

# 低密度폴리에틸렌에서無機質의 充填粉이 Treeing 進展에 미치는 영향

論	文
29-8-3	

## Effect of Inorganic Filler Powder to Development of Treeing in Low Density Polyethylene

金 鳳 洽\* · 姜 道 烈\*\* · 金 正 洙\*\*\* · 林 基 祚\*\*\*\*  
(Bong-Heup Kim, Dou-Yol Kang, Jung-Soo Kim, Ki-Cho Lim)

### Abstract

In order to investigate the effect of inorganic dielectric fine particle mixed in Low Density Polyethylene on the deterioration by treeing, a comparative study for initiation and development of the tree has been carried out between the pure thin film specimen and the same geometrical specimen mixed with a constant weight percent by a defined particle size of  $Al_2O_3$  and  $SiO_2$ , having larger dielectric constants than that of the base material.

According to the results, it has been observed that as increasing dielectric constant, the initiation of tree is expedited, however, the development of the tree reached at the surface of filler particles shows the suppressive trends.

From these facts, a reasonable interpretation may be possible by considering the effect of intensified electrical field around the tip in the presence of filler particles, that the initiation and the development of tree are a mechanical break down process caused by Maxwell stress due to the concentration of electrical field at the tip.

This suppressive effect is specifically suggestive for the reason that a discharge route must be constructed around the particle surface because of the intensified field strength near filler, which, in turn, reduces the geometrical curvature of the tip so that the local intensity of electrical field can be relaxed.

Further more an experimental evidence for this assumption was able to observe in this investigation.

### 1. 序 論

최근 전력수요의 급속한 증대와 더불어 方便的 대책의 하나로 전력케이블 또는 전력기기 등의 고압 및 소형화로 되는 경향이 있으며 이로 인하여 절연내력이나

절연기술에 대한 신뢰성의 향상이 요구되고 있다. 이와 같은 요구는 대부분 절연내력이 아주 높은 새로운 재료의 개발이나 기존재료의 특성개량에 대한 연구로 귀착되어 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 저밀도 폴리에틸렌은 우수한 절연내력을 지니고 있어 고압전력케이블의 절연재로서 重用되고 있음은 周知의 사실이나, 비교적 낮은 軟化온도와 장시간 전압인가시에는 점진적열화현상인 Tree가 발생하는 것이 결점이라 하겠다.

Treeing은 1951년 Mason氏가 人工 Void를 가진

\* 正會員: 漢陽大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
\*\* 正會員: 弘益大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
\*\*\* 正會員: 弘益大 大學院 博士課程  
\*\*\*\* 正會員: 漢陽大 大學院  
接受日字: 1980年 6月 20日

폴리에틸렌의 Corona 열화실험에서 처음 발견<sup>1)</sup>한 이래 오늘날까지 이것에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 Treeing은 폴리에틸렌에서만 固有한 현상이 아니라 다른 고체절연물에서도 全路과피에 이르기까지의 前驅현상의 하나로 관측되며 그 형태는 일반적으로 樹枝狀 또는 海草狀으로 발달하여 궁극적으로는 절연과피에 이르게 된다.

대체로 지금까지의 Treeing에 관한 연구경향은 대다수가 單一誘電體에서 인가 전압의 종류, 온도 기타 등의 외적환경조건의 변동에 따르는 관측결과로부터 Tree의 발생원인 및 그 진전현상에 대한 규명을 주목적으로 하여 왔으며 複合유전체의 경우에 대한 연구는 充填材의 종류<sup>2)</sup>나 충전재와 基材의 混合比變動<sup>3)</sup>에 따른 연구보고 및 Epoxy 수지에서 무기질분의 충전효과 Polyemethyl Metacrylate<sup>4)</sup>(P.M.M.A)에서 유전율이 서로 다른 유전체의 혼입효과 등에 관한 소수의 논문만이 발표되어 있을 뿐이다. 그러나 복합유전체에서의 Treeing에 대한 연구는 일반적으로 절연물의 제작시 혼입된 異物 또는 열적, 기계적특성을 개선하기 위하여 혼입한 충전재등은 유전율이 서로 다른 것이 상례이므로 이와같은 이물들이 基材의 절연성능에 미치는 영향을 규명하는 觀點에서도 그 필요성이 강조된다.

본 논문은 고압절연 케이블, 고주파절연기기의 절연체로서 광범위하게 쓰이는 폴리에틸렌에서 이보다 유전율이 크고 열적 화학적 견지에서 안정된 첨가물인  $Al_2O_3$  및  $SiO_2$ 의 무기질미분을 혼입할 때 이것들이 Tree의 발생, 진전속도 및 형상등에 미치는 영향을 관측하고, Tree의 진전억제방법을 모색해 보는데 그 목적을 두고 있다.

## 2. 實 驗

### 2.1 시 편

#### (1) 시료의 형성

시료로 사용한 폴리에틸렌(이하 PE라함)은 한양화학제 저밀도 PE(밀도 0.92)의 小粒型원료를 사용하였으며 유전체분말을 충전하지 않은 순수한 PE를  $130^{\circ}\sim 140^{\circ}C$ 에서 15분동안 가열한 후 순간적으로 가압성형하여 박막을 만들고 이와같은 박막두장 사이에 그림 1에서와 같은 형태의 전극을 배치한 후 다시 가열압착하여  $20\times 30\times 1.2(mm^3)$ 의 형태로 시편을 제작하였다.

이와같이 박막의 형태로 가공한 이유는 무기질 유전체분말을 혼입한 경우 투명도가 저하되어 Treeing 현상의 현미경 관찰이 곤란하게 되므로 이것을 용이하게 하기 위함이다. 또한 순수한 PE에 표 1에 표시된 바

와 같이 무기질 유전체 미분을 각각 그림 2(a) (b)의 모양으로 針電極의 수직방향 및 수평방향으로 극부적으로만 충전시킨 것과 PE 小粒型 원료를  $130^{\circ}\sim 140^{\circ}C$ 에서 10분간 가열하면서 표 1에 표시된 바와 같은 유

표 1. 충전물의 종류

Table 1. Kinds of Filler

충진 물	유 전 율	입 도 분 포
$Al_2O_3$	8	44~60 $\mu$ : 30%
		13~88 $\mu$ : 60%
		기 타: 10%
$SiO_2$	4.5	44~63 $\mu$ : 20%
		63~88 $\mu$ : 70%
		기 타: 10%

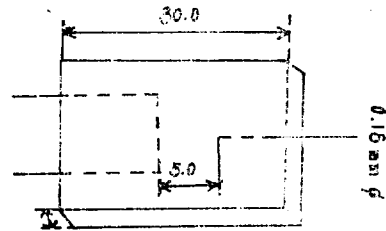


그림 1. 시료모양 및 전극배치

Fig. 1. Dimensions of specimen and arrangement of electrodes.

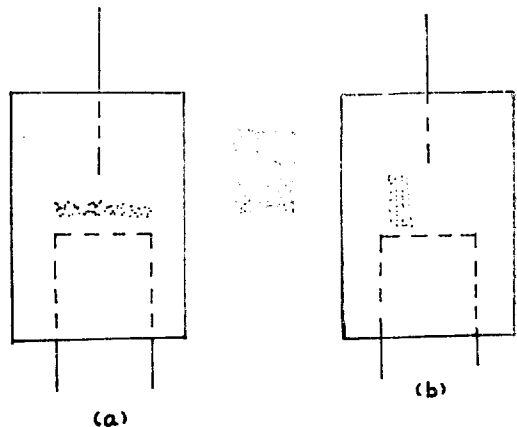


그림 2. 시료내에서 충전물의 배치상태

Fig. 2. Local distribution of Filler in the specimen

전체미분을 重量比 1%로 혼합하고 射出機에서 균일하게 鑄合하여 사출급냉시켜 같은 기하학적 형태로 만든 시료를 준비하였다. 각각 충전한 무기질 미분  $Al_2O_3$  및  $SiO_2$ 는 열적 기계적으로 안정하고 基材인 L.D.P.E 보다 유전율의 값이 적당히 크므로 본 시료에서의 첨가물로 채택한 것이다.

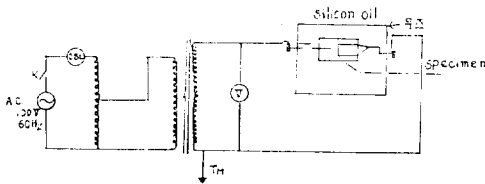
(2) 전 극

전극은 0.18mmφ의 동선을 이용하였으며 침전극용의 동선先端은 약 5μ 정도의 곡률반경으로 연마하였다. 그림 1에서와 같이 전극을 배치한 것은 3차원적인 針對 平板電極間的 電界分布에 의한 Tree의 발생이나 進展과정을 2차원적인 현상으로 환원시켜 관측하기 위해서이다.

2.2 실험방법

전원으로는 KATO DANKI제 고압발생장치를 사용하였으며 내장된 시험용변압기는 정격 60Hz 5KVA, 2차 전압은 0~60kV용이다. 적극부분은 표면에서의 沿面放電을 방지하기 위하여 시료를 Silicon 油중에 침침시켰고 결선의 概略은 그림 3과 같다.

전압인가방식은 Tree의 초기발생실험에서는 7.5kV (1.5kV/mm)를 30초간 인가한 후 光學顯微鏡(Olympus 회사제)으로 42배에서 관측하였으며 Tree의 길이가 0.05mm 이상인 것만을 발생으로 간주하였다. 또한 Tree 발생이 안된 시료는 3분간격으로 30초간씩 동일 전압치를 인가하는 방식으로 Tree가 발생할 때까지 관측을 반복하였다. 일단 초기 Tree가 발생한 시료는 진진상황을 관측하기 위하여 7.5kV를 1분간씩 인가후 42배의 배율에서 현미경관찰을 시행하였다. 이때에도



기 기 명	규 격	제 작 회 사
$T_M$ 시험용 변압기	1KVA in put 100, 200V out put 0~60KV	KATO Electric MFG Co
광학현미경	MAX. 400배	OLYMPUS
Heating press		자 각

그림 3. 측정회로의 개략도

Fig. 3. Schematic connection diagram of experimental set up

전압반복인가시의 Rest time은 3분으로 하였다.

3. 實驗結果

3.1 tree의 초기발생

순수한 PE 시료 10개와  $SiO_2$ 와  $Al_2O_3$ 를 각각 充填한 시료 10개씩을 측정하여 초기발생한 tree의 평균길이  $l$ 를 구하여 보면 표 2와 같다. 그 결과로부터  $l_{pure} < l_{SiO_2} < l_{Al_2O_3}$ 인 관계가 있음을 알 수 있으며, 이것은 충전분말의 유전율이 클수록 초기 tree의 발생은 촉진됨을 말하고 있다.

표 2. 충전물의 종류와 초기 tree 길이와의 관계  
Table 2. The length of initial tree with respect to the different kinds of Filler species.

시료종류	인가전압 (kV)	인가시간 (sec)	초기 Tree의 평균길이 (mm)	비 고
순수 PE	7.5	30	0.07	10개 시료중 7개 발생
$Al_2O_3$ 첨가시료	7.5	30	0.2	10개 시료중 9개 발생
$SiO_2$ 첨가시료	7.5	30	0.13	10개 시료중 9개 발생

3.2 Tree의 진전

그림 4는 순수한 PE 시료(이하 P시료라함)에  $SiO_2$  및  $Al_2O_3$ 를 각각 침전극 바로 밑에 수직으로 分布充填시킨것(이하 S<sub>⊥</sub> 시료, A<sub>⊥</sub>시료라함)을 각각 5개의 시편에 대한 측정값의 평균치이다.

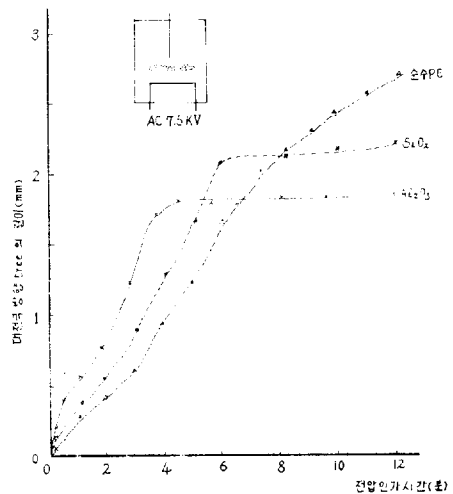


그림 4. S<sub>⊥</sub> A<sub>⊥</sub> 및 P시료에서의 tree 길이와 전압인가 시간과의 관계

Fig. 4. Relation between the growth of tree length and on the impressed time of source on samples of S<sub>⊥</sub>, A<sub>⊥</sub> and P.

電壓印加 초기에서는 시간에 대한 Tree 길이의 성장율은 A<sub>1</sub> 시료에서 제일크고 S<sub>1</sub> 시료 및 P시료의 순으로 점점 적어지고 있으나 일단 충전유전체층에 Tree 침단이 도달한 후에는 A<sub>1</sub>시료에서는 더 이상의 진전은 억제되고 있으며, S<sub>1</sub>시료에서는 8분 30초경에 가지의 침단에서 다시 새로운 가지가 발생하여 Tree의 진전이 다시 서서히 진행되었다.

이상의 실험에서 유전율이 基材의 값보다 큰 유전체가 전극의 바로 밑에 놓여 있을 때 Tree의 진전은 억제되며 그 효과는 유전율이 클수록 더욱 현저하다는 사실을 알 수 있다.

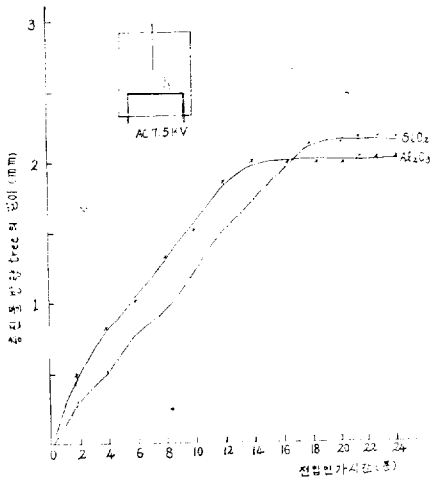


그림 5. 시료 S<sub>1</sub> 및 A<sub>1</sub>에서의 tree길이와 전압인가 시간과의 관계  
 Fig. 5. Relation between the growth of tree length and the impressed time of source on samples of S<sub>1</sub> and A<sub>1</sub>.

그림 5는 針電極軸에 平行하게 SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉末을 局部的으로만 충전시킨(이하 S<sub>1</sub>시료, A<sub>1</sub>시료라함) 것을 각각 5개씩 선택하여 이것에 대한 관측결과의 평균치를 표시한 것이며 電壓印加초기에는 충전분을 향하여 진전되어 나가다가 일단 Tree의 침단이 충전층에 도달하면 진전은 그림 4에서와 같이 모두 억제되는 경향을 나타내고 있다.

그림 6은 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 충전물을 균일하게 분포시킨 경우(이하 S<sub>D</sub>, A<sub>D</sub>시료라함) 각각 5개의 시료에 대한 관측결과의 평균치에서 얻은 결과이다. 여기에서도 역시 충전분의 혼입으로 Tree의 초기발생은 촉진되나 그 진전은 억제되는 경향을 볼 수 있으며 그 효과는 유전율이 클수록 더 크게 나타나고 있다.

충전분이 혼입되지 않은 순수한 P시료에서는 시간

의 경과와 더불어 꾸준히 Tree의 길이는 진전하면서 최종에는 파괴에 이르고 있다.

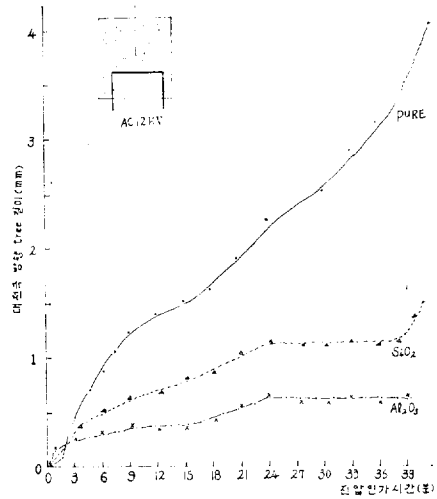


그림 6. 충전물이 균일분포된 시료에서 tree길이와 전압인가 시간과의 관계  
 Fig. 6. Relation between the growth of tree length and on the impressed time of source on the homogenous distribution of S.A. and P.

#### 4. 結果 檢討

##### 4.1 Tree 발생에 대한 考察

Tree의 발생원인에 대한 理論<sup>6,7)</sup>은 여러가지가 提案되고 있으나 본 연구에서는 Maxwell Stress說에 立脚하고저 한다.

針端에 집중되는 높은 전계를 계산하기 위하여 침단에 回轉拋物面으로 간주하면 침단부근의 전계<sup>8)</sup>는

$$E = \frac{2V}{R \ln\left(1 + \frac{4x}{R}\right)} \quad (1)$$

로 표시되며

여기서 R: 침단의 곡률반경

x: 전극간의 이격거리

V: 전극간의 전위차이다.

지금 R=5μm=5×10<sup>-6</sup>m x=5mm=5×10<sup>-3</sup>m V=7.5kV를 대입하면 E=3.62(MV/cm)이며, p=1/2ε<sub>0</sub>ε<sub>r</sub>E<sup>2</sup>에서 PE에 대한값 ε<sub>r</sub>=2.3로보고 Maxwell Stress를 계산하면 p=13.6 kg/cm<sup>2</sup> 정도가 된다.

3.62(MV/cm)의 전계는 20°C에서의 PE의 眞性破壊強度<sup>9)</sup>인 7(MV/cm)보다 적고 또 전압인가후 tree 발생까지에 수 10초의 시간이 소요되므로 진성파괴라

고 생각하는 것은 타당하지 않다고 본다.

순수 PE에서 인장강도는 0°C에서 200(kg/cm<sup>2</sup>) 정도이며 온도가 높아질수록 그값은 점점 적어져서 20°C에서 90(kg/cm<sup>2</sup>), 80~90°C에서 약 18~20(kg/cm<sup>2</sup>)로 된다.<sup>(8)</sup>

이 온도(80~90°C)는 結晶微粒이 용융되기 시작하는 온도이므로 이 때의 인장강도는 非晶質部分에 대한 값으로 간주된다. 한편 Tree는 비정질부에서 용이하게 발생됨은 이미 지적되고 있는바<sup>(6)</sup> Tree의 발생이 가능한 비정질부의 인장강도는 계산된 Maxwell의 응력치와 거의 비슷하므로 Tree 발생의 주요원인을 Maxwell Stress에 의한 기계적파괴로 보는 것이 타당할 것으로 생각된다.

다음 基材보다 유전율이 큰 異物이 충전되어 있을 때 Tree 발생이 촉진되는 이유에 대하여 검토하고자 한다

異物이 전극첨단에 접근하여 존재할 경우 Tree 발생에 미치는 영향은 이물질의 유전율의 값에 밀접한 관계를 갖고 있음을 실험적으로 관찰하였다.

K.W. Wagner의 混合誘電體理論<sup>(9)</sup>으로 부터 기체 내의 충전된 미립분으로 인한 인가전계의 교란상태를 양적으로 살펴보고자 한다. 그림 7과 같이 유전율이 ε<sub>1</sub>인 유전체내에 유전율 ε<sub>2</sub>되는 반경 R의 微粒球인 충전용유전체가 있다고 가정할때 구의부의 (r,θ)되는 점의 전계 E<sub>1</sub> 및 전위 V<sub>1</sub>은 각각

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_0 - \left( r - \frac{R^3}{r^2} \cdot \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \right) E_0 \cos\theta \\ E_1 &= E_0 \left( 1 + \frac{2R^3}{r^3} \cdot \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \right) \cos\theta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

가 되므로 외부에서 인가한 전계의 세기보다

$$\left( \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \cdot \frac{2R^3}{r^3} \right) E_0$$

만큼 더커지며 여기서 V<sub>0</sub>는 원점 0에서의 전위이다.

지금 식 (2)에 의하면 충전물의 유전율 ε<sub>2</sub>가 클수록 또 미립구와의 거리 r이 적을 수록 구와 접근한 전계

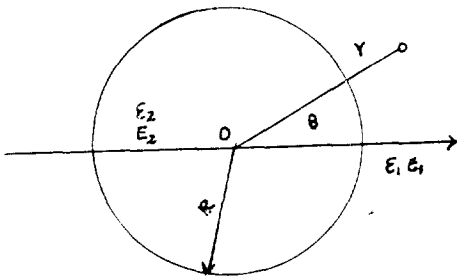


그림 7. 충전입의 기하학적 형태  
F.g. 7. Geometry of Filler particle.

E<sub>1</sub>은 강화되므로 전극첨단에서의 Maxwell Stress는 충전미분의 존재로서 더 커져 Tree의 발생은 용이하게 된다. 또 Wagner의 이론에 의하면 基材와 충전미립분의 體積比를 P라 하고 P ≪ 1일때 혼합유전체의 평균 유전율은

$$\epsilon = \epsilon_1 \left( 1 + 3P \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \right) \quad (3)$$

로 표시되므로 충전된 물량(物量)이 많을 수록 Tree 발생을 촉진하는 경향도 커질 것이다.

이와같은 경향은 ε<sub>2</sub>가 클 수록 더욱 현저할 것이며 그림 4,5,6 등에서 시간에 대한 Tree 길이의 변화율이 순수한 PE에서 보다 SiO<sub>2</sub>에서, SiO<sub>2</sub>에서 보다 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에서 더 큰 것은 ε<sub>2</sub>(PE) < ε<sub>2</sub>(SiO<sub>2</sub>) < ε<sub>2</sub>(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)인 점을 감안하면 이해할 수 있다.

#### 4.2 진전에 대한 考察

다음은 Tree 진전에 대한 경향을 고찰해 보기로 한다 일단 발생한 Tree가 진전하면 Tree 管路內에서 放電에 의하여 가속된 전자(電子)가 Tree 첨단부에 주는 충돌작용과 Tree 先端部에 높은 전계의 집중으로 인한 Maxwell Stress를 생각할 수 있다.

관로내에서의 방전은 당연이 관로전체를 등전위로 만들며 Tree 첨단의 곡률반경을 4×10<sup>-4</sup>cm, 대전극과의 전위차를 7.5kV, 對電極까지의 거리를 1mm라고 가정하면 식 (1)에 의하여 E=5.43(MV/cm)가 되며 식 (3)에 의하여 계산된 등가유전율은 p=1%로 가정할 때

$$\epsilon_{(SiO_2)} = 2.32 \quad \epsilon_{(Al_2O_3)} = 2.33$$

이며 이것들은 별로 큰 변화는 없다. 이값들을 사용하여 계산된 Maxwell Stress는 31(kg/cm<sup>2</sup>) 정도이다. 따라서 상온에서는 Maxwell Stress만으로 Tree진전이 어려우며 관로방전등에 의한 첨단에서의 온도상승등의 조건들과 複合되어 진전이 이루어질 것으로 본다. 즉 첨단부근의 온도가 管路內放電으로 PE 조직내의 결정입 용점인 80~90°C 부근에 이르면 PE의 인장강도가 20kg/cm<sup>2</sup> 이하로 되므로 Maxwell Stress만으로도 진전은 충분히 촉진될 것이며 이와같은 사실은 순수한 PE에서 Tree 진전의 온도의존성에 관한 실험에서도 잘 입증되고 있다.<sup>(8)</sup>

진전실험에 있어서도 결과적으로는 유전율이 큰 유전체분의 혼입으로 Tree가 異物에 도달하기까지는 伸展이 촉진되고 있고 異物근처에서는 진전이 중지되거나 緩和되는 경향이 있다(그림 9,10 참고).

異物에 도달하기 전까지의 급속한 진전은 발생의 경우에서 고찰한 바와같이 異物의 혼입으로 그 부근의

전계가 강화된다는 사실로부터 쉽게 설명할 수 있으며 또 異物質의 혼입이 극부적일 때 Tree는 이것을 향 하려는 경향도 같은 전해로서 설명할 수 있다(그림 11 참고). 또 Tree의 형상에 있어서도 충전물의 유전율이 클수록 그림 8에서 알 수 있듯이 가지(Branch)의 갈래가 적으며 그 진전속도도 빠르게 관측되는데 이와같은 사실도 같은 전해로 설명된다.

다음 Tree의 침단이 일단 異物質粒의 표면에 도달 하면 이 침단은 미립 주변의 강한 전계에 따라 방전로가 주회하여 형성되며 결과적으로 침단의 기하학적 형태는 미립의 경계면부근의 공간이 되고 그 곡률반경이 늘어나 전계가 완화되므로 Tree의 진전도 억제된다고

생각된다.

그림 12는 시편제작과정에서 도입된 수적(水滴)을 周廻하여 Tree 침단이 성장해 나가는 양상을 잘 보여 주는 사진이다. 또 미립의 異質의 유전체의 경우에도 Epoxy수지에서 같은 현상이 전자현미경 사진으로 관측된 사례가 있다.<sup>(5)</sup>

한편 그림 4, 5, 6 등에서 알 수 있는 바와 같이 유전율이 적은 SiO<sub>2</sub> 충전시료에서 보다 유전율이 더 큰 층 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 진시료에서 Tree진전에 대한 억제효과가 더 큰 것은 후자의 경우 미립 주변의 전계가 더 강하므로 결과적으로 형성되는 주변방전로의 두께도 더 커져서 전계완화효과도 증가하는 것으로 본다.

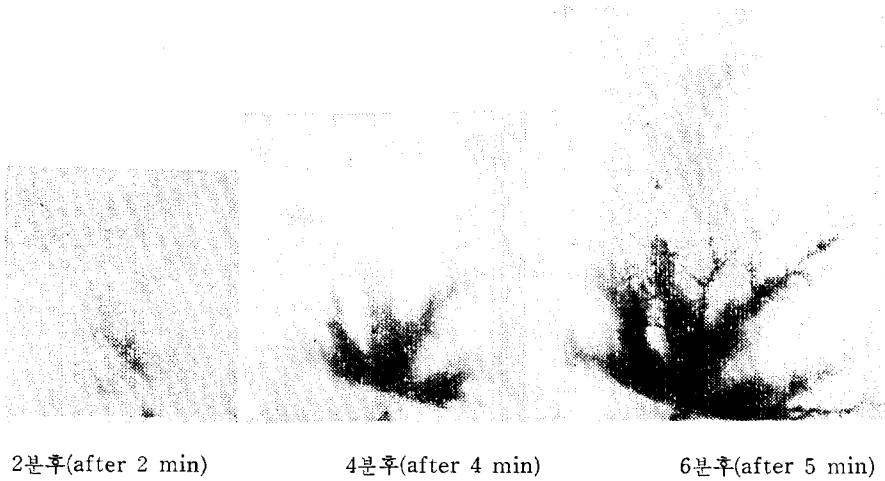


그림 8. 순수한 PE에서 tree의 진전모양  
Fig. 8. Shape of tree in pure polyethylene

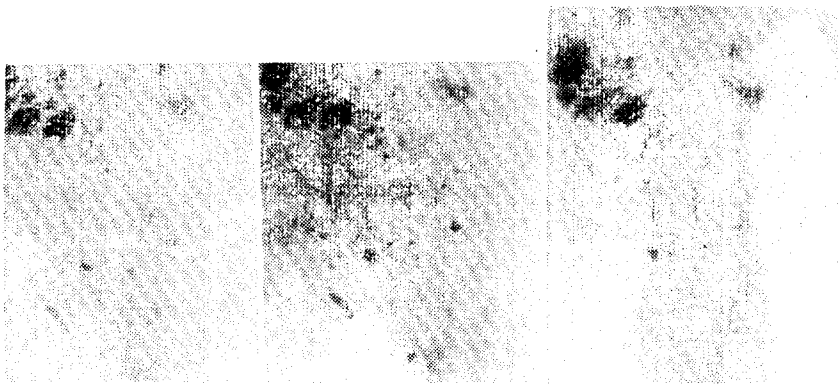


그림 9. S시료(SiO<sub>2</sub>첨가)에서 tree의 침단이 충전물 방향으로 더 잘 발달하며(4분후) 침단이 일단 충전물에 도달하면 그 진전이 억제되는 모습(6분후)  
Fig. 9. Aspect shown the fact that the tip of tree easily grows towards the Filler particle and the growth of the tip can be suppressed by reaching at the surface of Filler particle(after 6 min)

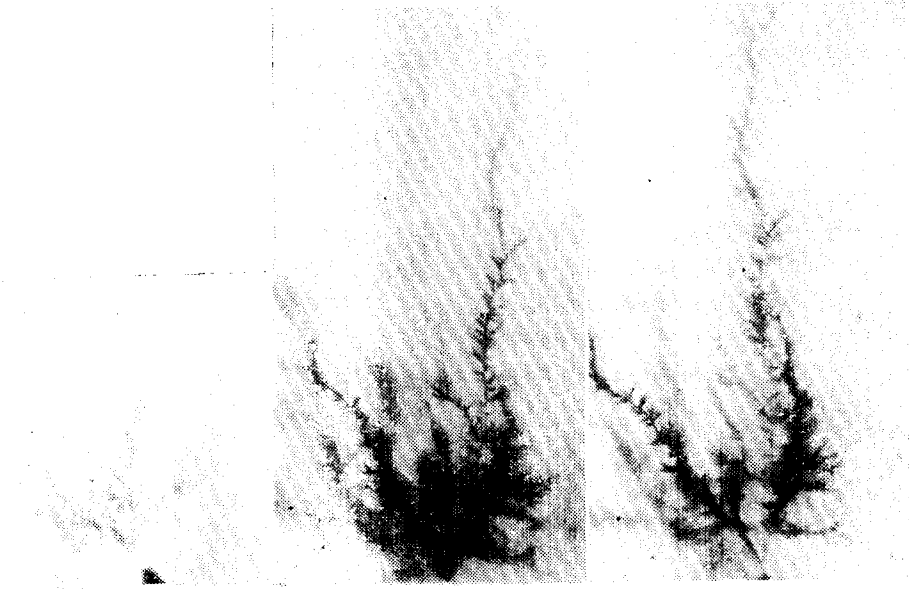


그림 10. 시료( $Al_2O_3$ )에서의 tree 진전 모양이며 S시료에서의 진전속도보다 더 빠름을 알 수 있다.  
 Fig. 10. Picture shown the development of tree at the specimen blent  $Al_2O_3$  Filler particle comparing the two picture, Fig. 9 and Fig. 10, it is clear than that at Fig. 9.

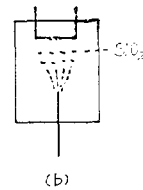
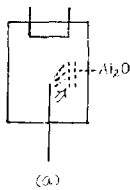
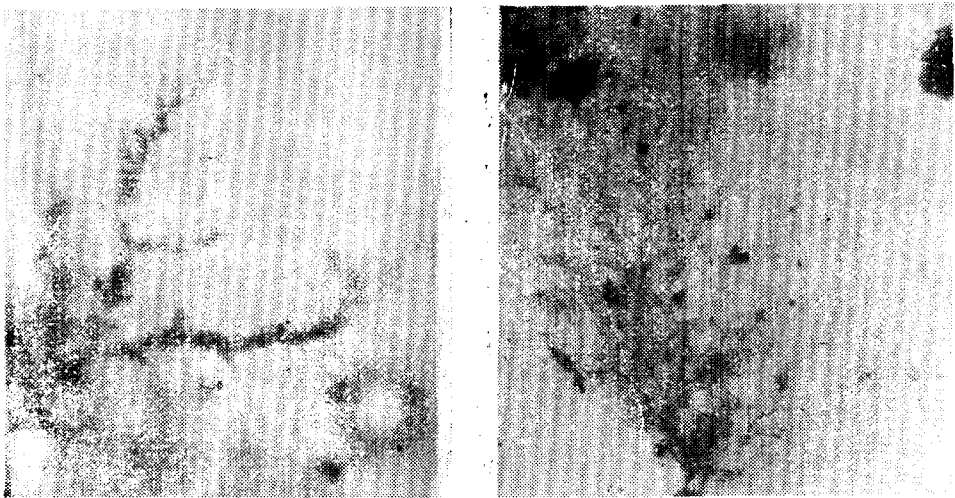


그림 11. A, 시료와 S 시료에서 tree가 충전물을 향하여 진전하는 모습  
 Fig. 11. The aspect shown the growing trends toward Filler particle in the specimen A, and S.

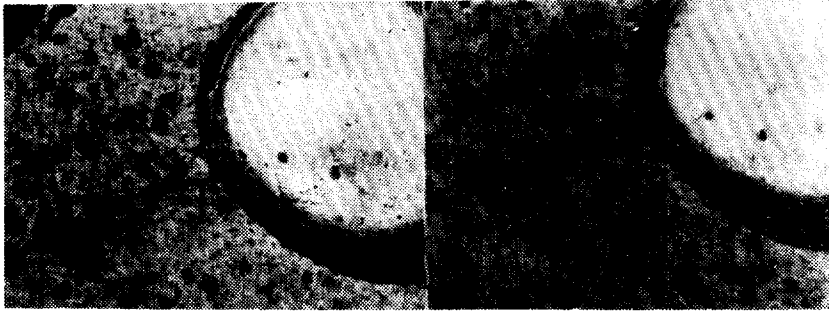


그림 12.水滴의 강한 전기에 따라 tree 침단이 성장하는 모습

Fig. 12. The growing aspect of tree tip followed the strong electric field around the water drop.

### 5. 結 論

전력케이블등에서 절연재료로 쓰이는 저밀도 Polyethylene에서 절연파괴의 前驅현상인 Treeing의 억제책을 연구할 목적으로 열적, 화학적으로 안정한 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 일정粒度的 분말을 基材와 일정한 중량비로 혼합하여 만든 시편들에서 Tree의 발생과 진전에 관한 양상을 순수한 시편에서의 현상들과 비교검토하였다.

결과적으로 충전미분의 유전율이 基材의 그 값보다도 클때 Tree의 발생은 촉진되나 Tree의 진전은 억제되는 경향이 있었다.

이와같은 경향은 전극침단에서의 전계를 계산하고 tree의 발생이 Maxwell Stress에 의한 기계적 파괴현상이라 상정(想定)하였을 때 계산된 Strees의 값은 순수시편에서의 Tree 발생에 충분한 값이었다. 따라서 발생이 촉진되는 현상은 전극침단 부근에 존재하는 充填粉粒에 의한 전기강화 효과가 설명할 수 있다. 또 tree침단이 일단 微粉粒에 도달하면 그 진전속도가 억제되는 이유는 미분입 주변의 강한 전기 때문에 Tree 침단의 방전로가 미분입을 주회하여 형성되므로 침단의 기하학적 곡률이 적어져 전계는 완화된다고 생각된다.

이와같은 효과는 충전물의 유전율이 클수록 그 효과가 크며 이것은 실험적인 사실과 잘 일치하고 있다.

따라서 Tree진전의 억제효과는 미분입의 유전율, 점도 혼합비 및 혼합의 均濟度等 많은 要因에 지배를 받을 것이며 이 연구결과는 실용적인 면에 일반화하기에는 현재다소 미흡한점이 있을 것으로 사료되나 절연파괴현상의 연구에 중요한 정보를 제공할 것을 확신한다. 이 분야의 연구에 중요한 實利的인 情報를 提供한다.

끝으로 본 연구는 1979년도 産學協同財團學術研究費로 이루어졌으며 同財團에 深甚한 感謝를 드린다.

### 參 考 文 獻

1. J.H. Mason; "The Deterioration and Break-down of Dielectrics Resulting from Internal Discharge" P.I.E.E. 98, Pt.1. pp.44~59(1951)
2. M. Olyphant, Jr; "Internal Corona Testing of Casting Resins." I.E.E.E, 31, pp.66~510(1966)
3. B.T. Mackenzic, et al; "Conference Electrical Insulation and Dielectric Phenomena," Nat Acad. Sci Washington, DC, p. 232 (1973)
4. 片山, はか; 月本電氣學會全國大會 465 (1973)
5. K. Fukuhi et al; "The Treeing Phenomena and V-t Characteristics of Epoxy Resin with Inorganic Fillers." JIEEJ,97-9 pp.13~39(1977)
6. N. Yoshimura et al; "Mechanism of Tree Initiation in Polyethylene." JIEEJ Vol. 93-4 No. 10 pp.413~419 (1973)
7. W.G. Oakes; Pro. Instn Elect. Engrs No.780, p.31 (1948)
8. M. Ieda; "Temperature Dependence of Treeing Breakdown in Polyethylene Produced by Positive D.C Voltage." JIEEJ.96-11 p.56(1976)
9. 沼倉秀穂: 誘電體論 "混合體の理論" オム社 pp.66~75(1936)
10. S. Hoh et al; "Treeing in Organic Insulating Materials" JIEEJ. 89-5 p.201 (1969)
11. Y. Toriyama et al; "Effects of Filler on the Growth of Tree in the Organic Insulating Compound." JIEEJ. 95-3 pp.9~6 (1975)
12. B.H. Km et al; "A Comparative Study on Thermal, Mechanical and Dielectric Characteristics of Low Density Polyethylene Cross-linked by Radiation and Chemical Methodes" JKIEE. Vol 25 No 2. pp.100~106 (1976)