

# XLPE 케이블의 전기적 열화 패턴 분석

(Electrical Degradation Pattern Analysis according to XLPE Cable)

민치현\* · 곽동순 · 천현권 · 최진욱 · 김영석 · 김선구 · 김상현

(Chi-Hyun Min · Dong-Sun Gwak · Hyun-Kwon Chun · Jin-Wook Choi ·  
Young-Suk Kim · Sun-Gu Kim · Sang-Hyun Kim)

## 요 약

일반적으로 22.9[kV] 이하의 케이블은 가교폴리에틸렌(XLPE)을 절연체로 사용하고 있다. XLPE 내부의 결함으로 인한 사고로 경제적 및 인명피해가 발생한다. 이러한 사고에 대한 처리 기준이 마련이 되어 있지 않아 사고처리의 체계화가 시급히 필요한 실정이다. 본 연구에서는 XLPE 케이블의 사고 요인이 되는 전기적 열화현상에 대한 자료구축을 위하여 XLPE에 곡률반경이 10[ $\mu$ m]인 침침극을 삽입하여 절연파괴, 트리형상 및 연면방전 시료를 제작하였다. 단시간 파괴는 AC 60[Hz]의 전압을 1[kV/sec] 상승하였으며, 장기과전의 경우 AC 60[Hz]의 전압을 12[kV] 및 17[kV]를 인가하여 전기적 열화 특성에 대하여 실험을 하였다.

## Abstract

XLPE cable is using insulator for Cross Linked Polyethylene(XLPE), because insulation Performance is superior and easy comparatively. Need systematization of accident transaction for electrical equipment accident, It is no disposal standard for defect of manufacture and second to accidents. in this paper deals with the change of XLPE cable insulation. To understand the electrical properties of XLPE insulation. Made of XLPE block sample, Penetration fracture Sample and flashover sample. Ogura needles having tip radius of 10[ $\mu$ m] were inserted into each sample. AC voltage of 1[kV/sec] increased at 60[Hz] were apple to breakdown sample and flashover sample. AC voltages of 12[kV], 17[kV] at 60[Hz] were applied to XLPE block sample. The electrical properties of specimens were measured were measured from initiation of tree and breakdown to their characteristics were analyzed.

Key Words : XLPE, Insulation, Tree, Breakdown, Flashover

## 1. 서 론

일반적으로 22.9[kV] 이하의 (수용가)케이블은 절연성능이 우수하고 가공이 비교적 용이하다는 장점을 가지는 가교폴리에틸렌(XLPE)을 절연체로 사용하고 있으며 반도체층은 카본블랙(carbon black), 외

\* 주저자 : 경상대학교 전기공학과 및 공학연구원  
Tel : 055-751-5345, Fax : 055-761-8820  
E-mail : mch4001@naver.com  
접수일자 : 2008년 1월 7일  
1차심사 : 2008년 1월 14일  
심사완료 : 2008년 1월 24일

피는 염화비닐수지(PVC)로 구성되어 있다. XLPE 케이블은 제작 및 포설시 사고를 유발하는 여러 가지의 요인을 포함할 수 있다. 예를 들면, 절연체 내부의 불순물, 공극(void), 수분 등에 전계, 열, 기계적 변형이 가해지면 부분방전과 트리(tree)열화가 발생하고 절연성능 저하 및 절연파괴 사고로 이어진다. 사고에 따른 정전, 주변기기로의 화재 등으로 인하여 경제적 및 인명피해를 야기하고 있다[1, 4].

이러한 문제를 해결할 방안으로 2002년 7월 국내에서는 제조물책임법(Product Liability Law : PL법)이 시행됨에 따라 제조물의 결함에 의한 소비자 피해배상책임이 확대·강화되었다. 현재 가전제품, 자동차 등의 화재 및 사고에 대해 원인규명을 통한 PL법 대응이 이루어지고 있지만, 전기 설비사고에 대한 제조물의 결함과 그로 인한 2차 사고에 대한 PL 사고 처리 기준이 전혀 마련이 되어 있지 않다. 케이블 열화에 대한 기존의 고장 원인별 분석은 전기적, 화학적 및 재료분석 등을 통해 원인을 규명하고 있지만, 구체적인 데이터베이스화 되어 있지 않아, 사고별 자료구축이 요구된다[2, 5].

이와 같은 관점에서 볼 때 본 연구에서는 케이블 접속부 및 사고의 요인이 되는 전기적 열화에 대한 자료구축을 위하여 모의시료를 제작하였고, XLPE의 관통파괴, 트리형상 및 연면방전 특성에 대하여 실험을 하였다. 위의 실험결과를 토대로 전기적 열화현상에 대한 고장 및 사고분석의 데이터베이스화에 대한 기초자료로 활용할 것이다.

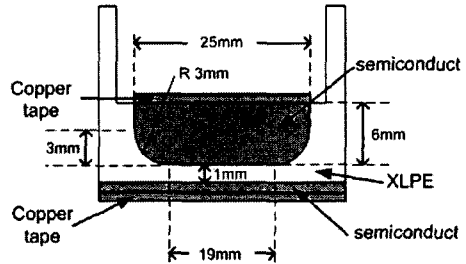
## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 시료 및 전극계

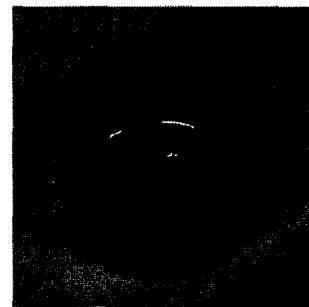
전기적 열화 패턴을 분석하기 위한 가장 이상적인 시료는 케이블 자체라 할 수 있으며, 실험결과는 케이블에 적용하여 해석해야 한다. 다른 종류의 시료를 사용할 경우에 발생할 수 있는 문제점을 모두 해결하고 가장 이상적인 실험결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 실제 케이블을 가지고 전기적 열화에 대한 실험을 모의 한다는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 이러한 문제로 인해 XLPE 펠릿을 사

용하여 시료를 제작하였다. 가교과정은 주형틀에 XLPE 펠릿을 채우고 핫프레스에서 180[°C], 190[kgf/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 15분간 압축·성형하고, 시료내부에 보이드가 형성되는 것을 방지하기 위하여 압력을 유지한 상태에서 30[°C]까지 수냉각 한다[4].

절연파괴 모의전극은 그림 1 (a)와 같이 전극의 중앙에서 절연파괴가 일어날 수 있도록 Rogowski 전극 형상으로 하였고, 연면거리를 확보하기 위하여 그림 1 (b)와 같이 전극 가장자리에 외벽이 있는 컵모양으로 하였다. 절연층의 두께는 1[mm], 전극 가장자리 부위는 곡률반경 3[mm]로 제작하였다.



(a) 개략도  
(a) Schematic of specimen



(b) 절연파괴 모의전극 사진  
(b) photograph of breakdown specimen

그림 1. 개략도 및 절연파괴 시료 사진  
Fig. 1. breakdown specimen and photograph

순수 XLPE 시료의 단시간 절연파괴 및 장기과전을 위한 XLPE 시료는 그림 2와 같이 침·평판 구조의 전극으로 하였으며, 전극 사이의 간격은 2[mm]로 하였다. 시료를 고정한 후 열풍기로 시료의 온도를 90~100[°C]로 유지시킨 다음 침(Ogura바늘, 곡률반경 10[μm], 선단각도 30[°])을 일정 갭까지 서서히 삽

## XLPE 케이블의 전기적 열화 패턴 분석

입하고 상온에서 자연냉각 시킨다. 냉각도중 침이 밀려나오는 것을 방지하기 위하여 시료와 전극의 경계를 에폭시 수지로 견고하게 고정하고, 대향전극은 침전극 반대편에 실버페이스트를 얇게 도포하고 알루미늄 테이프를 접착시켜 제작하였다[3].

불순물을 포함하는 XLPE 시료는 가교과정에서  $Al_2O_3(1[\mu m])$ 를 혼합하였고, 순수 XLPE 시료와 동일한 과정으로 제작하였다. 보이드를 포함하는 XLPE 시료는 순수 XLPE 시료의 한쪽 면에 침전극을 삽입하였다가 서서히 뽑아내어 1[mm] 길이의 보이드를 인위적으로 만들어 주었다.

XLPE 시료의 연변방전 특성을 조사하기 위해 일정크기(가로 40[mm], 세로 40[mm], 두께 4[mm])로 절단하고, XLPE 시료 표면에 고전압을 인가하기 위한 삼각형의 전극과 접지축에 평판 형태의 전극을 부착하였으며, 전극은 얇은 스테인리스강(SUS) 테이프를 이용하였다. 전극 사이의 간격은 5[mm]이다. 그림 3에 연변방전 특성을 조사하기 위해 제작된 XLPE 시료의 형태를 보여준다.

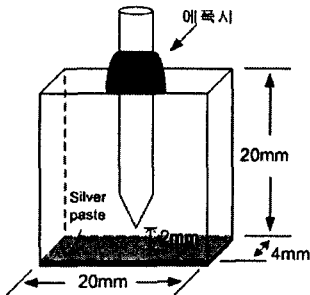


그림 2. 전기 트리 시료 형상  
Fig. 2. Specimen for Electrical tree

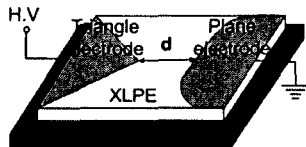


그림 3. 연변방전 시료 형상  
Fig. 3. Specimen for flashover

### 2.2 실험방법

XLPE의 전기적 열화 특성을 분석하기 위하여, 전

압원은 AC 60[Hz] 최대 100[kV] 용량의 고전압 발생장치를 사용하였으며, 인가전압의 상승 속도는 초당 1[kV]를 유지하였다. 그림 4에 전기적 열화 실험을 위한 장치도를 나타낸다. 각 실험은 경우에 따라 실리콘오일 또는 공기 중에서 이루어졌으며, 절연파괴에 대한 전압값은 10회 이상 측정된 데이터의 평균값을 나타낸다.

장기과전 시험의 경우 시료의 고전계 영역 및 저전계 영역의 두 가지 조건에서 이루어졌으며, 고전계는 순수 XLPE 시료의 단시간 절연파괴 전압의 60[%]인 17[kV] 값을, 저전계는 단시간 절연파괴 전압의 40[%]인 12[kV] 값을 각각 인가하여 실리콘오일 중에서 절연파괴가 발생할 때까지의 시간을 측정하였다. 실험장치의 개략도를 그림 4에 나타낸다.

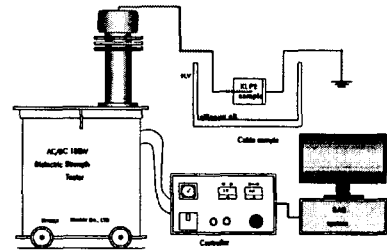


그림 4. 실험장치의 개략도  
Fig. 4. Schematic of testing equipment

### 3. 실험결과 및 고찰

절연파괴 모의전극은 반도체층으로 이루어진 전극과 Cu 테이프를 붙인 전극으로 절연파괴 실험을 하였고, 절연파괴 값을 표 1에 나타낸다. 반도체층으로 된 전극의 경우는 파괴흔적의 관찰이 어려워 Cu 테이프를 이용하여 관찰이 쉽도록 하였고, 반도체층으로 된 전극과 Cu 테이프로 구성된 전극의 절연파괴 값은 모두 유사하며 반도체층으로 이루어진 전극의 평균 절연파괴 전압은 42.5[kV], 절연파괴 흔적은 시료의 중앙에 집중되어 나타났다. 시료 표면의 침식으로 인해 방전이 집중되면서 절연파괴가 일어났을 것으로 사료된다. 그 흔적은 그림 5와 같이 열적 파괴에 의해 XLPE 시료가 용융되어 500[ $\mu m$ ] 정도의 파괴구멍을 형성하였다.

표 1. 절연파괴전압  
Table 1. Breakdown voltage of penetration

시료		1	2	3	4	5	평균
절연 파괴 전압	반도전 전극	41.7 [kV]	42.1 [kV]	43.3 [kV]	43 [kV]	42.7 [kV]	42.5 [kV]
	구리 테이프	41.8 [kV]	43.7 [kV]	43 [kV]	44.9 [kV]	43.1 [kV]	43.3 [kV]

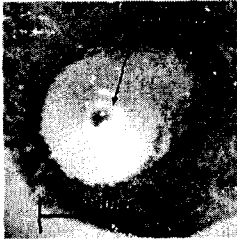


그림 5. 관통파괴 흔적  
Fig. 5. Penetration fracture mark

그림 6은 순수 XLPE, 불순물 및 보이드를 포함하는 시료의 인가전압에 따른 절연파괴 시간을 측정하여 전압-수명시간특성(V-t 특성) 곡선을 나타낸다. 불순물을 포함하는 XLPE 시료의 경우는  $Al_2O_3(1[\mu m])$ 가 시료 내부에 산발적으로 존재하는 경우이다. 일반적으로 역 n승의 법칙인 'Vn · t=constant'에서 수명지수(n) 값을 구할 수 있으며, 고체 절연재료의 수명을 예측하는 척도가 된다. n값이 작을수록 내부방전 특성이 나빠고, 동일한 수명을 주는 인가전압도 낮다고 보고되고 있다. 본 실험에서 순수 XLPE 시료는 n=12.2, 불순물을 포함하는 XLPE시료는

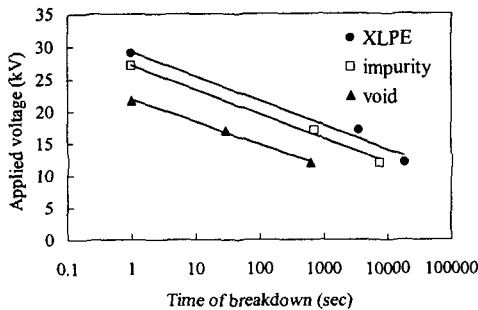


그림 6. 시료의 V-t 특성 곡선  
Fig. 6. V-t characteristics of specimen

n=11.5, 보이드를 포함하는 XLPE 시료는 n=9로 조사되었으며, 불순물이나 보이드가 포함되면 XLPE의 내부방전 특성이 나빠지며, 매우 취약해짐을 알 수 있다.

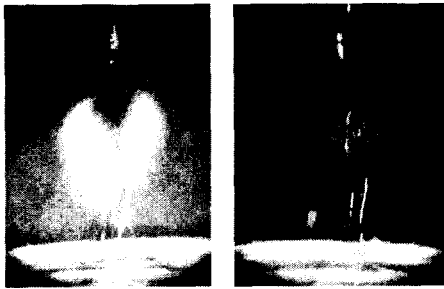
그림 7은 순수 XLPE 시료에 대한 단시간 절연파괴 흔적을 나타낸다. 단시간 절연파괴 전압은 29[kV]이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 단시간 절연파괴의 경우는 전극 간 최단거리인 일직선상의 방전채널이 형성되고, 방전채널 주변에는 트리 등의 열화 흔적이 보이지 않았다.

동일한 조건에서 단시간 절연파괴 전압의 60[%] 지점인 17[kV]의 고전계와 40[%] 지점의 12[kV]의 저전계를 시료에 인가했고, 장기 과전 열화흔적을 그림 8에 각각 나타낸다. 장기 과전한 경우는 침전극 선단에서 트리가 진전되어 가면서 전극 간의 최단거리에 방전채널이 형성되어 절연파괴되었다. 지금까지의 보고와 같이 침전극 선단에서 트리가 진전되면서 전극 간의 최단거리에 방전채널이 형성되어 절연파괴되고, 침전극의 선단 및 방전채널 주변에서 트리가 진전되어 가는 열화 흔적이 선명하게 나타났다. 그림 8 (a)의 고전계 시료에서는 침전극 선단에 가느다란 전기 트리 채널이 집중적으로 분포하는 부시형 트리가 형성되었고, 그림 8 (b)의 저전계 시료는 몇 개의 채널이 점진적으로 성장하여 나뭇가지 형태인 가지형 트리가 형성되었다. 일반적으로 동일 시료 하에서 전기 트리의 형상 및 성장률은 인가전압, 주파수, 침전극 곡률반경 및 온도 등의 영향을 받으며, 침전단의 전계집중 부위에서 발생하는 전자·정공의 주입 및 이동에 의하여 생성된 트리채널의 가스압력과 절연재료의 분자구조에 따른다. 방전에너지가 큰 경우 고분자의 여러 취약한 곳에 에너지가 작용하여 다양한 채널을 발생시키게 되므로 부시형 전기 트리가 발생되지만, 인가전압이 낮은 경우에는 방전 에너지가 작아 고분자의 가장 취약한 부분에 작용하여 소수의 채널만을 발생시키게 되므로 가지형 전기 트리가 발생하는 것으로 사료된다. 그러나 그림 9에서 보여주는 것과 같이 시료제작 시 절단면이 불규칙하여 하부전극인 평판전극에서 불평등 전계가 형성되는 경우 방전채널이 전계가 집중되는 지점으로 휘어 들어가는 경향을 보여준다.

XLPE 케이블의 전기적 열화 패턴 분석



그림 7. 순수 XLPE 시료의 단시간 절연파괴 흔적  
Fig. 7. Breakdown mark of pure XLPE specimen



(a) 고전계(17[kV]) (b) 저전계(12[kV])

그림 8. 순수 XLPE 시료의 열화흔적  
Fig. 8. Degradation marks of pure XLPE specimen

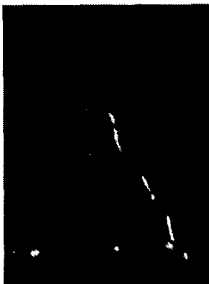


그림 9. 불평등 전계에서의 열화흔적  
Fig. 9. Degradation of Non-Uniform electric field

그림 10은 보이드를 포함하는 XLPE 시료의 단시간 절연파괴 흔적을 나타낸다. 보이드 1[mm]를 가지는 시료는 21.7[kV]에서 절연파괴가 발생하였으며, tree의 흔적이 발견되지 않았다. 이것은 인위적으로 제작된 보이드 선단의 전위경도가 높기 때문에 보이드 선단에서부터 방전이 시작된다고 사료된다.

보이드를 포함하는 XLPE 시료의 고전계 및 저전계 영역에서의 각각 열화흔적 및 방전채널을 그림 11

의 (a)와 (b)에 각각 나타낸다. 장기 과전한 경우는 임의로 형성한 1[mm] 보이드 내부에서 부분방전 현상이 일어나고, 보이드가 끝나는 지점에서 방전채널이 형성되어 절연파괴 된다. 또한 침전극 선단 및 보이드 주변에 트리가 진전되어 열화된 흔적을 볼 수 있다. 일반적으로 보이드가 전극 사이에 위치해 있을 때 부분방전이 일어나기 쉬운데, 그 이유는 가스공간은 고체보다 유전율이 낮으므로 전계가 집중되고, 고체보다 기체의 방전개시 전계가 낮게 형성된다.

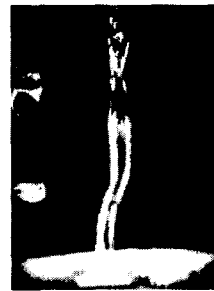
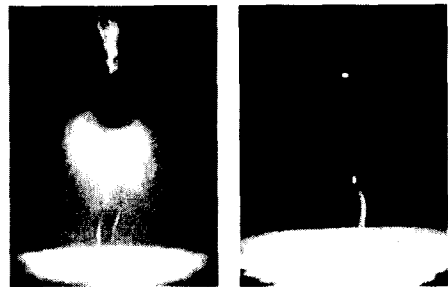


그림 10. 보이드 시료의 단시간 절연파괴 흔적  
Fig. 10. Breakdown mark of void specimen



(a) 고전계(17[kV]) (b) 저전계(12[kV])

그림 11. 보이드 시료의 열화흔적.  
Fig. 11. Degradation marks of void specimen.

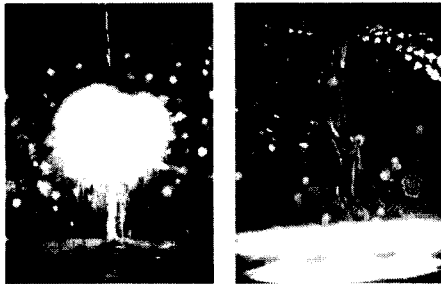
그림 12는 불순물을 포함하는 XLPE 시료의 단시간 절연파괴 흔적 및 방전채널을 나타낸다. 절연파괴 전압은 27[kV]이고, 절연파괴 흔적은 불순물 입자를 통한 미세한 트리의 흔적과 방전채널이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

또한 동일 조건에서 장기 열화 실험을 한 시료를 그림 13에 나타낸다. 일반적으로 장기 열화한 시료의 경우 트리의 진전방향은 상부전극에서 하부전극

으로 향하는데 불순물 시료의 경우는 불순물 입자를 향해 산발적으로 진전되는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상을 보면 입자가 트리진전의 징검다리 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 즉 사고지점의 열화흔적이나 방전채널형상을 통하여 사고원인을 추측할 수 있다.



그림 12. 불순물 시료의 단시간 방전흔적  
Fig. 12. Breakdown mark of impurity specimen



(a) 고전계(17{kV}) (b) 저전계(12{kV})

그림 13. 불순물 시료의 열화흔적  
Fig. 13. Degradation marks of impurity specimen

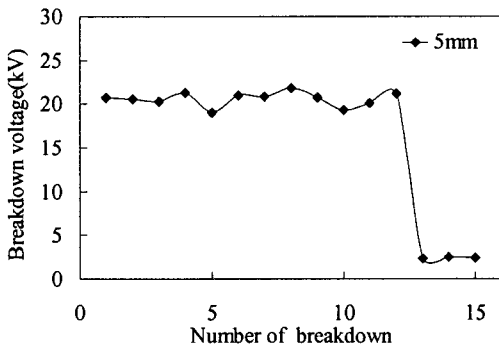
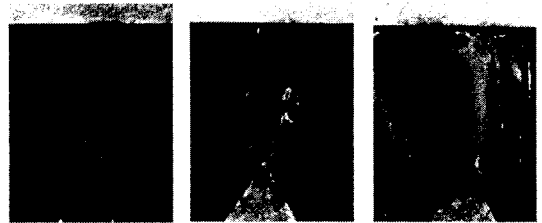


그림 14. 실리콘오일의 연면방전 전압  
Fig. 14. Flashover voltage under silicon oil

그림 14는 실리콘오일 중에서의 횡수에 따른 연면 방전 전압을 나타낸다. 연면방전 1회에서 12회까지의 평균값은 20.5[kV]이며, 13회부터 전극간에 탄화 로가 형성되어 연면방전 전압이 급격히 저하되었다. 공기중의 연면방전 전압은 약 4.4[kV]로 나타났다. 연면방전 발생시 침식구멍이 형성되고, 침식구멍 선단에 방전 에너지 밀도가 집중되면서 고체 내부의 두께방향으로 수직상의 방전로가 신속히 진전하는 현상을 관찰할 수 있었다. 그림 15에서 보면 1회의 경우 표면이 손상이 되었고, 2회는 손상된 표면을 따라 방전되면서 더욱 심하였으며, 3회정도 실험시 표면이 심하게 용융되어 더 이상 실험을 할 수 없었다. 케이블의 종단부 및 접속부는 공기 중에 노출되어 있고, 실제 사고 발생시 높은 열로 인해 용융되어 흔적이 남지 않는다. 공기중 시료의 경우도 방전불꽃으로 인하여 용융되어 없어지는 현상을 볼 수 있었다. 용융되어서 방전흔적 및 절연과피 양상을 알 수 없으나, 케이블의 주변 흔적이나 설치되어 있는 주변 환경 및 상태 등으로 유추할 수 밖에 없다. 따라서 케이블 사고에 대한 분석은 신중한 검토를 요한다.



(a) 1회 (b) 2회 (c) 3회

그림 15. 공기중 연면방전 사진  
Fig. 15. Photograph of flashover under air

#### 4. 결 론

본 연구에서는 XLPE의 케이블의 열화요인과 유사한 절연체의 결합을 모의전극을 구성하여 실험을 하였다. 절연과피의 경우 금속전극과 수전극을 사용할 경우 실제 케이블의 상황과 다르며, 본 연구에서는 실제 케이블에 사용하는 반도체재료를 사용하여 전극을 고안하여 진성절연과피를 하였다. 또한 침전극을 이용하여 가속열화 실험을 하였으며, 전기적

## XLPE 케이블의 전기적 열화 패턴 분석

열화 및 절연파괴 흔적을 비교하여 관찰하였다.

XLPE 모의전극의 평균 절연파괴 전압은 42.5[kV]로 나타났으며, 절연파괴 흔적이 모두 시료의 중앙부에 집중되었다. 전압-수명시간특성(V-t 특성) 곡선을 보면, 불순물 및 보이드를 포함한 XLPE 시료는 전체적으로 절연내력이 감소하였다. 트리의 형성 및 진전에 있어서도 불순물 및 보이드가 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 실리콘오일 및 공기중의 평균적인 연면방전전압은 약 20.5[kV]와 4.4[kV]로 나타났다. 탄화가 표면에 유지되면 연면방전 전압이 급격히 떨어진 것을 알 수 있었다.

차후 케이블 사고와 관련하여 복합적인 열화가 미치는 영향에 대한 연구를 진행하고, 데이터베이스를 구축하여 케이블 열화에 대한 고장 원인 분석의 기초자료로 활용할 수 있을 것이라 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- (1) 강동식, 선종호, 이홍식, 박정후, 조정수, "XLPE 케이블의 전기트리 열화에 따른 전기적 특성 검토", 대한전기학회, Vol. 49C, No. 7, pp.400-406, 2000.
- (2) 강동식, "XLPE의 전기트리 열화에 따른 전기적 특성의 변화", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp2136-2138, 1999.
- (3) N. Shimizu, Y. Shibata, K. Ito, K. Imai, M. Nawata, "Electrical Tree at High Temperature in XLPE and Effect of Oxygen", Conf. Electrical Insulation & Dielectric Phenomena, pp.329-331 2000.
- (4) 김상준, 한재홍, 송일근, 김동명, 이동영, 김주용, 이창용, "배전케이블 수명예측 기준결정 및 열화진단 시스템 구축-최종보고서", pp.391-406, 전력연구원, 1997.
- (5) 이광우, "부시형 전기트리에 수반되는 부분방전의 특성 분석", 대한전기학회 춘계학술발표연구회 논문집, pp.124-128, 1999.
- (6) T.Hashizume, T.Tani, "A Reconsideration of Criteria for Insulation Diagnosis of 6.6(kV) XLPE cable", 8th International Symposium on High Voltage Engineering, pp.193-196, 1993.

## ◇ 저자소개 ◇

### 민치현 (閔治縣)

1979년 10월 8일생. 2006년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동대학원 전기공학과 석사과정.  
Tel : (055)751-5345  
Fax : (055)761-8820

### 곽동순 (郭東洵)

1975년 9월 3일생. 2002년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경일대학교 소방방재학부 교수.  
Tel : (055)751-5345  
Fax : (055)761-8820

### 천현권 (千賢權)

1978년 6월 2일생. 2004년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 박사과정.  
Tel : (055)751-5345  
Fax : (055)761-8820

### 최진욱 (崔眞郁)

1982년 12월 29일생. 2007년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동대학원 전기공학과 석사과정.  
Tel : (055)751-5345  
Fax : (055)761-8820

### 김영석 (金榮錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 전기안전연구원 설비안전연구그룹 연구원.  
Tel : (031)580-3064  
Fax : (031)580-3111

### 김선구 (金善球)

1961년 2월 25일생. 1985년 2월 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1991~2002년 한국전기안전공사 재직. 2002년~현재 전기안전연구원 설비안전연구그룹 그룹장(책임연구원).  
Tel : (031)580-3071  
Fax : (031)580-3111

### 김상현 (金相賢)

1950년 2월 7일생. 1974년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 일본 오사카대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986~1989년 한국전기연구원 초전도연구실 실장. 1999~2001년 경상대학교 공과대학 학장. 2000~2002년 한국 초전도·저온공학회 회장. 1989년~현재 경상대 공대 전기공학과 교수.  
Tel : (055)751-5345  
Fax : (055)761-8820