

【194】

氏名	安 井 貞 三 やす い てい ぞう
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 315 号
学位授与の日付	昭 和 44 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	高 分 子 絶 縁 材 料 の ボ イ ド 内 放 電 に よ る 劣 化 と 特 別 高 圧 ケ ー ブ ル の 開 発 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主査) 教授 田中哲郎 教授 阪口忠雄 教授 大谷泰之

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、高分子絶縁材料を用いた特別高圧ケーブルの開発と実用化に当たって最も問題になる電氣的劣化、すなわちコロナ放電による劣化のメカニズムに関する著者の研究と、その研究結果をもとにして開発した 66KV~77KV の特別高圧ケーブルの性能、ならびに製造上の諸問題についての検討結果をのべたもので、3部19章よりなっている。

第1部はコロナ放電による劣化の機構を扱ったもので、本論文の最も重要な部分であるが、各章の内容を要約するとつぎのとおりである。

第1章：ケーブルに電圧を印加したのち破壊にいたるまでの放電発生量の時間的変化を観測し、その発生量が破壊の寸前に急増すること、放電が絶縁物内部のボイド、不純物、異物あるいは導体と絶縁物との間の空隙部からはじまること、放電による樹枝状浸食跡 (tree) が絶縁破壊の機構解明に大きい手がかりを与えること、などをのべている。

第2章：放電や劣化の機構に関して従来公表された文献や報告をもとに、放電現象、放電機構、高分子絶縁材料の耐コロナ性などを整理して問題点を明確にしている。

第3章：球状ボイド内放電を定量的にはあくするために、球状ボイドの大きさと放電開始電圧、放電電荷量、放電エネルギーなどとの関係を解析するとともに、実験によってこれを確かめ、さらに一般回転楕円体状ボイド内での放電の諸量が計算によって求めうることをのべている。

第4章：針状ボイド内に放電が起こった場合にその尖端から tree が生じ、これが高分子絶縁材料の破壊電圧が比較的低いことの原因になっていることを見出し、tree の発生ならびに進展のメカニズムについて論じている。tree の発生時には針状ボイドの先端部における放電エネルギー密度が  $1 \times 10^3$  ジュール/cm<sup>2</sup> (普通の平板間隙の場合の約100倍) に達しており、1~5 μmの直径を有する管状の tree は、放電がその先端部に到達すると前方にのびてゆき、その速度は 100 ピコクーロンの電荷量をもつ一つの放電パルス当たり  $3 \sim 5 \times 10^{-5}$  mmで、普通の放電による表面浸食速度の約  $10^5$  倍にあたり、しかもかなり低い電界で

tree の進展が生じることが観測され、これが劣化の機構のおもな部分をなしているとのべている。

第5章：放電劣化のおもな要因をなす針状ボイドの発生原因についてのべてあり、放電が発生して損傷を受ければその個所に放電が起こりやすくなり、集中的な穿孔が生じる場合がありうることを確認している。

第6章：針状ボイドを含む試料がインパルス電圧で破壊される場合に、その破壊値に大きい極性効果が現われる場合があることを見出し、材料の種類、温度、電圧波形、繰返し印加の効果などを詳しく検討して、極性効果の原因について解析的な考察を加えている。

第2部ではケーブルの部分放電の検出回路を扱っている。5章より成るが全体をまとめたのべるとつぎのとおりである。著者はまず長尺ケーブルを分布定数回路で表わし、放電パルスがケーブル中を反復反射して検出端に連続透過波群となって現われる様子を理論的に解析し、その結果と実験結果とを対比して検出回路の設計資料を得、ケーブルの長さが短くなると従来から知られている短尺ケーブルの場合の結果に収斂することを明らかにし、さらに短尺から長尺まであらゆる長さのケーブルに対して検出感度を求めるための計算式を導いて、放電検出回路の最適設計を可能にしている。これらの結果より数メートルの短尺から数百メートルの長尺ケーブルに至るすべての長さのケーブルに対して、放電検出能力を1ピコクーロン程度、放電パルスの分解能を数マイクロ秒にするためには、検出用の増幅器の利得を80db、周波数帯域を数kHzから約200kHzに、検出端抵抗を10~30k $\Omega$ 、結合コンデンサの容量を数千ピコファラッド~千ピコファラッドに選ぶのが望ましいとのべている。

第3章では第1部で得られた結果をもとにして特別高圧ケーブル、とくに66~77KV架橋ポリエチレン絶縁ケーブルを対象に、その開発および実用化の問題点とその対策を論じている。8章よりなるが要約するとつぎのとおりである。絶縁物の劣化に対して最も問題となるのは導体と絶縁物との間に生じる空隙であるが、これを除去するために10 $\Omega$ -cm以下の抵抗率をもつ半導電性コンパウンドの層を、導体と絶縁物の間に設けることが必要で、これによりケーブルの絶縁性能を大幅に上昇することができると結論している。半導電性コンパウンドの材料やその加工条件についても検討を加え、さらに半導電層と絶縁物との接着を完全にしてその境界面を平滑に保つための製造法を開発し、あわせて絶縁物中の不純物やボイドを低減させるための設備や技術上の問題ならびにその対策を論じている。以上の結果を総合して得られた66~77KV架橋ポリエチレンケーブルについて試験し、インパルス破壊電圧や電圧寿命特性が著しく向上することを確認し、さらに実用上の問題としてケーブルの接続部や端末部に対する問題点に検討を加え、その対策を明らかにしている。

### 論文審査の結果の要旨

高分子絶縁材料を高電圧機器や高圧ケーブルの絶縁材料として使用する場合の最大の問題は、長期間の使用に生じる電氣的劣化を如何にして防ぐかという点にあり、これが従来この種材料の実用化を妨げる最大の原因であった。著者はまず劣化の生じる機構について、種々の角度から検討を加えてこれを明らかにするとともに、劣化を防止する対策を明らかにし、これに基づいて実際に架橋ポリエチレンを絶縁材料とする66~77KVのケーブル試作してその絶縁性能を確かめ、実用化の道を開拓している。

著者はまず長期間課電されたケーブルにおいて生じた劣化を詳しく観察した結果、絶縁物内部に存在するボイド（空孔）、不純物、異物および絶縁物表面の放電が劣化の原因となることを確かめ、ついで放電機構を明らかにするために、絶縁物中に人工的な球状あるいは針状のボイドをつくって、広い角度からボイド放電の実験を行なうとともに、ボイド内部で放電が生じる場合の放電開始電圧、放電電荷量、放電エネルギーなどを理論的に解析して定量的な計算を可能にした。

著者はとくに針状ボイド内の放電によってその尖端部に現われる tree（樹枝状浸食跡）の発生とその成長に関する定量的な実験を詳細に行ない、tree の発生時に尖端部における放電エネルギー密度が  $1 \times 10^{-3}$  ジュール/cm<sup>2</sup> に達すること、成長速度が  $3 \sim 5 \times 10^{-7}$  /pC に及ぶことなど、その機構を理解する上に必要な多くのデータを得ているが、この tree 発生と成長はコロナ放電による劣化機構の最も重要な部分をなすので、著者の実測結果はその機構の解明と劣化対策、あるいは絶縁物の劣化特性の試験などに大いに役立つものである。

実際のケーブルにおけるコロナ放電による絶縁物の劣化を正確にとらえるためには、放電発生の有無、放電開始電圧、放電量などを観測するための放電検出器が必要であるが、著者はケーブル中での放電パルスの伝播を理論的に解析して、短尺から長尺までのあらゆる長さのケーブルに対する放電検出回路の最適設計の方法を明らかにし、放電検出能力が 1 ピコクーロン、放電パルスの分解能が数マイクロ秒のものを設計製作して、実際のケーブルについてその性能を確かめているが、この設計に関する資料は広くケーブルのコロナ放電の研究に役立つものと考えられる。

著者は以上の基礎的研究の成果をもとにして、架橋ポリエチレンを絶縁材料として利用したケーブルの開発を世界にさきがけて行ない、66KV～77KV の高圧ケーブルをはじめて実用化することに成功した。実用化に当たっては絶縁体中にボイドや不純物あるいは異物の混入を防ぐとともに、導体と絶縁物の間に生じる空隙を除去するために、その中間に  $10^4 \Omega$ —cm 以下の抵抗率をもつ導電性コンパウンドの層を設けているが、これらの材料や加工の条件についても細心の検討を加えて製造装置を設計し、実際に得られたケーブルの性能を試験してその実用性を確認している。そのほか実用上の付帯問題としてケーブルの接続部や端末処理についても検討を加えて、その実用化の問題をほとんど完全に解決している。

以上要するに本研究は架橋ポリエチレンのような高分子絶縁材料を高圧絶縁材料として使用する場合の問題点を究明するとともに、その結果を超高圧ケーブルの開発に応用したものであって、学術的にも工業的にも寄与するところが多く、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認められる。