

친환경 비가교 폴리에틸렌의 절연파괴와 전도특성에 관한 연구

공태식*, 권기형*, 김성중*, 조규철**, 이재순**, 구광희**, 이준호*
 호서대학교*, SK이노베이션**

A Study on AC Breakdown and Conduction Characteristics of Environmental-friendly Non-crosslinked Polyethylene

Tae-Sik Kong*, Ki-Hyung Kwon*, Seong-Jung Kim*, Kyu-Cheol Cho**, Jae-soon Lee**, Kwang-Hoi Ku**, June-Ho Lee,*
 Hoseo University*, SK innovation**

Abstract - 전기적, 기계적으로 우수한 성능을 지닌 절연재료인 폴리에틸렌은 장기간 운전 중 열화에 의해 절연성능이 저하되고 시간이 지나면서 케이블의 사고 원인을 제공하게 된다. 본 논문에서 전력용 케이블의 절연체로 널리 사용되고 있는 가교폴리에틸렌(XLPE)를 대신하여 최근 주목을 받고있는 친환경 특성을 부여하기 위한 비가교 폴리에틸렌 재료에 대한 기초적 물성(위터트리성장특성, AC 절연파괴특성, 전도전류 특성)을 실험적으로 비교분석하였다.

간이 지난 후 전압을 끄고 워터트리 가속 열화 셀에서 시료를 분리한 뒤 메틸블루 용액을 사용하여 염색을 하였다. 염색시간 10분 이상 하였다. 염색이 된 시료는 광학현미경을 사용하여 열화된 시료의 워터트리의 성장형태와 워터트리의 밀도를 관찰 하였다.

1. 서 론

최근 전력 수요의 증가로 전력공급의 안전성과 신뢰성이 요구되어 절연에 관련된 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 우수한 전기적 성질과 화학적, 기계적 성질을 가지고 있는 폴리에틸렌은 전력 케이블의 절연체로 사용되고 있다. 하지만 이러한 특성에도 불구하고 장기간 운전 중 절연체 치명적인 손상을 입게 되고 이는 케이블의 사고 원인이 된다. 따라서 가혹한 사용조건 하에서도 우수한 절연 성능이 요구되며 절연재료의 신뢰성 및 잔존수명이 큰 영향을 받게 되었다 [1, 2].

본 논문에서는 각 시료의 절연성능을 비교 분석하기 위하여 시료 표면에 인공적인 워터트리를 발생시켜 열화시간에 따른 워터트리의 성장형태와 워터트리의 밀도를 분석하였다. 그리고 건전시료를 사용하여 교류절연파괴 시험을 실시하였으며 전극의 형태는 ASTM(America standard Test Method) D149-92규정 중 전극의 직경이 12.7[mm]의 구대구 전극을 사용하였다.[3] 그리고 데이터 처리는 와이블 분포법을 사용하였다. 또 각 시료의 건전시료를 사용하여 DC인가 1시간 후에 누설전류 값을 측정하였고 전극의 단면적으로 나누어 누설전류밀도 값을 구한 후 Origin 프로그램의 Box Chart를 사용하여 그린 후 시료별로 전도특성을 비교하였다.

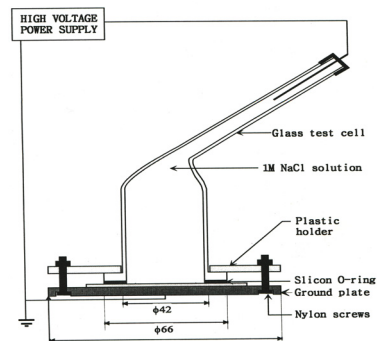
2. 실험방법

2.1 시편

본 연구에 사용된 시편은 총 13종류로 XLPE를 기준으로 한 상대적 물성의 특성을 비교하였다. XLPE를 제외한 12종류의 시편은 모두 비가교된 PE base의 시편이며, 워터트리 가속열화시편은 1,000±50 μm, 교류전압파괴시편은 100~120 μm, 그리고 전도도실험 시편은 100±10 μm 두께로 준비하였다. 또한 시료 표면의 오염을 없애기 위해 모든 실험에서 실험전 표면을 에칠알코올로 닦아서 불순물을 제거하였다. 또한 실험은 상온에서 실시되었다.

2.2 워터트리 가속열화시험

본 실험에서는 각 시료 당 2개씩 시편을 준비하여 워터트리 가속열화 시험을 진행하였다. 또한 실험실은 온도는 상온으로 유지하였으며 열화시간은 모두 120시간으로 설정하였다. 시험에 사용된 시료의 두께는 1000±50μm이며 직경은 86mm 원방형 시료를 사용하였다. 준비된 시료 직경 36mm 원에 거칠기220의 사포(sand paper)를 사용하여 인공적인 표면 스크래치를 만들었으며 한 쪽 방향으로 균일한 흠집을 내었다. 흠집을 낸 표면은 알코올을 사용하여 불순물을 제거 하였으며 반대쪽 표면에는 실버페이스트(Dotite D-500)를 얇게 도포하여 전극을 형성하였다. 이렇게 준비된 시료는 워터트리 가속 열화 셀에 조립 한 후 가속 열화시켜 인공적인 워터트리를 발생 시켰고 전압 인가 전 수용액을 스크래치 면의 미세흠집의 틈새 끝까지 침투시키기 위하여 10~20 Torr 정도의 약한 진공으로 처리하여 탈기시켰다. 시험에 사용한 수용액은 1.0M NaCl 용액이고, 인가전원은 워터트리의 성장속도를 가속시키기 위하여 1.0kHz, 전압은 10kV/rms인 주파수가속 전원을 사용하였다. 120시



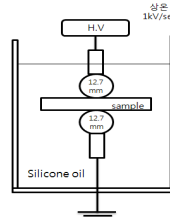
<그림 1> 워터트리 가속열화 셀

2.3 교류절연파괴강도 시험

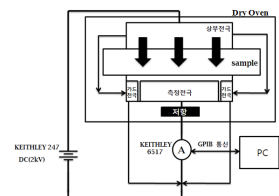
그림2는 교류절연파괴강도를 측정하기 위한 구대구 전극 구성도이다. 시료의 크기는 구대구 전극의 크기를 고려하여 준비하였고, 직경 12.7[mm] 인 구전극을 사용한다. 각 시편 당 동일한 방법으로 15번씩 실험하였고, 전압상승 속도는 1[kV/sec]의 속도를 유지하였으며 연면방전의 영향을 최소화시키기 위하여 실리콘 절연유 내에서 실시되었다. 각 시편의 절연파괴강도 데이터 처리는 와이블 분포함수를 이용하여 데이터를 처리하였다.

2.4 전도전류 시험

그림3은 본 연구에서 사용된 전도전류 시험전극의 개념도이다. 각 시편을 전극에 크기를 고려하여 자른 후 두께를 측정하였으며 90~110μm 두께의 시편을 선택하여 사용하였다. 각 시료 당 동일한 방법으로 3번씩 전도전류를 측정하였고 시험시간은 1시간을 기준으로 하였다. 시료는 상부전극과 하부전극사이에 올려놓고 고정 시킨 후 전극을 Dry Oven 안에 넣는다. 그리고 DC전원공급장치인 KEITHLEY247장비를 사용하여 2kV를 인가하고 KEITHLEY6517을 사용하여 전류 값을 측정하고 GPIB 통신을 사용하여 PC에 데이터를 전송 받았다.



<그림 2> 구대구 전극 구성도



<그림 3> 전극 구성도

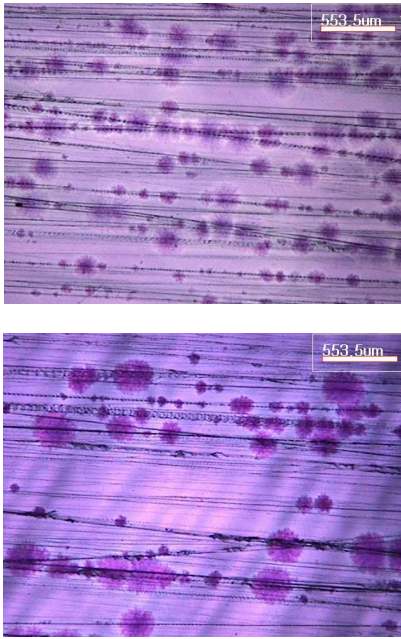
측정된 전류메이터로부터 1,501~2,000초 사이의 평균값을 취한 전도전류와, 다음 식(1) 과 같은 관계를 수치적으로 curve-fitting 하여 이론적으로 무한한 시간이 흐른 후 포화된 전도전류 값은 계산하여 비교하였다. 최종적으로는 전도전류를 측정전극의 면적으로 나눈 전도전류밀도(또는 누설전류밀도)를 구하였다.

$$I(t) = I_0 + ae^{(-\frac{t}{b})} \text{-----식(1)}$$

위 식에서 I(t)는 전체전도전류, I₀는 이론적인 누설전류, 우변의 두 번째 항은 시간에 따라 지수적으로 감소하는 흡수전류 성분을 각각 의미한다.

3. 결과 및 검토

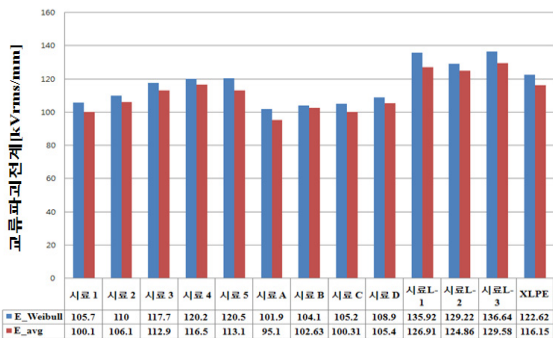
3.1 워터트리 가속열화시험



〈그림 4〉 각 시편에서 120시간동안 성장한 워터트리의 평면사진

그림 4는 워터트리 열화된 시료를 메틸렌 블루 용액으로 염색 한 후 그 표면을 광학현미경으로 관찰한 사진이다. 그림에서 알 수있듯이 표면 전체, 특히 인공적으로 스크래치를 만든 부위에서부터 워터트리가 고르게 성장하였음을 확인하였고 이는 본 실험에서 사용한 워터트리 가속열화시험법이 넓은 면적에서 균일한 워터트리를 인공적으로 성장시킬수 있음을 보여주는 결과이다.

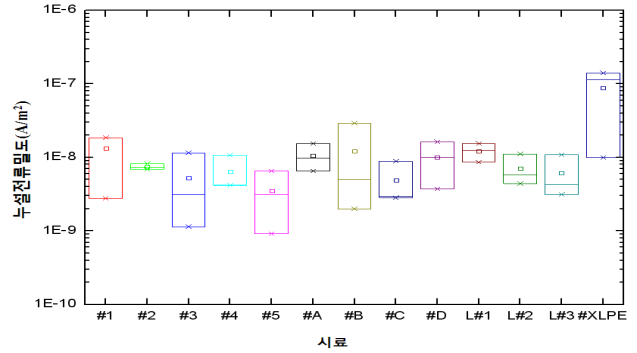
3.2 교류 절연파괴시험



〈그림 5〉 시료별 교류 파괴전계 결과 비교

그림5는 각 시편 당 교류절연파괴전계 결과를 비교, 정리한 것이다. 왼쪽 막대그래프의 E_Weibull값은 Weibull 누적확률분포에서 63.2%의 파괴전계를 의미하고, 오른쪽 막대그래프의 E_avg값은 각 시편당 15번의 절연파괴결과와 산술평균치를 나타내고 있다. XLPE의 시편을 기준으로 볼 때에 L1~L3까지의 시편이 상대적으로 높은 교류파괴전계 값을 보여주고 있고 시편A~D까지의 시편이 상대적으로 낮은 파괴전계 값을 보여주고 있으며 시편1~5까지의 시편은 중간 정도의 교류파괴전계 값을 보여주고 있고 XLPE 시료와 비슷한 값을 보였다.

3.3 전기전도시험



〈그림 6〉DC인가 1시간 후 누설전류밀도 결과 비교

그림 6은 DC인가 1시간 후 누설전류밀도(A/m²)를 편차를 고려한 Box Chart로 나타낸 것이다. 그 결과 누설전류밀도값이 10⁻⁹ ~ 10⁻⁸ A/m² 사이에 분포되어있었으며 시료의 누설전류밀도를 Box Chart의 평균값을 기준으로 비교 분석하면 XLPE시료에 비해 모든 시편이 낮은 누설전류특성을 보이고 있는 가운데 시료 #5가 가장 우수한 전도전류특성을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 논문에서 친환경 전력용케이블 절연체를 구현하기 위한 초기단계로 비가교 폴리에틸렌에 대한 전기적 기본특성시험, 즉 워터트리가속열화, 교류절압파괴특성 및 전도전류특성 시험을 행하였고 이에 대한 결과를 정리하였다. 그 결과 다음과 같은 결과를 확인하였다.

1. 워터트리 가속열화 시험의 경우 본 연구에서 사용한 가속열화시험법으로 넓은 면적의 워터트리를 균일하게 성장시킬 수 있음을 확인하였다.
2. 교류 파괴전계 시험으로 12종류의 시편중 L 시리즈의 시편이 XLPE에 비해 우수한 특성을 보였으며 이에대한 원인분석은 보다 다양한 시험을 통하여 계속되어야 한다고 판단된다.
3. 전기전도특성 시험은 시험의 특성상 큰 편차를 가져올 수있으므로 이러한 오차를 줄이기 위하여 시편당 3개의 시료에 대한 실험을 행하여 그 평균값을 계산하였다. 그 결과 각 시편의 제조방법이나 첨가제에 따라 일정한 증감의 특성을 확인하였으며 이러한 데이터는 향후 보다 우수한 시편의 개발방향을 결정하는데 주요한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] Y. Lunishi, "High Filed Coduction and Breakdown in Solid Dielectrics", IEEE Trans. Vol.EI-15, pp.139, 1980.
 [2]. II. Kato al ai, "New Insulating Materials", IEEE Trans. .Vol..EI-21, No.6, pp.925-927, 1986.
 [3] Annual Book of ASTM Standards, Electrical Insulation, Vol. 10.01, D149-92, pp.19-26,1993