

## PC/MWNT composites 의 유변학적 및 전기적 성질

송유탉, 한미선, 이헌상\*, 김우년,  
고려대학교 화공생명공학과  
\*LG 화학 기술연구원

### Rheological and electrical properties of polycarbonate/multi-walled carbon nanotube composites

Yu-taek Sung, Mi Sun Han, Heon Sang Lee\*, Woo Nyon Kim,  
Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University  
\*Research Park, LG Chem. Ltd.

#### 서론

1991년 Iijima에 의해 카본 나노 튜브(carbon nanotube : CNT)의 발견이 보고된 이래 국내외적으로 이 새로운 탄소 물질에 대한 관심이 증대되고 있다 (Iijima, 1991). CNT는 기존의 재료에서는 찾아볼 수 없는 약 1 TPa의 기계적 특성, 진공 상태에서 2800 °C의 온도에서도 견디는 내열 특성, 다이아몬드의 두 배에 가까운 열전도도, 현존하는 물질 중 최고의 전기적 전도도 등을 보유하고 있어 (Fisher et al., 1997), 모든 공학 분야에서의 응용 가능성이 매우 높은 것으로 평가되고 있다.

Polycarbonate (PC) 는 대표적인 engineering 고분자로서 가전 제품의 housing 등을 비롯하여 강도가 요구되는 많은 부분에 이용되고 있다. 또한 전자 산업의 발달로 인하여 PC 에 전도성 (conductivity)를 부여하고자 하는 많은 시도가 있다. 이러한 전도성 부가 측면에서 현존하는 물질 중 가장 전기전도도가 좋은 CNT 와 PC의 복합체 (composites) 제조가 시도 되고 있으며, 유변 물성 측정에 대하여서도 많은 보고가 있다 (Pötschke, et al., 2002; Pötschke et al., 2004; Abedel-Goad and Pötschke, 2005; Sung et al., 2005; Sung et al., 2006). 이번 발표에서는 PC 에 CNT 가 분산 되었을 경우, CNT 의 엉킴이나 길이와 같은 morphology 변화에 따른 유변학적, 전기적 물성의 변화를 보고하고자 한다 (Sung et al., 2006).

#### 실험방법

##### Sample preparation.

본 연구에서는 solution mixing 방법을 이용하여 PC 와 multi-walled carbon nanotube (MWNT) 복합체를 제작하였다. MWNT 의 정제에 의한 유변학적, 전기적 성질의 변화를 살펴보고자, MWNT 는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 로 정제하였다. 정제된 MWNT 는 thermal drying 과 freeze drying 방법을 이용하여 morphology 변화를 주었다. Solution mixing 시, sonication을 하여 분산도를 높였다.

Rheological properties.

Rheometric 사의 advanced rheometric expansion system (ARES)를 이용하여 동적 주파수 분석 (dynamic frequency sweep)을 수행하였다. Dynamic frequency sweep test는 260 °C 에서 0.1 에서 100 rad/s 사이에서 수행되었다. 각각의 실험은 선형 점탄성 영역 (linear viscoelastic regime) 에서 수행되었다.

Electrical conductivity.

4단자법을 이용하여 전기 전도도를 측정하였다. Sample 은 gold wire를 이용하여 부착하였다.

### 결과

Fig. 1은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 처리에 따른 MWNT 의 morphology 변화를 나타낸 것이며, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 에 의해 처리가 됨에 따라서 MWNT의 엉킴이 줄어들 수 있다. 또한 freeze drying 된 경우의 MWNT 의 잘림이 덜 함 역시 관찰할 수 있다.

Fig. 2는 260 °C 에서의 PC/MWNT(95/5) 의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 처리에 따른 저장 탄성률(G')을 보여주고 있다. MWNT 가 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 에 의해 처리가 됨에 따라서 낮은 주파수 영역에서의 저장 탄성률의 증가를 보여 주고 있다. 이런 낮은 주파수 영역에서의 저장 탄성률의 변화는 MWNT의 처리에 의해서 분산도가 향상되어, MWNT 의 percolated 된 구조가 용이하게 형성될 수 있기 때문이라고 생각된다. 또한 freeze drying 처리된 PC/MWNT 복합체의 저장 탄성률 증가가 thermal drying 처리된 PC/MWNT 복합체에 비해 큰 것으로 관찰 된다

Fig. 3은 260 °C 에서의 PC/MWNT(95/5) 의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 처리에 따른 손실탄성률(G'')을 보여주고 있으며, 저장탄성률 (G') 과 마찬가지로 낮은 주파수 영역에서의 증가를 보여 준다. 그렇지만 그 증가폭은 저장 탄성률에 비하여 작은 경향을 보여 주고 있다.

Fig. 4은 MWNT 함량에 따른 전기전도도 변화를 보여주고 있다. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 에 의하여 MWNT 가 처리됨에 따라서 보다 낮은 percolation threshold 를 보여 주고 있다. 또한 전기 전도도의 값 역시 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 처리가 됨에 의하여 값이 증가함을 알 수가 있다. 또한 freeze drying 처리된 PC/MWNT 복합체의 전기 전도도 증가가 더욱 확연하게 관찰 되며, 이는 전술한 유변학적 결과와도 일치하는 것으로 생각 된다.

### 감사의글

본 연구는 유변공정연구센터 (한국과학재단 ERC) 의 연구지원에 의해 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

### 참고문헌

Abdel-Goad, M. and P. Pötschke, "Rheological characterization of melt

- processed polycarbonate-multiwalled carbon nanotube composites", *J. Non-Newton. Fluid Mech.*, **128**, 2 (2005).
- Fischer, J. E., H. Dai, A. Thess, R. Lee, N. M. Hanjani, D. L. Dehaas and R. E. Smalley, "Metallic resistivity in crystalline ropes of single-walled carbon nanotubes", *Phys. Rev. B*, **55**, R4921 (1997).
- Iijima, S., "Helical microtubules of graphitic carbon", *Nature*, **354**, 56 (1993).
- Pötschke, P., T. D. Forns and D. R. Paul, "Rheological behavior of multiwalled carbonnanotube/polycarbonate composites", *Polymer*, **43**, 3247 (2002).
- Pötschke, P., M. Abedel-Goad, T. Alig, S. Dudkin and D. Lellinger, "Rheological and dielectrical characterization of melt mixed polycarbonate-multiwalled carbon nanotube composites", *Polymer*, **45**, 8863 (2004).
- Sung, Y. T., C. K. Kum, H. S. Lee, J. S. Kim, H. G. Yoon and W. N. Kim, "Dynamic mechanical and morphological properties of polycarbonate/multi-walled carbon nanotube composites", *Polymer*, **46**, 5656 (2005).
- Sung, Y. T., M. S. Han, K. H. Song, J. W. Jung, H. S. Lee, C. K. Kum, J. Joo, W. N. Kim, "Rheological and electrical properties of polycarbonate/multi-walled carbon nanotube composites", *Polymer*, in press (2006).

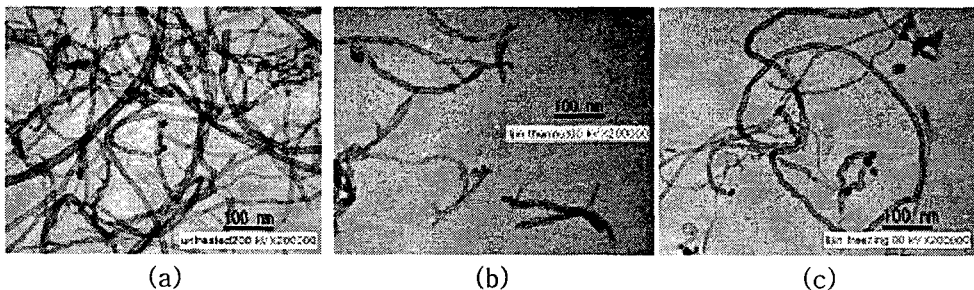


Fig. 1. TEM morphology of MWNT with treatment: (a) without treatment; (b) thermal drying; (c) freeze drying

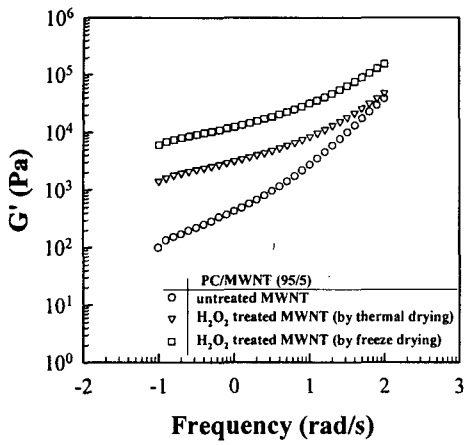


Fig. 2.  $G'$  of the PC/MWNT (95/5) composites at 260 °C.

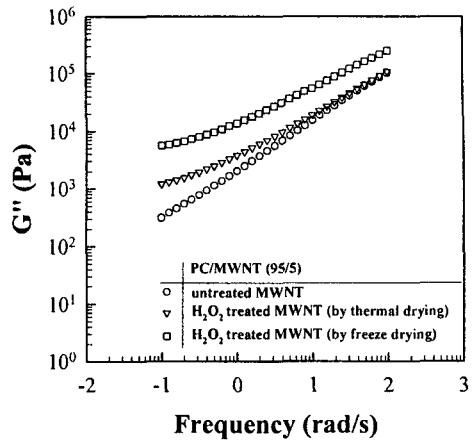


Fig. 3.  $G''$  of the PC/MWNT (95/5) composites at 260 °C.

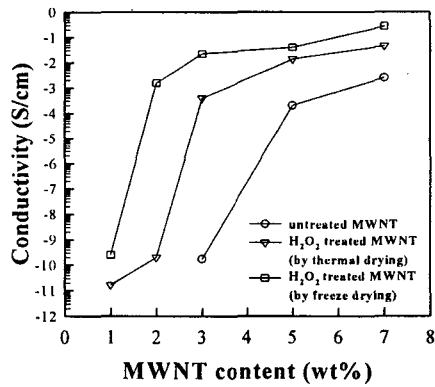


Fig. 4. Electrical conductivity of the PC/MWNT composites with MWNT content.