

영상 처리 방법을 이용한 트리 길이와 열화면적 측정

(Measurement of Electrical Treeing Length and Area by Use of Image Processing)

白灌鉉* · 金在煥**

(Kwan-Hyun Baek · Jae-Hwan Kim)

요 약

영상처리 방식을 이용하여 유기 절연재료의 트리잉 열화를 측정하였다. 전통적으로 目測(가시측정)에 의한 트리현상 변화를 관찰해 왔으나 트리형상 특징과 변화를 이해하는데 정확한 측정에 어려움을 만들었다. 영상처리 시스템을 이용한 트리 측정장치를 이용하여 트리진전길이와 열화면적들의 고유특성을 영상처리 시스템을 이용하여 목측치와 거의 대등한 결과가 나오는 트리진전 영상처리 자동계측 시스템을 구현하였다.

Abstract

In this paper, a system for measuring of treeing degradation in organic dielectric material by using image processing technics, is discussed. Traditionally, treeing is measured by visual method. It made difficulty to understanding for features and changes in the configuration of the tree growth. Using image processing system, it is made to describe the characters of the tree growth, specially length of tree and area of treeing degradation. From this image processing and visual measurement, the similar results were made, an automatic measurement system was made for configuration of the tree growth.

Key words : Image Processing(영상처리), Treeing Degradation(트리열화)

1. 서 론

종래는 고분자 절연재료의 트리잉 열화 기구를 설명하기 위해, 트리의 발생시간과 트리의 진전 등을 광학 현미경을 통하여 목측(눈)관찰로 구하는 방법을 채택하였었다.¹⁾ 그러나 영상처리 방법을 이용하여 트리의 진극측 방향과 그 방향에 대한 수평측 방향의 진전길이를 측정하여 트리열화

면적을 구하게 되었으며²⁾, 더 나아가 3차원 측정으로 트리 체적의 측정이 가능하게 되었다.⁴⁾ 이러한 영상처리 시스템을 이용하여 트리잉 자동계측 시스템이 확립될 수 있었다. 따라서 투명한 고분자 절연재료, 반투명한 고분자 절연재료 등에 영상처리 자동 계측 시스템이 좋은 장점을 갖는다.^{2)~4)}

과거에는 현미경을 통한 目測이나 사진에 의해

* 正會員 : 光云 大學校 電子工學科 博士 課程

** 正會員 : 光云 大學校 電氣工學科 教授·工博

接受日字 : 1993年 8月 30日

서 트리잉 파괴 양상을 절연파괴시까지 계속 일정시간 간격을 두고 목측 혹은 사진 촬영하는 불편함이 있었으나 이를 극복하기 위하여 본 연구에서는 트리잉 열화의 영상처리 기법을 통한 자동계측 시스템을 구성하여 고분자 절연재료인 저밀도 폴리에틸렌을 이용하여 절연 파괴시에 생기는 트리의 전극축 진전방향, 수평축 진전방향과 열화 면적을 영상처리로 구하고, 목측치와 비교 검토하였다. 영상처리 시스템의 영상처리용 센서로서 광학현미경에 CCD 카메라를 부착하여 사용하였으며, 전압 인가 후 트리의 영상을 광학현미경과 카메라를 통하여 PC에 장착된 영상처리기에 의해 디지털 영상을 획득하고 이 영상을 영상처리 기법을 통해 확산시키고 2 치화시켜, 전극축 및 수평축 방향으로의 신장진전길이와 트리의 열화면적을 구하였다. 그리고 트리의 전극축 방향과 수평축 방향의 트리 진전길이를 目測値와 비교하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1 시료

시료는 트리진전시 형상이 관측되는 재료로 사용해야 하므로 반투명 재료(한양화학제품)인 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) NO. 3의 펠릿을 사용하였다. 시편제조기(Hot Press)를 이용하여 120(°C), 150(kg·f/cm²)로 15분간 가열한 후, 10(°C)의 물에서 급냉하였다. 시편은 그림1과 같다. 침전극의 끝은 에칭법에 의해 선단 곡률반경 5(μm), 선단각도를 30°로 하였다. 침전극 선단부분과 하부 접지간의 간격은 2(mm)로 하였다. 전극

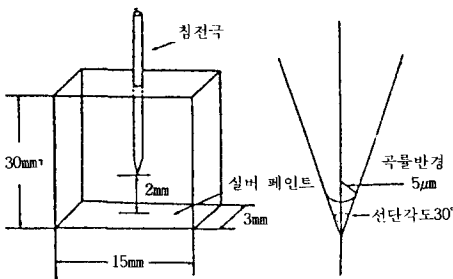


그림 1. 전극과 시료 구조

Fig. 1. Arrangement of electrode and sample

배치는 침-평판 전극으로 평판 전극은 시료가 접하는 면에서 접촉을 좋게하기 위하여 실버 페인트로 도포하였으며, 침전적 윗 부분은 에폭시 접착제로 봉하였다.

2.2 실험방법

전극 배치는 침대 평판 접지방식으로 하여 시료에 실버 페인트를 바른 부분이 평판 전극에 접하도록 하였다. 그리고 각 인가전압(9[kV], 11[kV])당 10개씩의 시편으로 실험하였으며 인가 전압이 높아지면 연면방전이 생기므로 실리콘 유속에 넣었다. LDPE를 9[kV], 11[kV] 2종류의 교류 전압을 연속 인가하여 절연 파괴를 일으킬 때까지 트리의 전극축방향과 수평방향에의 신장길이를 현미경을 통해 목측관찰하였으며 한편 영상처리 시스템을 이용하여 각 과전시간에 대한 트리의 영상을 이하 제 3 장의 영상처리 방법에 따라 트리의 전극축방향, 전극축에 대한 수평방향으로의 트리진전길이를 구했다. 또한 영상처리방법으로 트리의 열화면적을 구하였다.

3. 영상처리

3.1 영상처리 시스템

그림 2는 실험에 사용된 영상처리 시스템을 보인다. 이 시스템은 다음과 같이 동작된다. 즉 먼저 시료에 빛을 쬐이면, 광학 현미경과 카메라를 통하여 이 시료의 영상이 영상취득기에 입력된다. 그러면, 주 컴퓨터는 이 영상취득기에 입력된 트리영상을 처리하여 본 실험의 주 목적인 트리의 진행을 조사하게 된다. 여기서 영상취득기는 Image Technology사의 PCVISIONplus Frame Grabber을 사용하였으며, 주 컴퓨터는 386급 PC를 사용하였다. 실험시에 트리영상을 영상 모니터상에 선명히 나타내기 위해 광원의 광량을 조정하였다. 본 계측 시스템의 경우 현미경 배율은 20배로 하였으며, 전극침의 폭을 계기로 측정하니 0.55(mm)로 측정되어 이를 기준으로 트리영상의 한 화소(pixel)의 크기를 환산한 결과 한 화소의 면적이 12.5×12.5(μm²)로 계산되었다. 트리영상에 대해 여러가지 영상처리를 하여 트리의 진행 상황을 분석하고, 필요한 영상 및 데이터를

프린터에 출력시켰다.

본 실험에 사용된 영상처리기의 사양은 다음과 같다.

- (1) 1화면 : 512×480화소(240KB)
- (2) 1화소 : 256 휘도 레벨

3.2 영상처리

영상처리기에 의해 잡힌 영상에는 절연유내의 이물질 및 기타 원인에 의해 잡음이 포함된다. 잡음은 영상의 평활화에 의해 제거할 수 있다. 대략적으로 취득영상의 배경부분은 화소의 계조치가 비교적 높고(즉 밝고), 대상물(전극침 및 트리)부분은 화소의 계조치가 비교적 낮다(즉 어둡다), 따라서, 전체 영상에 대한 농도 히스토그램(histogram)을 구해보면 배경과 대상물에 대해 비교적 뚜렷한 두개의 산형태가 형성된다. 즉 바이모달(bimodal) 히스토그램을 얻을 수 있다. 그런데 배경부분과 대상물 부분의 階調值를 측정해보면, 이 두 부분의 계조치는 어떤 일정한 영역의 밝기를 가짐을 볼 수 있다. 이 특성을 이용하여 영상의 이 두 계조치 사이의 농도 분포를 스트레치(stretch)시킴으로써 배경과 대상물 사이의 명암부분을 더욱 세밀히함으로써 눈으로는 관측할 수 없는 변화를 측정 가능하게 한다. 그 결과 영상의 농도 히스토그램의 정보는 더욱 명확히 배경과 트리의 분리를 가능하게 해준다. 이 두개의 산을 근거로 하여 임계치를 결정함으로써 영상을 2치화 시킬 수 있다. 잡음을 제거하고 영상을 2치화 시킨후에 트리의 진행상황을 계측한다. 트리의 크기는 전극침의 실제 크기와 영상에서 전극침이 차지하는 화소수를 근거로하여 측정한다. 그림 3은 본 영상처리 과정의 흐름도를 보인다.

3.2.1 잡음제거

영상처리기에 의해 취득된 영상에는 시료를 감

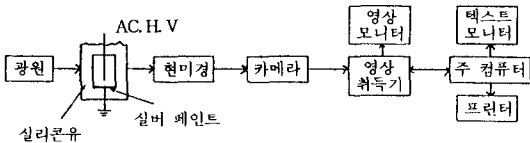


그림 2. 영상 처리 시스템
Fig. 2. Image processing system

싸는 절연유내의 이물질 및 실버페인트등의 缺陷 등의 원인으로 잡음이 혼입된다. 이 잡음을 제거하기 위해 본 실험에서는 메디안필터(median filter)를 사용하였다. 이 평활화방법에 의해 영상에 있는 작은 잡음을 제거되고, 전극침 및 트리내에 있는 작은 잡음들도 효과적으로 제거된다.

3.2.2 영상의 농도분포 스트레치

영상의 배경과 대상물의 각 계조치를 비교해보면, 이 두 부분은 각각 비교적 일정한 영역의 계조치부분에 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서 이 두 계조치 영역을 기준으로 그 사이를 스트레치시키면 배경과 대상물 사이의 농도 분포를 더욱 세분화가 되어 후속의 2치화에서 더욱 상세한 트리 부분을 얻을 수 있게 해준다.

3.2.3 2치화

영상의 농도 히스토그램을 보면 배경과 대상물은 비교적 뚜렷한 두 부분의 계조치를 갖는 분포

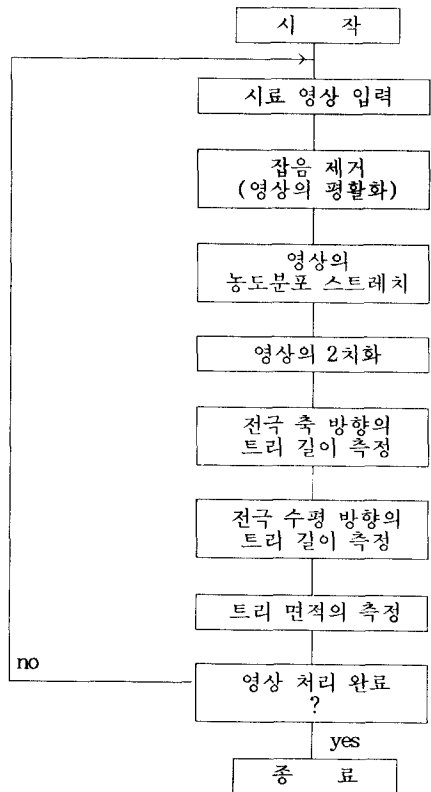
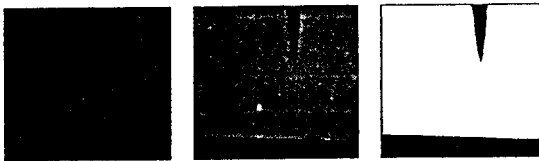


그림 3. 영상 처리 과정 흐름도
Fig. 3. Image processing flow chart

가 되고 이 히스토그램의 두 산사이의 계곡 근처를 임계값으로 결정함으로써 이 영상을 2치화시킬 수 있다. 여기서는 배경부분을 밝은색으로, 전극침과 트리부분을 어두운 색으로 취하여 2치화 영상을 구하였다. 그림 4에 영상의 농도분포를 스트레치시키고 2치화를 한 결과를 보여준다.

3.2.4 트리길이 측정과 트리 열화 면적 측정

전압을 인가하기 전에 전극침만의 영상이 취득된다. 그림4가 이것을 보여 준다. 그 뒤 전압을 인가한 후에 영상을 취득하면 전극침과 트리가 나타나게 된다. 전극침의 선단부가 트리의 발생 기점이 된다. 전극침의 굵기로부터 영상의 한 화소가 나타내는 실제 물체의 크기를 계산할 수 있으므로 영상의 한 화소수에 의해 실제 전극침방향의 트리와 전극에 대한 수평축방향의 트리신장 길이를 영상의 화소갯수에 의해 진행된 길이만큼이 측정된다. 트리의 면적측정은 트리가 진행된 만큼의 2차원 면적내의 화소갯수를 세어서 얻었다. 이 같은 과정을 일정시간 간격으로 하였다.



(a) 취득된 영상 (b) 스트레치된 영상 (c) 2치화 영상

그림 4. 전극침 영상

Fig. 4. Image of needle electrode

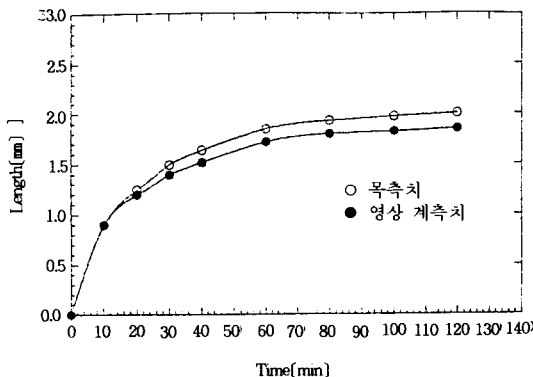


그림 5. 11(kV)인가시 전극축 방향의 트리신장의 목측치와 영상계측치 비교

Fig. 5. Comparison between visual and image processing for tree growth to electrode direction (LDPE 11(kV))

4. 실험결과와 검토

4.1 트리 진전 길이를 目測値와 영상처리로 관측한 경우

인가전압을 9(kV), 11(kV) 2가지 종류로 하여 각각 인가 전압에 따른 전극축 방향, 수평축방향의 길이를 목측으로 관찰하였다. 그림 5의 경우 11(kV)인가시 과전시간에 따른 전극축방향의 트리신장을 목측치와 영상 계측치를 비교하였으며 그림 6의 경우는 11(kV)인가시 과전시간에 따른 수평축 방향의 트리길이를 목측치와 영상계측치를 비교하였다. 목측치와 영상처리값에는 15분까지는 거의 같고 그후에는 다소의 차이가 존재한

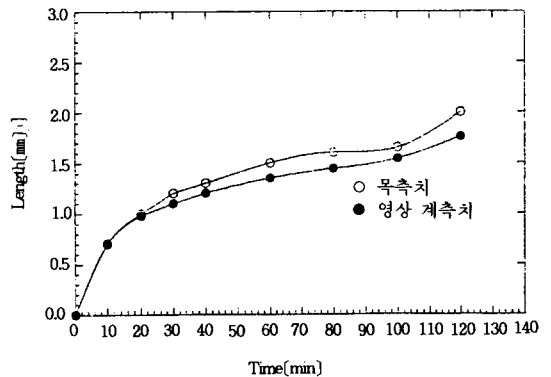


그림 6. 11(kV)인가시 수평축 방향의 트리신장의 목측치와 영상계측치 비교

Fig. 6. Comparison between visual and image processing to horizontal axis (LDPE 11(kV))

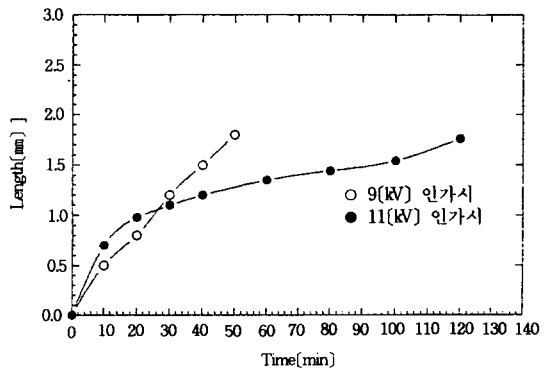


그림 7. 인가전압에 따른 트리 전극축 방향의 영상계측 트리길이

Fig. 7. Characteristics of tree growth to electrode direction

다. 이것은 영상처리시의 임계치 결정에 의한 영향과 목측치에 의한 측정오차가 그 원인으로 사료된다. 그림 5, 6에서 일반적으로 영상처리값이 실제 목측치보다 길이가 짧다. 영상처리의 경우에 트리 발생부분의 특징을 추출시에 주변의 잡음이 제거되지만 이때 트리부분의 정보도 같이 사라지는 경향이 있다. 측정시에도 측정오차가 있다. 그러나 대체적으로 목측치와 영상처리 계측값의 오차는 거의 같다고 보여진다.

그림 7, 8은 각 인가전압에 따른 트리의 전극 축 방향과 전극침의 수평축 방향의 과전시간에 따른 영상계측치 트리의 진전길이를 나타내었다. 인가전압이 작은 경우 전극축방향의 트리길이는 빠르게 진전되어 빠른 시간내에 절연파괴되지만 인가전압이 큰 경우는 전극축 방향의 트리길이가 느리게 진전된다.⁽²⁾ 수평축 방향으로의 트리진전은 과전 초기에는 빠르게 진행되다가 시간이 지날수록 서서히 진행된다.

영상처리에 의한 트리현상사진은 그림 9, 10에 나타내었다. 그림 9는 인가전압 9(kV)인가시 가

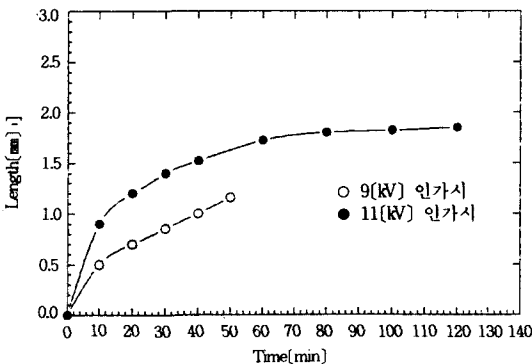


그림 8. 인가전압에 따른 트리 수평축 방향의 영상계측 트리길이

Fig. 8. Characteristics of tree growth to horizontal axis by image processing



그림 9. 9(kV)인가시 트리 파괴 영상

Fig. 9. Treering breakdown image (applied vltage : 9(kV))

지형 트리의 취득영상, 스트레치영상, 2치화영상을 차례로 보여준다. 그림 10은 11(kV)인가시 절연파괴 직전의 얻어진 영상, 스트레치영상, 2치화영상을 차례로 보여준다.

4.2 영상처리에 의한 트리 열화면적계산

인가전압 9(kV), 11(kV)의 경우 트리진전과파괴 시험의 영상을 10분간격으로 영상처리과정에 따라 트리열화 면적을 계측했다. 그림 11에서 9(kV) 때는 50분까지 열화면적 증가율은 0.16(mm²/min)이고 11(kV)인 경우 인가후 120분까지의 면적증가율은 0.126(mm²/min)으로 나타났다. 11(kV) 경우의 면적증가율은 9(kV)경우에 비해 빠르게 증가되었다. 9(kV)인가된 가지형 트리는 빠른 시간내에 절연 파괴가 일어나고 11(kV) 인가된 수초형트리는 느리게 일어난다. 트리의 과전시간에 대한 면적특성은 인가전압에 따른 트리형상의 차이가 현저히 나타날때 트리 열화기구 해석에 유리하다.

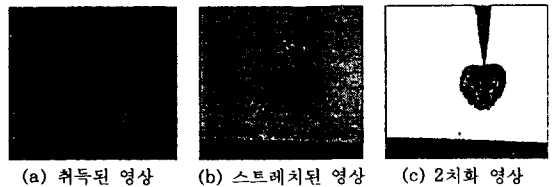


그림 10. 11(kV)인가시 트리 파괴 영상

Fig. 10. Treering image (applied voltage : 11(kV))

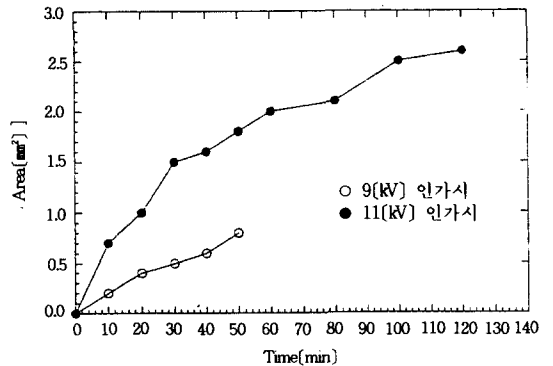


그림 11. 인가 전압에 따른 트리 열화면적

Fig. 11. Area characteristics of treeing degradation

5. 결 론

반투명 재료인 저밀도 폴리에틸렌에 트리실험을 하여 목측치와 영상처리장치에 의한 진전된 트리의 전극축 방향에의 길이와 수평방향의 길이를 과전시간에 따라 측정했다. 또한 트리의 열화면적을 영상처리 시스템을 이용하여 구하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 영상처리 계측시스템에 의한 트리진전은 전극축 방향길이와 수평축 방향의 길이는 목측치에 의한 값과 거의 같은 경향을 보여 영상처리 계측시스템의 설치가 가능하다.

(2) 영상처리 계측에 의한 트리의 열화면적특성은 인가전압의 종류에 따라 형상의 차이를 잘 나타낼 수 있다.

본 연구에서 영상처리방법으로 트리의 열화현상을 계측할 수 있고 반투명유기재료에서 절연성 평가에 자동화 가능성을 예시할 수 있다고 생각된다.

앞으로의 과제는 트리의 세션부 처리문제점과 트리의 3차원 영상으로 처리하는 것이 연구과제이다.

참 고 문 헌

- 1) Technical Report of Japan, "Treeing phenomena in insulating materials," IEE of Japan, No.100, pp.1~32, 1971
- 2) M. Yanagiwara, N. Yosimura, F. Noto, "Development of measurement system for growth and shape of tree by means of image processing," T. IEE Japan, Vol.108~a, No. 4, pp.140~146, 1988
- 3) N. Yoshimura, M. Yanagiwara, L. G. Fan, "Diagonalistics of treeing degradation by image processing," IEEE Trans. on EI. Vol.26, No.2, pp.314~317, 1991
- 4) M. Yanagiwara, N. Yoshimura, "Three dimensional measurement system of treeing using an image processing," Proceedings of the 3rd International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials. PP.109~112, July 8~12, 1991 Tokyo, Japan
- 5) R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1992