

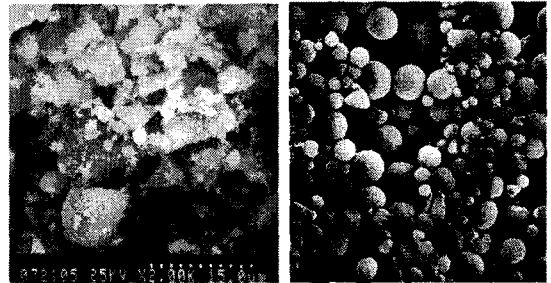
에폭시 수지 절연물의 전기적 기계적 특성 향상

김지환, 하영길, 박현득, 전승익
LG전선 전력 연구소

Improvement of Electrical and Mechanical Property of Epoxy Resin Insulator

Kim Ji Hwan, Ha Young Kil, Park Hyun Deuk, Jeon Seung Ik.
Electric Power Research & Technology Center, LG Cable Ltd.

Abstract - 에폭시 수지는 전기적, 기계적 특성이 좋기 때문에 전기기기 분야에서 주요 절연 재료로 널리 사용되고 있다. 에폭시 수지는 일반적으로 경화제 및 충전재를 첨가하여 경화반응을 거쳐 최종 주형품을 얻게 되며 첨가되는 경화제 및 충전재에 따라 그 전기적 기계적 특성이 달라지게 된다. 본 연구에서는 충전재의 입도 크기 및 형상 등이 에폭시 수지 절연물의 전기적, 기계적 특성에 미치는 영향을 실험하고 분석한 결과 충전재의 입도 크기가 작아짐에 따라 기계적 특성이 매우 우수하고 충전재의 형상이 구상일 경우 전기적 기계적 특성이 향상되는 것을 알 수 있었다.



[각형 용융 실리카]

[구상 용융 실리카]

1. 서론

전 세계적으로 에너지 소비 증가에 수반하여 고효율의 송전을 하기 위하여 송전시의 고전압화가 진행되고 있다. 또한 공간적 제한 때문에 전력 기기나 전력케이블의 대용량화와 소형화라는 상반되는 일이 요구되어, 그 실현을 위해 기계적 강도의 향상 및 내전압 특성의 향상이 필요할 뿐 아니라 운전시 발생열에 의한 절연체의 열적 열화가 발생할 수 있으므로 저 유전 손 절연물의 개발이 필요하다.

에폭시 수지는 1930년 경 최초 합성된 이래로, 우수한 기계적 강도와 절연성능으로 각종 절연재료로 많이 쓰이고 있다. 고전압 기기로 사용되는 에폭시 절연물은 실리카 및 알루미늄 등의 고순도 무기질 분말을 충전재로 한 복합 재료로써 그 배합비나 충전재의 크기 형상 등은 절연물의 성능을 결정하는 중요한 요인이다. 특히 충전재는 기계적 강도 및 전기적 특성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 에폭시 재료의 충전재의 입도 크기 및 형상에 의한 전기적, 기계적 특성 실험과 분석을 통하여 에폭시 절연물의 특성을 향상 시킬 수 있는 방안을 알아본다.

2. 본론

2.1 시편의 제작

본 연구에서는 반도체 소재로 일반적으로 사용되는 구상 용융 실리카를 충전재로 사용하여 각 특성을 평가하여 보았다. 그림 1 에 기존의 각형과 본 연구에서 사용된 구상 용융 실리카 SEM사진을 비교하였다.

시험에 사용한 시편은 비스페놀 A계의 레진과 산무수물계의 경화제를 사용하여 다음의 경화조건에 의하여 제작 하였다.

110°C/16hr(탈형) 130°C/16hr(후경화)

그림 1. 각형 및 구상용융 실리카의 SEM 사진

2.2 기계적 특성 시험

기계적 특성은 인장, 압축, 굴곡 강도를 ASTM 규격(D638, 695, 790)에 따라 측정하였다.

충전재의 입도 크기 및 형상에 따른 에폭시 절연물의 기계적 특성을 알아보기 위하여 표 1.과 같은 3종의 충전재 배합에 대하여 평가하여 보았다. 그림 2, 3, 4에 그 시험 결과를 나타내었다.

표 1. 평가 시편의 충전재

형상	용융 실리카				알루미나	
	각형		구상		각형	
평균 입경(μm)	13.4	4.4	13.5	7	12	3.5
최대 입경(μm)	180	48	128	48	40	20

인장강도는 그림 2에서 보는 바와 같이 구상의 용융 실리카 배합이 가장 높은 값을 나타내었으며, 충전재 입도 크기의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

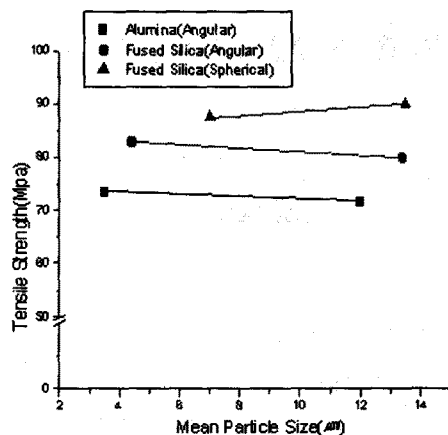


그림 2. 충전재의 평균 입경에 따른 인장강도

반면 압축 강도와 굴곡 강도는 그림 3, 4에서 알수 있듯이 3종의 충전재 모두 평균 입경이 작을수록 강도가 상승하는 것으로 나타났다.

이는 입경이 작을수록 충전재가 수지내에 균일하게 분포하게 되며 조직이 치밀하게 되어 전반적인 수지의 기계적 특성이 향상되는 것으로 생각할 수 있다.

하지만 충전재의 입경이 너무 작으면 미세 입자의 비표면적이 크고, 충전재 분말과 레진과의 계면이 현저하게 발달하게 되므로 전체적으로 충전재 분말과 레진의 젖음성이 나빠져서 점도가 높아지게 되므로 주형이 곤란하게 된다.

이번 실험에서 구상 용융 실리카를 사용한 배합의 결과 각형 필러에 비하여 비 표면적이 크고 전반적인 균일 분산이 가능하므로 기계적 특성이 우수한 것으로 나타났다.

따라서 평균입경 3~10 μ m로 하고 최대입경을 50 μ m로 제한한 구상 용융 실리카 충전재를 사용할 경우 기존 재료 대비하여 에폭시 수지 절연물의 기계적 특성을 20% 가량 향상시킬 수 있음을 알 수 있다

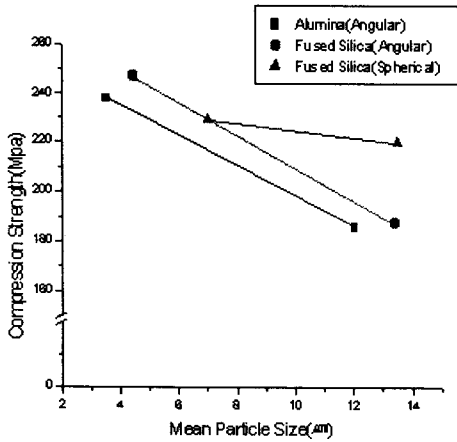


그림 3. 충전재의 평균 입경에 따른 압축 강도

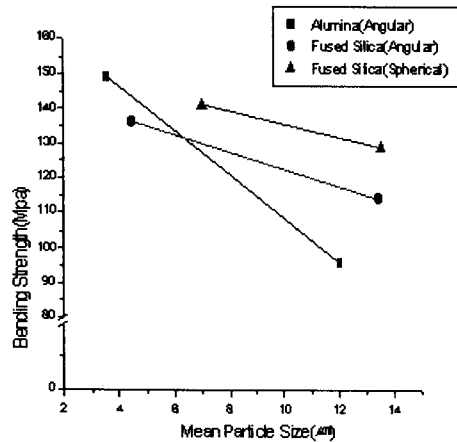


그림 4. 충전재의 평균 입경에 따른 굴곡강도

2.3 전기적 특성 시험

전기적 특성은 내 ARC성, 유전손(이하 $\tan\delta$ 라 함) 및 절연파괴 강도(이하 BDV라함)를 측정하였으며 그 규격은 각각ASTM D495, D150에 의하였다.

충전재의 입도 크기 및 형상에 따른 전기적 특성시험은 표1.의 각형과 구상의 용융 실리카 배합을 사용하여 내

ARC, $\tan\delta$ 를 평가 하였으며 BDV는 표2.의 배합을 사용하여 평가하였다.

BDV는 기존에는 ASTM D149에 의하여 측정하였으나 전극 edge의 전계집중에 의한 영향으로 유중파괴에 의해 에폭시 재료의 진성파괴 강도가 실제보다 낮게 나타나고 BDV 값의 변별력이 떨어지는 등의 문제점이 발생하여 본 실험에서는 그림 5와 같이 새로이 Rogowski type의 전극을 고안하여 실험 하였다.

표 2. BDV 시험 시편의 충전재

형상	용융 실리카					
	각형			구상		
평균 입경(μ m)	13.4	12.0	4.4	17.2	11.4	7
최대 입경(μ m)	180	164	48	128	96	48

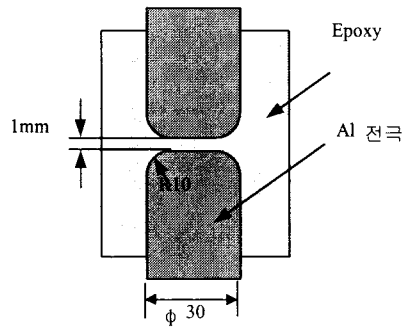


그림 5. BDV 시험 전극 구조

그림 6.을 보면 내 ARC특성은 충전재의 입도 크기나 입자의 형상에 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

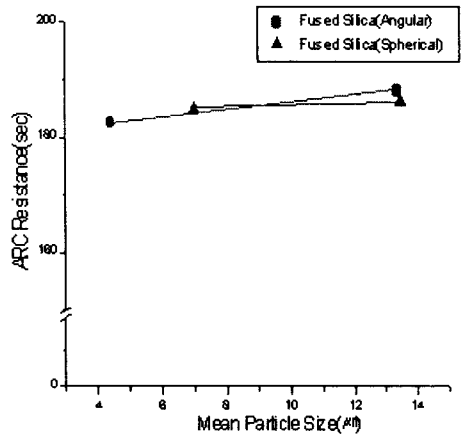


그림 6. 충전재의 평균 입경에 따른 내 ARC

그림 7.에서 $\tan\delta$ 는 충전재의 입도 크기에는 영향을 받지 않으나 입자의 형상에는 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

따라서 저 유전손의 절연물 개발시, 상기의 실험 결과로 보아 구상 용융 실리카를 사용할 경우 그 효과를 크게 기대할 수 있을 것이다.

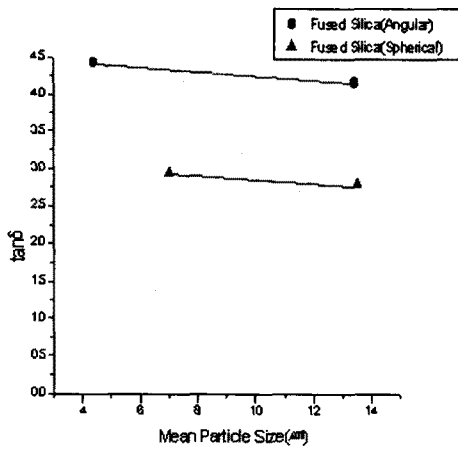


그림 7. 충전재의 평균 입径에 따른 유전손

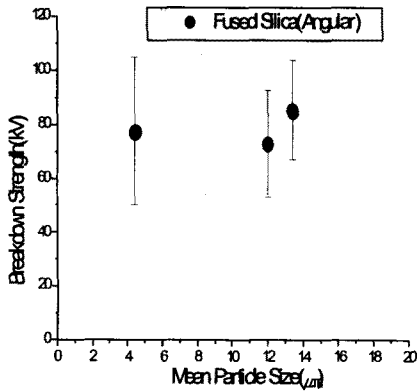


그림 8. 입도별 BDV(각형 용융실리카)

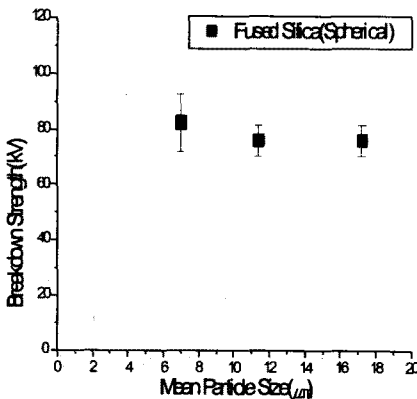


그림 9. 입도별 BDV(구상 용융실리카)

BDV는 그림 8에서 알 수 있듯이 각형 용융 실리카 배합의 경우 입도 크기에 영향을 받지 않는 것으로 보이며 값의 편차가 매우 큼을 알 수 있다. 이는 입자의 형상이 각형이므로 에폭시 수지내 입자의 분포가 고르지 못하고 수지와 충전재와의 계면이 복잡하게 형성되므로 전계분포가 복잡하게 되기 때문으로 생각된다. 즉 각형 충전재

의 edge 부분이 전계방향으로 향할 경우 전기 스트레스가 집중되어 파괴강도가 낮아지게 되고 전계와 수직한 방향일 경우는 파괴 강도가 상승하게 되는 것으로 생각할 수 있다.

그러나 구상 용융실리카 배합의 시험결과 충전재의 입도 크기가 감소할수록 절연파괴 강도가 상승하는 것을 알 수 있었으며, 평균 파괴 강도는 각형 용융 실리카와 동등 수준으로 나타났다. 그러나 충전재의 형상이 구상이기 때문에 각형에 비하여 파괴강도의 편차가 현저하게 줄어들었음을 알 수 있다. 이는 입자의 형상이 구상이기 때문에 수지와 충전재 계면의 전계가 균일하기 때문으로 생각할 수 있다.

3. 결 론

충전재의 입도 크기가 작을수록 압축강도 및 굴곡 강도가 현저히 증가하였으며, 구상 용융 실리카의 경우는 BDV도 증가하는 경향을 나타내었다.

또한 구상 용융 실리카 충전재의 경우 각형 충전재에 비해서 기계적 강도 및 tanδ특성이 월등함을 알 수 있었으며 BDV특성의 편차도 상당히 작게 나타났다.

본 연구 결과를 종합하여 볼 때 평균입경 3~10μm, 최대 입경을 50μm이하의 입도 분포를 가지는 구상 용융 실리카를 충전재로 사용할 경우 기계적, 전기적 특성이 매우 우수한 에폭시 수지 절연물을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] Jun Nukaga et. al., "Development of Low Dielectric and High Temperature Resistant Space", 平成 10年 電氣學會 電力 Energy部門大會
- [2] Akihiro Nishida et. al., "Development of Epoxy Resin Castings for 500kV Prefabricated Joint",
- [3] H. Lee and K. Neville, "Handbook of Epoxy Resins" Ch. 12, McGraw-Hill Inc, 1991. 平成 10年 電氣學會 全國大會