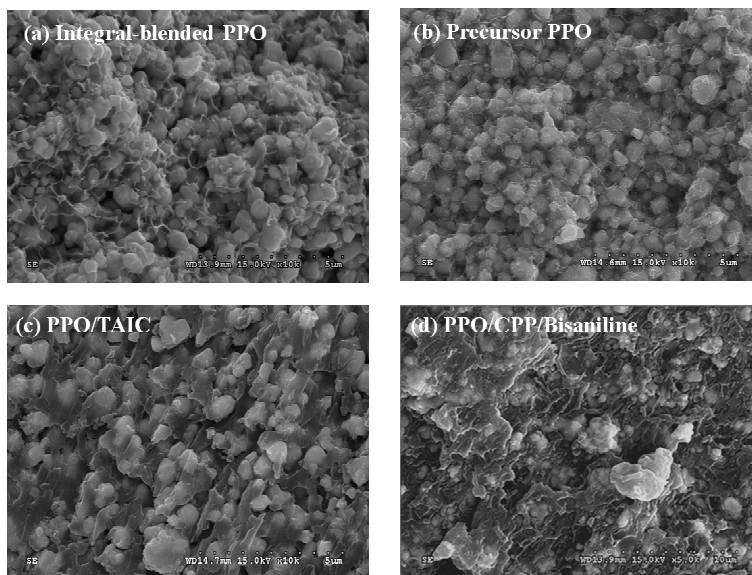


Figure 8. SEM images of fractured surface of various PPO/BT composites: (a) Integral-blended PPO; (b) precursor PPO; (c) PPO/ TAIC; (d) PPO/ CPP/ Bisaniline.

표면과 수지간의 계면 결합력을 향상시킴으로써 강도뿐만 아니라 탄성률도 큰 폭으로 증가한다는 것을 알 수 있었다.

Figure 8에는 4 종류의 PPO 복합재료의 단면을 비교하여 나타내었다. Integral-blended PPO 복합재료의 표면은 BT가 PPO 수지로 부터 이탈된 형상이 많이 보이고 있으며 void로 생각되는 부분이 균테균데 발견되고 있다. Figure 4에서 논의한 바와 같이, 이와 같은 integral-blended PPO 복합재료의 단면은 PPO와 BT 계면 간의 좋지 않은 접착특성과 가공 등에 의해 낮은 유전율을 나타낸 것으로 생각할 수 있다. 한편, precursor PPO 복합재료는 다소간의 void가 나타나고 있지만, BT 표면을 PPO가 잘 에워싸고 있는 형상을 보이고 있고 또한 수지로부터 충전제가 이탈한 흔적을 찾아볼 수 없을 만큼 계면 특성도 좋은 것으로 나타났기 때문에 대수혼합법칙에 의한 이론값과 일치하며 integral-blended PPO 복합재료와 대비하여 높은 유전율을 보였다고 판단할 수 있다.

결 론

PPO와 BaTiO₃(BT) 충전제를 톨루엔 용매에 분산한 뒤, PPO와 용해도 계수 차이가 큰 MEK에 석출하고 건조함으로써 얻어진 precursor PPO 복합재료와 3가지 가교체를 블렌딩하여 semi-IPN 구조의 PPO 블렌드 복합재료를 제조하였다. DSC 및 겔화시간으로부터 복합재료의 용융 혼합을 위한 이축 혼련기 조건을 설정하였으며, 유전특성과 기계적 특성을 비교, 검토하였다.

용융 석출방법을 통해 얻어진 precursor PPO 복합재료는 단순히 integral blending한 것과 비교하여 치밀하고 내부 void가 없는 구조를 나타냈으며, 55 vol%까지 이론값과 일치하는 유전율을 보였다. 또한, BT 표면이 PPO에 의해 강하게 흡착되므로써 표면에 존재하는 수산기에 의한 유전율과 손실의 상승을 억제할 수 있는 것으로 판단되었다.

Triallyl isocyanurate (TAIC), 2,2-bis(4-cyanatophenyl)propane(CPP), 그리고 CPP와 4,4'-(1,3-phenylene diisopropylidene) bisaniline(Bisaniline)의 혼합물로 각각 가교시킨 PPO 복합재료에서는 TAIC에 의한 유전율 및 유전손실 억제효과가 가장 크게 나타났으며, CPP에 의한 유전특성 억제 효과도 좋은 결과를 얻었다. CPP/Bisaniline의 혼합물로 가교시켰을 경우에는 Bisaniline의 아민 말단에 의해 유전율이 상승하였으며, 특히 손실은 precursor PPO 복합재료 보다 높았다. 그러나, 이러한 아민 말단기는 수지 구조를 더욱 치밀하게 하여 굴곡강도 및 탄성률을 향상시키는 효과를 나타냈다.

감사의 글: 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2006-S018-03, 휴대방송 서비스가 가능한 초소형 복합형 안테나 기술 개발].

참 고 문 헌

1. D. M. White, *Comprehensive Polymer Science*, S. G. Allen and J. C. Bevington, Editors, New York, Pergamon Press, Chap 5, Vol 5 (1989).
2. H. R. Kricheldorf, *Handbook of Polymer Science*, Dekker, New York, p 545 (1992).
3. J. Krijgsman, G. J. E. Biemond, and R. J. Gaymans, *Polymer*, **46**, 8250 (2005).
4. S. Poncet, G. Boiteux, J. P. Pascault, H. Sautereau, G. Seytre, J. Rogozinski, and D. Kranbuehl, *Polymer*, **40**, 6811 (1999).
5. Matsushita Electric Works Co. Ltd., Japanese Patent 238677 (2003).
6. Hitachi Chemicals, Japanese Patent 224367 (2003).
7. Mitsubishi Gas Chemical Co. Inc., Japanese Patent 252983 (2003).
8. D.-K. Kim, S.-D. Park, W.-S. Lee, M.-J. Yoo, S.-H. Park, J.-K. Jin, and J.-B. Kyoung, *Polymer(Korea)*, **31**, 474 (2007).
9. D. Cruickshank, *J. Eur. Ceramic Soc.*, **21**, 2621 (2001).
10. Z. Peng, H. Wang, and X. Yao, *Ceramics Int.*, **30**, 1211 (2004).
11. F. L. Almeida, P. B. A. Fecine, J. C. Góes, M. A. Valente, M. A. R. Miranda, and A. S. B. Sombra, *Mater. Sci. Eng. B*, **111**, 113 (2004).
12. A. Jigounov, Z. Sedláková, R. Kriptomou, P. Pissis, J. Nedbal, J. Baldrian, and M. Ilavský, *Polymer*, **48**, 5721 (2007).
13. C.-P. Yang and Y.-Y. Su, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, **42**, 222 (2004).
14. B. Y. Myung, J. S. Kim, J. J. Kim, and T. H. Yoon, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, **41**, 3361 (2003).
15. O. Ichiro, *DIC Tech. Rev.*, **7**, 1 (2001).
16. H. Mizuno, *Koubunshi*, **52**, 571 (2003).
17. T. H. Kim, *A Study on Nylon 6/BaTiO₃ Composites of High Dielectric Constant*, MS thesis, Korea University (2005).
18. F. Baba, *Development of Polymer Materials for Microwave Applications (Japanese)*, CMC, Tokyo, p 94 (2005).
19. H. H. Winter, *Polym. Eng. Sci.*, **27**, 1698 (1987).
20. K. Lichtenecker, *Phys. Z.*, **10**, 1005 (1908).
21. K. C. Kao, *Dielectric Phenomena in Solids*, Elsevier Academic Press, New York, p 58 (2004).
22. *Current Trend IV of Polymer Materials for Electronic Components (Japanese)*, S. B. Research Co. Ltd., p 17 (2005).