

분극성을 갖는 미세입자/유전유체 분산계에서의 전기유변효과
 (Electrorheological Effect on the Dispersive System
 Consisting of Polarizable Fine Powder/Dielectric Oil)

한국에너지기술연구소 김삼국
 육군제3사관학교 최운대
 경북대학교 이상운

1. 서론

전기유변유체 (electrorheological fluid)는 분극성이 강한입자를 점도가 낮은 유전유체속에 분산시켜 제조한 유체로 인가된 외부전기장의 영향하에 놓일때 점도가 급격히 증가하는 유체를 말한다. 이러한 현상은 입자내부의 분극화 현상에 의하여 입자들이 전기장 방향으로 배열하여 흡사 진주목걸이와 같은 구조를 형성하여 유체가 흐르기 위해서는 추가적인 shear stress가 요구되기 때문이며 이러한 물성변화가 유체자체의 점도변화에 의한것이 아니고 입자들의 배열구조에 의하기 때문에 electroviscous 효과와 구분하기 위하여 전기유변효과라 칭한다.

본연구에서는 일부알려진 전기유변효과를 일으키는 mechanism을

(1) 입자표면전도, (2) 입자내부전도, (3) 유도분극으로 나누어 설명하였다. 소수성 전기유변유체내의 미세분말입자간 상호인력을 정성적으로 예측 할수있도록 유도분극 mechanism을 적용하여 입자간의 전기적인력을 계산 하였으며 이를 전기유변효과를 향상시킬수있는 재료선정의 지침으로 사용 하였다.

2. 이론적 고찰

전기유변유체는 수분을 필요로하는 친수성 유변유체와 유도분극에 의한 소수성 유변유체로 구분할수있다. 친수성 유변유체는 입자사이에 형성된 water bridge 에 의한 계면장력이 shear에 의한 변형에 저항한다는 water bridge형성모델 (예 : corn starch/corn oil)과 다공성의 입자내부에 존재하는 양이온이 pore 내부에 존재하는 수분을 통로로 하여 전기장 방향으로 이동함으로써 입자와 입자사이 반대 극성을 형성시켜 입자사이에 전기적인 인력을 발생케 한다는 반대극성 형성모델 (예 : zeolite/silicone oil)로 설명할수있다.

소수성 전기유변유체는 외부전기장의 영향에 의하여 입자내부에 형성된 유도쌍극자간의 상호작용에 의한 입자간에 전기적인 인력이 발생한다. 두 쌍극자가 외부전기장의 영향으로 전기장 방향으로 배열한다면 쌍극자 간의 에너지를 계산하여 거리로 미분하면 쌍극자간에 작용하는 인력을 계산할수있다.

$$F = \frac{6 m^2}{4\pi\epsilon_f r^4} \quad (1)$$

여기에서 m 은 쌍극자 능률, ϵ_f 는 유전유체의 절대유전율, r 은 쌍극자간의 거리를 나타낸다. 상기식을 풀기위하여는 쌍극자 능률이 입자, 유전유체의 특성 및 전기장의 함수로 표현되어야 한다. 균일한 외부전기장 하에 놓인 유전구체를 생각하여보자. 구의 내부에는 자유전자가 존재하지 않으므로 Laplace 해를 구하여 유전구체에 유도된 전기쌍극자 능률의향으로 나타난 유전구체 외부 임의의 점에서의 potential로 부터 쌍극자 능률을 구하여 식(1)에 대입하면 외부전기장에 의하여 입자내부에 생성된 쌍극자로 부터 발생하는 전기적인 인력을 구할수있다. 오일은 전기적으로 부도체이고 유전상수가 복소함수이므로 절대값을 취하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{F}{\beta} = \frac{\kappa_f [(\kappa_p - \kappa_f)^2 + (\sigma_p / \omega\epsilon_0)^2]}{(\kappa_p + 2\kappa_f)^2 + (\sigma_p / \omega\epsilon_0)^2} \quad \left(\beta = \frac{24\pi R^6 \epsilon_0 E^2}{r^4} \right) \quad (2)$$

여기에서 κ 는 유전상수, σ 는 전기전도도, ω 는 angular frequency, ϵ_0 은 진공중에서의 절대유전율, R 은유전구체의 반지름, E 는 전기장세기, 그리고 하첨자 p 는 입자 f 는 유전유체를 나타낸다. 소수성 유변유체의 입자재질이 입자간에 발생하는 인력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 유전상수와 주파수 응답특성이 다른 ceramic, polymer, glass등의 입자재료에 대하여 식(2)를 적용하여 입자간의 인력을 진동수의 함수로 계산하여 보았다. 계산결과 ceramic등은 진동수가 증가함에 무관하게 입자간의 인력이 다른재료에 비하여 높게 나왔는데 이는 입자와 오일간의 유전상수차가 크고 입자의 유전상수 실수부가 허수부에 비하여 크기 때문이며 catalin의 경우 진동수 증가에 따라 입자간의 인력이 급격히 감소하였는데 이는 허수부인 loss term이 커 쌍극자를 전기장 방향으로 배열하는데 더 많은 에너지가 소모되었기 때문이다.