

# 나노복합재 제작을 위한 마이크로/나노 입자 배열구현기술개발

## Micro/Nano Particle Alignment Technology Development for Nano-Composite Manufacturing

조희근

H. K. Cho

안동대학교 기계교육과

Key words : Nano-Composite, Electric Field, FGM(Functionally Graded Material)

### 1. 서론

미소 사이즈의 입자 (particle) 나 섬유 (fiber) 들은 종종 복합재의 기지에 적용되어 복합재의 물리적 특성을 크게 향상시킨다. 섬유강화 복합재는 기지에 복합재의 섬유가 강화된 구조이며 이러한 복합재의 성능은 포함된 입자나 섬유의 방향성 및 체적비에 크게 의존한다. 본 연구에서는 폴리머 복합재속에 포함된 강화 입자들의 밀도 및 분포형태를 국부적으로 변화시키기 위하여 전기장을 사용하였다. 이러한 기술을 전기장을 이용한다는 의미에서 Field-Aided Micro-Tailoring 이라한다. 이 연구의 궁극적인 목적은 에폭시 기지에 알루미늄( $Al_2O_3$ ), 탄소나노튜브(CNT), 탄소(Graphite), 텅스텐(W) 등의 입자들로 구성된 폴리머 복합재의 미소구조를 전기장을 이용해서 변형시켜서 복합재의 기계적 열적 특성을 향상시키는 기술의 타당성을 검증하는 것이다.

### 2. Electrodynamics of Continuous Media

유전유체 속에 놓여있는 입자에 전기장 ( $E$ ) 을 가하면 쌍극자모멘트(dipole moment)  $\mu$  가 발생하며 이것은 주변 연속체의 극성을 증가한다.

$$\mu = \epsilon_0 \epsilon_c \beta_F V E \quad (1)$$

입자의 극성모멘트  $\mu$  는 입자의 체적  $V$  ,

주변 연속체의 유전율(dielectric constant)  $\epsilon_c$  , 자유공간의 유전율(permittivity)  $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} F/m$  (Farads per meter) 에 비례한다.

대전되지 않은 입자가 불균일 전기장 속에서 극성효과에 의해서 이동하는 것을 유전영동(dielectrophoresis)이라 한다. 유전영동의 중요한 현상중의 하나가 쌍극자간 상호작용(dipole-dipole interaction)이다. 이 현상은 균일한 전기장이 인가된 현탁액 유체속에서도 일어난다. 이 경우 포함된 입자의 입자의 분극된 전기장이 주변의 다른 첨가 입자들의 중앙에서 그 전기장을 방해하는 역할을 하며 입자들 간의 인력이나 반발력을 만든다. 두 구의 쌍극자간 상호 작용력은 Landau 와 Lifshitz [1] 에 의해서 다음 식과 같이 주어진다.

$$F^{(e)} = \mu \cdot \nabla \left( 3 \frac{(\mu \cdot r)r}{r^5} - \frac{\mu}{r^3} \right) \quad (3)$$

여기서  $r$  은 두 구의 중앙을 연결하는 벡터이며  $r$  의 쌍극자 간 인력은 구의 분극화,  $\mu$  의 제곱에 비례하고, 구의 유전율이 주변 기지의 유전율 보다 크거나 작은 것에 상관없이 독립적이다. Fig. 1 은 두 개의 구형태의 입자가 쌍극자 상호작용을 하며 상대적인 위치와 변위에 영향을 미치는 것을 나타낸다

### 3. 전기장에 의한 입자배열 및 나노복합재

FAiMTa 를 적용한 나노복합재의 제조를 위해서는 먼저 전기영동 및 유전영동에 의한 입자의 회전을 가능하게 하기 위하여 고전압을 가해주는 장치가 필요하다[2]. 이것을 위해서 고전압 증폭기(high voltage amplifier: TREK 610E), 신호발생기(function generator: Novatest 33521A) 및 오실로 스코프가 필요하다. 입자의 크기, 기지의 점도, 전기장의세기 및 주파수 등이 입자의 운동에 직접적으로 영향을 미치는 변수들이다. Fig. 1 에 디지털 현미경, 오실로스코프, 고전압증폭기, 신호발생기를 나타내었다.

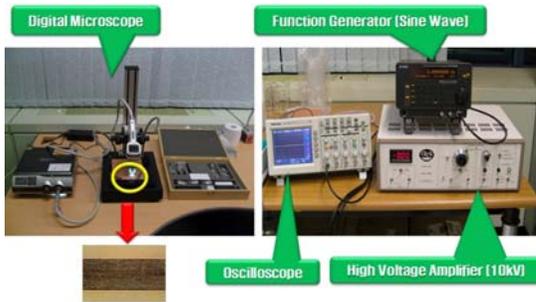


Fig. 1 Electronic device and microscope for nano-composite.

Fig. 2 는 전기장을 이용하여 입자들을 재배열한 결과를 나타낸다. 입자의 형태, 크기, 유전율, 에폭시의 점도, 상태, 전기장의세기 등 다양한 실험조건에 의하여 입자의 배열정도는 크게 영향을 받는다. 따라서 최적의 조건을 찾기 위해서는 수많은 시행착오가 필요하며 본 연구에서는 무수히 많은 시행착오를 통하여 입자들을 재배열 하였다. W, CNT, Graphite 는 입자의 배열이 매우 원활하게 진행되었으며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 는 입자의 사이즈, 기지재료 및 기타 여러 요인에 의하여 상대적으로 배열의 정도가 낮게 나타났다.

이러한 입자의 배열 정도는 수초에서 수십초 사이에 급격히 진행 되며 특히 에폭시의 점도가 낮을수록 빨리 재배열된다. CNT 의 경우 매우 미세한 입자들이 아주 규칙적으로 잘 배열되었으며, Graphite 의 경우

입자들이 덩어리의 형태로 형성하면서 배열되었다. Fig. 2 은 전기장에 의한 입자 배열의 이론적 근거를 실험을 통하여 증명한 결과이며 앞으로 더욱 많은 연구가 진행될 것이다.

Random	Particle Alignment by Electric Field (1.2kV/mm)
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	
<b>Graphite</b>	
<b>Tungsten</b>	
<b>CNT (Carbon Nano Tube)</b>	

Fig. 2 Particle location comparison between initial random(left) and aligned by electric field (right) with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Graphite, CNT, Tungsten

### 참고문헌

1. Landau, L. D., Lifshitz, E. M., "Electrodynamics of Continuous Media, Pergamon," New York, 1984.
2. Shkel, Y. M., and Klingenberg, D. J., "A Continuum Approach to Electrorheology," Journal of Rheology, **43**, 1307-1322, 1999.