

**실리콘 베이스와 첨가제 함량에 따른 폴리머에자용 고분자의 DC/AC 절연과피 특성 연구**

성재규\*, 서인진\*, 박태건\*, 신우주\*, 오석호\*, 우마르 아미르 칸\*, 황재상\*, 이방욱\*  
한양대학교\*

**Comparison of DC/AC breakdown characteristics of polymer sheets for polymer insulator**

Jae-Kyu Seong\*, In-Jin Seo\*, Tae-Gun Park\*, Woo-Ju Shin\*, Seok-Ho Oh\*, Umer Amir. Khan\*, Jae-Sang Hwang\*, Bang-Wook Lee\*  
SPD&S Lab, Dept. of Electric Engineering, Hanyang University\*

**Abstract** - 전 세계적으로 전력사용량의 증가와 전력기술이 발전함에 따라 절연소재 또한 급속한 발전을 가져왔다. 특히 폴리머 에자는 경량성, 내오염성, 시공의 용이성 등과 같은 장점으로 오랫동안 사용해온 자기 에자를 대체하여 사용되고 있다. 최근 고효율 장거리 전력 송전이 가능한 HVDC 송전선로가 증가함에 따라 직류 절연물에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 두 종류의 실리콘 베이스와 첨가제 함량을 변화시킨 폴리머 시편의 직류 파괴전압 실험과 교류 파괴전압 실험을 실시하였다. 취득한 데이터를 Weibull 분포를 통해 분석 한 결과 직류 파괴전압이 교류 파괴전압에 비해 2~5배 높은 것으로 나타났다.

**1. 서 론**

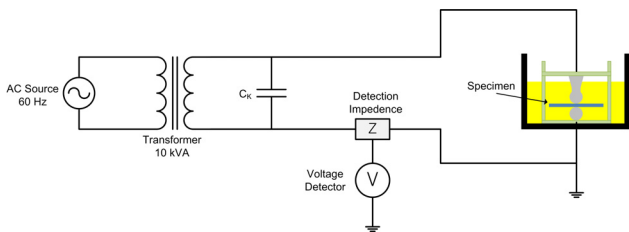
HVDC 기술은 대용량 송전이 가능하고 송전손실을 최소화할 수 있어서 장거리 송전 뿐 아니라 계통 간 연계, 신재생 에너지와의 전력계통 연계에도 널리 활용되고 있는 미래 핵심기술이다. HVDC 가공선로에서 가장 기본적으로 필수적인 절연 디바이스인 폴리머 에자는 신규건설 선로에서 널리 사용되고 있으나 국내에서는 아직 개발이나 연구성과가 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 두 종류의 silicone gum base에 ATH(Aluminum trihydroxide, 삼수산화 알루미늄) 첨가제를 일정 비율로 혼합하여 만든 폴리머 시편에 교류 절연과피전압 실험과 직류 절연과피전압 실험을 실시하여 HVDC 가공선로에 적합한 폴리머 재료를 확인하였다.

**2. 본 론**

**2.1 실험 구성 및 절차**

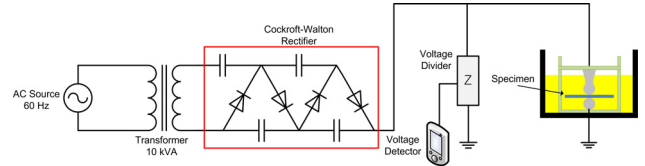
폴리머 시편의 전기적 특성, 즉 절연능력을 조사하기 위해 교류전압 및 직류전압으로 단시간 파괴전압실험을 실시하였다. 사용된 장비는 Hipotronics사의 교류 내전압기(AC Dielectric TEST Set 7100-10 / D149)와 정류회로를 이용하여 초당상승전압 3 kV/sec로 상온에서 절연과피전압을 측정하였다. 그림 1과 그림 2는 실험에 사용된 실험기기의 개략도를 도시한 것이다.

그림 3은 직경이 15 mm인 구-구 전극 구조로써, 스프링을 이용하여 시편의 중심에 전극을 고정시켰으며, 전극 무게의 2배 보다 작은 압력이 가한상태에서 하부 전극은 접지시키고 상부 전극으로 전압을 인가하였다. 공기 중으로의 방전을 막기 위해 절연유 (500 cst)속에 전극을 담그어 실험을 진행 하였다.



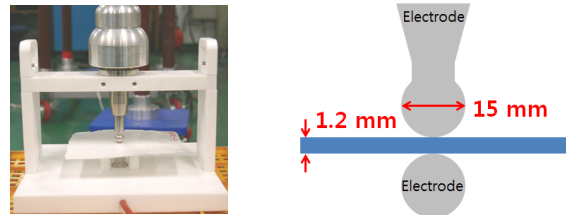
**<그림 1> AC 절연과피 실험 다이어그램**

시편은 Silicone Gum DMC에 ATH를 일정 비율로 혼합한 4가지 종류의 시편과 Silicone Gum D4에 또한 ATH를 일정 비율로 혼합한 4가지 종류의 시편을 포함하여 총 8가지 시편을 준비하였다.



**<그림 2> DC 절연과피 실험 다이어그램**

혼합 비율에 따라 비유전율을 비롯하여 시편의 기본적인 특성이 달라지며 이를 표 1에 나타내었다. 시편가공기를 이용하여 준비하였으며 시편의 크기는 두께가 1.17~1.19 mm, 가로 × 세로가 약 50mm인 시편을 종류별로 40개씩 준비하였다. 두께 오차가 ±10 μm 이내인 경우에 두께에 의한 전계강도 오차는 무시할 수 있다. 시편 두께의 5% 이내에 해당하는 거칠기는 허용될 수 있으며, 절연과피 측정 데이터의 분산정도에 큰 영향을 주지 않는다.



**<그림 3> 구-구 전극 구조 및 시편**

**<표 1> 시편의 기본 특성**

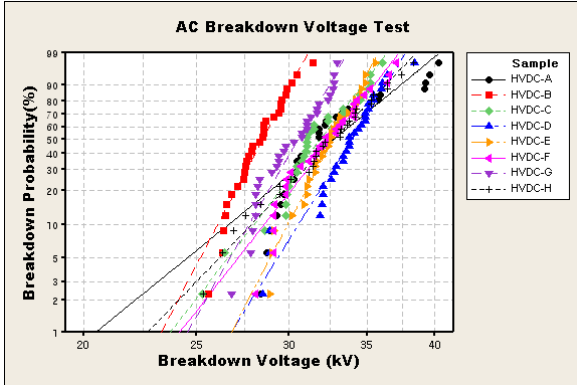
구 분	HVDC-A	HVDC-B	HVDC-C	HVDC-D
인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	45.9	49.1	48.9	47.1
100%모듈러스 (kgf/cm <sup>2</sup> )	21.9	35.6	45.1	-
신장율 (%)	285	162	112	76
경도(Shore A) / 비중	59 / 1.41	71 / 1.51	79 / 1.60	87 / 1.66
체적저항율 (Ω · mm)	1.71E+14	1.31E+14	1.44E+14	1.25E+14
비유전율 (ε <sub>r</sub> )	3.918	4.117	4.278	4.485
비 고	HD2263	HD2263 ATH 20 phr	HD2263 ATH 40 phr	HD2263 ATH 60 phr
	Silicone Gum DMC Base / Fumed Silica			

구 분	HVDC-E	HVDC-F	HVDC-G	HVDC-H
인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	49.1	43.7	49.5	45.7
100%모듈러스 (kgf/cm <sup>2</sup> )	22.2	31.8	43.3	-
신장율 (%)	333	165	122	75
경도(Shore A) / 비중	60 / 1.41	72 / 1.51	81 / 1.58	68 / 1.65
체적저항율 (Ω · mm)	3.35E+14	2.49E+14	1.95E+14	1.29E+14
비유전율 (ε <sub>r</sub> )	3.440	3.656	3.960	4.197
비 고	HD2260	HD2260 ATH 20 phr	HD2260 ATH 40 phr	HD2260 ATH 60 phr
	Silicone Gum D4 Base / Fumed Silica			

## 2.2 실험 결과

### 2.2.1 교류 절연파괴전압 실험 결과

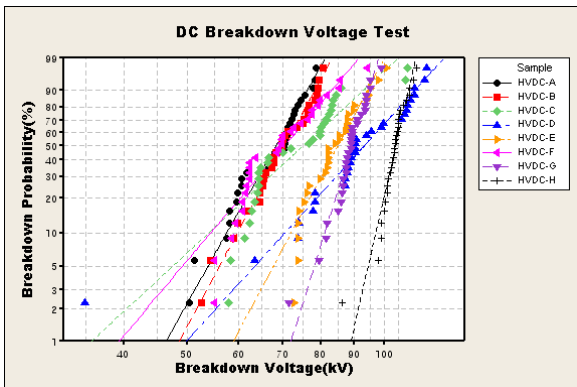
그림 4는 8가지 시편의 교류 절연파괴 실험 결과의 Weibull분포를 보여준다. 8가지 시편 모두 유사한 Weibull 분포를 보여주며 HVDC-B, HVDC-G시편의 교류 절연내력이 다른 시편들에 비해 다소 낮은 것을 확인하였다. 8가지 종류의 시편 모두 25~40 kV 사이에서 절연파괴가 발생하였으며 대체로 35 kV이상에서 절연파괴 가능성이 90%임을 알 수 있었다. Silicone Gum을 기준으로 볼 때, DMC (HVDC-A~D)보다 D4 (HVDC-E~H)가 다소 높은 전압에서 절연파괴가 발생하였으며 ATH 혼합비율을 기준으로는 첨가제를 많이 배합할수록 절연파괴 전압이 약간 높아졌으나 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.



〈그림 4〉 교류 절연파괴 전압 Weibull 분포

### 2.2.2 직류 절연파괴전압 실험 결과

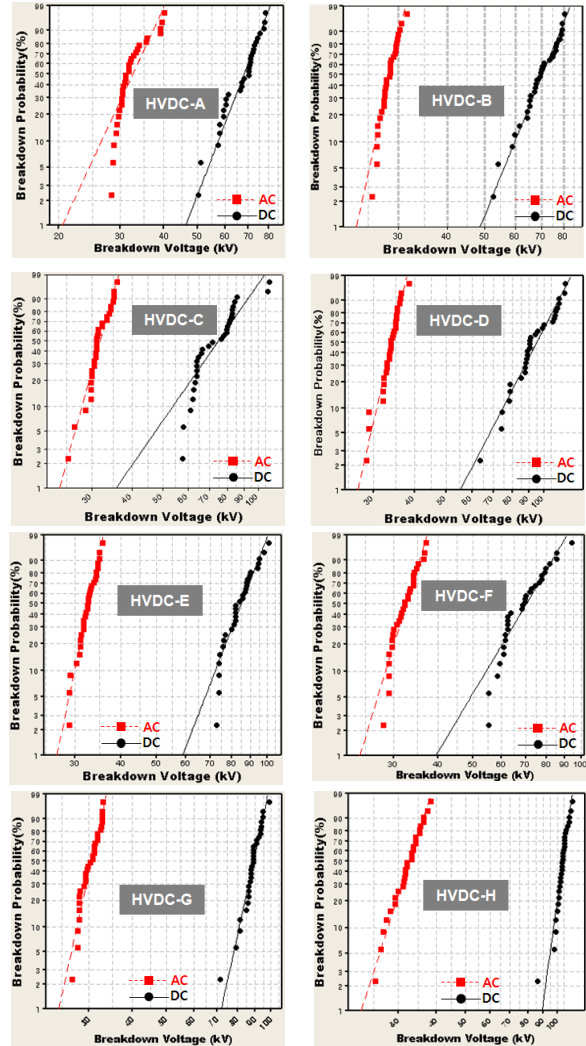
그림 5는 8가지 시편의 직류 절연파괴 실험 결과의 Weibull분포를 보여준다. 교류 절연파괴 실험 결과와는 다르게 HVDC-H시편이 두드러지게 우수한 절연내력을 보였다. 8가지 시편모두 절연파괴 확률 5% 이상 구간이 50~100 kV로 교류 절연파괴 전압 분포에 비해 평균적으로 2배에서 2.5배 정도 높은 것으로 나타났다.



〈그림 5〉 직류 절연파괴 전압 Weibull 분포

Silicone Gum을 기준으로 볼 때, DMC (HVDC-A~D)보다 D4 (HVDC-E~H)가 다소 높은 전압에서 절연파괴가 발생하였으며 ATH 비율을 기준으로는 첨가제를 많이 배합할수록 절연파괴 전압이 높아지는 경향을 보였으나 HVDC-F 시편은 시편을 압출 제작 하는 과정에서 두께가 다른 시편들에 비해 얇아 낮은 절연 파괴 전압을 보였다.

그림 6은 시편 별 교류 및 직류 파괴 전압의 Weibull 분포이다. 개별 시료들을 비교해 보았을 때도, 직류 절연파괴 전압이 교류 절연파괴에 비해 2배 이상, 최대 2.5배까지 높다는 것을 확인하였다. 특히 직류 전압에서 D4 Silicone Gum의 절연내력이 DMC Silicone Gum의 절연내력보다 보다 우수하다는 것을 확인하였다.



〈그림 6〉 시편 별 직류 및 교류 절연파괴 전압 Weibull 분포

## 3. 결 론

본 연구에서는 폴리머 애자의 전기적 특성을 파악하기 위하여 교류 및 직류전압에서 애자시편의 절연파괴전압 실험을 실시하였다. 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 Weibull 모델을 이용하여 분석한 결과, 직류 절연파괴 전압이 교류 절연파괴 전압보다 2배에서 2.5배 높은 것을 확인하였다. 이는 직류 절연파괴 메커니즘이 교류와는 상이하게 이루어지고 있다는 것을 내포하고 있다. 구체적으로는 고체 절연물의 교류 절연파괴 시 주요 원인으로 작용하는 전기 트리의 진전과 방전의 진행이, 직류에서는 상대적으로 완화된다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

직류 가공선로에 쓰이는 폴리머 애자에는 D4 Silicone Gum을 사용하는 것이 더 높은 절연파괴내력을 확보 할 수 있다고 보이며, ATH 첨가제는 혼합비율을 높이면 절연내력이 높아지는 경향을 보였지만 향후 첨가제 함량비율과 경도, 기계적 강도, 오손도 등의 연구를 통해 최적의 혼합비율을 찾는 연구가 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Du, B.X., Yong Liu, Liu, H.J., "A study on breakdown phenomenon identification of polymer films", Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing Expo, p178-181, 2005.