

# 실리콘 처리에 의한 수트리 열화케이블의 절연회복

(Insulation rehabilitation of water tree aged cables by silicone treatment)

김주용\* · 송일근\* · 한재홍\* · 이동영\*\* · 문재덕\*\*\*

(Ju-Yong Kim · Il-Keun Song · Jae-Hong Han · Dong-Young Yi · Jae-Duk Moon)

## 요 약

본 논문은 수트리 열화된 가교폴리에틸렌(XLPE) 절연 지중케이블의 절연회복을 위해 개발된 실리콘 처리 기법의 현장적용 가능성을 검토하기 위해 수트리 열화된 325 [mm] CN/CV 케이블을 수거하여 실리콘 처리하고, 시간의 경과에 따른 절연성능 향상도를 분석한 것이다. 시료 케이블의 절연회복을 평가하기 위해 교류절연파괴시험을 실시했다. 또 실리콘 처리케이블의 평가를 위해 진단시험 및 케이블 특성평가를 수행했다. 실리콘 처리후 1년 경과 시료 케이블을 분석한 결과, 실리콘 액(silicone fluid)과 수분이 효과적으로 결합해 절연파괴강도가 상당히 증가한 것으로 나타났다. 실험결과를 종합해 볼 때 수트리로 열화된 케이블의 절연성능 향상에 실리콘 처리가 효과적인 것으로 나타났다

## Abstract

This paper presents the results of performance evaluation of silicone treatment technique which was developed for the insulation rehabilitation of water tree aged XLPE power cables. We treated the water tree aged 325 [mm] CN/CV cables with silicone, and then analyzed the degree of insulation rehabilitation as a function of time. AC breakdown test was conducted to evaluate insulation rehabilitation. The diagnosis test using relaxation current measurement and the characteristic analysis of insulation were also performed to estimate silicone treated cable. AC breakdown strength of silicone treated cable for one year was increased, resulting from the chemical reaction between silicone fluid and water. This experiment showed that the silicone treatment technique was effective for insulation rehabilitation of the water tree aged cables.

## 1. 서 론

지중케이블 고장의 대부분은 폴리에틸렌 절연층으로 이온이 함유된 지하수가 유입되어 발생한 수트리에 의한 절연강도 저하 때문인 것으로 사료된다. 국내 지중케이블의 경우도 포설된지 10년 이상된 선로가 증가하면서 수트리에 의한 지중선로 고장이 급격히 증가하고 있는 실정이다.

고장케이블 철거와 교체에 소요되는 높은 비용 때문에 북미를 중심으로 오래전부터 그 대안을 찾게 되었고 수트리 열화로 손상된 케이블의 절연성능향상은 케이블 교체보다 현장에서 적합한 방법이라고

\*정회원 : 전력연구원 선임연구원  
\*\*정회원 : 위덕대학교 교수  
\*\*\*정회원 : 경북대학교 교수  
접수일자 : 1999년 6월 11일

생각하게 되었다. 그 중 한 방법으로 도체 빈 공간을 통해 가스를 통과시켜 케이블을 건조하는 방안이 대안으로 조사되었다. 이 방법은 케이블 성능을 회복시키는 것은 하지만, 가스 흐름이 중단되면 수분이 케이블로 다시 확산되기 때문에 영구적인 방법이 되지 못했다[1].

현재 주로 이용되는 방법은 절연성능향상 액체를 주입하는 방법으로서, 실리콘 액을 일정한 압력으로 케이블의 도체를 통해 주입하면 액체는 점차 도체로부터 절연층 끝부분까지 이르게 되면서 수분과 반응하여 고분자 물질로 변환되어 미세공극을 메움으로써 수트리 열화 케이블의 절연강도를 향상시키게 된다[2]. 현재 보급되고 있는 실리콘 액은 7.4 [mm] 절연층 끝부분까지 이르는데 약 2년이 소요되는 것으로 알려져 있으며, 그 후 약 350[%]의 절연파괴강도 향상이 있는 것으로 알려져 있다[3]. 따라서 본 연구에서는 현장 사용중 수트리 열화로 고장을 발생한 지중케이블에 대해 실리콘 처리를 실시하고 실리콘 액 확산에 따른 절연성능 향상정도를 분석하여 국내 케이블에 대한 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

## 2. 시료 및 실험방법

### 2.1 시료준비

실리콘 처리에 의한 절연성능 향상을 효과적으로 분석하기 위해서는 실리콘 처리 전·후의 절연진단, 절연파괴시험 및 절연층 분석에 충분한 길이의 수트리 열화된 케이블이 필요하다. 실험을 위해 1985년 제조되어 지중배전선로에서 운전중 수트리 열화로 고장을 일으킨 케이블을 수거하여 실리콘 처리를 실시하고, 시간의 경과(3, 6, 12개월)에 따른 특성변화를 분석하였다. 시료 케이블은 A, B, C 각 상이 100[m]이며, 15[m]씩 케이블을 절단하여 진단시험 후 절연파괴시험을 실시하였다. 그리고 절연파괴시험에서 절연파괴된 부분을 포함해 약 1[m]를 절단하여 절연층 분석에 활용했다.

절연층 분석을 위해 시료 케이블을 10[cm] 정도로 절단한 후 선반을 이용하여 그림 1과 같이 실험에 적당한 형태로 가공한다.[5] 코일형태로 가공한 시료(a)는 내도의 굴곡(convolution), 화학결합, 수트리 현상 등을 관찰하기 위한 것이고, 리본형태의 시료(b)는 두께에 따른 가교도의 측정을 위한 것이다, 또한

절연층 내부의 이물질 및 보이드 분석을 위해 외부 반도전층을 제거한 실린더 형태의 시료를 준비한다.

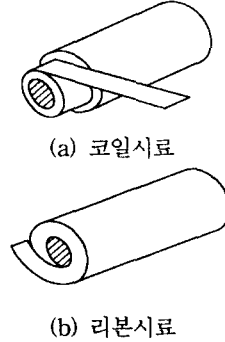


그림 1. 시료 가공  
Fig. 1. Preparation of specimen

### 2.2 고분자 구조분석

고분자의 구조분석에 있어서 가장 보편적으로 사용하는 것이 적외선분광기(FTIR: Fourier transform infrared spectrophotometer)이다. 이는 적외선을 이용하여 적외선 에너지에 해당하는 고분자 사슬의 운동을 측정하는 방법이다. 고분자는 항상 여러 종류의 운동을 하는데, 이때 적외선이 조사되면 이 에너지에 해당하는 움직임이 일어나게 되고, 이 파장범위는 시료를 통과하지 않고 흡수되어 적외선 분광 스펙트럼으로서 측정된다[6].

본 논문에서는 실리콘 처리전 케이블의 화학구조 분석결과와 실리콘 처리후 화학구조 스펙트럼중 실리콘액의 Si-C 결합을 나타내는 1256[cm<sup>-1</sup>] 피크를 대상으로 분석하여 절연층내의 실리콘 액 확산정도를 분석하였다.

### 2.3 가교도분석

전력케이블용 절연체의 가교도는 전력케이블의 특성을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나로서 가교도의 증가는 곧 기계적 특성의 증가를 의미한다. 또한 가교도가 높을 경우 각종 열화반응에 대한 저항성이 증가하며 반대로 가교도의 감소는 곧 거의 모든 특성의 감소를 의미하기도 한다[5]. 따라서 전력케이블에 있어서 80[%] 이상의 가교도를 유지해야 한다. 가교폴리에틸렌의 가교도 측정을 위해 자일렌(xylene)을 사용하였다. 자일렌의 끓는점은 약 140[°C]이므로 자일렌을 용기에 넣고 이 온도 이상으로 높인 후 여

## 실리콘 처리에 의한 수트리 열화케이블의 절연회복

기에 폴리에틸렌 조각을 120 mesh 또는 150 mesh 망속에 넣고 48시간 동안 끓인다. 48시간이 지나면 미가교 성분이 모두 제거되므로 이를 꺼내 동일 온도의 자일렌에 다시 세척한 후 진공오븐을 이용하여 잔류용매를 제거한 후 아래 식(1)과 같이 가교도를 구할 수 있다.

$$\text{가교도}(\%) = \frac{\text{xylene에 끓인 후 남아있는 무게}}{\text{xylene에 끓이기 전의 전체무게}} \times 100 \quad (1)$$

### 2.4 Hot Oil Test

전력케이블 수명에 가장 큰 영향을 미치는 요인중의 하나는 절연층내에 존재하는 결함으로써 앰버(amber), 이물질, 보이드(void) 등이 있다. 이러한 결함은 주변 케이블 절연과 다른 유전성질을 나타내므로 국부적인 전계집중 현상을 유발하게 되며, 결국에는 절연층을 열화시켜 케이블 절연파괴로까지 이르게 한다. 이러한 보이드나 이물질 검사를 위하여 사용하는 hot oil test는 먼저 외피와 중성선을 제거한 다음 외부반도전층을 박리한 후 케이블을 실리콘 유중에 담근다. 실리콘유가 120~130[°C]로 끓기 시작하면 가교 폴리에틸렌의 절연층은 점점 투명해지며, 투명해진 시료의 아래쪽을 밝게 하면 절연층내의 보이드나 불순물을 관찰할 수 있다. 또한 긴 케이블에서 수트리가 발생한 위치를 찾는 데에도 도움을 준다. hot oil test는 넓은 면적의 케이블 절연층을 검사할 수 있지만, 결함에 대한 직접적인 측정방법으로는 불완전하다. 그러므로 필요하다면 결함의 위치를 확인하고 케이블 표면에 표시한 다음 문제가 있는 부분을 절단하여 현미경에서 정밀한 분석을 하는 것이 바람직하다. 또한 절연층이 투명해지기 때문에 내부 반도전층의 불규칙성도 확인할 수 있다.

### 2.5 수트리분석

수트리는 고분자 절연체로 이루어진 전력케이블의 고장에서 가장 중요한 요인으로서 수분과 전계의 복합적인 작용에 의하여 발생하여 절연체를 열화시킨다. 수트리는 케이블 절연층에 미세크랙이 발생한 것으로 볼 수 있으며, 이는 고분자 사슬의 절단을 의미하고 일단 고분자 사슬이 절단되면 이 부분은 매우 불안정하므로 주변 산소 및 이온들과 결합하여 안정화하는 경향이 있다. 이러한 수트리를 관찰하기 위해서는 먼저 증류수 250[ml], 메틸렌블루 0.5[g], 액상

암모니아 8[ml]로 된 용액을 덮개가 있는 비커에서 저으면서 끓인 후 시편을 넣어 염색한다. 그 후 뜨거운 물로 세척한 뒤 아세톤으로 다시 세척하여 잘 건조시킨 후 현미경으로 수트리를 관찰한다.

### 2.6 교류절연파괴강도시험

교류 절연파괴시험은 길이 15[m]의 케이블 양끝을 단말처리한 후 케이블 심선과 중성선 사이에 30[kV]의 교류전압을 인가하고 10[kV]/5분간씩 전압을 증가시키면서 케이블이 절연파괴되는 전압을 구한다.

### 2.7 완화전류측정

분극은 결정의 미시적인 구조뿐만 아니라 거시적인 구조(결정의 크기, 분포상태 또는 입자계면의 성질 등)에도 관계되며, 물질의 비유전율은 분극에 의해 결정된다. 등온완화전류 측정법은 중합절연체의 상태를 측정하는 방법으로 유전체의 분극현상을 이용한 진단방법이다. DC 전압(1 [kV])을 사용해서 충전하는 동안 절연층내에는 분극이 형성되며, 이 케이블이 약한 전류로 방전되면 트랩된 전하가 다시 자유롭게 방전되고, 저항을 통해 작은 전류로 관찰될 수 있다. 이러한 전류의 완화시간은 케이블 내에서 분극이 생성된 위치에 따라서 아래 표 1과 같이 건전한 절연체 부분과 결함부분이 다르게 나타난다.

시험에 사용된 완화전류 측정장치는 측정의 시작 단계에서 케이블 내에서의 분극 형성을 위해 1[kV]로 전압수준까지 약 30분 동안 충전하여 확실한 분극이 생성되도록 한다. 그 후에는 수초 동안 케이블을 방전시켜 케이블의 커패시턴스 성분에 의한 방전 전류를 제외한다. 다음 과정으로는 케이블의 완화전류가 고감도 앰프를 통해 기록되고 디지털화하여 기록치가 컴퓨터로 전송된다. 이때 측정된 완화전류중 절연층 집측면과 결함부분에서의 전하량을 이용한 경험식 식(2)로부터 열화인자 A를 구하고 절연파괴 강도와와의 상관관계에 따라서 케이블의 열화정도를 평가하게 된다.[4]

$$A = Q(\tau_1) / Q(\tau_2) \quad \text{-----} \quad (2)$$

표 1. 대기온도에서 XLPE의 완화시간계수  
Table 1. Relaxation time of XLPE in ambient temperature

특성	완화시간	비고
대부분의 절연층	3 ~ 6 [s]	$\tau_1$
절연층 접촉면	12 ~ 80 [s]	$\tau_2$
절연층 결합	150 ~ 250 [s]	$\tau_3$

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 실리콘 처리 이전 시료의 상태평가

일반적으로 케이블의 가교도는 80[%] 이상이 바람직하나 시료 케이블 3상 모두가 그림 2와 같이 내부 반도전층 부분에서의 가교도가 낮게 나타나고 있으며, 이러한 낮은 가교도는 제조과정에서 발생한 것으로 절연층의 열적·전기적 저항성을 약화시킬 수 있다.

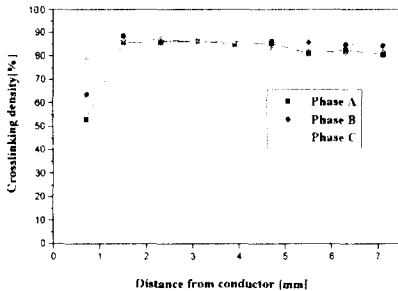


그림 2. 각 상별 가교도 분포  
Fig. 2. Distribution of crosslinking density of each phase

그림 3에서 5까지는 A, B, 그리고 C의 각 상에 대한 수트리 진전상태를 분석한 결과이다. A상은 수트리 길이가 절연층 두께(7.4[mm])의 1/4정도이고 중성선 부식이 심각한 상태였으며, 도체도 약간 부식된 상태였다. B상은 수트리는 거의 발견되지 않았으나 300[ $\mu$ m] 정도의 보우타이(bow-tie) 트리가 발견되었으며, 중성선이 약간 부식된 상태였다.

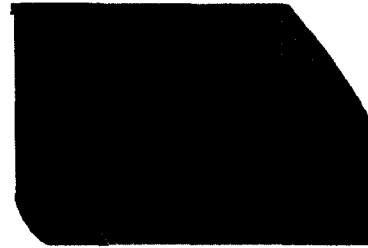


그림 3. A상의 수트리  
Fig. 3. Water tree of phase A



그림 4. B상의 보우타이 트리  
Fig. 4. Water tree of phase B

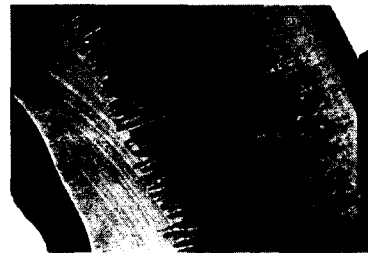


그림 5. C상의 수트리  
Fig. 5. Water tree of phase C

한편 C상의 경우 외부로부터의 수분 침투로 중성선 부식이 심각하고 절연층 두께의 약 2/3 정도 길이의 수트리가 진전된 상태로서 절연상태가 매우 불량한 것으로 나타났다. 수트리의 길이 측면에서 볼 때 A상은 요주의 상태로서 빠른 시일내에 교체계획을 수립해야 할 것으로 보이며, B상은 건전하여 계속 사용 가능한 상태이다. C상의 경우는 수트리가 절연층 두께의 약 2/3 정도 길이까지 진전되어 더 이상 운전이 불가능한 상태로 즉각 교체해야 할 상태로 판단되었다.

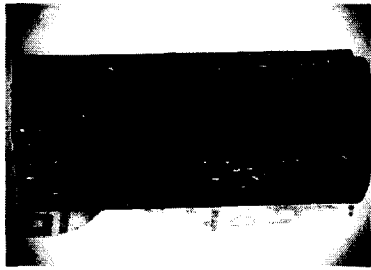


그림 6. C상 절연층 내부에 존재하는 보이드  
Fig. 6. Voids in insulation of phase C

시료 케이블에 대해 hot oil test를 실시한 결과 시료 케이블 모든 상에서 보이드가 발견되었으며, 특히 C상의 경우 그림 6과 같이 많은 보이드가 발견됨으로써 제조당시에 이미 결함을 내포한 케이블인 것으로 추정된다. 이러한 보이드는 수트리 길이와 함께 케이블 절연성능 저하에 매우 중요한 역할을 하는 것으로서 이 두 가지로 볼 때 C상은 절연상태가 매우 불량할 것으로 판단된다

실리콘 처리 이전에 시료 케이블 절연층에 대한 적외선분광기를 이용한 화학구조분석을 수행하고, 이 결과를 실리콘 처리 이후의 결과와 비교하여 실리콘 액의 절연층내 확산정도를 파악하는데 이용하였다. 실리콘 처리 이전 절연층의 화학구조는 그림 7과 같이 나타났다. 실리콘 처리 이전 케이블에 대한 실험 결과를 살펴보면 표 2와 같고, 앞에서 분석한 케이블 상태평가가 결과와 잘 일치하는 것으로 수트리 길이가 가장 길고 다량의 보이드가 존재하는 C상의 절연파괴강도가 가장 낮으며, B상은 비교적 건전한 상태인 것으로 나타났으며, 완화전류측정에 의한 열화인자 역시 A상과 C상은 측정이 불가능할 정도로 열화가 심한 상태를 알 수 있었고, B상은 2.075 정도로 요주의 상태인 것으로 나타났다. 또 교류절연파괴 시험을 수행한 결과 A상은 90[kV]에서 단말부분에서 절연파괴되어 절연파괴강도값을 구하지 못했으며, B상은 160[kV]에서, C상은 60[kV]에서 절연파괴되어 이상에서 분석한 케이블 상태평가가 결과와 일치하게 나타났다. 이 결과는 각 상에서 관찰된 수트리 길이와 잘 일치하며, 아울러 보이드에 의한 절연파괴강도 저하도 한 가지 원인으로 작용했다고 판단된다.

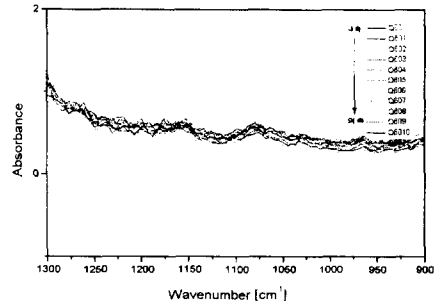


그림 7. 실리콘 처리전 시료의 화학구조  
Fig. 7. Chemical structure of insulation layer before silicone treatment.

표 2. 절연파괴강도 및 열화인자의 변화  
Table 2. Change of AC breakdown strength and aging factor

상 시료	A	B	C
실리콘 처리전	불량 (-)	요주의 (2.075)	불량 (-)
	90 [kV] (단말파괴)	160 [kV]	60 [kV]
실리콘 처리후 3개월경과	불량 (2.306)	요주의 (1.946)	불량 (-)
	130 [kV]	130 [kV]	50 [kV]
실리콘 처리후 6개월경과	요주의 (2.065)	양호 (1.810)	불량 (2.715)
	90 [kV] (단말파괴)	130 [kV] (단말파괴)	90 [kV]
실리콘 처리후 12개월경과	요주의 (1.908)	요주의 (2.130)	요주의 (1.955)
	30 [kV]	150 [kV]	170 [kV]

※ ( )는 완화전류 측정장치에서 구한 열화인자.  
※ 열화인자가 표기되지 않은항은 극히 불량하여 측정이 불가능한 상태임.

### 3.2 실리콘 처리후 시료의 상태평가

실리콘 처리후 실리콘 액의 절연층 침투에 따른 절연파괴강도 변화와 완화전류를 측정하여 케이블의 절연성능 향상정도를 파악하고, 절연파괴강도와 완화전류의 상관관계를 분석하였다. 표 2는 실리콘 처리 전·후의 교류 절연파괴강도 및 열화인자의 변화를 요약한 것이다.

실리콘 처리후 3개월 정도 경과한 시료에 대해 분석한 결과, 실리콘 처리 전·후의 교류 절연파괴강도

가 거의 변하지 않은 것으로 나타났다. 이는 실리콘 처리후 케이블이 운전상황이 아닌 실내에 보관되어 실리콘 액의 확산이 미흡했기 때문인 것으로 생각된다. 하지만 현장에서는 전류에 의한 주열열이 발생하므로 절연성능 회복도 빠른 시간에 이루어 질 수 있을 것으로 사료된다.

6개월 경과 후, 3상 모두 열화인자의 향상을 보였으며 A, B상은 시험중 단말부위 파괴로 실험값을 구하지 못했으나, C상의 절연파괴강도로 볼 때 60[kV]에서 90[kV]로 절연파괴강도의 향상이 있음을 알 수 있다.

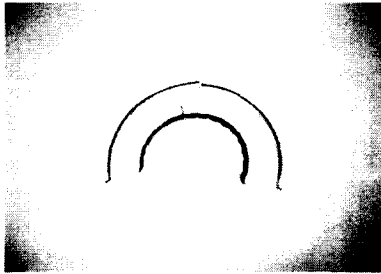


그림 8. A상의 칼썬집 및 절연파괴 지점  
Fig. 8. Knife-cut defect of phase A and point of breakdown

12개월 경과한 시료중 A상은 장기간 옥외에 보관중에 외적 요인에 의해 그림 8과 같이 절연층 손상이 발생했고, 절연파괴시험을 시작하자마자 30[kV]에 결합부위에서 절연파괴되었다. 그러나 완화전류 측정에 의한 결과는 1.908로서 비교적 높은 절연파괴강도를 예견하고 있어 완화전류 측정방법이 케이블 절연층의 전체적인 절연상태평가는 가능해도 국부적인 결합의 검출은 불가능한 것으로 나타났다. 그리고 B상의 열화인자는 초기상태보다 약간 높게 나타나 실리콘 처리에 의한 효과를 확인할 수 없었다. 이는 B상이 처음부터 수트리가 거의 존재하지 않는 케이블이었기 때문인 것으로 판단된다. C상은 다량의 수트리와 실리콘 액의 효과적인 결합에 의해 절연파괴강도가 상당히 증가한 것으로 나타났으며, 열화인자 또한 이에 상응하게 나타났다. 시료수의 제한으로 절연파괴강도와 열화인자의 상관관계 정확히 도출하기는 어려운 상태지만, 단말파괴를 제외한 결과를 바탕으로 상관관계는 그림 9와 같을 것으로 생각된다.

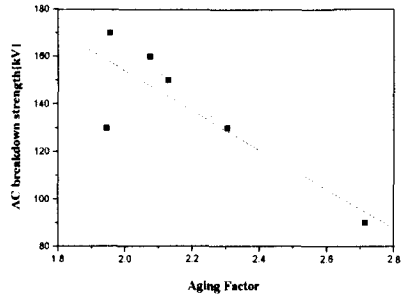


그림 9. 절연파괴강도와 열화인자의 상관관계  
Fig. 9. The correlation between AC breakdown strength and aging factor

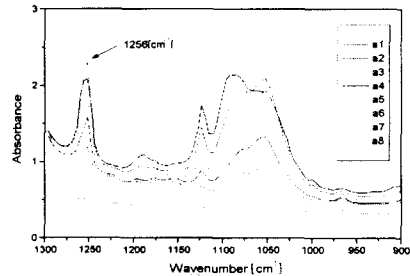


그림 10. A상의 화학구조 (12개월 경과)  
Fig. 10. Chemical structure of phase A (12 months later)

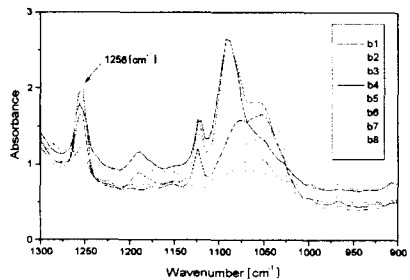


그림 11. B상의 화학구조 (12개월 경과)  
Fig. 11. Chemical structure of phase B (12 months later)

실리콘 액의 확산깊이를 분석하기 위해 12개월 경과후 적외선분광기를 이용하여 각 상 절연층의 화학구조를 분석한 결과가 그림 10에서 그림 12와 같이 나타났다. 이들 스펙트럼에서 Si-C 결합을 나타내는 1256[cm<sup>-1</sup>] 피크를 대상으로 실리콘 액의 농도를 분석한 결과, 3개월 경과후 그림 13과 같이 A상과 B상은 약 2.4[mm], C상은 약 0.6[mm] 확산된 것으로 나

실리콘 처리에 의한 수트리 열화케이블의 절연회복

타났고, 6개월 경과후 그림 14와 같이 중간부분에서 실리콘 액의 농도가 높게 나고 끝부분에서의 농도는 낮지만 3상 모두가 절연층 7.4[mm] 지점까지 실리콘 액이 확산된 것으로 나타났다.

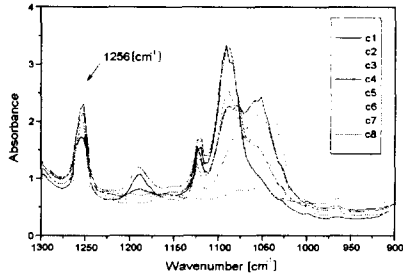


그림 12. C상의 화학구조 (12개월 경과)  
Fig. 12. Chemical structure of phase C (12 months later)

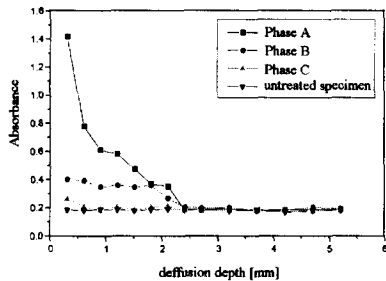


그림 13. 실리콘 액의 확산거리 (3개월 경과)  
Fig. 13. Diffusion depth of silicone fluid (3 months later)

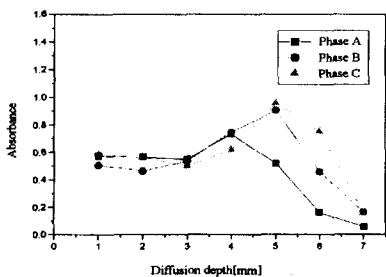


그림 14. 실리콘 액의 확산거리 (6개월 경과)  
Fig. 14. Diffusion depth of silicone fluid (6 months later)

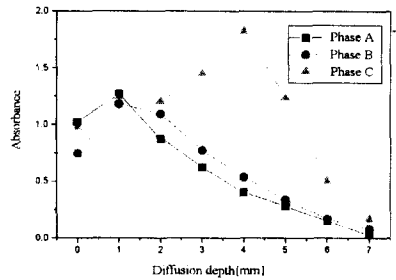


그림 15. 실리콘 액의 확산거리 (12개월 경과)  
Fig. 15. Diffusion depth of silicone fluid (12 months later)

한편 절연층 중간부분에서의 실리콘 액의 농도가 높게 나타나는 것은 대부분의 수트리가 절연층 가운데 부분에 집중되어있고 이 부분에 존재하는 수트리에 의해 실리콘 액이 트랩되어 있기 때문인 것으로 생각된다. 실리콘 처리 실시 12개월 경과 후 그림 15와 같이 A, B상은 실리콘 액이 전체적으로 균일하게 확산되고 있는 것으로 보이나, C상은 다량의 수트리와 결합하여 확산속도가 떨어진 실리콘 액이 절연층 가운데 부분에 트랩된 상태로 존재하는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 논문은 수트리 열화된 지중전력케이블의 절연 성능 향상을 위해 개발된 실리콘 처리의 성능평가를 위한 것으로서 10년의 운전이력을 가진 수트리가 심각한 상태이며, 다수의 국내 케이블에서 나타나는 가교도, 보이드 등의 문제점을 가진 불량한 실제 케이블을 시료로 하여 실리콘 처리에 따른 절연성능 향상 정도를 분석하였다.

실리콘 처리전 케이블은 수트리 길이가 가장 길고 다량의 보이드가 존재하는 C상의 절연과피강도가 60[kV]로 가장 낮으며, B상은 160[kV]로 비교적 견전한 상태인 것으로 나타났으며, 완화전류측정에 의한 열화인자 역시 A상과 C상은 측정이 불가능할 정도로 열화가 심한 상태임을 알 수 있었고, B상은 2.075로 요주의 상태인 것으로 나타났다. 1년 경과후 다량의 수트리가 존재하는 C상은 수트리에서 수분과 실리콘 액이 효과적으로 결합해 절연과피강도가

170[kV]로 증가했으며, 열화인자 또한 1.955로 실리콘 처리에 의해 수트리 열화 케이블의 절연성능 향상 효과가 확인되었다. 하지만 수트리가 거의 존재하지 않았던 B상의 절연과외강도는 거의 변화가 없는 것으로 나타나 수트리가 없는 건전한 케이블의 실리콘 처리는 향후의 수트리 성장 억제 효과는 있을지 모르지만 그 자체로 절연성능을 향상시키지 않는 것으로 나타났다. 또 완화전류를 측정하는 방법은 케이블의 국부적인 결합검출은 불가능한 것으로 나타났다. 한편 케이블 도체 내부로 실리콘 액을 주입할 때 실리콘 액의 초기점도는 매우 낮고 도체온도에 의해 빠른 속도로 절연체 내부로 확산되지만 확산도중 절연층내의 수트리와 화학반응이 이루어지면서 실리콘 액의 점도는 높아지고 확산속도는 저하된다. 이 때문에 실리콘 처리후 절연층내의 실리콘 액 농도는 수트리 밀도가 가장 높은 절연층 가운데 부분에서 높게 나타나며, 절연층내의 수트리 밀도에 따라 절연층 끝부분까지 실리콘 액의 균일한 확산이 이루어지는데 시간 차이가 있음을 알았다.

**참 고 문 헌**

- [1] Hallvard Faremo, "Rehabilitation of Water Tree Aged XLPE Cable Insulation", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp.188-192, 1994.
- [2] P.R.Nannery, "Extending the service life of 15kV polyethylene UFD cable using silicone liquid", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4 No. 4, pp.1991-1996, 1989.
- [3] C.J.Certini, "Dielectric Enhancement Technology", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 10 No.2, pp.17-22, 1994.
- [4] M.Beigert, "Isothermal relaxation current measurement, a destruction free tracing of pre-damage at synthetic compounds", ISH, pp.59-62, 1991.
- [5] 김상준 외, "배전케이블 수명예측 기준결정 및 열화진단 시스템 구축", 전력연구원, 1997.
- [6] 서광석 외, "XLPE 전력케이블 분석강좌", 기초전력공학 공동연구소, 1997.

**◇ 저자소개 ◇**

**김 주 용 (金周勇)**

1969년 9월 27일생. 1992년 경북대 공대 전기공학과 졸. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸(석사). 현재 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.

**송 일 근 (宋一근)**

1961년 3월 3일생. 1984년 숭실대 공대 전기공학과 졸. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸(박사). 현재 전력연구원 전력계통연구실 Project Leader/선임연구원.

**한 재 홍 (韓在鴻)**

1967년 10월 5일생. 1990년 단국대 공대 재료공학과 졸. 1992년 동 대학원 재료공학과 졸(석사), 1996년 고려대 대학원 재료공학과 졸(박사). 현재 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.

**이 동 영 (李東寧)**

1962년 7월 19일생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸(석사), 1995년 동 대학원 전기공학과 졸(박사). 현재 위덕대학교 전기공학과 교수.

**문 재 덕 (文在德)**

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 물리학과 졸. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸(석사), 1982년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸(박사). 현재 경북대 공대 전기공학과 교수.