

친환경 전기재료 적용을 위한 에폭시/세노스피어 복합재료의 전기적 특성 분석

서청원, 권정훈, 박지성, 임기조
충북대학교

Analysis of Electrical properties of Cenosphere/Epoxy Composite for Eco-friendly Insulation Material

Cheong-Won Seo, Jung-Hun Kwon, Ji-Sung Park, Kee-Joe Lim
Chungbuk National University

Abstract - 최근 환경오염 문제가 대두되면서 친환경 재료로 만들어진 제품에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 일반적으로 친환경재료는 기존의 재료보다 성능이 낮거나 비싼 가격 때문에 대체하기가 쉽지 않다. 세노스피어는 화력발전소에서 생성되는 부산물중 하나로 기존 재료에 첨가되는 충전제와 유사한 성분으로 구성되어 있으며, 가벼운 것이 특징이다. 본 논문에서는 화력발전소로부터 발생하는 부산물을 절연재료의 충전제로써 활용하는 방안에 대하여 연구하였다. 에폭시수지에 세노스피어 0~100[wt%]와 실리카 0~40[wt%]를 각각 첨가하여 온도변화에 따른 AC 절연과피강도 및 유리전이온도, 열팽창율을 시험하였다. 절연과피 실험 결과 세노스피어/에폭시 복합재료는 실리카/에폭시 복합재료에 비하여 높은 성능을 보여주었으며, 유리전이온도와 열팽창계수는 비슷하거나 좋은 성능을 보여주었다. 따라서 세노스피어는 기존에 사용되고 있는 충전제를 대체할 수 있다고 사료된다.

1. 서 론

산업이 고도화, 고기능화 및 다양화 되고 도시가 과밀화 됨에 따라 전력 수요가 증가로 인하여 전력계통이 대용량, 초고압화가 진행되었다. 이러한 전력공급의 안전성과 신뢰성 향상을 위해서 전력기기의 소형경량화와 더불어 성능 향상 및 신뢰성 확보가 요구되었다. 이러한 절연 설계 기술을 만족하는 재료로 석유화학 제품이 많이 사용되었다. 하지만 최근 환경오염 문제가 대두되어 절연물 재료 분야에서도 규제 대상이 되는 재활용이 불가능한 석유화학 제품들의 비중을 줄이거나 친환경 재료로 대체하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 친환경 절연물의 경우 기존 절연 재료에 비하여 비슷하거나 낮은 절연성능의 문제뿐만 아니라 기계적 강도, 열적 안정성 등에 문제를 가지고 있다. 고체 절연재료의 경우 이러한 문제를 해결하기 위해 복합재료의 개념을 이용한 성능 개선에 대한 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 에폭시 수지의 경우 부족한 기계적 강도 및 열적 특성을 개선하기 위해서 실리카 및 알루미늄 분말을 40~80[wt%]를 첨가하여 기계적강도, 치수안정성, 열팽창계수, 유리전이온도, 열화 특성 등을 개선하여 사용하고 있다.[1-2]

화력발전소에서 생성되는 폐기물들 중 하나는 석탄회라 하며 화력발전소에서 미분탄 연소 후 배출되는 재이다. 석탄회는 집진기에 의하여 포집되는 비산재(fly ash), 바닥에 가라앉은 바닥재(bottom ash)로 나뉘며 이 중 비산재는 실리카 50~60[%], 알루미늄 20~25[%]와 미량의 금속산화물로 이루어져 있어 기존 절연재료의 충전제와 유사한 성분을 가지고 있으나 주로 콘크리트 구조재, 시멘트의 부원료 등으로 재활용되고 있다. 석탄회 발생량 중 약 64[%]가 비산재로 이루어져 있으며, 비산재 중 1~2[%]를 차지하는 물질인 세노스피어는 비산재와 유사한 성분으로 이루어져 있으며 비중이 0.3~0.8로 가벼운 물질로 충전제로 사용시 전체적인 중량이 감소하는 이점이 있다. 이에 인도에서 세노스피어를 복합재료의 충전제로 사용하여 형태학적 분석 및 기계적 강도에 대한 연구가 일부 진행 되었으며, 또한 전선의 절연재료 및 고분자복합재료에 세노스피어를 충전제로 적용하려는 연구로 열적 특성 및 내화특성에 대한 연구가 일부 진행되었으나 전기적 특성에 대한 연구 및 분석이 미흡한 실정이다.[3-4]

2. 실험

2.1 시편

2.1.1 에폭시

본 실험에서 사용된 에폭시는 고온 경화용 주형수지로 상온에서 액상인 에폭시수지(bisphenol-A)와 경화제(anhydrides)를 사용하였으며 물질은 표 1에 나타내었다.

<표 1> Properties of resin and hardner

	Resin	Hardner
비중	1.16(±0.02)	1.19(±0.02)
유리전이온도[℃]		95~105
절연과피강도[kV/mm]		>20
유전율		3~4

2.1.2 충전제

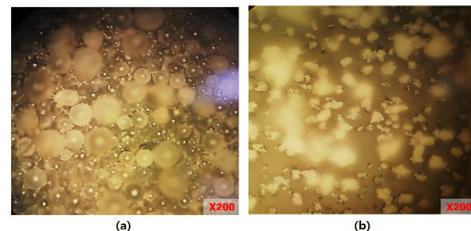
본 실험에서 사용된 충전제는 세노스피어와 실리카 2종으로 표 2, 3에 입도분석을 통한 입도와 XRF(X-ray Fluorescence)를 통한 성분분석 결과를 나타내었으며, 그림 1에 광학현미경을 이용하여 관찰한 입자의 모양을 나타내었다.

<표 2> Properties of cenosphere and silica

	Cenosphere	Silica
Particle [um]	20-150	20
Specific gravity	0.3-0.8	2

<표 3> Component of cenosphere and silica

	Cenosphere	Silica
Al ₂ O ₃ [wt%]	44.65	-
SiO ₂ [wt%]	33.46	99.999
CaO[wt%]	0.09	-
TiO ₂ [wt%]	4.75	-
Fe ₂ O ₃ [wt%]	15.17	-



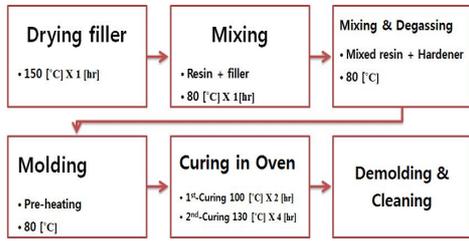
<그림 1> Optical microscope photograph of particle shape (a) cenosphere, (b)silica powder

2.1.3 시편

본 논문에서 실험을 위해 제작한 시편은 6종이며, 충전제의 효과를 비교하기 위해 충전제를 첨가하지 않은 에폭시 1종, 실리카를 첨가한 시편 2종을 제작하여 세노스피어를 첨가한 시편과 비교하였다. 표 4는 시편의 조성이다.

<표 4> Component of specimen

Symbol	Resin	Filler type	content[wt%]
EPO		-	-
SEP10	Epoxy	Silica	10
SEP40			40
CEP10	(bisphenol-A, anhydrides)	Cenosphere	10
CEP40			40
CEP100			100



〈그림 2〉 Sample fabrication process

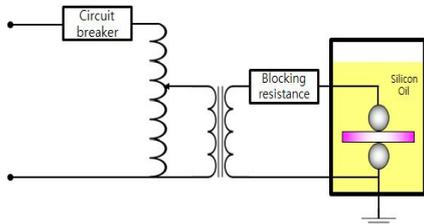
시편의 제작은 에폭시 수지 제조사의 권장방법을 방법에 따라 제조하였으며 그림 2에 나타내었다.

2.2 실험 방법

2.2.1 전기적 특성

교류절연파괴 강도를 측정하기 위한 실험 장치는 그림 3과 같이 구성하고 온도제어기를 통하여 기체의 온도를 25[°C], 100[°C], 125[°C]로 제어하였다. 실험 전극은 스테인리스 스틸 재질의 직경 10[mm]의 구대구 전극을 제작하였으며, IEC 60243-1에 규정된 교류 절연파괴 실험방법 중 단시간승압 방법으로 1[kV/s]의 승압속도로 실험을 진행하였다.

모든 절연파괴 데이터는 각 조건에서 얻어진 파괴 전압치를 파괴 강도로 환산하여 와이블 통계처리를 통하여 얻어진 scale parameter 값을 파괴강도로 정리하였다.



〈그림 3〉 Scheme of AC breakdown experimental set up

2.2.2 열적 특성

열적 특성 시험은 TMA(Thermal Mechanical Analysis)를 통하여 유리전이온도(Tg)와 열팽창계수(Coefficient of Thermal Expansion)를 측정하였으며 온도구간은 25[°C]~200[°C], 승온속도는 5[°C/min]으로 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

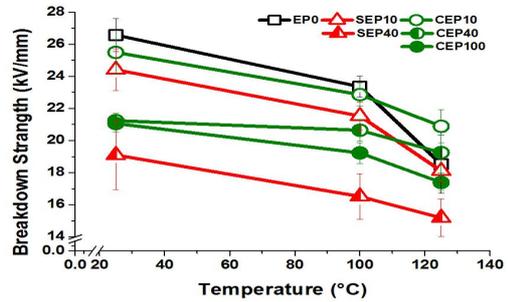
3.1 전기적 특성

시편 종류에 따른 AC 절연파괴 강도는 그림 4에 나타낸 것과 같다. 전체적으로 온도가 증가할수록 절연파괴 강도는 감소하였다. 충전제가 포함된 시편의 경우 전체적으로 순수한 에폭시 시편보다 파괴강도가 낮았으나 세노스피어가 첨가된 시편의 경우 125[°C]에서 순수한 시편보다 강도가 높았다. 또한 같은 함량의 충전제가 첨가된 시편에서 세노스피어가 첨가된 시편이 실리카가 첨가된 시편보다 절연파괴 강도가 높게 나타났다. 이는 실리카보다 비중이 작은 세노스피어의 경우 같은 무게분율로 첨가될 경우 더 높은 부피분율로 첨가되어 복합재의 열전도도가 크게 증가하고 또한 세노스피어의 성분 중 높은 열전도도를 가지는 산화철의 영향이라 사료된다.

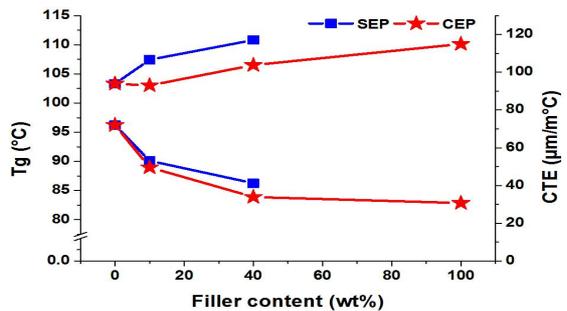
3.2 열적 특성

모든 시편에서 충전제가 첨가될수록 유리전이온도는 상승하고 열팽창계수는 감소하는 경향을 보였다. 세노스피어가 첨가된 시편은 실리카가 첨가된 시편보다 유리전이온도와 열팽창계수가 낮게 나타났으며 그림 5에 나타내었다.

이는 충전제가 첨가될수록 모재와 결합하는 부분이 넓어져 온도 상승에 따른 모재의 유동성을 감소 시켰기 때문이라 사료되며, 세노스피어/에폭시 복합재료가 실리카/에폭시 복합재료보다 유리전이온도와 열팽창계수가 낮게 나타난 것은 실리카가 세노스피어보다 모재와의 결합력이 높기 때문이며 열팽창계수의 경우 세노스피어가 같은 무게분율에서 높은 부피분율을 가지기 때문이라 사료된다.



〈그림 4〉 AC breakdown strength of specimen depending on temperature



〈그림 5〉 Tg and CTE of specimen

4. 결론

본 논문에서는 화력발전소에서 배출되는 부산물중 세노스피어의 재활용 방안으로 전력기에 많이 사용되는 에폭시에 세노스피어를 충전제로써 첨가하여 세노스피어/에폭시 복합재료의 전기적 특성과 열적 특성을 시험하였으며, 이를 실리카/에폭시 복합재료와 비교 분석하여 전력기에 사용되는 고체절연재료의 충전제로 활용 가능성을 검토하였으며 결과는 다음과 같다.

첫 째, AC 절연파괴 강도는 온도가 증가함에 따라 감소하였다. 이는 고체절연파괴이론 중 열적 파괴로 사료된다. 세노스피어가 첨가된 시편이 실리카가 첨가된 시편보다 온도가 증가함에 따라 절연파괴 강도의 감소 정도가 적었다.

둘 째, 각 시편은 충전제를 첨가할수록 유리전이온도는 증가하고 열팽창계수는 감소하는 경향을 보였으며, 세노스피어가 첨가된 시편이 실리카가 첨가된 시편보다 유리전이온도와 열 팽창계수가 낮게 나타났다. 따라서 세노스피어가 충전된 시편의 경우 전기적, 열적 특성은 실리카가 충전된 시편보다 우수하거나 비슷한 성능을 가지는 것을 알 수 있다. 이는 전기적, 열적 관점에서 기존의 충전제를 대체할 수 있다고 판단되며, 환경오염을 일으키는 폐기물을 재활용함으로써 친환경을 도모 할 수 있다고 판단된다. 하지만 실제 전력기에 적용하기 위해서는 기계적인 특성과 수명에 대한 추가적인 연구가 선행되어 신뢰성평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] 김경환, "SiO₂를 첨가한 에폭시 콤포지트의 유전 및 기계적 완화특성에 관한 연구", 1989, 광운대학교 박사학위논문
- [2] 왕중배, "실리카 충전된 Epoxy 복합체의 구조물성과 전기적 특성 향상에 관한 연구", 1993, 광운대학교 박사학위논문
- [3] Santram Chauhan, Sunil Thakur, "Effect of Micro Size Cenosphere Particles Reinforcement on Tribological Characteristics of Vinylester Composites in Dry Sliding Conditions", JMMCE, pp938-946, 2012
- [4] B.R.Manjunath, P.Sadasivamurthy, P.V.Reddy, Karickal R. Haridas, "Studies on Cenospheres as Fillers for PVC Compounds for Applications in Electrical Cables", JAIC, Vol. 86, No. 1, pp.10-14, 2013