

화상처리에 의한 XLPE의 트리열화관측

논문
8-5-2

Tree Aging Observation of XLPE by Image Processing

임장섭*, 김태성*, 구활본*, 吉村 昇**

(Lim Jang-Seob*, Kim Tae-Seoung*, Gu Hal-Bon*, Noboru Yoshimura**)

Abstract

For the observation of treeing, a visual measurement with an optical microscope has been used to explain breakdown mechanism in high-voltage systems.

The conventional directed visual method of tree aging observation is difficult to measure in short-time processing, and it is impossible to analyze on tree degradation area, progressed direction, tree pattern, etc. By using an image processing technique, the tree features which appear immediately after the tree initiation as well as changes in the configuration of the tree can be easily measured and observed than using the conventional visual methods.

In this paper, we have developed a tree observing system by using image processing for tree growth, degradation area and other treeing progress. As an experimental result, it can be concluded that the image processing method is a more effective alternative than directed visual observation method. As a matter of fact, it is possible to record the image of tree propagation immediately after its first appearance and explain the characteristics of tree growth from the computer-processing image.

Key Word(중요용어) : Breakdown Mechanism(절연파괴 메카니즘), Tree Aging Observation(트리 열화관측), Conventional Visual Method(기존의 시각적 관측법), Image Processing(화상처리), Tree Propagation(트리진전),

1. 서 론

전력용 케이블과 기기의 절연시험 및 열화진단 기술은 고전압 전력전송 시스템의 승압으로 그 연구의 필요성이 요구되고 있다^{1,2)}. 절연재료는 열화에 따라 트리현상이 발생되고 이때부터 열화가 급진전된다. 트리의 발생을 고찰하면 절연재료의 열화현상을 해석 및 진단을 할 수 있다.

트리열화 진단기술은 트리의 발생으로부터 절연파괴까지의 열화과정을 고찰하여 절연체의 절연파괴 메카니즘을 해석하고^{3,4)}, 열화단계 진전을 트리의 성장 및 패턴으로 판단하는 진단기술이다. 특히 화상처리에 의한 트리열화 연구는 열화단계를 시각적으로 제공하기 때문에 절연능력을 평가하는데 강점을 갖고 있다⁵⁾.

일반적인 열화진단 방법은 시료의 트리를 단계별로 조사하여 열화과정을 판정하고 있다. 그러나 전기적 트리현상은 재현성이 낮고 관측기준을 정하기가 다소 어렵다⁶⁾. 예를 들면 "트리 발생시간(Tree initiation time)"은 전극으로 부터 10 - 100 μm 정도가 진전하였을 때로 채택하고 있다. 따라서 명확한 트리 발생시간 및 성장을 관측하기 위해서는 실시간 처리(Real-time processing)가 필요하게 되고, 트리의 정확한 관측은 화상처리를 이용한 연속적인 기록과 데이터 처리가 필수적이다⁷⁾.

본 연구에서는 상기와 같은 문제를 해결하기 위해서 트리 화상처리 프로그램을 개발하여 화상처리 기법의 문제점, 즉 화상처리시의 노이즈, 필터링 등의 영상처리를 하였다. 그래서 절연재료의 트리 열화현상을 실시간으로 계속 및 진단할 수 있는 관측시스템을 구축하고, 전기트리를 화상처리하여 트리관측의 정확도 및 신뢰성을 높일 수 있는 새로운 관측방법을 실현하였다.

2. 시료제작 및 실험방법

* : 전남대학교 전기공학과

** : 日本 秋田大學 전기전자공학과

접수일자 : 1995년 2월 28일

심사완료 : 1995년 7월 6일

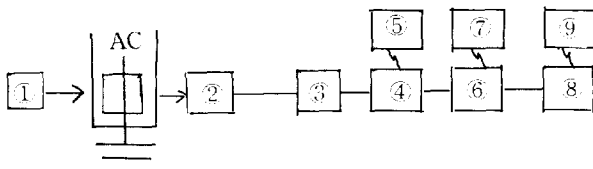
2-1. 시료 제작

본 연구에서 사용된 절연재료는 다음과 같이 제작하였다. 시료는 밀도 0.92의 가교폴리에틸렌(XLPE: 12×12×3[mm])을 이용하였다. 전기로 내에서 130[°C]까지 상승시키고 15분간 유지한 후 전극을 삽입시켰다⁹⁾. 침전극은 선단곡률반경 5[μm], 선단각도 30°의 오후라 트리전극(일본 오후라 보석정기공업주식회사)을 이용하였으며, 접촉저항의 감소를 위하여 샌드페이퍼(#100,#400,#1000)를 순차적으로 이용하여 연마하였다. 침전극과 평판전극의 거리는 2.0 ± 0.05[mm]로 제작하였다.

2-2. 실험방법 및 화상처리 시스템

최초의 데이터 입력을 위하여 1분간은 전압을 인가하지 않았고, 승압속도 500[Volt/sec]로 목적한 전압까지 상승하였다. 트리관측실험의 전압범위는 8[Kv]에서 16[Kv]로 하였다.

입력된 화상데이터를 화상보드를 이용하여 디지털 화하고 트리 진전특성을 고찰하였다. 화상처리보드의 화소수는 256×256 이며 흑백농도는 256 단계이다.



- ① 광원
- ② 현미경
- ③ CCD 카메라
- ④ VTR
- ⑤ 모니터 1
- ⑥ 화상처리보드
- ⑦ 모니터 2
- ⑧ 컴퓨터
- ⑨ 모니터 3

그림 1. 실험장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of experimental system

그림 1은 트리관측실험의 전체 개략도이다. 시료의 침전극에 교류전압을 인가하고 하부의 평면에 평판전극을 접촉시켰으며, 이때의 하부전극이 접지면과 연결된다. 시료하부와 평판전극과의 접촉을 양호하게 하기 위하여 도전성 은페인트로 도포하고 실리콘유 내에서 실험을 하였다⁹⁾.

그림 1에서 ①은 시료의 트리부분의 명암을 조절할 수 있는 광원이며 시료의 투명도에 따라 시험초기에 적절히 조절하였다. ②는 현미경 부분으로 트리관측시 배율을 40배 정도로 하였다. ③은 CCD부분으로 현미경 CCD어댑터에 부착하여 사용된다. CCD

의 해상도는 512×512이며 흑백출력을 갖고 있다. 4는 VTR부분으로 CCD로부터 입력되는 화상의 전과정을 기록하였다. 5는 VTR용 모니터이며, 6은 화상처리보드이다. 7, 8 및 9는 컴퓨터 및 모니터이다.

3. 화상처리 프로그램

본 연구에서 작성된 트링 화상처리 프로그램의 주요단계는 다음과 같은 과정으로 구성되어졌다.

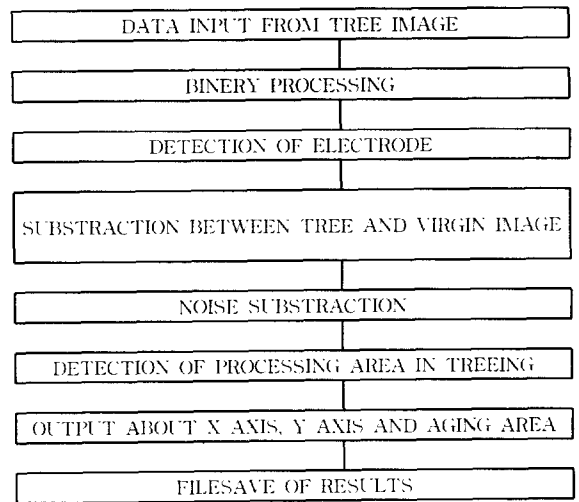


그림 2. 트리화상 프로그램의 처리단계.

Fig. 2. Processing level of tree-image programing.

그림 2는 화상처리 트리의 화상처리 과정이다. 첫번째 단계는 화상처리보드를 이용하여 트리화상을 디지털 데이터로 입력받는 과정이다. 입력데이터의 히스토그램 분포에서 이진화 임계값을 구하고 흑백 2진 데이터로 변환한다. 트리의 시작점을 침전극의 선단부 부터로 가정하고 최초의 화상에서 전극의 끝부분을 검출한다. 전극의 선단부 검출의 예는 사진 1에 예시하였다.

두번째 단계는 트리진전의 화상을 구성하기 위하여 전극제거 과정과 화상노이즈 제거를 행한다. 이 두가지의 과정을 통하여 전극이 제거되는 트리만의 화상 데이터를 얻을 수 있다.

세번째 단계는 트리의 X축진전과 Y축진전을 검출하는 과정을 거친 후, X-Y영역내에서 열화면적에 관한 파라메타를 구한다.

본 실험의 화상처리를 통한 트리검출은 20-30[μm]이다. 최초의 선단부 검출에서 얻어지는 좌표로부터 X축성장 및 Y축성장 영역을 검출하고, 검출된 X-Y

의 직사각형 영역에서 열화면적을 얻어낸다. 따라서 미세한 진동으로 인한 화상노이즈나 불순물의 존재에 따른 노이즈를 트리 X-Y진전영역내로 한정함으로써 최소화 할 수 있다.

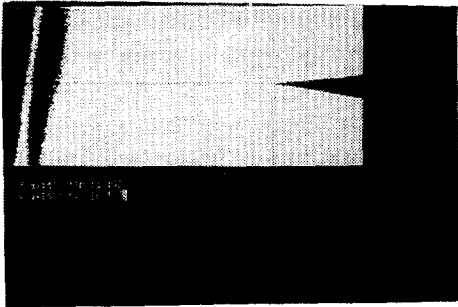


사진 1. 침전극 선단부 검출
Photo.1. Detection of the tip point at needle-electrode

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 절연재료의 열화메커니즘에 대한 연구분야로 트리를 연구대상으로 하였다. 열화과정의 진화과정을 기록하면서 화상처리를 하였다. 화상처리를 통한 트리의 성장길이, 성장면적 및 트리형태에 대하여 고찰하였다.

4-1. 인가전압과 트리형태에 관한 고찰

인가전압에 대한 트리의 열화진전특성을 고찰하기 위하여 8[Kv]부터 16[Kv]까지의 전압을 인가하고, 각각의 트리 발생형태를 표 1에 작성하였다.

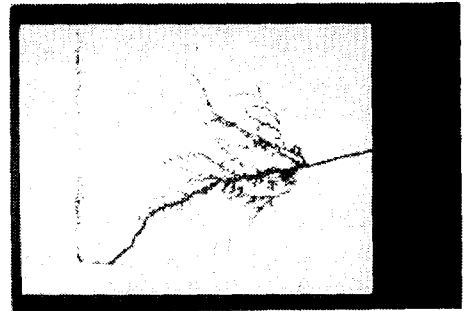
표 1. 인가전압에 따른 트리패턴
Table 1. Patterns of treeing according to applied voltage

인가전압 [kV]	트리형태	인가전압 [kV]	트리형태
8	Tree 형	13	Chestnut 형
9	Tree 형	14	Chestnut 형
10	Bush 형	15	Chestnut 형
11	Bush 형	16	Chestnut 형
12	Chestnut 형		

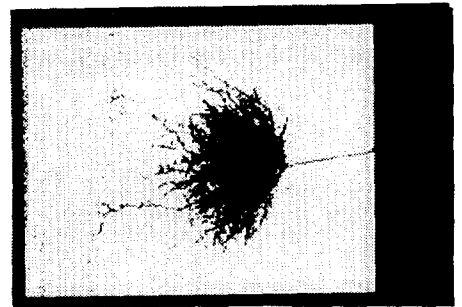
상기의 인가전압의 크기에 따라 발생하는 트리의 형태가 결정된다. 특히 트리개시전압 미만에서는 트리형의 트리가 관측되고 트리개시전압 이상에서는 부시형 또는 체스트너트형 트리가 발생하였다. 제작

한 시료에서 트리개시전압은 약 9.5 [Kv]이다.

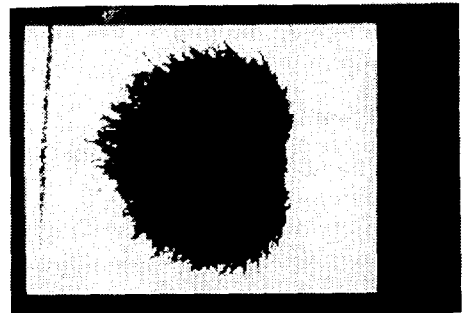
각각의 트리의 발생 형태는 재료의 열화진전패턴에 영향을 미친다. 특히 트리개시전압 이하에서는 트리성장이 전극축의 수평방향으로 진전하고 있으며, 트리열화면적과 같은 성장은 다른 형태의 트리보다 적었다.



(a) 트리형(8[KV])
(a) Tree-type(8[KV])



(b) 부시형(10[KV])
(b) Bush-type(10[KV])



(c) 체스트너트형(14[KV])
(c) Chestnut-type(14[KV])

사진 2. 인가전압에 따른 트리의 형태.
(a) 트리형(8[Kv]) (b) 부시형(10[Kv])
(c) 체스트너트형(14[Kv])

Photo.2. Tree-type according to applied voltage
(a) Tree-type (8[Kv]) (b) Bush-type (10[Kv]) (c) Chestnut-type (14[Kv])

트리의 발생형태는 인가전압이 8[KV] 및 9[KV]에서는 트리형태의 진전이 관측되고, 12[KV] 이상에서 체스트너트형 트리가 관측되었다. 부시형은 트리형과 체스트너트형의 중간 형태로 10[KV]에서 11[KV]까지의 전압을 인가할 때에는 부시형태가 관측되고, 부시형 트리의 성장특성은 침전극부분에서는 체스트너트형의 성장과 같은 진전이 관측되지만 침전극으로부터 먼부분은 트리형에 가까운 그룹이 관측되었다.

사진 2(a)는 인가전압 8[KV]의 트리성장으로 절연 파괴 직전의 화상이며 트리의 진행이 침전극에서 평판전극으로, 즉 X축 방향으로의 진전이 주된 과정임을 알 수 있었으며, (b)와 (c)에서는 Y축 방향의 진전 및 열화면적의 증가가 관측되었다.

4-2. 시료의 트리관측

절연체의 트리를 시각적으로 관측하는 것은 트리의 열화면적등과 같은 정량적 해석이 어렵다. 그러나 화상처리에 의한 관측의 경우에는 트리의 성장을 화상 데이터로 입출력하므로 여러 가지 데이터처리 및 정량적인 분석이 가능해진다. 이 절에서는 트리의 성장길이에 대하여 조사하고 트리의 발생형태, 초기영역과 후기영역 비교 및 성장패턴을 고찰하였다.

트리의 진전속도 및 절연파괴시간은 하부전극의 형태, 침전극의 선단형태 및 XLPE 재료내부 형태 등의 복잡한 진전 파라메타를 갖고 있기 때문에 평균치를 구하기가 어렵다. 그러나 인가전압에 따른 트리의 성장패턴이 유사하므로 제작조건을 일정하게 유지하면 실험결과의 일치성을 기대할 수 있다.

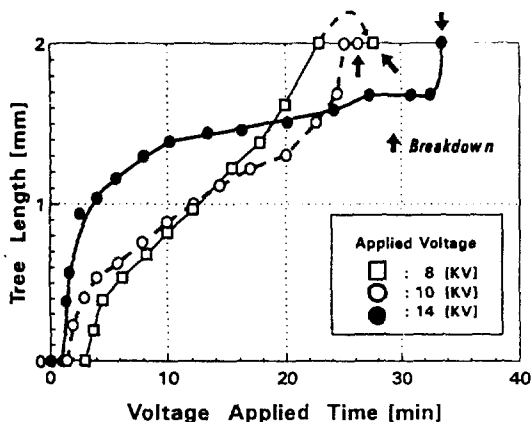


그림 3. 인가전압에 따른 트리성장
Fig. 3. The propagation of tree according to applied voltage.

그림 3은 8, 10 및 14[KV]의 전압을 인가한 트리

실험의 한 예이며, 관측된 트리중에서 대표적인 3종류의 성장을 표시하였다. 유사한 트리패턴에서의 성장속도는 인가전압에 비례하는 특성을 갖고 있지만, 트리의 패턴에 따라 다르게 나타난다. 즉 절연파괴까지의 시간의 단순한 비교결과를 보면 부시형 트리보다 상대적으로 인가전압이 낮은 트리형이 먼저 절연 파괴에 이르는 경우가 관측된다. 따라서 그림 3은 절연파괴까지의 시간이 유사한 경우를 선택한 결과이다. 그것은 트리개시부터 절연파괴까지의 트리성장 메카니즘을 비교하기 위함이다.

모든 트리에서는 트리개시 후에 두 가지 진전 특성으로 구분할 수 있다.

첫째는 트리진전 초기영역으로, 후반부의 트리진전보다도 성장속도가 빠르다.

둘째는 초기영역 이후의 진전특성이다. 이러한 2가지 영역은 트리진전의 모든 실험에서 관측할 수 있으며, 2가지 영역의 성장 변화율은 인가된 전압에 따라 상이하게 관측되었다.

트리형 트리의 절연파괴과정에는 상기의 2가지의 과정외에도 트리가 하부 평판전극에 도달한 후에 절연파괴까지의 시간지연이 관측된다. 즉 그림 3에서는 절연파괴직전의 2분전부터 이러한 과정이 관측되는 것은 트리체널이 어느정도의 성장된 후 완전한 절연 파괴가 일어난다. 현상으로 고찰되고 특히 세선화된 트리의 경우에는 절연파괴까지의 시간지연이 길어진다.

10[KV]를 인가한 시료의 트리성장은 초기영역의 급격한 트리성장 특성이 전압인가 후 3분까지 관측되고 그 후에는 트리성장의 기울기가 줄어드는 것이 관측되었다. 트리형 트리와는 다른 Y축방향의 진전과 트리열화면적의 증가가 관측되었다.

인가전압이 각각 12, 14 및 16 [KV]일 때의 트리의 성장패턴은 체스트너트형으로 전압인가 초기에 급격히 증가하는 패턴을 보여준다. 그러나 초기영역 이후에는 트리의 X축방향의 성장길이가 트리형이나 부시형보다 느린 특성이 관찰되었다.

트리개시전압 이전에서는 트리의 선단부분이 세밀한 트리형이 관찰되고 트리형은 X축 방향의 진전이 주된 열화과정이다. 고전계에서는 체스트너트형 트리가 관측되고 트리의 성장 방향이 X축, Y축 및 열화면적 등에서 동시에 증가하였다.

트리형태에 따라 열화진행 메카니즘이 상이한 이유는 전계의 세기에 의존하기 때문이다. 즉 저전계에서는 트리의 선단부가 열화진행의 주된 부분으로 추정된다. 트리체널의 트리선단에 전계가 집중되고 이 전계의 집중은 새로운 트리의 성장을 유도한다.

트리형에 비교하여 상대적으로 고전계인 체스트너

트리형 트리는 트리개시전압 이상에서의 높은 스트레스가 재료의 국부적인 절연파괴 및 트리체널의 확대가 유도되는 것으로 판단된다. 따라서 X축은 물론 Y축까지도 트리체널의 진전이 가능하다. 이러한 국부적인 트리체널의 성장은 절연파괴의 가능성이 큰 영역으로 진전되는 메커니즘으로 고찰된다. 후반부의 열화성장 길이에 관한 부분은 4-4절의 트리성장 모델에서 고찰하였다.

4-3. 화상처리 영역관측 및 프로그램 결과

사진 3은 화상처리 프로그램에 의한 트리성장의 인식을 실행한 예이다. 사진에서 보이는 4개의 직선은 트리의 진전된 범위를 보여주고 있다. 수평방향의 2개의 직선은 Y축방향의 트리성장 범위이고, 수직축 방향의 직선은 X축으로의 트리성장 범위이다. 특히 수직축의 오른쪽 직선은 침전극의 끝 부분으로 전압을 인가하지 않은 최초의 화상(사진1)에서 인지된 좌표에서 얻어진다.



사진 3. 화상처리에 의한 트리의 성장범위 인식.
Photo. 3. Recognition of growing area of tree by image processing

4-4. 트리의 성장 모델

트리의 성장 특성 및 절연파괴까지의 시간이 상이하기 때문에 트리성장을 비교하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 트리의 성장을 트리패턴으로 구분하고 성장모델을 비교조사하였다. 전압인가 시각부터 절연파괴 시각까지를 100[%]의 인가시간퍼센트(Applied Time Percent)으로 하고 각각의 트리진전 단계를 구분하였다.

그림 4은 트리의 패턴에 따른 트리성장 모델이며, 트리성장패턴을 인가시간 퍼센트로 보정하여 비교하였다. 트리의 초기 진행과정(0-10%)에서는 체스트너트형의 트리가 가장 빠른 성장속도를 갖고 있지만, 후반부의 열화진행속도는 트리형 트리가 가장 빠른 트리성장률(Tree Length/Applied Time Percent)을

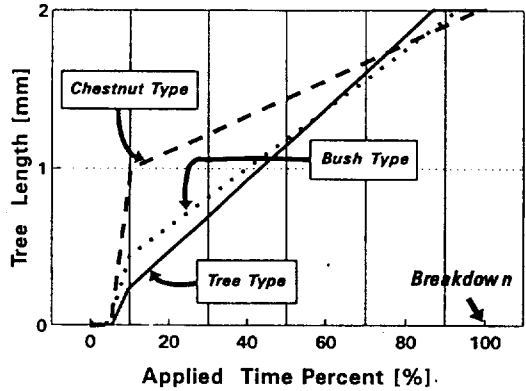


그림 4. 트리진전 모델.
Fig. 4. The model of tree progressing

갖고 있다. 이것은 트리형의 트리가 침전극의 X축방향 성장을 하는 반면 부시형이나 체스트너트형 트리는 Y축방향 및 면적의 증가가 함께 일어나는 결과임을 알 수 있다.

트리의 성장 및 패턴에 대한 정확한 메커니즘은 아직까지 명확하지 않지만, 일반적으로 유기고분자재료에서 잘 관측되고 있으며 기술적인 결함부분에서의 국부적인 전계집중이 원인이 된다. 경우에 따라서는 국부적인 전계의 세기가 100 [Kv/mm]인 경우도 있으나, 평균치는 10에서 20[Kv/mm] 정도로 알려져 있다. 따라서 국부적인 전계집중을 개선하려는 노력이 요구된다.

4-5. 트리의 X, Y축 및 열화면적에 관한 고찰

위에서 전기적 트리가 인가전압에 따라 절연파괴까지의 시간 및 트리성장 패턴을 다르다는 열화과정을 관측할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 3가지의 트리 성장패턴, 즉 X, Y축방향 및 열화면적의 성장을 화상처리를 통하여 계측하였다.

그림 5는 인가전압 8, 10 및 14[Kv]에서 계측된 X, Y축방향 및 열화면적 성장을 도시하였다.

그림 5(a)의 인가전압 8[Kv]에서의 트리성장 패턴은 X축의 성장이 선형적으로 증가하는 형태로 부시형이나 체스트너트형에서 관측되는 완만한 성장보다 트리성장률이 빠른것에 비하여 열화면적의 증가는 크지 않았다. Y축성장이 관측되지만 세선화된 트리임으로 면적의 증가가 따르지 않는 것이다. 사진 3에서의 열화된 트리의 화상의 정량적인 결과를 관측할 수 있었다.

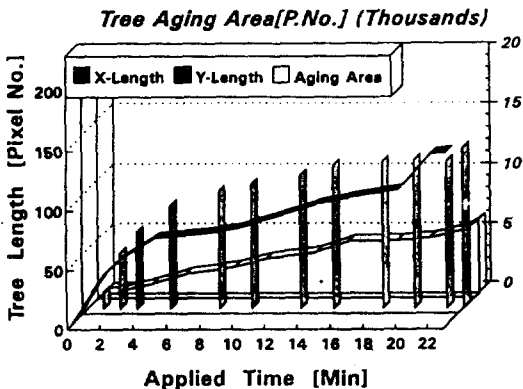
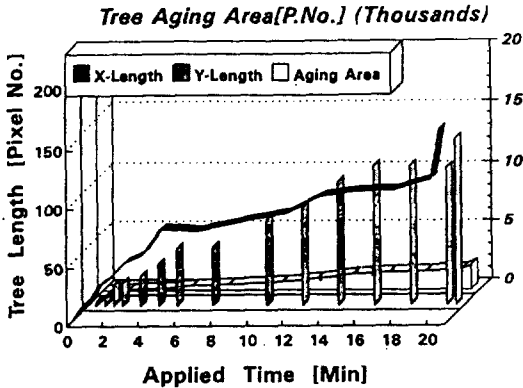
그림 5(b)는 인가전압 10[Kv]에서의 트리성장 패턴으로 X축방향의 트리진전이 약 3분후에 포화에 가까운 완만한 트리성장률이 관측되고 있으나, Y축방

향의 증가 및 열화면적의 증가가 일어남을 알 수 있다. 사진 4에서 관측되듯이 침전극부분에서는 체스트너트형에 가까운 형태가 되고 평판전극쪽에서는 트리형과 같은 트리진전이 관측된다. 또한 부시형의 트리성장 패턴은 Y축 및 열화면적의 증가단계에서도 트리형과 체스트너트형의 중간형태를 갖고 있다.

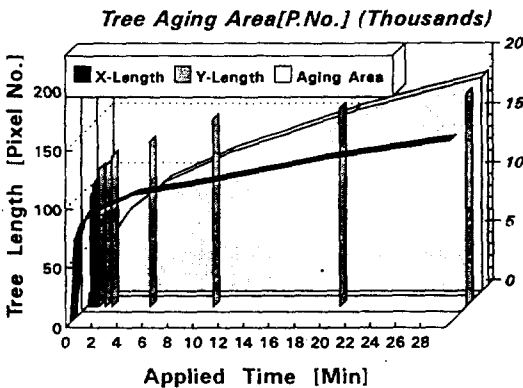
그림 5(c)는 인가전압 14[Kv]에서의 트리성장 패

그림 5. 트리의 X, Y축 및 열화면적 진전. [8 Kv]
 (a) " 8 [Kv]"에서의 진전패턴
 (b) " 10 [Kv]"에서의 진전패턴
 (c) " 14 [Kv]"에서의 진전패턴

Fig. 5. The progressing properties of X-axis, Y-axis and aging area for treeing
 (a) Pattern of progressing in " 8 [Kv]"
 (b) Pattern of progressing in "10 [Kv]"
 (c) Pattern of progressing in "14 [Kv]"



(b) " 10 [KV]"에서의 진전패턴.
 (b) Pattern of progressing in "10 [KV]".



(c) " 14 [KV]"에서의 진전패턴.
 (c) Pattern of progressing in "14 [KV]".

턴으로 열화초기에 X축방향의 성장이 거의 완전한 포화영역에 이르는것이 관측되었고, 이때는 열화면적이 증가하는 것을 알 수 있었다.

이러한 트리성장 패턴의 차이는 인가되는 전계에 따라서 초기에 성장 패턴이 결정되는 것을 관측할 수 있었다. 즉 절연체의 내부에 존재하는 결함으로 인한 트리진전은 결함에서 형성되는 전계의 세기가 좌우하며, 재료의 절연내력 및 마이크로보이드의 존재에 따라서 진전되는 것으로 추정된다. 또한 열화초기에 발생된 트리는 전 열화과정동안 유사한 트리진전 패턴을 갖고있음을 관측할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 절연재료의 전기트리를 연구대상으로 하였으며, 화상처리를 통한 트리의 성장길이, 성장면적 및 트리형태에 대하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 트리열화의 진행은 인가전계에 따라 트리의 성장 패턴이 결정되고, 초기에 형성된 트리패턴과 성장중의 트리패턴이 같다.
2. 트리형 트리의 주된 열화진행은 X축방향의 진전이고, 체스트너트형 트리는 X 및 Y축방향의 열화면적이 주된 열화진전 특성이 관측되었다.
3. 트리가 하부평판까지 완전히 진행한 후 절연과피까지는 시간지연이 관측되는데, 이것은 트리체널에서의 트리의 도전성을 증가시키는 도전화과정으로 추정된다.
4. 인가된 전압에 따른 트리성장패턴을 인가시간 페센트로 보정하여 비교한 결과, 트리의 초기 진행과정에서는 체스트너트형의 트리가 가장 빠른 성장속도를 갖고 있지만, 후반부의 열화진행속도는 트리형 트리가 가장 빠른 트리성장률을 갖고 있다.

화상처리 관측시스템은 기존의 관측법보다도 정량적인 측정이 가능하고 정성적인 해석도 가능하였다.

따라서 화상처리를 이용한 새로운 트리 관측방법은 복잡한 구조를 갖는 재료의 열화진단 기법에 응용할 수 있고 앞으로도 지속적으로 연구되어야 한다.

참 고 문 헌

1) S.S.Bamji, "Threshold Voltage for Electrical Tree Inception in Underground HV Transmission Cable", IEEE. Trans. on Electrical Insulation. Vol.27 No.2, pp.402-404, 1992.
 2) 김태성, "마이카-에폭시 복합재료의 계면에서의 절연파괴특성", 한국전기전자재료학회지, 제5권, 제2호, pp.224-236, 1992.
 3) L.A.Dissado, "The Statistics of Electrical Tree Inception", IEEE. Trans. on Electrical Insulation. Vol.25 No.4, pp.660-666, 1990.
 4) 김태성, "전력용 기기의 예방진단을 위한 부분방전 측정", 한국전기전자재료학회지, 제7권 제1호, pp.42-48, 1994.
 5) J.C.Halpin, "Effects of Environmental Factors

on Composite Materials", AFML-TR-67-423, 1969
 6) N.Shimizu, "Electrical Tree and Deteriorated Region in Polyethylene", IEEE. Trans. on Electrical Insulation. Vol.27 No.3, pp.513-518, 1992.
 7) N.Yoshimura, "Diagnostics of Treeing Degradation by Image Processing", IEEE. Trans. on Electrical Insulation. Vol.26 No.2, pp.314-317, 1991.
 8) 김태성, "해저케이블의 열화진단을 위한 트리잉의 화상처리", 대한전기학회 하계학술대회, 1994. 7. 22. pp.477.
 9) T.S.Kim, " The Partial Discharge at Interface Layer", '92 ACED, Nov. 1992, pp. 160-163.

※ 본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음.

저자소개

임장섭



1967년 1월 19일생. 1989년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 2월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 2월 동 대학원 전기공학과 수료(박사과정). 1994년 3월-현재 일본 아키타대학 전기전자공학과 연구생.

구할본



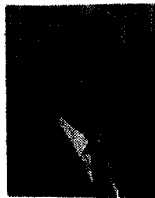
1951년 10월 24일생. 1974년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1976년 2월 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 3월 일본 Osaka대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1993년 6월 - 8월 일본 Osaka대 파견교수. 현재 전남대학교 전기공학과 부교수.

김태성



1935년 11월 29일생. 1959년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업. 1981년 2월 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1983년 7월 일본 청산대학원대학 전기공학과 연구교수. 1989년 7월 일본 동경공업대학 전기공학과 연구교수. 1995년 현재 전남대학교 전기공학과 교수.

吉村 昇



1943년 11월 5일생. 1969년 일본 아키타대학 전기공학과 졸업(석사). 1977년 일본 나고야대학 전기공학과 졸업(공학). 1969년 4월-현재 일본 아키타대학 전기공학과 교수. 1983년 4월-현재 일본 아키타대학 전기전자공학과 정교수. 1994

년 국제 소재물성학회 최우수 논문상 수상.