

畫像處理에 의한 유기절연재료의 트리열화 진단법

Diagnostics of Treeing Degradation in Organic Insulating Materials by Image Processing

吉 村 昇* · 金 泰 成**

Noboru Yoshimura · Tae-Seoung Kim

요 약

본 논문에서는 映像센서를 이용하여 유기절연물질내의 트리 劣化현상을 측정할 수 있는 시스템에 관하여 논하였다. 기존의 肉眼관찰법으로서는 관측하는 것이 매우 어려웠던 트리형상의 변화를 畫像처리 기술을 이용하므로써 트리발생 직후부터 관측할 수 있게 되었다.

실험결과, 화상처리장치는 최초로 발생된 트리에서 부터 그 진전상황을 즉각적으로 기록할 수가 있었으며 트리의 伸長度, 열화면적 및 연속 화상처리 측면에서 트리의 진전특성을 고찰하였다.

ABSTRACT

In this paper, a system to measure treeing degradation phenomena in organic insulating materials by using an image sensor is discussed. Using an image processing technique, tree features immediately after tree initiation as well as changes in the configuration of the tree were measured, which up to now have been extremely difficult to observe by conventional visual methods.

As a result, it was possible to record the image of tree propagation immediately after its first appearance, and to describe the specific characteristics of tree growth in terms of the length, the degraded area and the sequential images.

* 일본·아키타대학 전기공학과

** 전남대학교 전기공학과

1. 序 論

종래에는 고분자 절연재료중 트리잉 (treeing) 劣化機構를 해석하기 위해서 트리의 발생시간이나 진전등을 顯微鏡을 통해 눈으로 관찰하는 肉眼觀察 방법을 채택하고 있었다. 그러나 인간의 눈에 의존하여 측정을 하기 때문에 트리의 電極 軸方向 혹은 水平方向으로 늘어나는 길이(이하 伸長度) 이외에는 측정할 수가 없었으며 트리의 劣化面積과 같은 2차원적인 면적을 구하는 것은 불가능하였다. 또한 장시간에 걸쳐서 실험을 하는 경우에는 測定誤差가 더욱 커지게 된다.

본 연구에서는 트리잉 劣化的 自動計測 시스템을 확립하기 위해서 畫像處理 기술을 도입하여 트리의 電極 軸方向 및 水平方向으로의 伸長度와 劣化面積을 자동적으로 측정하는 시스템에 관하여 고찰을 하였다. 본 측정 시스템의 경우는 종래의 肉眼觀察와 비교해 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 1) 장시간에 걸친 treeing 시험을 하는 경우 트리의 進展經過 및 형상을 순차적으로 자동관측하므로 도중의 경과를 상세히 파악할 수가 있다.
- 2) 트리의 2차원 면적을 관측할 수 있도록 하므로서 종래의 肉眼觀察로서는 불가능한 劣化面積의 관측을 할 수가 있다.
- 3) 트리의 劣化面積을 관측하므로서 인가전압과 시간에 따른 트리모양의 상세한 비교로 재료간의 비교검토가 가능하다.

본 연구에서는 전압인가후 비디오 카메라를 사용해서 임의로 설정된 샘플링 시간에 트리의 進展畫像을 畫像處理裝置로 송출하고, 이것을 컴퓨터로 처리하므로서 트리부분만의 화상을 추출하였다. 이 화상의 畫素數를 카운트하여 트리의 伸長度를 구했다. 그 결과 印加時間에 대한 트리의 伸長特性

에 관해서는 電極 軸方向, 水平方向 모두에서 肉眼觀察와 똑같은 특성을 얻을 수 있었다. 또한 畫像處理計測에 의하여 트리의 劣化面積을 구하고 종래의 伸長特性과 비교를 수행하였다.

2. 試料 및 實驗方法

2-1. 시 료

시료로서는 트리의 進展 및 형상을 관측하기가 쉬운 재료로서 비교적 투명한 4-6 불화에칠렌 (FED #100) (12×15×3mm) (이하 FEP로)과 반투명한 재료인 저밀도 폴리에칠렌 (DFD 2005) (12×15×5mm) (이하 PE로)의 두 종류를 사용하였다. 시료는 Fig.1에 나타낸바와 같이 블럭형상의 시편을 FED의 경우 170℃, PE의 경우는 130℃에서 15분간 항온조 내에서 가열한후 針插入器로 침을 삽입하고 실온에서 냉각시켰다. 針電極은 先端 曲率半徑이 5μm 先端 角度가 30°인 것을 사용하였다. 또 針電極 선단부분과 접지면인 평판전극과의 간격은 FED와 PE 모두 2mm로 하였다.

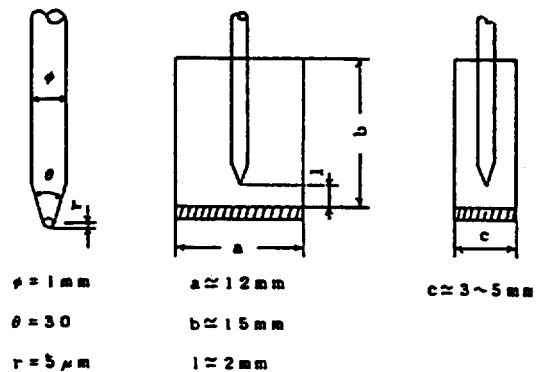


그림 1. 전극 및 시료의 형태
Fig.1. Arrangement of electrode and specimen.

2-2. 實驗方法

전극배치는 시료를 평판전극에 직접 접촉시키는 침대 평판간의 직접접지 방식을 취했으며 시료와 전극이 접촉하는 면에서는 접촉을 양호하게 하기 위해서 도전성페인트를 칠하였다. 또한 인가전압이 높아지더라도 沿面放電이 발생하지 않도록 시료전체를 실리콘유에 침적시켰다. 실험은 FEP의 경우 10, 11, 12kV, PE의 경우에는 9, 11, 14kV로 각각 3종류의 교류전압을 연속적으로 인가해서 絶緣破壞가 일어날 때까지 트리의 電極 軸方向과 水平方向으로의 신장도를 현미경(25배)을 통하여 肉眼觀察을 하였다. 한편 畫像處理 계측의 경우는 Fig. 2에 나타난 畫像處理 시스템을 이용하여 각 인가전압에 대한 트리화상을 처리하므로써 電極 軸方向과 水平方向의 伸長度를 구하였다. 또한 트링 劣化의 크기를 알기 위해 트리의 劣化面積을 구하였다.

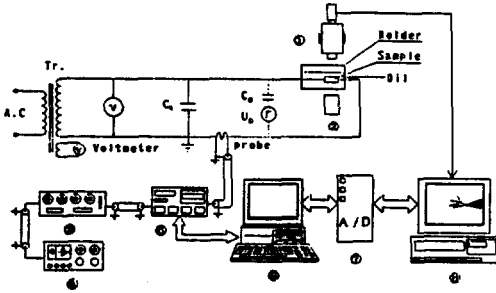


그림 2. 畫像處理 시스템의 구성
Fig.2. Block diagram of image processing system.

3. 畫像處理

3-1. 畫像處理 시스템

시료에 빛을 투과하면 광학 현미경과 비디오 카메라를 통한 트리화상이 모니터에 표시된다. 본 계측 시스템의 경우 1화소당의 면적은 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ 이다. 畫像處理裝置

에 접속되어 있는 컴퓨터(PC-9801)로 송출된 트리화상에 대한 처리를 수행하고 필요한 데이터는 모니터 또는 프린터로 출력을 한다. 畫像處理裝置는 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- (1) 1화면당 256×256 畫素(64KB)
- (2) 1화소당 64輝度레벨로 기억
- (3) 샘플링 시간은 1화면당 1/60
- (4) 화면 메모리는 컴퓨터의 주기억장치에 위치하므로써 2개의 화면을 사용하는 것이 가능

3-2. 黑白對比 화상

비디오카메라에 의해 송출된 화상은 Fig. 3에서 표시한 것처럼 背景畫素의 濃度가 비교적 밝고 針電極 및 트리부분의 화소농도는 어두운 농도를 갖고 있다.

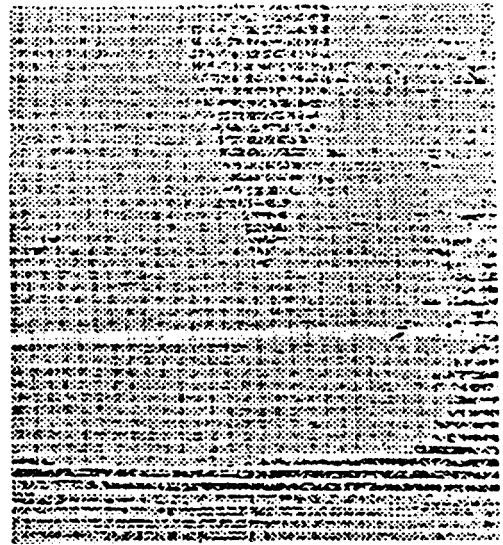


그림 3. 전극의 畫像
Fig.3. Image of electrode.

송출된 화상중에서 중요한 의미를 갖는 것은 針電極 및 트리부분을 표시하고 있는 비교적 어두운 부분이다. 그리고 針電極 및 트리부분과 배경부분을 나타내는 농도치의

분포는 농도 히스토그램으로부터 하한치를 결정하고 이에 대한 黑白對比를 수행한다. 즉 하한치의 농도보다 어두운 부분(針電極 및 트리부분)을 흑색으로, 그리고 하한치의 배경보다 밝은 부분(배경부분)은 백색으로 하여 값을 구했다. Fig.4에서 검은 부분은 針電極, 흰부분은 배경을 표시하고 있다.

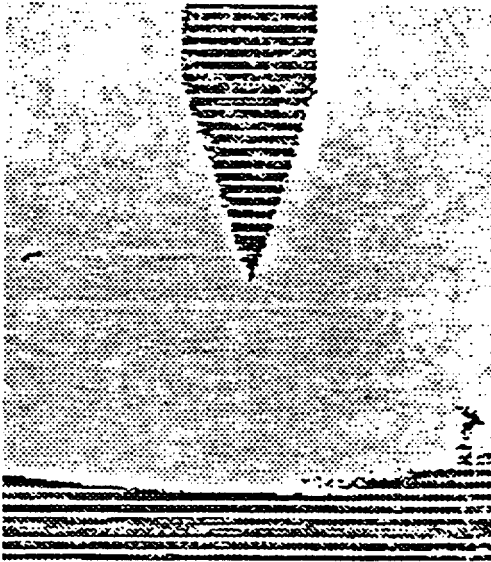


그림4. Fig3의 흑백대비 화상
Fig.4. Binary image of Fig.3.

3-3. 雜音除去

비디오카메라에 의해 송출된 화상에는 여러가지 원인으로 잡음이 포함되어 있다.

이 잡음은 對象畫像(針電極 및 트리부분)에 대하여 길이, 면적등의 측정시 측정 오차의 원인이 되므로 이 잡음을 제거하여 송출된 화상을 개선할 필요가 있다. 잡음제거법으로서는 平滑化 處理法이나 1點 雜音除去法이 사용되고 있다. 平滑化 處理法은 자주 이용되고 있는 방법으로 인접하고 있는 4개 또는 8개 화상의 농도치를 취해 그것을 평균화해서 잡음을 제거하는 방법이다. 그러나 이 방법은 대상화상의 모서리 부분이나 세밀한 부분이 둔화되어 필요한 부분을 잃어버리게 되는 경우가 있다.

1點 雜音除去法은 黑白對比 화상에서 사

용한다. 이 방법은 針電極 및 트리부분에 어떤 커다란 마스크를 씌워 이 마스크내에서 1점 잡음을 제거한다. 즉 마스크내에서 針電極 및 트리부분은 연속된 화소의 집합이고, 이러한 집합으로부터 떨어져 있는 화소를 잡음으로 간주하며 이 잡음의 범위내에서 1화소의 크기를 취해 이것을 1점 잡음으로 하고 제거하는 것이다.

3-4. 畫像處理 프로그램

(1) 화상 데이터 샘플링 프로그램

화상 데이터 샘플링 프로그램의 흐름도는 Fig.5와 같으며 이 프로그램은 2개의 목적을 가지고 있다.

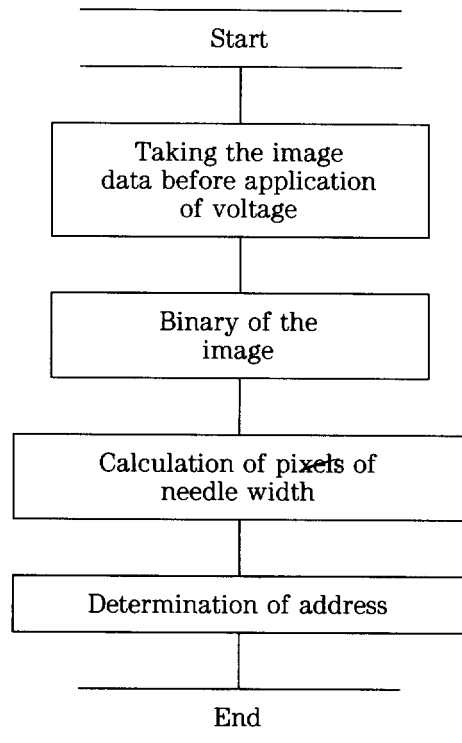


그림 5. 화상 데이터의 전송순서

Fig.5. Flow chart of the sampling image data.

(a) 전압 인가전의 화상 데이터만을 송출하며 송출된 화상에 대한 黑白對比를 하여 침전극 부분만을 추출한다. 침전극의 굵기(1mm)

에 상당하는 화소수를 구하여 이것을 1화소당의 기준길이로 정하며 칩의 선단부분에 맞추어진 메모리의 어드레스를 구하여 그 지점을 트리가 발생하는 기점으로 한다.

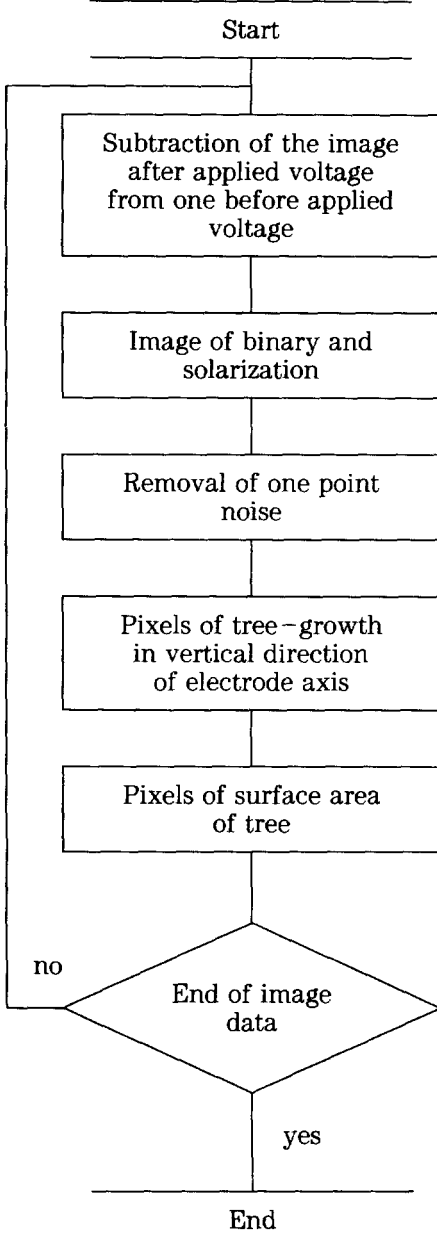


그림 6. 화상 데이터 처리 계측 순서
Fig.6. Flowchart of the processing measurement of image data.

(b) 전압인가 후부터 트리잉 파괴까지의 화상을 임의로 설정된 시간에 따라 송출한다.

(2) 화상데이터 처리 계측 프로그램

화상데이터 샘플링 프로그램에 의해 송출된 화상을 처리하고 트리의 전극 축방향 및 수평방향으로의 신장도와 트리의 열화면적을 구하는 것이다.

처음 데이터 처리 프로그램에 의해 송출된 화상은 전압을 인가하기 전이므로 트리가 발생하지 않은 트리침만의 화상(Fig. 3)이며 전압 인가후 임의의 샘플링 시간에서 트리가 발생한 화상(Fig.7)을 취해 두개의 화상을 감산처리하는 방법으로 수행하므로서 트리가 발생된 부분만의 화상을 추출하는 것이 가능하게 된다.

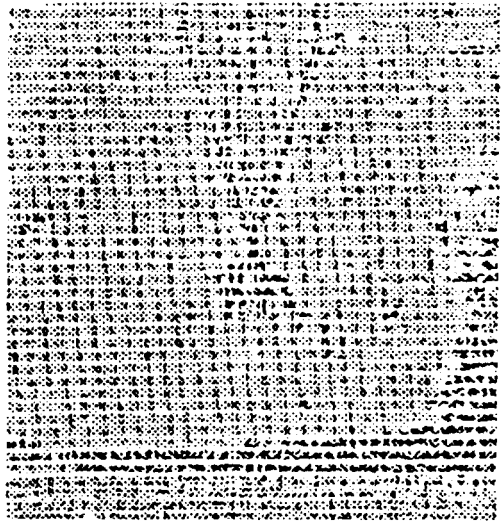


그림 7. 트리의 화상 Fig.7. Image of tree.

그러나 이 화상은 Fig.8에서와 같이 트리 부분과 배경부분이 선명하지가 않으므로黑白對比처리를 하며, 그 위에 트리부분은 어둡게 하고 배경부분을 밝게 되도록 Fig.9와 같이 反轉處理를 한다.

그러나 Fig.9에서 알 수 있듯이 트리부분 이외에도 잡음이 존재하고 있다. 이러한 잡음은 감산 처리후에도 잔류하고 있는 시료 표면상의 상처나 시료중의 異物質, 油中の

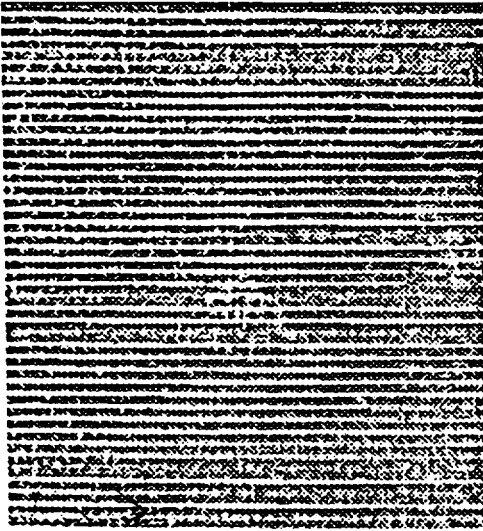


그림 8. (Fig.3 ~ Fig.7)까지의 화상
Fig.8. Image of (Fig3 ~ fig7).

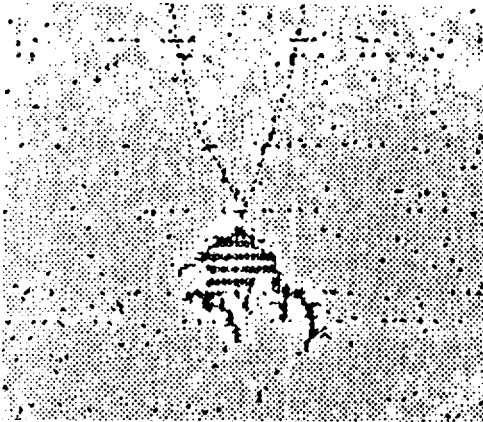


그림 9. Fig.8의 黑白對比 및 反轉畫像
Fig.9. Image of binarization and solarization in Fig.8.

氣泡, 먼지 혹은 은폐인트의 결핍 등이 원인으로 되어 나타난다. 또한 선명한 화상을 추출하기 위해 採光量을 조절하나 트리부분의 잡음도 원인이 된다. 이렇게 발생된 잡음의 범위내에서 트리 근방에 존재하고 있는 독립된 1점 잡음을 제거하면 Fig.10과 같으며 이 화상을 트리의 길이나 면적을 구하는 대상화상으로 사용한다.

前述한 샘플링 프로그램으로 구한 전극침의 선단 어드레스의 어떤 橫軸線으로부터 순차적으로 走査되어 대상물이 맞추어지면

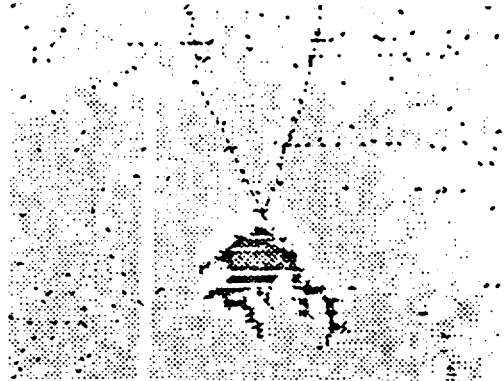


그림 10. Fig.9의 1점 잡음제거 화상
Fig.10. Image of one point noise reduction in Fig.9.

다음 선으로 이동이 되어 똑같은 주사를 계속하게 되며 走査線이 대상물에 맞추어지지 않으면 바로 전의 곳에서 트리가 종료한 것을 가리킨다. 이와 같이 전극침의 선단 어드레스와 트리의 선단 어드레스로부터 電極軸方向의 伸長度를 구하였다.

트리의 水平方向 伸長度는 똑같은 주사를 수직방향으로 하여 구하고 劣化面積은 마스크내 검은 부분의 화소수를 전부 환산하므로써 구하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4-1. 目視觀察과 畫像處理에 의한 伸長度 계측

(1) FEP #100을 사용한 경우

인가전압 10, 11, 12kV로서 장시간 과과 실험을 하고 각각의 인가전압에 대한 트리의 電極軸方向, 水平方向의 伸長度를 肉眼觀察 및 畫像處理 계측에 의해 구했다. 一列로서 인가전압을 11kV로 했을 때 肉眼觀察과 畫像處理 계측에 의한 印加時間에 대한 트리의 電極軸方向 및 水平方向의 伸長度 특성을 Fig.11과 12에 표시하였다.

肉眼觀察과 畫像處理 계측의 측정치 사이에는 약간의 오차가 존재하였다. 이것은 화상처리장치의 정밀도, 실리콘유중에 부유하

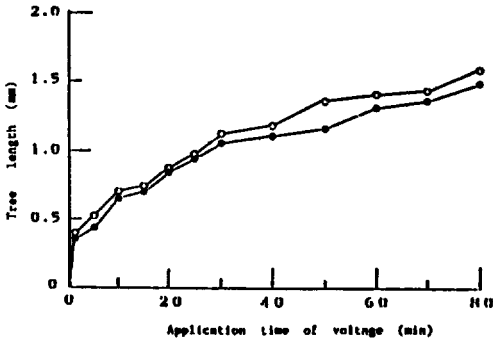


그림 11. 트리의 電極 蓄方向 伸長特性에 따른 肉眼觀察과 畫像處理 계측과의 비교

Fig.11. Comparison between manual and image processing for tree growth to electrode direction (FED # 100, 1kV)

고 있는 이물이나 먼지, 또는 평판전극부분의 不整 및 光學系의 變數등이 원인인 것으로 생각된다.

또한 인가전압이 높아지므로서 肉眼觀察에 의한 측정치와 畫像處理에 의한 측정치간에 오차가 커지는 경향이 있었다. 그 이유로서는 인가전압이 높은 경우 전극간에 高電界가 발생하여 離脫됐던 은페인트나 여

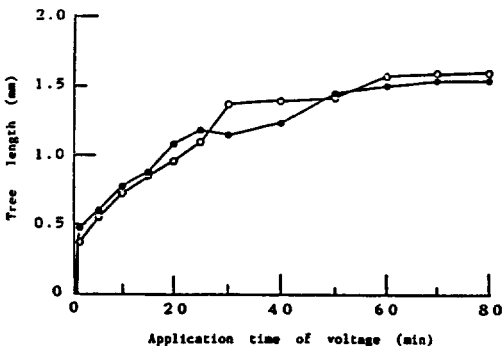


그림 12. 트리의 水平方向 伸長特性에 따른 肉眼觀察과 畫像處理 계측과의 비교

Fig.12. Comparison between manual and image processing for tree growth to horizontal axis to electrode direction (FEP # 100, 11kV).

타 부유물의 운동을 활발하게 하고 그것이 화상처리시에 오차가 되어 나타나는 것으로 생각된다. Fig.13, 14는 인가전압에 대한 트리의 電極 軸方向 및 水平方向 伸長度와의 관계이다. 이 그림에서 인가전압이 높으면 신장이 빠르고 파괴도 급속히 이루어진다. 또 인가전압이 낮으면 트리의 신장이 완만하므로서 파괴에도 시간이 걸림을 알 수가 있다. 다른 인가전압의 경우에도 같은 경향을 보이고 있다.

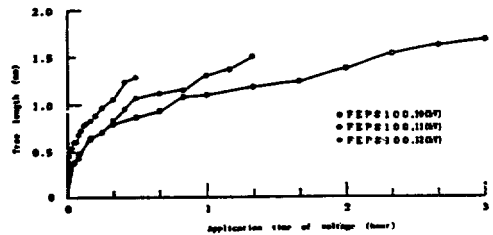


그림 13. 각 인가전압에 따른 트리의 電極 軸 方向 伸長特性

Fig.13. Characteristics of tree growth to electrode direction (FEP # 100).

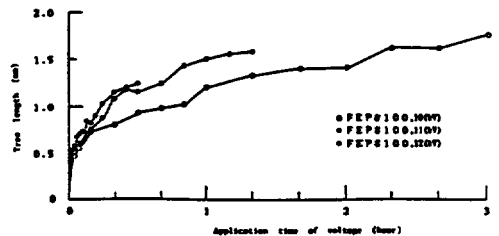


그림 14. 각 인가전압에 따른 트리의 水平 方向 伸長特性

Fig.14. Characteristics of tree growth to horizontal axis to electrode direction (FEP # 100).

(2) PE를 사용한 경우

인가전압으로 9, 11, 14kV를 사용하고 FED #100의 경우와 똑같이 장시간 파괴 실험을 하여 각각의 인가전압에 대한 트리의 電極 軸方向, 水平方向의 伸長度를 肉眼觀察 및 畫像處理 계측에 의하여 구했다. 一列로서 FEP경우와 같이 인가전압을 11kV로 했을 때 肉眼觀察 및 畫像處理로

분류하여 인가時間에 대한 트리의 電極 軸 方向 및 水平方向의 伸長度 특성을 Fig.15, 16에 표시하였다.

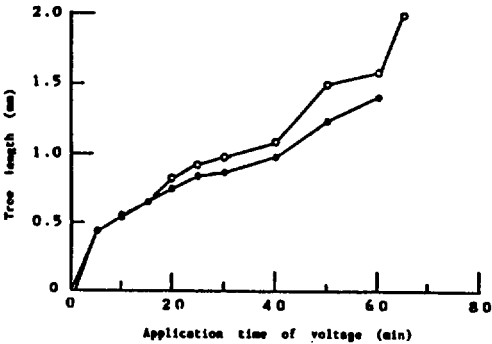


그림 15. 트리의 電極 軸方向 伸長特性에 따른 肉眼觀察과 畫像處理 계측과의 비교

Fig.15. Comparison between manual and image processing for tree growth to electrode direction (PE. 11kV).

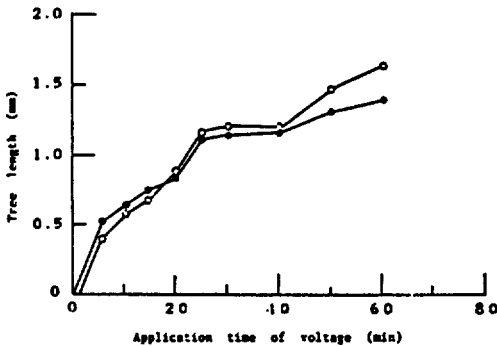


그림 16. 트리의 水平方向 伸長特性에 따른 肉眼觀察과 畫像處理 계측과의 비교

Fig.16. Comparison between manual and image processing for tree growth to horizontal axis to electrode direction (PE. 11kV).

肉眼觀察과 畫像處理의 측정치 사이에는 영향과 肉眼觀察에 의한 측정오차등으로 생각된다. Fig.15, 16에서는 畫像處理 계측에 의한 그래프가 肉眼觀察에 의한 그래프보다도 아래에 있다. 이것은 화상을 처리하는데 있어서 트리가 발생한 부분만을 특징적으로

추출할 때는 주변의 잡음이 제거되었지만 동시에 이 고찰에서는 트리 부분의 정보도 약간의 소멸이 있는 것으로 생각된다. 그리고 Fig.16에서는 잡음의 영향으로 肉眼觀察에 의한 그래프와 畫像處理 계측에 의한 그래프가 교차되는 것으로 생각된다. 이러한 경향은 肉眼觀察에 의한 경우와 畫像處理에 의한 계측이 거의 같은 樣相이었으며 측정 오차등을 고려한 畫像處理 계측은 유효하다고 말할 수 있다.

트리의 電極 軸方向 伸長度와 水平方向 伸長度에 대한 인가전압과의 관계를 Fig. 17, 18에서 보여주고 있다. Fig.17에서 보면 인가전압이 낮은 경우는 트리의 신장이 빠르고 초기의 시간에서 파괴가 일어난다. 인가전압이 높아짐에 따라 트리의 신장은 천천히 진행되는 것을 알 수 있다. Fig.18에서는 인가전압이 낮으면 水平方向의 신장이 빠르고 인가전압이 높아짐에 따라서 신장이 서서히 진행된다. 또한 電極 軸方向, 水平方向의 신장은 거의 같은 경향을 갖는 자는 것이 명백해지게 되었다.

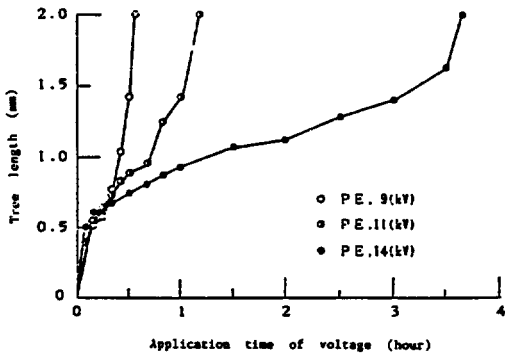


그림 17. 각 인가전압에 따른 트리의 電極 軸方向 伸長特性
Fig.17. Characteristics of tree growth to electrode direction (PE).

4.2. 畫像處理에 의한 트리의 형상

Fig.19(a), (b), (c)에서 트리 형상의 사진 및 처리된 화상의 하드카피를 표시하였다. PE의 경우 인가전압에 의해 트리의 형

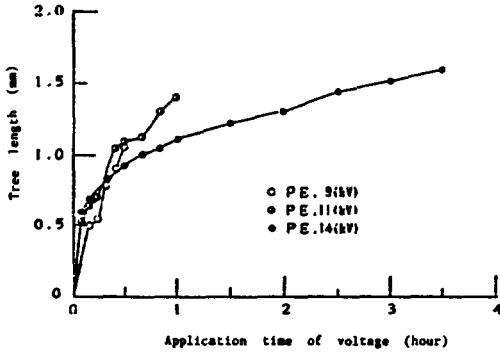


그림 18. 각 인가전압에 따른 트리의 水平方向 伸長特性

Fig.18. Characteristics of tree growth to horizontal axis to electrode direction (PE).

상이 상이하게 나타남을 알 수가 있다. Fig.19(a)는 인가전압이 9kV-30분 후의 것으로 樹枝狀의 트리이고, (b)는 11kV-60분 후의 것으로 bush狀 트리이며, (c)는

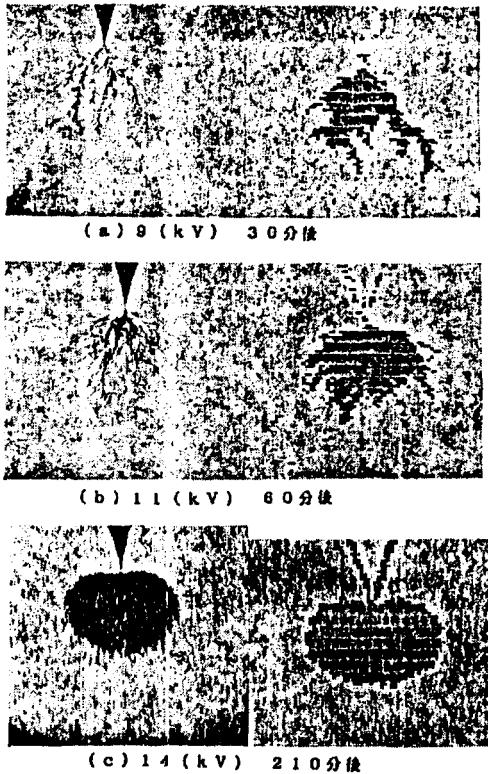


그림 19. 트리의 형상

Fig.19. Microscopic photographs and hardcopy of tree shapes in PE.

14kV-210분 후의 것으로 海草狀의 트리이다. 사진과 비교해 보아도 거의 모든 특징들을 투영하고 있다.

4-3. 畫像處理에 의한 트리 劣化面積의 계측

FEP의 경우는 인가전압을 10, 11, 12kV로, PE의 경우는 9, 11, 14kV로 하여 장시간 파괴실험을 하였으며 미리 설정된 임의의 샘플링 시간에 따라 트리의 劣化面積을 계측하고 결과를 FEP는 Fig.20에, PE는 Fig.21에 나타내었다.

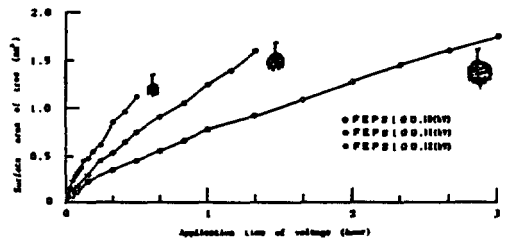


그림 20. 트리의 劣化面積 특성

Fig.20. Area characteristics of tree for FEP #100.

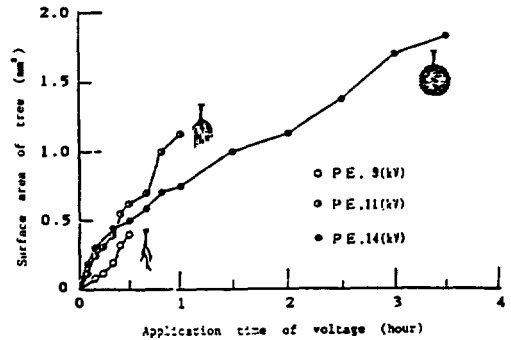


그림 21. 트리의 劣化面積 특성

Fig.21. Area characteristics of tree for PE.

Fig.20에서 시간에 대한 면적증가율은 10kV에서 0.01mm²/min, 11kV에서 0.02mm²/min, 12kV에서 0.037mm²/min으로 되었다. 또 각각은 직선적으로 증가하고 있다. 이때 트리의 형상은 어느것이나 bush狀으로서 인가전압이 높아지면 트리의 진전이 늦으며 파괴까지는 장시간이 소요됨을 알 수가 있다.

Fig.21에서 PE의 경우 임가전압이 9kV 일때 트리의 劣化面積은 적고, 30분후 트리의 劣化面積은 0.4mm²으로 되었으며 그 후에 파괴가 일어났다. 그때 트리의 형상은 수지상이 되었다.

인가전압을 11, 14kV로 한 경우 인가후 20분경까지는 면적증가율이 0.02mm²/min로 동일한 경향을 보여주고 있지만, 그후 11kV를 인가한 경우의 면적증가율은 여전히 0.02mm²/min로 증가하고 14kV를 인가한 경우에는 그 증가율이 0.0074mm²/min로 되어 완만한 증가가 이루어짐을 알 수가 있다. 이때 트리의 형상은 bush상과 해초상이 된다. bush상 트리와 해초상은 중간 부분까지는 동일한 모양을 갖고 있지만 bush상 트리는 그후 급격히 파괴가 일어나고, 해초상 트리의 경우는 장시간이 경과한 후에 파괴가 일어났다.

트리의 인가時間에 대한 면적특정은 인가 전압에 기인해서 트리 형상의 이탈도가 현저하게 나타나지만, 電極 軸方向 트리의 伸長特性和 같은 모양을 이루며 트리인 劣化機構 해석에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 또 본 논문에서는 이차원적인 劣化로서 투영하는 것에 主眼點을 두었지만, 이후에는 고속처리장치, 트리의 세밀한 선의 처리, 그리고 트리의 3차원 畫像處理에 관해서도 고찰할 예정이다.

5. 結 論

투명 재료로서 4-6 불화에칠렌(FEP # 100)과 반투명 재료로서 저밀도 포리에칠렌(DFD 2005)에 대한 장시간 파괴실험을 하였으며, 肉眼觀察과 畫像處理 계측법으로 트리의 電極 軸方向 伸長도와 水平方向의 伸長도를 측정하였다. 또 畫像處理 계측에 의해서 劣化面積을 구했다. 그 결과를 요약하면

- (1) 畫像處理를 할 때 시료 표면의 상처나 시료중의 이물질, 실리콘유증의 먼지, 평판전극 부분의 不整 및 광원의 변동으로 인한 잡음의 영향을 고려했다.
- (2) 畫像處理 계측에 의한 트리의 電極 軸方向 伸長도, 水平方向의 伸長도도 肉眼觀察에 의한 계측과 마찬가지로 똑같은 경향을 나타냈다.
- (3) 畫像處理 계측에 의한 트리의 劣化面積 특성은 트리의 진전상황에서 잘 표현되어 있고, 트리 형상의 이탈도도 그 특성에서 잘 나타내주고 있다.

이상의 결과로부터 畫像處理 기술을 도입한 트리인 열화현상의 自動計測은 재료의 절연성을 평가하는데 충분한 방법이 된다고 말할 수가 있게 되었다.

參 考 文 獻

- 1) 電氣學會技術報告(제1부), 제140호(昭46)
- 2) 安居院·6中島 : 컴퓨터 화상처리, p.31 (昭55) 産報出版
(1990년 11월 14일 접수)