

Epoxy 절연물의 내크랙성 향상에 관한 연구

하영길, 김수연, 이상진, 김영성, 박완기
 LG 전선 저력연구소 저력연구소

Study on Crack Resistance Improvement of Epoxy Insulation

Youngkil Ha, Suyon Kim, Sangjin Lee, Youngseong Kim, Wanki Park
 Electric Power Research Lab. & Technology Center LG Cable

Abstract - Epoxy Compound has been used as insulation material in cable accessories. During the applying voltage to cable, heat shock is induced to accessory by the temperature difference between atmosphere and conductor. In this study, crack resistance, thermal and mechanical properties were evaluated about conventional epoxy compound and rubber toughened epoxy compound. Because rubber absorbs the stress caused by heat shock, crack resistance of rubber toughened epoxy compound is high. In the case of low thermal expansion coefficient, the compound shows high crack resistance because of low volumetric change.

시료는 원료를 진공 탈포, 혼합 및 주형하여 compound 종류별로 열적, 기계적, 내크랙성 시편을 최적화된 경화 조건으로 제작하였다.

표 1. 시료의 종류

	C-1	C-2	C-3	C-4	R-1	R-2
Resin	Conventional Type				Toughened Type	
Hardener	Conventional type				Toughened Type	
Filler*	SiO ₂	MgO +CaO	Al ₂ O ₃	Fused SiO ₂		

*: C-1~C4, R-1 : ca. 40vol.%, R-2 : ca 50vol.%

1. 서 론

에폭시 수지는 경화중에 휘발성 부산물을 생성하지 않으므로 기포가 발생하지 않으며 낮은 수축율을 나타내기 때문에 잔류 응력이 작고 치수 안정성이 높다. 또한 금속을 포함한 대부분의 물질에 높은 접착강도를 가지고 있으며 가교구조 때문에 기계적 강도가 높다. 에폭시 수지는 전력 케이블의 주요 재료로 사용되는데 과통전시에 발생하는 도체의 열과 외기의 온도차에 의해 접속함에 열충격이 발생한다. 송전 전압의 초초고압화에 의해 에폭시 절연체가 대형화되기 때문에 접속함의 매입 금구와 에폭시 절연체의 열팽창을 및 열전도도 차이에 의해 발생하는 응력이 증가하여 크랙 발생 가능성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 기존의 Epoxy와 고무를 첨가한 Toughened Epoxy 절연물의 내크랙성과 열적, 기계적 특성을 평가하였다. 열적 특성은 열팽창 계수와 유리전이온도를 측정하였으며, 기계적 특성은 인장 및 압축 강도를 측정하여, Olyphant washer를 Epoxy에 매입하여 ΔT 120~170℃의 온도 cycle에서 평가한 내크랙성과의 상관 관계를 연구하였다.

2.2 시험 방법

제조된 시편으로 각각 열적, 기계적 특성과 내크랙성을 아래와 같은 방법으로 평가하였다.

2.2.1 열적 특성

열적 특성은 ASTM D 3386의 실험 방법에 따라 온도의 함수로서 시편의 부피 변화를 측정할 수 있는 장치인 TMA(Thermo-Mechanical Analyzer, TA Instrument)를 이용하여 승온 속도를 10℃/min으로 열팽창 계수를 측정하였으며, DSC(Differential Scanning Calorimeter, Perkin Elmer)를 이용하여 승온 속도를 5℃/min 재료의 열적 거동을 알 수 있는 Tg를 측정하였다.

2. 본 론

2.1 시료 제작

기존의 Epoxy compound는 Bisphenol A type의 Epoxy Resin과 산무수물 경화제 및 무기질 filler의 영향을 고찰하기 위해 서로 다른 4종의 무기질 filler를 사용하였다. 또한 Toughened Epoxy compound는 기존 compound와 동일 type의 레진과 경화제에 고무를 첨가하였으며 filler의 함량을 조절하여 compound 물성을 비교 평가하였다.

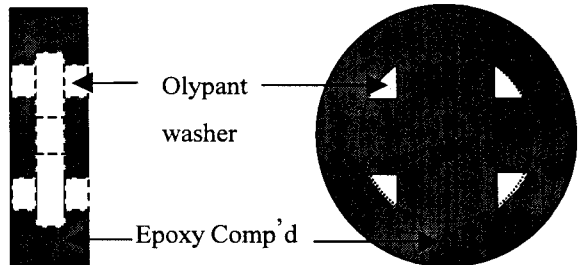


그림 1. 내크랙성 시편

2.2.2 기계적 특성

UTM(Universal Test Machine, Zwick)을 이용하여

ASTM D 638의 시편 규격 및 시험 방법에 따라 시편을 grip에 고정하여 2.6mm/min의 속도로 인장 강도를 측정하였으며 ASTM D 695에 따라 시편의 압축강도를 측정하였다.

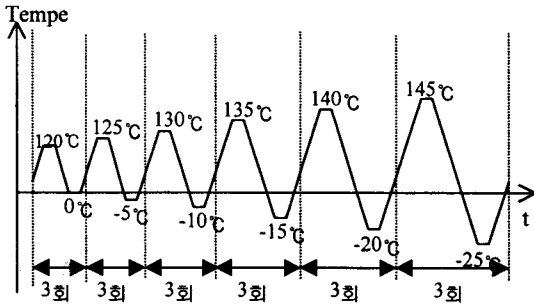


그림 2. 내크랙성 평가 Heat Cycle

2.2.3 내크랙성 시험

매입 금구가 들어가는 Epoxy 제품의 내크랙성을 평가하기 위한 금구로는 Hex bar, Nut, Vaned core, Nut and bolt 등의 여러 가지가 사용되고 있지만, 본 연구에서는 그림 1과 같은 크랙이 가장 발생하기 쉬운 Olyphant washer를 매입 금구로 설정하였다. 또한 그림 2와 같이 ΔT 120°C ~ ΔT 170°C의 온도차로 각각 3회씩 총 18cycle으로 시편에 대해 내크랙성 시험을 하였다. 각 Cycle이 종료시 액상 침투법으로 크랙 발생 여부를 확인하였다.

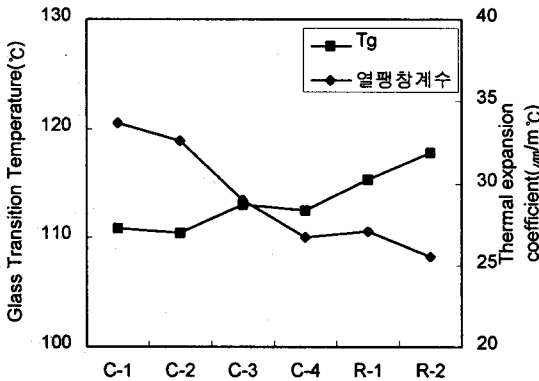


그림 3. Compound 종류에 따른 열적 특성

2.3 시험 결과 및 고찰

2.3.1 열적 특성 평가

Tg 분석 결과 6종류의 시료 모두 110°C 이상으로 나타났다. 이것은 과전시에 도체의 온도가 90°C인 것을 고려해 볼 때 접속합의 재질로서 안정적이라 판단할 수 있다. 충전제의 종류에 따라서 Tg는 다르게 나타났으며, 에폭시 당량이 높은 Toughened Epoxy Resin을 사용한 Compound의 Tg가 높게 나타났다. 열팽창 계수는 충전제의 종류에 따라 큰 차이가 났으며 충전제의 첨가량이 증가하면 작아졌다. 열팽창 계수가 크면 온도 변화에 따른 부피 변화가 크기 때문에 크랙이 발생하기 쉽다. 따라서

높은 내크랙성이 요구되는 제품에는 열팽창 계수가 작은 fused SiO₂를 사용하는 것이 좋다.

2.3.2 기계적 특성

그림 4의 기계적 강도는 열적 특성과 같이 충전제의 종류에 따라 달라지며, 충전제의 함량이 증가함에 따라 향상되었다. 이것은 충전제가 고분자 사슬의 미소 공극(Micro void)를 감소시켜 기계적인 물성을 향상시키는 것으로 생각된다.

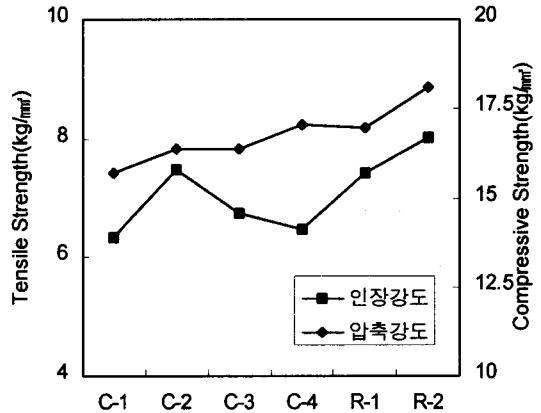


그림 4. Compound 종류에 따른 기계적 특성

2.3.3 내크랙 특성

그림 5와 같이 크랙 발생 Cycle이 시편에 따라 차이가 나타났는데, 이것은 compound별로 서로 다른 열적, 기계적 특성을 나타내기 때문이다. 그림 3의 열적 특성과 비교해보면 열팽창 계수가 작은 compound가 크랙 발생 cycle이 높게 나타났다. 이것은 열팽창에 의한 부피변화에 비례하여 응력이 발생하기 때문이다. 또한 일반적으로 Tg가 높으면 내크랙성이 떨어지는 것으로 알려져 있었으나 Toughened Epoxy Resin의 사용과 충전제 함량의 조절을 통해 내크랙성을 향상시킬 수 있었다.

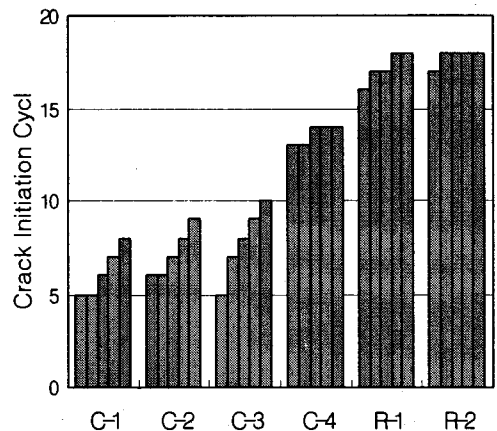


그림 5. Compound 종류에 따른 내크랙 발생 Cycle

동일 재료를 사용한 R-1, R-2를 비교해보면 기계적 강도가 높은 R-2가 내크랙성이 높게 나타났다. 이것은 절연물의 팽창 및 수축에 의한 응력보다 에폭시 수지의 기계적 강도가 높고 또한 열팽창 계수가 낮기 때문이다.

3. 결 론

Filler의 종류에 따라 고분자 사슬간의 충전 효과가 달라지기 때문에 열팽창 계수가 다르게 나타났으며, 열팽창 계수가 작을수록 온도 변화에 따른 두께차가 작아지기 때문에 내크랙성이 우수하였다. 또한 충전제의 함량의 증가는 사슬의 유동성을 저하시키기 때문에 Tg를 상승시켰다. Toughened Epoxy의 내크랙성이 우수하였는데 이것은 에폭시 수지 내의 고무가 팽창과 수축시에 응력을 흡수하기 때문이다. 또한 압축 강도가 높으면 응력에 대한 저항성이 좋아져서 내크랙성이 향상되었다. 따라서 절연 두께가 두꺼운 초고압 절연 제품 제조시 Toughening System과 열팽창 계수를 고려하여 재료를 선정할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. LEE, K. Neville, Handbook of Epoxy Resins, Ch. 12, MaCraw-Hill, 1982
- [2] 日本 電氣學會 技術報告(II) 제342호 p.3~58
- [3] 住友電氣 내열, 내크랙성 에폭시 주형 재료 제117호
- [4] 고영신, 복합 재료, P 100, 1994