

초고압 지중선 고무접속재 제조용 고분자재료의 부품간 접착력에 기인하는 절연파괴특성

지용서, 권윤혁, 고의곤, 김지환, 이상진, 최수걸, 윤승훈  
LG전선(주)

Breakdown properties in relation with adhesion force for Polymeric material of the high voltage cable joints

Eung-Seo Ji, Eui-Gon Ko, Ji-Hwan Kim, Yoon-Hyoun Kwon, Sang-Jin Lee, Soo-Geol Choi, Seung-Hoon Yoon  
LG Cable Ltd.

**Abstract** - 초고압 지중선로를 연결하는 접속함의 절연재료는 최근 에폭시에서 고무재질로 변화되고 있는 추세이다. 본 논문에서는 접속재용 고무절연재료를 선정하기 위한 전기적, 기계적인 방법을 소개하였고, 전기적 절연특성과 접착특성간에 상관관계가 있는지에 대하여 고찰하였다. 특히 실제 제품의 절연-반도전간 interface 특성을 모의할 수 있는 특수형태의 매입형 전극을 설계, 제조 및 시험후 동일시료에서 접착특성 확인용 시편을 채취 및 실험함으로써 전기적특성과 기계적특성간의 직접적인 상관관계를 규명할 수 있었다. 또한 실험을 통해서 초고압 지중선로용 접속함을 위한 최적의 고무재질 선정이 가능하였다.

1. 서 론

초고압용 지중선로 접속을 위한 접속함의 재료는 제조 및 조립의 편의성 및 장기적으로 높은 품질의 신뢰성이 요구됨으로써 에폭시재질에서 고무재질로 전환되는 추세이다.

고무재질의 초고압 프리몰드 접속함(Pre-molded joint)은 어떤 재질의 고무를 사용하였는가에 따라 제조와 조립공법의 형태는 예상할 수 있다. 그러나 장기적인 품질신뢰성에 대한 명확한 구분은 하기에는 재질의 고유특성과 전기적인 절연재품이 가져야하는 특성과의 상관관계를 인지한 후 적용되어야 한다.

일반적으로 전기절연부품의 절연파괴특성은 제작과 시험진행의 용이성으로 인해 평판시편형태로 제작된 시료를 구대구 대평판전극사이에서 절연파괴를 일으켜서 확인하여 왔다. 그러나 이러한 절연파괴시험은 주위의 환경 즉,전극의 형태 및 표면상태, 유침오일 종류 및 청결도등에 크게 좌우되어 원하지 않은 결과를 얻을 가능성이 아주 높았다.

본 연구에서는 전기절연용 재료의 절연내력을 확인하는데 상기된 여러 시험오차의 투입을 최소화하여 최대한 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있는 전극의 형태를 제시하였고 동일한 시료상에서 기계적인 특성까지 확인가능한 방법을 제시하였고 고분자 재료의 interface의 특성과 전기적인 특성간의 상관관계를 도출하였다.

이러한 방법 및 결과는 전기절연용으로 상용판매되고 있는 액상실리콘에 대해서, 과연 어떤 종류의 재료가 초고압용 접속재 재료로 적합한지를 판단하는데 실제 적용되었다.

2. 본 론

2.1 모델시료 설계

실제품 내부의 계면특성을 최대한 모사하고 전기적 시험이 가능하도록 시료를 설계하였고 전기시험이 완료되면 동일시료에서 계면특성용 시편을 분류할 수 있는구조로 설계하였다.

2.1.1 전계해석/시료제조 및 시험방법

Edge효과로 인한 절연파괴값에 오차가 발생하는 것을 방지하고자 그림 1과 같이 반도전실리콘 선단에 최고전

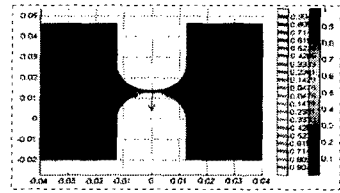


그림 1 반도전 전극끝단 등전위분포

계가 걸리도록 설계하였으며 반도전실리콘의 전극간 거리를 정확하게 유지하고자 그림 2와 같이 고정용 금속볼트가 매입된 형태를 가지고 있다.

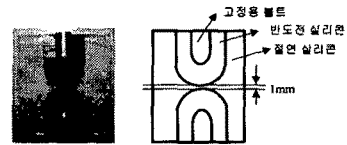


그림 2 시험용 전극 구조

시료의 제조는 먼저 전극간 거리유지를 위한 고정용 볼트를 반도전실리콘 전극제조 금형에 장착후 반도전 컴파운드를 트랜스퍼몰딩(transfer molding)방식으로 제조한다.[1] 제조된 반도전 실리콘전극은 후경화를 과정을 거친후 절연시편금형에 삽입되어진다. 각각의 절연용 실리콘 컴파운드를 절연용 금형에 트랜스퍼몰딩방식으로 사출하여 절연시료를 제작한다.제작된 절연시료는 BDV test를 하고 동일시료에서 계면인장력 test용 시편을 분류후 계면인장력 test를 실시하였다. 제조순서 및 조건은 그림 3과 같다.

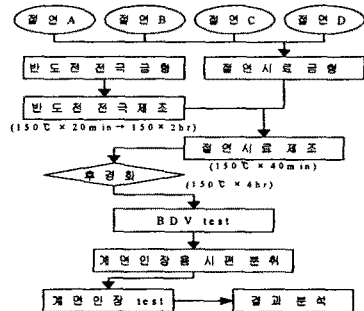


그림 3 시료제조 공정도

표 3 원재료별 물성치

물리적특성	Unit	A	B	C	D
점도	[mPaS]	15,000	700,000	360,000	100,000
밀도	[g/cm <sup>3</sup> ]	1.13	1.12	1.12	1.10
경도	[Shore A]	32	40	42	32
인장강도	[N/mm <sup>2</sup> ]	6.5	9.5	9.5	7.6
신율	[%]	500	700	620	620
인열강도	[N/mm]	25	25	26	20
저저저항	[Ω cm]	10 <sup>16</sup>	10 <sup>16</sup>	5 × 10 <sup>15</sup>	5 × 10 <sup>15</sup>

2.3.2 기계적 실험결과

AC 및 Impulse 파괴시험결과와 부품간 계면접착강도와의 상관관계를 얻기위하여 전기시험을 완료한 시편으로 인장시험을 진행하였다. 인장시험은 전기시험결과 가장 높은 파괴강도를 얻은 B와 가장 낮은 파괴강도를 얻은 A로 진행하였다. 각각의 시료에 대하여 전기적 시험결과를 크기순으로 배열한후 인장시험결과가 유사한 경향을 가지는가를 관찰하였다. 그 결과는 그림 8, 9와 같았으며 실험전 전기적 시험결과, 특히 Impulse의 특성과 계면접착특성과 상관관계가 있다라는 가정과는 상이하게 관계가 적은 것으로 나타났다. 이는 반도체전극과 절연재료간의 접합특성이 전기적인 파괴강도를 높이는 직접적인 인자가 아니라고 볼 수 있겠지만 그것은 동일재료내에서만 판단하였을 경우이다.

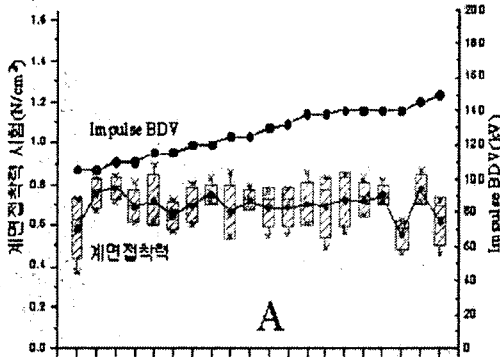


그림 8 A의 Imp. BDV vs 계면접착력

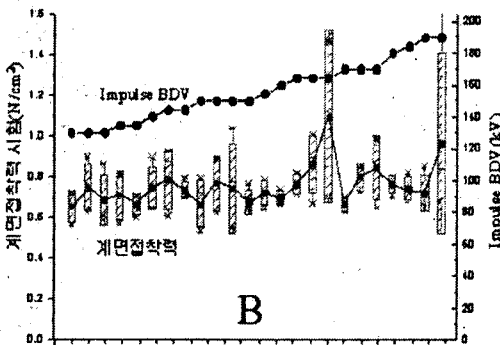


그림 9 B의 Imp. BDV vs 계면접착력

A,B재료간의 결과를 비교하였을 경우에는 BDV강도가 접착력에 영향을 받고있다는 것을 볼 수 있다. 이것은 원재료업체에서 제시하고 있는 재료의 sheet상의 AC

BDV값 차이보다 본 연구에서 제작된 매입형의 시료에서 BDV차이가 더 큰 것으로 판단할 수 있었고 이유는 그림 8에서 A의 계면접착력은 평균값 기준으로 0.5 ~ 0.8N/cm<sup>2</sup>정도였음에 반해 그림 9에서 B의 계면접착력은 평균값기준으로 0.7 ~ 1.0N/cm<sup>2</sup>로 A재료보다 B재료의 접착특성이 우수하다는 것에서 유추할 수 있겠다.

2.3.3 실험결과 고찰

4종의 절연재료의 절연파괴특성에 대하여 실험한 결과 절연재료에 대한 절연파괴 data의 산포가 전체적으로 넓게 나타나고 있음을 보여준다. 이는 실리콘원재료가 가지는 보편적인 양상으로 판단되며 향후 제품의 설계에 있어서 이러한 파괴값의 넓은 분포특성을 감안할 필요가 있다고 사료된다. 또한 동일시료내 절연파괴특성과 계면접착력과의 상관도출은 미흡하였지만 시료간의 절연파괴특성과 계면접착력간의 관계는 서로 유사한 경향을 가지고 있으므로 반도체 전극과의 접착력이 우수한 절연재료는 상대적으로 절연파괴특성이 좋다고 생각할 수 있겠다. 따라서 제품설계단계에서의 절연원재료 선정시 반도체 제품과의 접착특성이 상대적으로 우수한 재질을 선택하여야 한다. 그러나 앞서 표현한 것과 같이 고점도의 재료는 제품제조 공정을 어렵게 하는 경향이 있으므로 재료의 상호특성을 고려한 재질선택이 이루어져야 하겠다.

3. 결 론

①매입형 전극형식으로 고분자재료의 절연파괴특성을 관찰하였다. 매입형 시료의 data안정성을 확인할 수 있었으며 4종의 절연재료의 절연파괴특성을 확인한 결과 AC 파괴특성과 Impulse파괴특성에서 공히 B절연재료의 특성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

②동일 재료내에서의 절연파괴특성과 계면접착력간의 상관관계는 적은 것으로 나타났지만 재료간의 절연파괴특성과 계면접착력간에는 상호관계가 있는 것으로 나타났다. 추후 동일시료내 접착과 전기특성과의 상관관계를 다른 방법을 통해 재도출해 보고자 한다.

(참 고 문 헌)

[1] Anil K.Bhowmick "Rubber products manufacturing technology" Marcel Dekker,Inc. 347-350. 1985  
 [2] S.H.Yoon "Adhesion properties and Breakdown behaviors of LSR Interface",재료학회, 2002

### 2.1.2 시료의 종류

표 1 절연시료의 종류 및 수량

종류		A	B	C	D
BDV	AC	24	24	24	24
	Imp	24	24	24	24
전압	150 (AC) Imp 2kV	150	150	150	150

시험에 사용된 시료는 표 1과 같이 초고압 프리몰드용으로 사용되는 실리콘재료중 반도체전극용 실리콘재료는 단일종으로 고정하고 절연실리콘만을 해외2개사, 4종으로 비교하였다.

### 2.2 실험 방법

Impulse파괴시험은 -105kV에서 전압인가를 시작하여 5kV(3회인가)씩 승압하면서 시료의 파괴전압값을 찾았다. AC파괴시험은 Silicone oil중에서 500V/sec로 승압하여 시료의 파괴전압을 찾았다.(ASTM D 149)

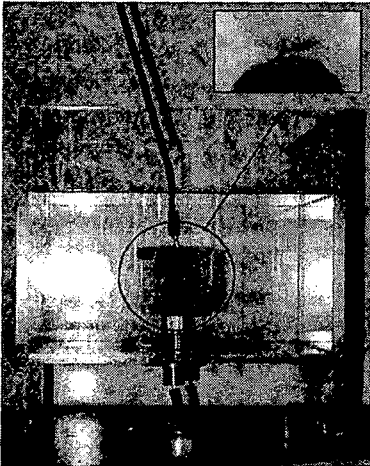


그림 4 BDV시험 장면 및 파괴부

이때 모든 파괴지점은 그림 4와 같이 반도체전극 끝단에서의 진성파괴로서 Edge로의 파괴는 없는 것으로 확인되었다. 전기시험을 마친 시료는 계면인장시험을 하기 위하여 2mm두께 슬라이싱후 인장시험편형태로 제작하였으며 계면부에서 절단이 발생하도록 취약부를 설계한 구조이다. 시험채취작업이 완료된 시험편은 KS M 6518에 따라 시험하였다. 시료수는 전기시험시료 1개당 4개였다.

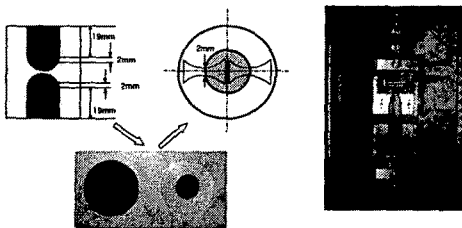


그림 5 인장시험 시험채취부 및 인장시험장면

### 2.3 실험결과

#### 2.3.1 전기적 실험결과

전기적 실험결과는 표 2와 같으며 4종의 원재료를 각 24개씩 시험한 것으로서 평균값을 비교한 것이다. 재료간 절연내력을 비교한 결과 B의 절연내력이 가장 높은 것으로 나타났다.

AC파괴시험의 경우 A의 절연내력이 가장 낮고 그다음 C와D로써 비슷한 절연내력을 가지고 있다. 그림 6에서 여러재료중 B가 편차도 작으면서 가장 높은 절연내력을 가지고 있는 것을 보여준다.

Impulse파괴시험의 경우에는 그림 7에서 처럼 A가 가장 낮고 C,D의 절연내력은 모두 유사하지만 편차가 큰 값을 가지고 있었다. AC결과와 마찬가지로 B가 가장 낮은 편차를 가지면서 높은 파괴값을 가지는 것을 알 수 있었다. 이는 표 3에 나타낸 4종의 절연원재료의 물성값에서 나타나듯이, 정도의 차이에 따라 절연파괴강도가 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.[2]

표 2 전기적 실험결과

Sample	A	B	C	D
AC	53.0	74.1	62.4	62.2
Impulse	126.2	157.5	129.0	123.5

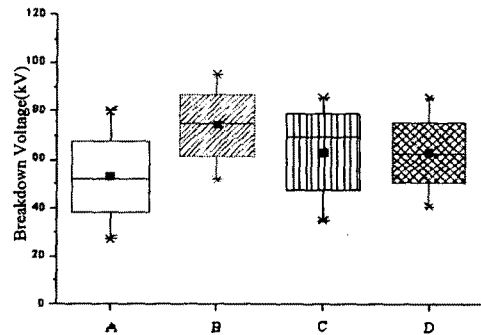


그림 6 AC BDV test결과

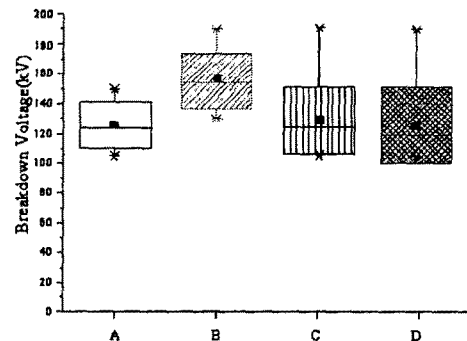


그림 7 Impulse BDV test결과