한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, 1995.

유한요소법을 이용한 XLPE 케이블내의 절연파괴 모의실험
Simulation of Breakdown in XLPE Cable Using FEM

장 인범[○*], 김 용주[**], 한 기만[***], 이 준웅[*]
* 광운대학교 전기공학과
** 충주산업대학교 전기공학과
*** LG 전선 전력연구소

In-bum Jang[○*], Yong-ju Kim[**], Ki-man Han[***], Joon-woong Lee[*]
* Kwangwoon Univ. Electrical Eng.
** Chungju Nat'l Univ. of Tech.
*** LG Cable & Machineray Ltd.

Abstract

In this study, in case the lead sheath of XLPE cable(radius : 15cm, inner conductor radius : 5cm, insulation paper raidius : 6cm, dc voltage : 1MV) is harmed, so that breakdown process by inhomogeneous eletric field is simulated with Finite Element Method. The result of simulation showed that defect of lead sheath layer caused breakdown.

1. 서 론

전기기기 및 전력계통의 대용량, 고압화에 따라 전력설비의 절연열화 상태진단뿐만 아니라 기기의 결함을 재작초기에 발견하고자 하는 진단기술에 관한 연구가 지속적으로 요구되고 있다. 시뮬레이션 등을 이용한 비파괴 진단기술은 직접 시료나 기기등에 손상을 주지 않고 실험을 하므로 실험 방법이 유용하다고 할 수 있다.

일반적으로 공학분야에서 제기되는 물리적인 제반 현상들은 복잡한 분포 특성을 갖는 연속적인 현상이라 할 수 있는데 이러한 현상들은 그 물리량을 지배하는 지배방정식인 미분방정식에 의해 표현되는 것이 일반적이다. 또한, 이와 같은 지배방정식을 만족하는 분포 함수는 그 함수에 의해서 성립되는 미분방정식의 해를 구함으로서 알 수 있으며, 물리장의 계변수에 의해 특성화되는 연속매질 문제의 경계치 문제를 풀어 물리장을 만족하는 분포 함수를 구하여 각 요소로부터 전체영역을 해석하는 것이다.

2. 시뮬레이션

I. 전력케이블에서의 전계의 세기

케이블의 경우 절연체 내에서의 전계분포는 정전용량 분포로 결정되며 거리 X 대한 절연체의 전계 E는 다음과 같이 된다.

$E=V/X\ln(R/r)$ [V/m]

여기서 V: 도체인가전압[V]

X : 도체 중심으로부터의 거리[m]

r : 도체 반경[m]

R : 절연체 반경[m]

따라서 X=r인 도체의 표면에서 최대전계 E_{max} 가 나타나게 되며 최소 전계 E_{min} 는 X = R 인 절연체 끝에서 나타난다.

그림 1과 같이 A부분의 연피 차폐층이 소손된 경우 그로 인한 전계의 왜곡을 유추할 수 있다.

그 현상의 진전을 가시화 하기 위하여 다음의 프로그램을 실행시켰다.

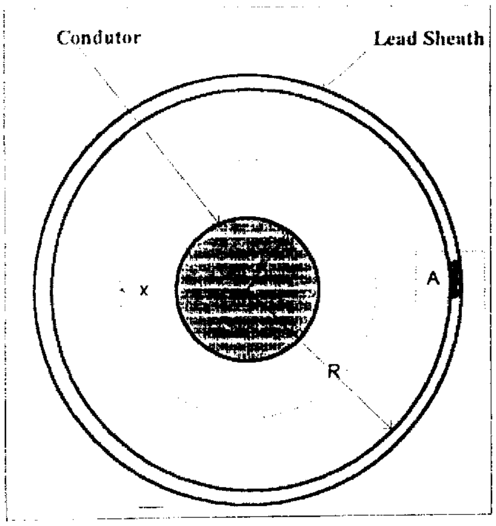

그림 1. XLPE절연케이블의 개략도

II 알고리즘

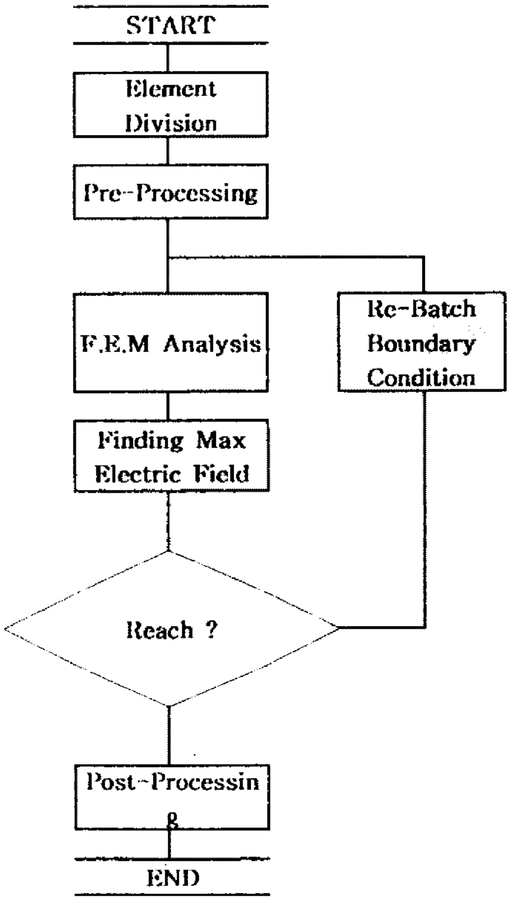

그림 2. 시뮬레이션 알고리즘

본 시뮬레이터의 기본 알고리즘은 보완화된 요소분할과 다중배치법, 유한요소해법으로 이루어져 있으며, Pre-processing을 위한 요소가지의 정치화와 Main program과의 효율적인 Link가 복합적으로 결합되어 있다.

III.요소분할

요소 분할에 있어서 고려해야 할 사항은 납작한 요소를 가능한 한 없애야 하고 외부 경계 또는 매질 상수가 다른 경계를 침범하지 않도록 해야 한다. 그러므로 현재까지 알려진 방법으로는 Delaunay 분할 이론을 이용한 방법과 이분법(Disection Method)로 나눌 수 있는데 그 중 이분법은 기존의 요소를 이분해가는 방법으로 세분된 요소의 모서리(Edge)에 점이 발생되므로 경계를 넘어가는 점이 생기지 않아 경계를 침범하는 요소가 발생되지 않아서 적용 유한요소법의 적용에 있어 전체 계산 시간에 비해 요소 세분에 소요되는 시간이 적어 사용상의 잇점이 있다.

또한, 세분된 요소망의 요소의 질은 초기 요소망의 요소의 질에 의존하므로 초기 요소망의 질(quality)이 좋으면 세분된 요소망의 요소의 질이 유지된다. 이분법으로 세분된 요소는 영역의 경계를 침범하지 않고, 세분에 소요되는 계산 시간이 짧아진다. 따라서 본 연구에서는 이분법으로 요소를 세분하여 시뮬레이션을 하였다. 그림 1의 소손부위를 기준으로 1/4 구의 부분을 요소분할 하였다. Node 수는 110개, Eiement수는 179개로 분할을 하여 시뮬레이션했다.

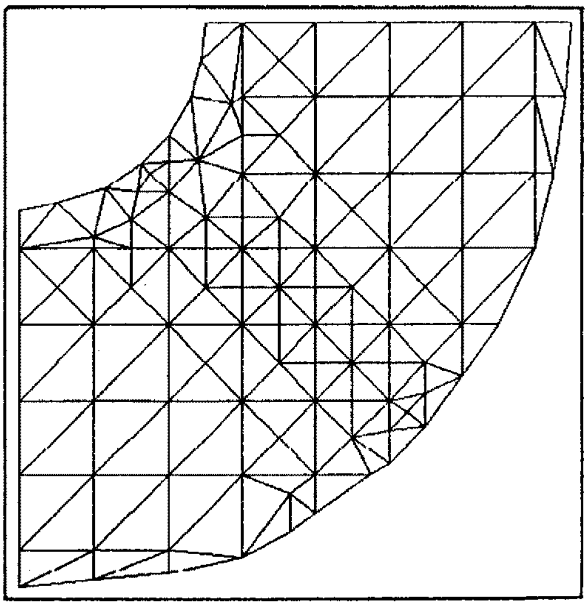

그림 3. 요소분할도

3. 결과

I. 정상적인 케이블의 전위 분포도

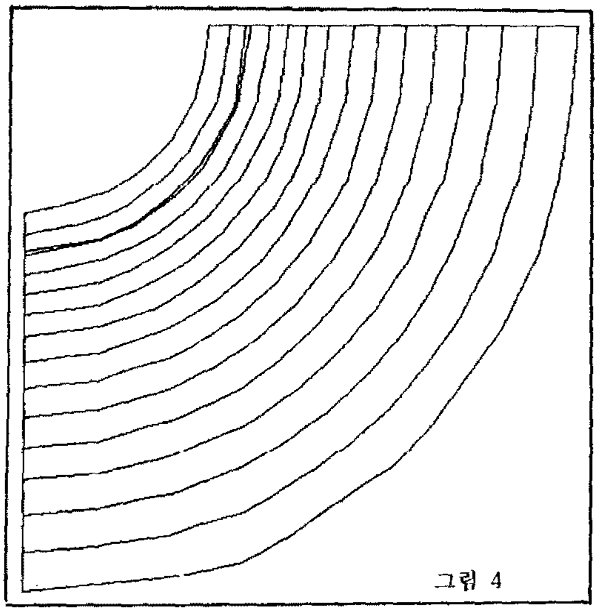

그림 4

II. 차폐층이 소손된 경우의 전위분포도.

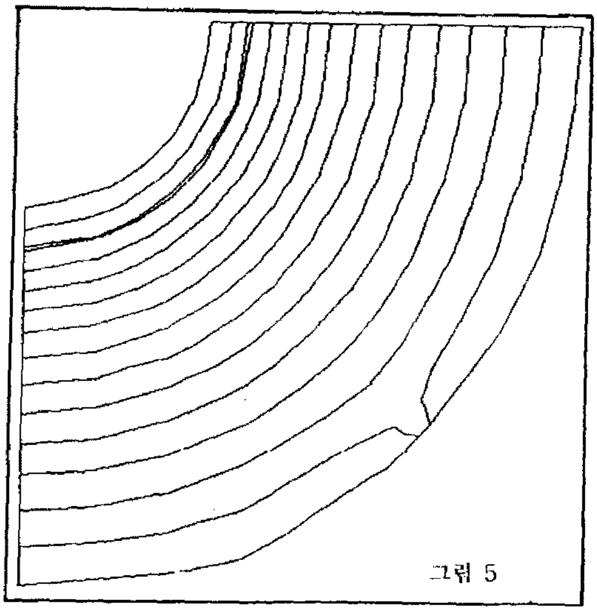

그림 5

III. 부분방전의 진행도.

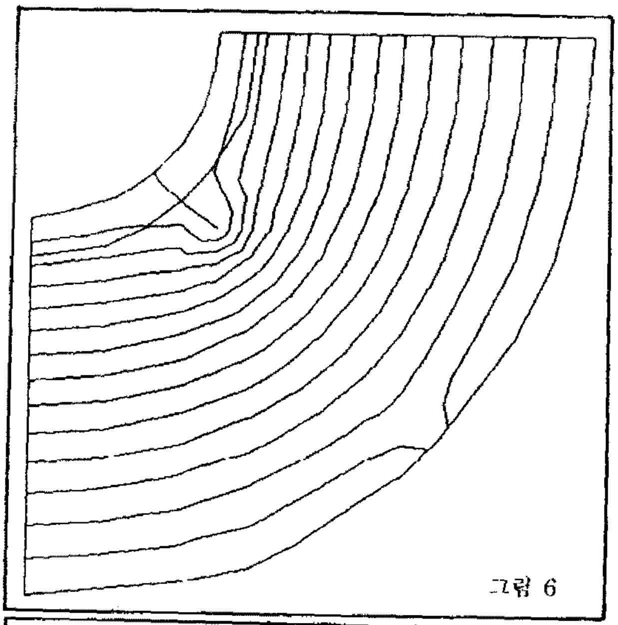

그림 6

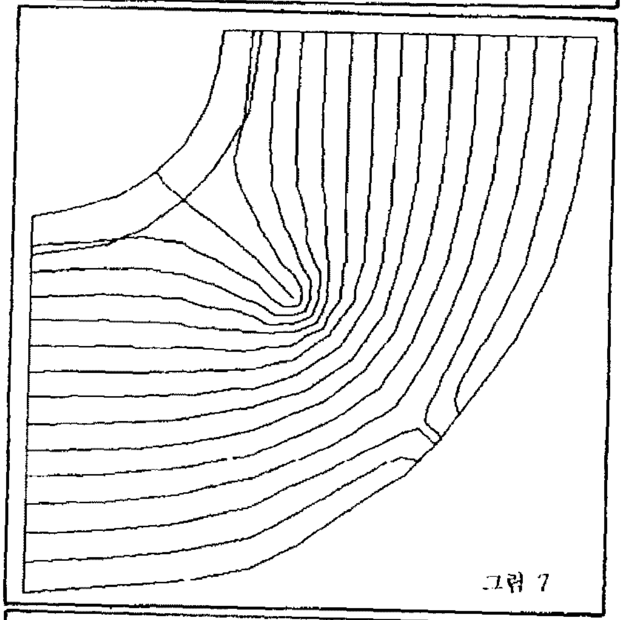

그림 7

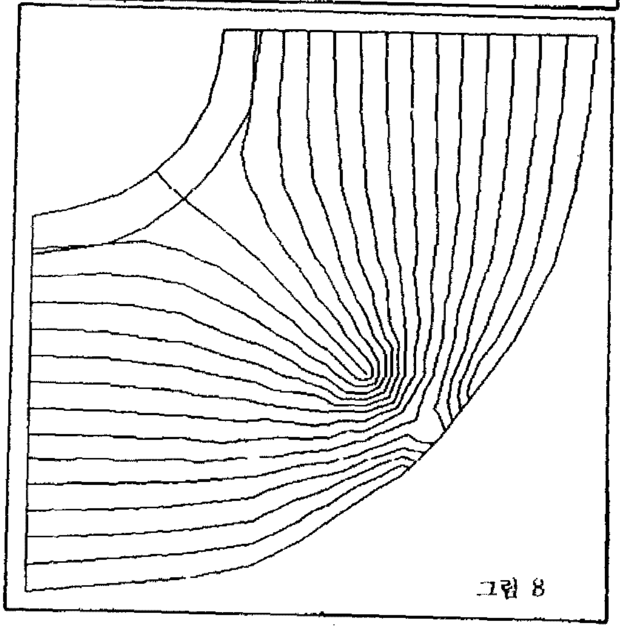

그림 8

Ⅳ.완전 절연파괴시의 전계분포도.

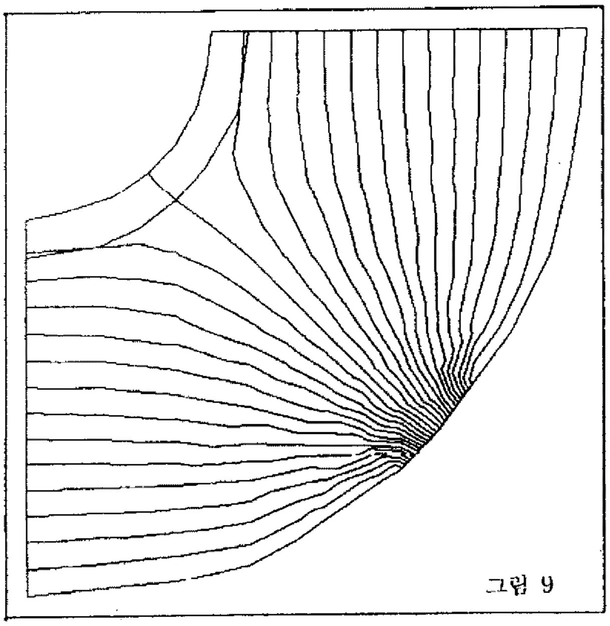

그림 9

Ⅴ. 고찰 :

위의 시뮬레이션의 결과를 보면 차폐층의 소손으로 유발된 전계의 집중부위가 열화로 인해 부분방전을 시작하여 점점 소손부위의 차폐층으로 파괴가 진전되는 것을 볼 수 있었다. 이 시뮬레이션을 통해 케이블 내의 차폐층의 소손등이 절연파괴에 미치는 영향을 간접적으로 지켜볼 수 있었고 차폐층의 결함 역시 절연파괴에 영향이 있음을 피력할 수 있었다.

4 참고문헌

1. O.C. Zienkiewicz and D. V. Pillips, "An automatic mesh generation sheme for plane and curved surfaces by isoparametric coordinates,", Int. J. Number. Methods Eng., Vol. 3, pp.519-528, (1971)

2. G. A. Armstrong, R. S. Ferguson, J. G. Flynn, "An Interactive Finite Element Mesh Editor. ", in NASECODE IV, J. J. Miller(Eds.) Dublin, Boole Press, pp. 152-157, (1985)

3. M. C. Rivara, "Algorithms for refinding triangular girds suitable for adaptivre and mult-grid techniques." I.J.N.M.E., V.20,No.4,pp 745-756,(1984)

4. E,Palm, F. Van de Widle, "A Finite Element Approach and Automatic Mesh Generation for the Resolution of Poisson's equation in reverse biased Two-Dimensional Semiconductor Devices." in Numerical Analysis of Semiconductor Devices and Integrated Dircuits, B. T. Browne and J. J. Miller Eds.), Dublin, Boole Press, pp 259-263, (1981)

5. K. H. Heubner, The Finite Element for Engineers, John Willy & Sons Inc., (1975)