

유기물이 첨가된 저밀도 폴리에틸렌에서 단락저항에 따른 직류트리잉 파괴 특성

김 봉 흡 · 임 기 조*

한양대학교 공과대학 전기공학과

*충북대학교 공과대학 전기공학과

(1986년 2월 5일 접수)

The Characteristics of DC Treeing Breakdown Associated with Short-Circuit Resistance in Low Density Polyethylene Blended with Organic Compounds

Bong-Heup Kim and Ki-Cho Lim*

Department of Electrical Engineering Hanyang University, Seoul 130, Korea

** Department of Electrical Engineering Chungbuk National University, Cheongju 310, Korea*

(Received February 5, 1986)

Abstract: In order to investigate the effects of organic additives as well as the influences of short-circuit resistance to the characteristics of D.C. tree in low density polyethylene, observations on the inception voltage and growing characteristics of D.C. tree with several different short-circuit resistances are carried out on the specimens blended with the additives such as, aniline, m-cresol and p-dichlobenzene respectively. As the results, the observed characteristics with zero short-circuit resistance is mainly related to, so-called, "short-circuit tree" which is formed at the step of the short-circuit procedure due to strong poisson field resulted by space charges in the vicinity of the needle electrode. Furthermore, this kind of tree shows the distinct polarity effect such that the inception voltage in case of positive polarity on needle electrode is larger than that of the case of negative polarity. On the other hand, the observed characteristics with high short circuit resistances such as 20 and 200 Kohm respectively, are related to "impressed tree" defined as that to be formed while the pressure is impressed at electrodes, and those kinds of tree shows a clear inversed polarity effect compared with the case of zero short-circuit resistance. As a whole it is concluded that, as a voltage stabilizer, aniline is a more effective inhibitor to short-circuit tree, while, m-cresol is a more effective one to impressed tree.

서 론

여러 종류의 고분자 수지들이 전기적, 기계적
인 諸性能이 우수하여 전기 절연재로써 광범위하

게 사용되고 있다. 그러나 이들 고분자 절연재료
에 고전압이 인가되었을때 재료중의 결함부, 異
物의 混入 및 전극의 不整 등으로 고전계가 형성
되어 국부적인 절연파괴가 생성되는 소위 트리잉

(treeing) 현상이 종종 관측된다.

종래의 트리잉 파괴에 대한 연구는 실제적인 사용 상태를 고려하여 주로 교류전압하에서의 현상에 대하여 다수 수행되었으며 그동안 많은 성과가 이루어졌다¹. 최근 10여년 전부터는 직류 고전압의 사용이 늘어남에 따라 직류전압 인가시에 절연재에 일어나는 트리잉 파괴²에 관심이 집중되어 왔으며 그 결과 상당한 정보의 축적도 이루어졌으나 아직도 불명한 점이 많다. 특히, 直流 트리 중에서 직류 인가전압의 차단 후 兩전극의 短絡으로 생기는 接地트리(earthing tree 혹은 grounding tree)⁴ 또는 短絡트리(short-circuit tree)⁵에 대해서는 Yamada씨가 그 발생의 가능성을 제시³한 후 Ieda, Saito씨의 연구^{4,5}등 극히 소수의 연구 결과가 발표되어 있을 뿐이다. 그러나 직류 고전압 인가시에 생기는 트리보다 비교적 낮은 전압(약 1/2 정도의 값)⁴에서 쉽게 발생하는 단락트리 특성에 관한 연구는 실용적인 견지에서 고전압 직류전원의 차단시 아크 저지를 위하여 행하는 단락조작이나 고전압 전력선의 접지 사고 등을 고려할 때 직류 고전압 절연의 측면에서 중요한 과제라 아니할 수 없다. 또한 이미 발표된 연구들은 대체로 단락저항의 값이 0Ω 인 경우 單回단락조작에 국한되고 있으나 단락시의 단락조건의 변화에 따라서는 트리발생의 양상도 달라질 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 단락조건 중에서 간단하게 단락회로저항(short-circuit resistance)을 여러가지 값으로 변화시키면서 직류전압 인가 및 단락을 반복하는 조건 밑에 저밀도 폴리에틸렌에서 생성, 신장하는 직류트리의 특성에 대하여 관측, 검토 하였다. 아울러 저밀도 폴리에틸렌의 직류 耐트리잉성을 화학적인 방법으로 증가시킬 목적으로 電壓安定劑로써 3종의 芳香族 화합물을 택하여 각각 이들을 중량비 10% 씩을 저밀도 폴리에틸렌 시료에 첨가시킨 후 트리促進실험을 행하여 이들 첨가제가 직류트리의 발생 및 진전을 억제시키는 효과를 확인하고 그 억제기구를 검토 하였다.

시료 및 실험 방법

시편은 밀도 0.92인 한양화학제 저밀도 폴리에틸렌 粒子型 원료에 Table 1의 유기 화합물을 각각 10wt%를 혼합하고 사출기에서 $130\sim 140^{\circ}\text{C}$ 로 5분간 균일하게 鍊合하여 사출 급냉시켜 Fig. 1-A의 형태로 제작하고 Fig. 1-B와 같이 두장의 박막사이에 전극을 배치한 후 가열가압기로 130°C 로 5분간 가열하여 압착 성형하고 상온까지 서냉시켜 Fig. 1-C의 최종 형태로 제작하였다. Fig. 1-C의 전극배치는 트리 촉진실험시 일반적으로 이용되는 3차원의 針對平板 전극구조의 2차원적인 변형이며 첨가제의 첨가에 따른 저밀도 폴리에틸렌의 투명도 저하에 대한 보완책으로 두께를 얇게 할 수 있게 하기 위함이다. 여기서 사용한 침전극으로는 침단 곡률반경이 $5\mu\text{m}$ 인 강철제 트리잉針(日, 오쿠라보석 社製)을, 對전극으로는 직경 0.18mm의 銅線을 사용하였으며 兩전극간의 극간거리는 $1.33\pm 0.01\text{mm}$ 로 하였다. 제작된 시편은 광학현미경 400배에서 기포의 유무를 확인한 후 기포가 없는 것만 선별하여 실험에 사용하였다.

트리잉 실험은 Fig. 2에 표시되어 있는 바와같이 시편 전체를 실리콘油 중에 함침시켜 행하였으며 트리발생 전압을 조사하기 위하여는 첨가제별로 제작된 시편 10개씩을 각각 병렬로 연결하여 실험하였다. 전압 인가방법은 同그림에서 스위치를 1측에 연결하여 침전극 측에 正 또는 負 극성의 직류전압을 인가하는데 Fig. 3-A의 전반 스케들에 따라 3KV/S의 속도로 15KV까지 昇壓

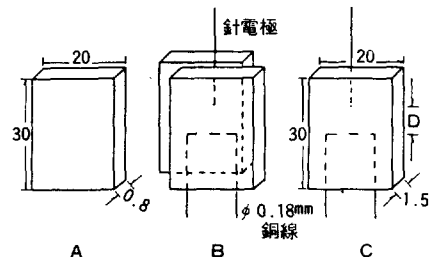
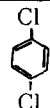


Fig. 1. Procedure to fabricate the specimen and its geometry.

Table 1. Numerical and other Data of Additives

종 류	구 조	분 자 식	응 점	비 점	제 조 회사	순 도	μ^*	EA**
aniline		$C_6H_5NH_2$ 93.13	$-5.98^\circ C$	$183^\circ C$	關東化學	99%	1.51	139.2
m-cresol		$C_6H_4(OH)CH_3$ 108.14	$11.9^\circ C$	$202.7^\circ C$	島久雙品	99%	1.54	177
p-dichloro-benzene		$C_6H_4Cl_2$ 147.0	$53^\circ C$	$174^\circ C$	"	99%	0.00	

* μ : dipole moment (debye unit)

**EA : electron affinity (KJ/mol)

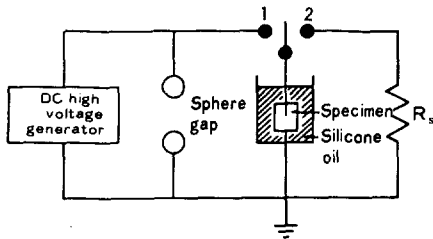


Fig. 2. Schematic diagram of the testing circuit.

하고 이 상태로 30초간을 지속한 후 스위치를 2 측으로 연결함으로써 전원을 차단시키고 동시에 일정한 短絡저항 R_s (0, 20K Ω , 200K Ω)를 통해서 침전극과 접지전극간을 단락시킨다. 다음 실험장치로부터 제거된 시편에서의 트리 발생 유무를 광학현미경으로 관측하며 그 결과 트리발생이 안된 시편에 대해서는 Fig.3-A의 후반 스케줄에서와 같이 전압을 1KV씩 단계적으로 승압시켜 인가하면서 트리의 발생 여하를 계속 반복 관측한다. 또 초기트리 발생은 길이가 10 μm 이상 될 때로 정의하였으며 이 상태가 되기 직전의 인가전압을 트리발생 전압으로 간주하였다.

이와 같은 실험을 거쳐서 이미 트리가 발생된 시편에 일정 전압을 반복 인가하는 방법으로 전압인가 시간에 따른 트리진전 특성을 살펴보았다. 즉, Fig. 2의 회로를 이용하여 Fig.3-B의 스케줄에 따라 침전극 측에 正 또는 負극성의 직류전압을 3KV/S의 속도로 $\pm 55KV$ 까지 승압시켜 20분간 계속 인가한 후, 스위치를 2 측에 연결함으로써 전원을 차단함과 동시에 단락저항 R_s (0,

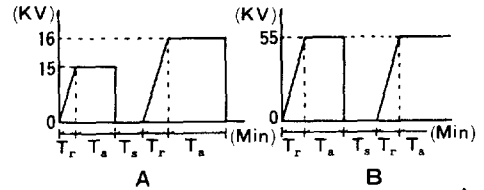


Fig. 3. Time schedule of voltage application to the needle electrode.

A. For the investigation of the tree inception voltage.

B. For the investigation of the growth characteristics of tree.

200K Ω)를 통해서 침전극과 對전극을 순간적으로 단락시키고 시편을 油槽에서 꺼내어 시편내에 신장된 트리의 진전길이를 광학현미경으로 관측하였다. 또한 非課電時間(rest time)이 트리잉 특성에 미칠 수 있는 가능성을 고려하여 이 시간은 전 실험을 통하여 5분씩으로 일정하게 고정하였다.

실험 결과 및 고찰

Fig. 4는 전술한 바와같이 침전극에 正·負극성의 직류전압을 인가한 후 일정한 단락저항 R_s (0, 20K Ω , 200K Ω)를 통하여 침전극과 대전극을 단락시키는 방식으로 조사한 첨가제 별 트리발생 전압을 나타낸 것으로 각 경우 10개시편에서 얻은 50% 트리 발생전압이며 폭은 편차를 의미한다.

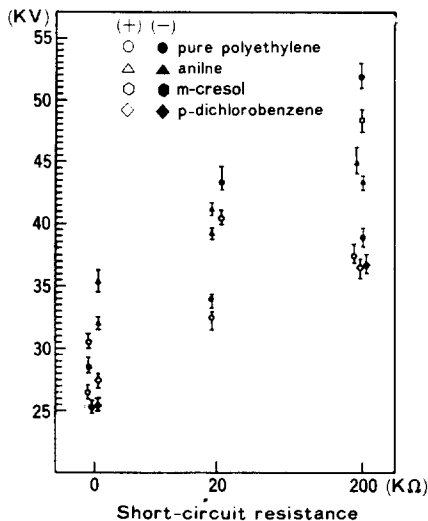


Fig. 4. Characteristics of tree inception voltage in specimens blended with several kinds of additives in case of different short-circuit resistance.

Fig. 4에서 (+)로 표시된 정극성 트리발생 전압은 침전극에 정극성의 직류전압을 인가하여 얻은 값이며 (-)로 표시된 것은 침전극에 부극성의 직류전압을 인가한 경우의 값이다. 결과적으로 트리발생 전압은 모든 시편에서 단락저항의 값이 클수록 높아지고 있으며 단락저항이 0 Ω일 때는 정극성 트리발생 전압이 부극성 발생전압보다 높으나 단락저항이 증가된 경우(20KΩ, 200KΩ)에는 부극성 트리발생전압이 전극성 발생전압보다 높게 나타나고 있다. 또한 단락저항과 첨가제에 따라 트리발생전압은 상당한 차이를 보이고 있는데 단락저항이 0 Ω일 때는 aniline을 첨가한 시편에서 가장 높은 트리발생전압이 나타나지만 단락저항이 20, 200 KΩ일 때는 m-cresol의 경우가 가장 높게 나타나고 있고 p-dichlorobenzene이 첨가된 시편에서는 순수한 폴리에틸렌에서와 유사한 경향을 보이며 비교적 낮은 트리발생전압을 갖는 것으로 관측되었다.

일반적으로 절연재의 절연성능은 공간 전하와 밀접한 관련이 있으며 특히 충격전압이나 직류전압과 같은 單極性 전압하의 트리잉 현상에서는 시료내에 형성된 공간전하가 중요한 영향을 미친다

고 지적^{6~8}되고 있다.

Fig. 4의 단락저항과 첨가제에 따른 직류트리 발생 특성을 공간전하 효과를 고려하여 정성적으로 검토해보고자 한다.

전극간에 직류 전압을 인가하면 시료내에 공간 전하가 생긴다. 이와같은 전하형성에 기여하는 것으로는 일반적으로 유전분극, 유리이온 및 전극에서의 전하주입을 들 수 있으나 그 중에서 유리 이온의 기여는 낮은 이동도나 양적인 면에서 극히 적을 것으로 보고 무시한다. 주입전하에 의한 공간전하 형성과정을 자세히 살펴보면, 침전극에 負극성 직류전압이 인가되었을때 전극으로부터 전자는 일반적으로 잘 알려진 schottky나 tunneling 기구에 의해 폴리에틸렌으로 주입되어 대전극으로 이동할 것이나 도중에 일부는 재결합으로 소멸되지만 대다수는 트랩중심에 포획되어 飛程(flight distance) 근방에 同極性의 공간전하(homo charge)를 형성^{2,8}하게 되고 계속적인 전압의 반복인가에 따른 주입전자들은 확산, 재포획(retrapping)등의 여러기구를 거치면서 최종적인 축적분포 상태에 이를 것이다. 물론 이 최종 분포상태의 양상은 재료의 미세적 구조, 첨가제, 전압 및 인가방식 등등에 따라 달라질 것임은 명백한 사실이다.

다음, 침전극과 대전극을 단락하였을 때 시료 내부에 발생하는 전계에 대해서 생각해 보고자 한다.

지금 전극에서의 전하주입이 없다고 가정하면 단락과 동시에 기하학적 정전 용량에 관련된 축적전하는 순간적으로 중성화되며 유전체 내의 분극에 관련된 전하들은 각각의 완화시간의 크기에 따라 소멸되면서 서서히 원래의 상태로 복원된다. 이러한 완화과정에서는 시료내에 형성된 전계는 인가전계 이상으로 될 수 없으므로 절연파괴를 일으킬 수 있을 만한 고전계는 생기지 않고 따라서 단락에 의한 트리의 발생은 기대하기 어렵다. 그러나 주입전하로 형성된 공간 전하가 충분히 많으면 대전극과 단락되어 있는 침전극과 공간전하 영역사이에 인가전계의 방향과는 반대되는 강한

poisson 전계가 형성되어 국부 절연파괴가 일어나면서 공간전하는 소멸(release)되어 갈것이다. 더 구체적으로 설명하면 부극성 직류전압이 침전극에 인가된 후 침전극과 대전극을 단락하면 脱포획전자(detraping electron) 또는 자유전자들이 침전극으로 복귀하는 과정에서 공간전하에 의한 강력한 poisson 전계 때문에 전자沙汰를 통한 국부 절연파괴를 야기시켜 그 결과 트리가 발생하게 된다. 이와같은 파괴방전 과정에 물론 쌍극자들의 잔류분극에 의한 쌍극자 전계의 영향도 무시될 수 없다. 또, 침전극에 정극성 직류전압이 인가된 후 兩전극을 단락시키는 경우를 살펴보자, 정극성 전압인가시에 bulk 내에서 침전극부근의 자유전자가 추출되므로써 남은 正이온에 의한 poisson 전계가 兩전극을 단락하는 경우 침전극으로부터 시료내로 새로운 전자를 주입시키는 구실을 하며 이들 전자가 沙汰를 일으켜 트리를 발생시킬 수 있게 될 것이다. 그러나 負針(針 전극에 負극성 전압을 인가한 경우)시 주입전자의 기여로 형성된 공간전하에 의한 poisson 전계는 正針의 경우 전자가 침전극으로 抽出되어 형성된 正이온에 의한 전계보다 더 클 것이므로 따라서 兩전극의 단락으로 단락시에 발생하는 트리(이하 短絡트리라고 칭함)의 극성효과로서는 부극성 트리발생전압 보다 정극성 트리발생전압이 더 높게 나타날 것이다. 이와 같은 이유로 부터 Fig. 4에서 단락저항이 0Ω 인 경우의 트리발생에 관한 극성효과는 앞에서 언급된 단락트리에 의한 발생으로 보면 이해될 수 있다.

다음 첨가제에 따른 트리발생의 차이에 대하여 생각해 보고자 한다.

전자친화도(electron affinity)가 큰 $-OH$, $-NH_2$ 基를 각각 포함하고 있는 m-cresol, aniline은 유효한 트랩중심이 되어 加速된 전자를 포획하고 전자의 에너지를 흡수함으로서 전자사태의 성장을 억제 또는 지연시켜 단락트리의 발생을 억제시킨다고 생각된다. 따라서 무극성이며 전자친화도도 비교적 적은 p-dichlorobenzene을 첨가한 시료나 순수한 폴리에틸렌에서는 m-cresol이나 aniline

을 첨가한 경우 보다 낮은 트리발생전압을 보이는 것은 이와같은 기능 설명에 따라 이해할 수 있다. 이미 Simplex社의 특허인 VSP(voltage-stabilize polyethylene)에 첨가된 o-nitrotoluene 등에 의한 트리 억제기구의 해석에서도 전자사태 성장의 억제 또는 지연 효과로 설명하고 있다.

또, aniline을 첨가한 경우가 m-cresol을 첨가한 경우보다 트리발생이 어려운 것은 두 첨가제가 지니는 전자친화도와 쌍극자능률의 차이를 고려하면 바로 이해할 수 있다. 전술한 바와 같이 단락트리를 발생시키는 전계는 주입전하로 인하여 단락시에 형성되는 강력한 poisson 전계와 아직 분극상태에 있는 영구쌍극자에 의한 쌍극자 전계로 나누어 생각할 수 있는데 Table 1에서 보는 바와 같이 m-cresol의 $-OH$ 는 aniline의 $-NH_2$ 보다 전자친화도나 쌍극자능률에 있어 더 큰값을 갖고 있다. 일반적으로 고전자친화도의 基는 低전계에서는 전자를 포획함으로써 전자사태의 성장을 억제하지만 트랩充滿전압 V_{TFL} (trap filled limited voltage)부근의 높은 전계에서는 전자사태의 억제작용은 줄어들고 트랩된 공간전하에 의한 강력한 poisson 전계가 자유전자나 脱포획전자들에 의한 전자사태의 성장을 오히려 촉진시키는 구실을 할 것이며 이때 분극상태의 쌍극자에 의한 전계가 남아 있으면 전자사태의 성장은 한층 더 가속될 것이다. 이와같은 견지에서 전자친화도가 더 큰 m-cresol은 같은 첨가제 농도에서 aniline 보다 더 낮은 V_{TFL} 의 값을 갖기 쉬우며 쌍극자능률의 값도 크므로 단락트리의 발생이 더 용이해진다고 생각된다.

다음, 같은 Fig. 4에서 단락저항의 값이 20, 200K Ω 일 때의 트리발생에 관련된 극성효과는 0Ω 인 경우와는 상반되게 나타나고 있다. 본 실험과 類似한 실험으로 Ieda, 및 Nawata의 단락트리⁵, Saito, 및 Fukuzawa의 접지트리⁴등에 관한 관측이 있으나 이때에는 일정한 직류전압을 인가한 후 두 전극을 단락하였을 때(단락저항: 0Ω) 순수한 PE에서 발생하는 직류트리의 경우였으며 본 실험방법에서와 같이 일정 직류전압을 소정시

간 인가한 후 兩전극을 저항을 통해서 순간적으로 단락하는 과정을 계속 반복하였을 때 발생하는 적류트리에서의 발생기구는 해명에 있어 前者의 경우와는 상이할 것이다. 우선 이제까지 설명하고 사용했던 단락트리의 개념외에 외부로부터 전압인가시에 발생하는 트리를 印加트리라 부르기로 하자. 지금 20, 200K Ω 과 같은 높은 단락저항에 의한 단락 조작시의 트리 발생을 인가트리에 의한 것으로 가정하면 극성효과를 다음과 같이 이해할 수 있다. 즉, 인가트리를 발생시키는 有効전계 (effective field)는 외부로부터의 인가전계와 공간전하에 의한 poisson전계의 합으로 생각할 수 있는데 이미 설명한 바와 같이 poisson전계는 인가전계와는 그 방향이 반대로 되므로 공간전하량이 많을수록 인가트리 발생에 필요한 인가전압은 커져야 하며 침전극에 부극성의 전압이 인가 되었을 때 형성되는 공간전하량이 정극성의 경우보다 더 많음으로 前者의 인가트리 발생전압이 後者の 경우보다 높게 나타나는 것으로 해석된다.

또, 첨가제의 종류에 따라 m-cresol > aniline > pure PE 및 p-dichlorobenzene의 순으로 인가트리 발생전압이 낮아지고 있는 이유는 이때에도 전자친화도가 큰 m-cresol이나 aniline의 첨가가 단락트리 때와 마찬가지로 전자사태의 성장을 억제하기 때문에 순수한 PE나 p-dichlorobenzene이 첨가된 경우보다 높게 나타나는 것으로 해석된다. 또한 단락트리의 경우와는 반대로 m-cresol을 첨가한 경우가 aniline을 첨가한 경우보다 트리발생전압이 높아진 것은 상대적으로 큰 전자친화도와 쌍극자 능력을 가진 m-cresol의 경우가 공간전하에 의한 보다 높은 전계가 형성되기 쉬워 인가트리의 발생에 대한 억제효과가 더 크기 때문이라고 생각된다. 다음, 0 Ω 에 의한 단락시에는 단락트리가 발생하던 것이 고저항으로 단락할 경우 인가트리로 이행하여 가는 것은 높은 단락저항에 의해 시료내의 자유전자 및 脱포획 전자가 침전극으로 抽出되어 系外로 빠져나가기가 상대적으로 어려워질 것으로 상정된다. 이

와 같은 사실을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 행하였다. 즉, Fig. 5와 같은 장치를 사용하여 우선 스위치를 1측에 연결하여 침전극에 $\pm 20KV$ 를 각각 5분씩 인가하고 스위치를 2측으로 옮겨 일정저항 R_s 를 통하여 兩전극을 순간적으로 (약 0.1초간) 단락시킨 다음 스위치를 3측으로 연결하여 이때 방전되는 전류를 electrometer와 X-T recorder에 의해 관측하였다. Table 2는 이때의 실험결과로서 위의 과정에서 스위치가 3측에 연결된 후 5초부터 20초사이 15초간의 방전전하량을 나타낸 것이다. 이 표에서 정, 부극성 충전전압에서 모두 단락저항의 값이 클수록 방전전하량이 많음을 알 수 있다.

Bulk내부의 공간전하에만 주목할 때, 이와 같은 결과로부터 단락저항의 값이 커질수록 bulk내부의 공간전하가 抽出되기 어렵다는 사실을 알 수 있다.

이상 설명한 현상과 관련하여, 일정 非課電시간 후 전압인가를 반복하는 이 실험에서와 같은 조작은 공간전하의 점진적 축적 증가를 초래하며 따라서 poisson전계도 보다 더 강화되므로 인가

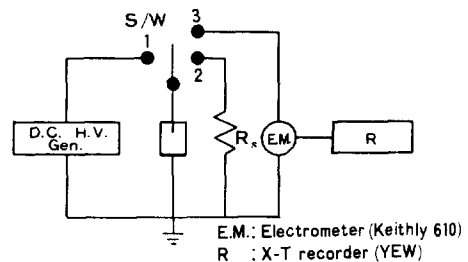


Fig. 5. Schematic diagram for discharge current measurement.

Table 2. Discharge Magnitude in Specimens Blended with Additives

충전전압 (KV) 단락저항 (K Ω) 첨가제	방전전하량 (pC)				$Q = \int i dt$ 5 t 20(sec)
	+20	-20	+20	-20	
Pure P.E.	580	630	686	949	
p-dichlorobenzene	592	700	531	669	
m-cresol	616	767	619	1016	

트리의 발생에 필요한 인가전압은 단락저항의 값이 높을수록 더 높아질 것이다. 결과적으로 Fig. 4에 수록된 모든 특성은 공간전하 및 그 축적효과로 설명이 가능하다.

다음 Fig. 6, 7은 일정 직류전압($\pm 55\text{KV}$)을 인가한 다음 양전극을 단락하는 과정을 계속 반복했을 때의 트리진전 특성이며 Fig. 6은 단락시의 저항이 $0\ \Omega$ 인 경우이고 Fig. 7은 $200\text{K}\Omega$ 인 경우이다. 그림에서 횡축의 전압인가 시간은 $\pm 55\text{KV}$ 의 일정 전압만이 인가되었던 시간의 누계를 표시한 것이다.

Fig. 4와 6 및 7을 비교하여 보면 트리진전에 의한 全路破壞에 요하는 시간은 동일한 단락

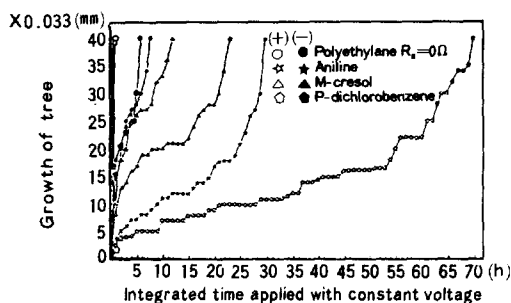


Fig. 6. Growth characteristics of tree in specimens blended with several kinds of additives vs. integrated time with a constant voltage applied to needle electrode in case of zero short-circuit resistance.

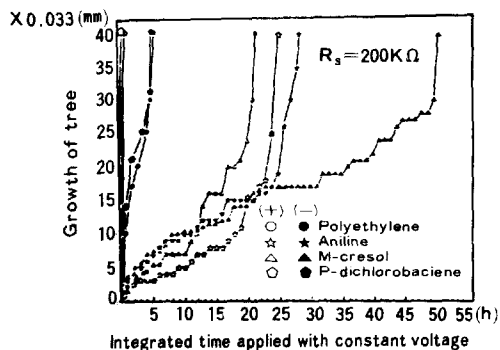


Fig. 7. Growth characteristics of tree in specimens blended with several kinds of additives vs. integrated time with a constant voltage applied to needle electrode in case of $200\text{K}\ \Omega$ short-circuit resistance.

저항에서는 트리발생 전압의 크기 순서와 대체로 일치하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 트리진전 특성도 이미 검토하였던 바와같이 단락 저항 및 첨가제가 트리발생전압에 미치는 영향과 같은 내용으로 해석할 수 있음을 의미하고 있다. 즉, 단락저항 $0\ \Omega$ 의 경우인 Fig. 6의 트리진전 특성은 단락트리의 반복에 의한 진전이며, $200\text{K}\Omega$ 인 경우의 Fig. 7의 트리진전 특성은 인가트리의 반복적 발생에 의한 진전으로 간주된다.

다만 Fig. 6에서 순수한 PE의 경우나 p-dichlorobenzene이 첨가된 시편에서 초기에는 부극성 침전극 전압에 의한 트리진전이 빨라진 정상적인 특성을 보이나 나중에는 정극성 침전극에 의한 진전이 부극성의 경우보다 빠르게 나타나는 반전 현상이 일어나고 있다. 이것은 트리가 신장하여 그 첨단이 대전극에 가까워짐에 따라 트리첨단의 인가전계는 보다 더 강화되고 이 값이 인가 트리발생전계에 달하면 단락트리외에 인가트리도 트리진전에 기여하게 되기 때문이라고 해석된다.

결론

3 종류의 유기 화합물을 저밀도 폴리에틸렌에 각각 중량비 10%씩 첨가하여 이들 첨가제 및 단락저항별로 발생하는 직류트리의 발생전압 및 진전특성을 관측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 단락 저항이 클수록 정, 부극성 모두 트리발생전압은 높아졌으며 단락저항이 $0\ \Omega$ 일 때는 정극성 트리발생 전압이 부극성 발생전압보다 높게 나타났으나 20, $200\text{K}\Omega$ 에서는 위와 상반된 극성효과를 보여 주었다.

(2) 단락저항이 $0\ \Omega$ 일 때는 단락트리가 발생하고 단락저항이 클 때는 주로 인가트리의 발생이 지배적이었다.

(3) 트리의 진전특성도 발생특성과 유사 하였으며 단락트리에 의한 트리의 발생 및 진전 과정에서는 aniline을 첨가한 경우가 강한 억제효과를 보였고 인가트리에 의한 발생 및 진전과정에서는 m-cresol의 첨가에 의한 억제효과가 뛰어났다.

(4) (3)의 억제기구는 주입된 케리어의 공간전하에 의한 poisson전제와 첨가제가 지니는 전자친화도가 전자사태의 성장에 미치는 영향을 검토함으로써 합리적 해석이 가능하였다.

이상의 결과는 직류 고전압 절연 설계에 유익한 정보가 될것으로 생각되며 특히, 빈번한 스위치 개폐가 일어나는 고압 직류기기의 절연재의 내트리잉성 향상에는 aniline의 첨가가 효과적이며 접지사고가 예상되는 직류 케이블 등의 절연재의 트리억제 첨가제로서 m-cresol이 더 효과적일 것으로 사료된다.

끝으로 본 연구의 실험과정에서 많은 도움을 준 충북대학교 대학원생 채홍인군에게 감사를 드린다.

참 고 문 헌

1. R.M. Eichhorn, *IEEE Trans. on EI*, **EI-12**, 1, (1976).
2. M. Ieda, et al, *JIEE* **95**, 10, (1974).
3. T. Yamada; 내 전계성 전문위원회 자료, 일본전기학회, ES-25-154 (1974).
4. Y. Saito, et al, *IEEE, Trans. on EI*, **EI-12**, 1, (1977).
5. M. Ieda, et al, *IEEE Trans. on EI*, **EI-12**, 1 (1977).
6. D.W. Auckland, et al, *IEEE pub.*, 129, 15-18 (1975).
7. A. Bradwell, et al, *Proc. Instn. Elect. Engrs.*, **118**, 247 (1971).
8. S. Yamaguchi, et al; 명치대학 공학부연구 보고, No. **29** (1974).
9. U.S. Patent on Voltage stabilizers issued to simplex; *U.S. patent* 3482033 (1966).