γ 線照射の有機絶縁材料における Treeing におよぼす影響*

小林繁雄・清水喜輝

東京農工大学工学部電気工学科

(東京都小金井市中町2丁目)

1969年10月20日 受理

1. まえがき

有機絶縁材料における絶縁破壊のおもな誘因と考えられているものに、Treeing と呼ばれる樹枝状の局部的破壊現象がある。この樹枝状の放電痕跡 (Tree) は、絶縁材料の表面近くや内部の微小空隙などの部分的欠陥における微小気中放電とか、ある値以上の電界の存在などによって発生し、ガスで満たされた管状のボイドであるといわれている。実際、固体絶縁材料には必ず空隙や不純物が含まれているために、その絶縁破壊にはこの Treeing 現象が必ず伴うものと思われる。近年、石油化学工業の発展により電気絶縁材料としてもすぐれた特性をもった高分子材料が多数現われ、それらが電気機器やケーブルなどにさかんに用いられるようになってきた。このような点から、固体絶縁材料における絶縁破壊の前駆現象である Treeing に関する研究が、最近ますます必要となってきた。

また、最近の原子力工業の発展に伴ない、各種の絶縁材料がさまざまな放射線にさらされる機会が増大してきており、原子炉の近くで機器絶縁物が受ける放射線損傷の面と、高分子材料に γ 線などを照射してその特性を改善する放射線利用の面との2つの方向で、放射線と有機(高分子)絶縁材料との相互作用の問題が研究されてきている。

ここでは、放射線による絶縁材料の高電圧特性の劣化・改質という観点から、メタクリル樹脂および塩化ビニル樹脂に γ 線を照射した場合の Tree の発生電圧や Tree の伸びなどの変化についての測定結果を報告する。

2. 試料および実験方法

試料内部の Tree の観察を容易にするために、透明なメタクリル樹脂 (トーレグラス) と塩化ビニル樹脂

(サンロイド) を供試料とし、ともに横 12.7 mm, 縦 24.4 mm, 厚さ 6 mm の大きさのものを用いた。針端角度 30° , 針端曲率半径 3μ の針電極を Fig. 1 のごとく挿入後、 ^{60}Co の γ 線を照射したものを試料とした。メタクリル樹脂については、処理温度 (雰囲気温度) $160\sim 170^\circ\text{C}$ で 6 分間かけて針を挿入後、30 日経過してから線量率 $1.05\times 10^7\text{R/h}$ で全線量が $5.04\times 10^8\text{R}$ および $1.01\times 10^7\text{R}$ のもの、塩化ビニル樹脂については、処理温度 $115\sim 120^\circ\text{C}$ で 6 分間かけて針を挿入後、20 日経過してから線量率 $1.05\times 10^6\text{R/h}$ で全線量が $5\times 10^7\text{R}$ と $9.81\times 10^7\text{R}$ のもの、および針挿入後 65 日経過してから線量率 $5.2\times 10^6\text{R/h}$ で全線量が $5.2\times 10^8\text{R}$ と $5.2\times 10^6\text{R}$ のものについてそれぞれ実験した。試験方法は単針法、直接接地方式を採用し、試料に電圧を印加するさいは、空気による閃絡を防止するためにシリコン油中に試料を入れて行なった。Tree の伸びは、電極方向に投影した長さを取り、その測定には顕微鏡を用いた。電圧上昇の方法は 2 kV 段階昇圧とし、観

Fig. 1 Schematic diagram of specimen.

* Effects of γ -ray Irradiation on Treeing in Organic Insulating Materials, Shigeo KOBAYASHI and Yoshiteru SHIMIZU: Department of Electrical Engineering, Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo.

測中は電圧の印加を中止した。なお、電圧印加時間は各電圧で5分間(ないし10分間)であり、それぞれ5個ずつの試料について試験した。

3. 測定結果および検討

Fig. 2 および Fig. 3 はそれぞれメタクリル樹脂の交流(50 Hz), 直流における印加電圧-Tree の伸び特性を示したものである。Fig. 2 では Tree の伸びの大きさを比べると、 5×10^6 R 照射試料 $> 1 \times 10^7$ R 照射試料 $>$ 未照射試料の順となっており、耐 Treeing 性という面では照射によって劣化したといえる。図中、同種の試料に対して2本ないし3本の曲線を載せてあるが、これは同種の試料でも Tree 発生電圧や Tree の伸び方に違いがあることを示すためである(以下の図も同様)。被照射試料における Tree の伸びが大きい理由としてはつぎのようなことが考えられる。試料は照射によって分子の鎖が切断されるばかりでなく、その内部には電子やイオンができるであろう。これに交流電界が加わった状態で、電子やイオンは固体中でド

リフトしたり、トラップされたりしてある電荷分布をとり、空間電荷を形成する。もちろん、未照射試料中でも何らかの原因で空間電荷は存在しうるであろうが、その量は被照射試料の場合と比較してずっと少ないものと考えられる。すなわち、交流電圧印加の場合は、針電極の近くに存在する空間電荷のために、半サイクルごとに針電極先端の電界が強められることになり、その度合いも空間電荷量が多いと考えられる被照射試料のほうが大きいことになる。したがって、被照射試料のほうが未照射試料よりも低い印加電圧で針電極先端での局部破壊、つまり Tree が発生するようになる。被照射試料における実験値のパラツキは、生じた空間電荷の量とか、その分布の仕方の違いなどが原因であろう。ひとたび Tree が発生すれば、Tree 中の空間内の気中放電によって電子やイオンが生じるが、イオンは固体中へは注入されにくいために放电路(Tree)の先端内壁に蓄積される。その空間電荷のために、電界方向反転時に電界が強められて先端での局部破壊が急速に進むようになるものと思われる。その場合に、被照射試料では、照射によって生じた電荷の影響などにより、Tree 先端の内壁に蓄積されたイオンが、未照射試料の場合よりもさらに固体中へドリフトしにくいような状態となるために、Tree の伸びは未照射試料よりも大きくなるものと考えられる。被照射メタクリル樹脂の Tree の伸びが大きいことに対する他の理由としては、この試料は、Tree 中に発生した気体が未照射試料の場合よりも逃げやすいような状態となり、針電極先端部分での気圧が低くなるために、気中放電が起こりやすく、したがって Tree が伸びやすくなることなども考えられよう。

直流電圧印加(針電極が正極)の場合は、Fig. 3 からわかるように、被照射試料における Tree の伸びのパラツキが大きかったが、Tree 発生電圧については被照射試料のほうが少し高いような傾向であった。これは照射により生じた電子やイオンの空間電荷の影響であろうが、とくに電子の形成する空間電荷が、印加電圧による局部的に集中した強い電界を緩和するように働いたために、見かけ上の Tree 発生電圧が上昇したのではないかと考えられる。

交流電圧と直流電圧における Tree の伸びを比べてみると、交流電圧のほうがはるかに伸びが大きい。それと関連して、Tree 発生電圧は総じて交流電圧印加の場合のほうが直流電圧印加に比べて低いという傾向を示したが、このことも空間電荷の効果として説明できる。交流電界における Tree の形状は、一般に未照

Fig. 2 Dependence of the length of tree in PMMA on the AC (50Hz) applied voltage.

Fig. 3 Dependence of the length of tree in PMMA on the DC applied voltage.

射試料の場合には Fig. 4のように房状(まりも状)となるものが多く, 被照射試料については Fig. 5のような枝分かれの多い樹枝状となる場合が多かった。

Fig. 4 The shape of a tree in the unirradiated PMMA observed by a microscope. (AC 50Hz).

Fig. 5 The shape of a tree in the irradiated PMMA observed by a microscope. (AC 50Hz).

Fig. 6, Fig. 7 にはそれぞれ塩化ビニル樹脂の直流, 交流電圧における Tree の伸び特性を示してある。Fig. 6 からわかるように, 直流では Tree 発生電圧は未照射, 被照射試料ともほぼ48 kV であるといえる。Tree の伸びは 5.2×10^5 R 照射試料がいちばん大きく, がいして 5.2×10^6 R 照射試料は未照射試料よりも Tree の伸びは小さくなり, 伸びが極大となるような照射量の存在が予想される。一方, 交流の場合は, Fig. 7 に示したように Tree 発生電圧は29kV 程度であり, 直流に比べてかなり低かった。また, Tree の伸びは直流電圧の場合と同様にはほぼ 5.2×10^5 R 照射試料>未照射試料> 5.2×10^6 R 照射試料の順序となったが, Tree

Fig. 6 Dependence of the length of tree in PVC on the DC applied voltage.

Fig. 7 Dependence of the length of tree in PVC on the AC (50Hz) applied voltage.

Fig. 8 The shape of a tree in the irradiated PVC observed by a microscope. (DC voltage).

の伸びは直流の場合と異なり、指数関数的に大きくなっているのが注目される。Tree の形状については、メタクリル樹脂と比較して、一般に Fig. 8 のように枝分かれが少なく、かつ Tree の管は細かったが、これは塩化ビニル樹脂が極性分子であり、針先端における気中放電やその他の原因により生じた電荷が、固体内へドリフトして行くのが多いのか、先端の内表面にトラップされて空間電荷を形成するのが多いのかなどということにも関連があるものと考えている。照射量が $5 \times 10^7 \text{ R}$ および $9.81 \times 10^7 \text{ R}$ の試料は照射による化学的变化のために黒変し、顕微鏡による Tree 観察は不可能であった。

4. あとがき

γ 線照射によって分解するタイプの樹脂に関する Tree の伸び特性について調べたが、今後は針と試料のすき間から分解発生ガスが逃げないようにした場合の照射前後の Tree を観測することと、さらに、 γ 線照射によって架橋するタイプの樹脂の Treeing についての検討を予定している。

最後に日ごろご指導いただいている青山学院大学理工学部教授斎藤幸男博士ならびに本学工学部教授古幡情司博士に感謝の意を表するしだいである。