

## 케이블 접속재료의 전계분포 시뮬레이션

### Electric Field Distribution Simulation of the Cable Joint Materials

김형주\*, 변두균\*, 신종열\*\*, 이덕진\*, 이충호\*\*\*, 홍진웅\*

(Hyung-Joo Kim\*, Doo-Gyoon Byun\*, Jong-Yeol Shin\*\*, Duk-Jin LEE\*, Chung-Ho Lee\*\*\*, Jin-Woong Hong\*)

#### Abstract

The insulation materials of cables used for underground power transmission requires a higher insulating capability, and the most popular method to examine the cable is partial discharge test due to applying variation voltage.

In the thesis, air void, silicone oil, of which may possibly exist real cables, are simulated by Electro 2D program. Also the relations between calculated field strength and the void defect type in the cable joint materials.

In the modeling, electric field inner to the cable joint material composed by XLPE and EPDM is modeling simulated.

We obtained the electric field distribution in void due to two conditions.

**Key Words** : underground power transmission, partial discharge, electric field, cable joint material

#### 1. 서론

최근 산업의 급속한 발전과 도시의 광역화, 그리고 인구 집중화로 인하여 전력의 생산에서 공급까지의 변성기기가 대용량화, 초고전압화로 인해서 안전한 전력의 공급과 전력계통의 신뢰성 확보 및 환경적 측면에서 송, 배전용 전력케이블의 지중화가 빠르게 추진되고 있다. 지중전선로에서 케이블을 연결하는 중간 접속재에서 발생하는 전계 집중과 중간 접속재 키트에 접속시 작업으로 인하여 발생하는 각종 불순물의 혼입과 케이블 절연층 손

상으로 인한 절연파괴와 열화를 일으켜 케이블의 수명을 단축시키고 있다.

본 연구에서는 일반적으로 초고압 케이블 절연재료로 많이 사용하고 있는 XLPE와 접속재 키트에서 절연층으로 사용되고 있는 EPDM 원재료를 시편으로 제작하여 중간접속재를 모델링하고, 접속부에서 발생하는 결함에 대하여 전계분포를 해석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 모델링으로 보이드와 경계면에서의 전계집중분포를 해석하였다.

#### 2. 실험

##### 2.1 시료제작

본 실험에서는 고분자 재료의 부분방전 특성을 모의하여 XLPE(X)와 EPDM(E) 시료를 사용하였

\* : 광운대학교 전기공학과  
(서울시 노원구 월계동 447-1,  
Fax : 02-915-4630  
E-mail : ealab@daisy.gwu.ac.kr)  
\*\* : 삼육의명대학 자동차과  
\*\*\* : 충주대학교 전기공학과

는데, 시료의 제작은 XLPE pellet과 EPDM을 전자저울을 사용한 후, 핫 프레스(hot press)를 이용, 가압 성형하여 두께 1[mm]의 시료로 제작하였고, 또한 절연재료의 특성에 영향을 미치는 보이드 및 이물질은 원재료에 삽입하여, 그림 1과 같이 보이드의 크기를 직경 1 [mm]로 제작하였고, 시뮬레이션은 보이드 내부에 공기, 실리콘 오일을 넣고 모델링하였다.

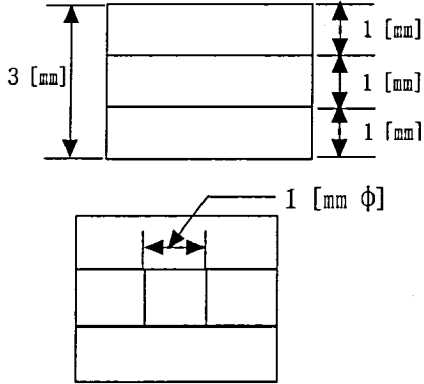


그림 1. 시료의 제작

그리고 중간접속재료에 대한 전계 분포를 해석하기 위해서 경계 요소법에 의한 2차원 프로그램인 Electro-2D를 이용한 시뮬레이션 모델링을 통해, 앞에서와 같이 모의한 시료와 시료의 접속부, 전극과의 접촉면 및 시료 내부 보이드에서 나타나는 전계 분포를 AC 3[kV], 5 [kV], 10[kV]의 전압을 시료에 인가하였을 때와 3개의 레이어로 구성된 시료의 배열을 표 1과 같이 제작하였을 경우의 전계강도분포를 해석하였다.

표 1. 시료의 배열

	3 [kV]	5 [kV]	10 [kV]
Air - Void	X-E-X	X-E-X	X-E-X
	E-X-E	E-X-E	E-X-E
Silicone Oil - Void	X-E-X	X-E-X	X-E-X
	E-X-E	E-X-E	E-X-E

### 3. 결과 및 고찰

케이블 중간 접속재료로 구성되는 EPDM시료에 케이블 절연체로 구성되는 XLPE가 전기적 특성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 전계분포 실험을 수행하였다.

#### 3.1 Air - Void 전계 시뮬레이션

일반적으로 지중전선로에서 케이블 접속작업을 할 경우 가장 많이 발생할 수 있는 결함중의 하나가 케이블 피복이 외부나 내부의 영향으로 인하여 보이드 defect로써 Air가 들어있는 경우를 모의하였다.

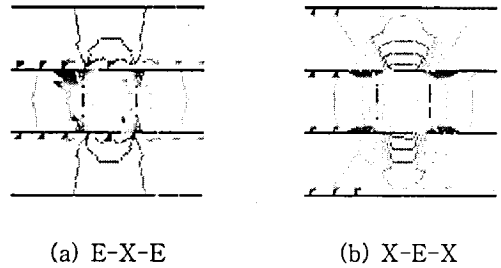


그림 2. 인가전압 3[kV] 시뮬레이션

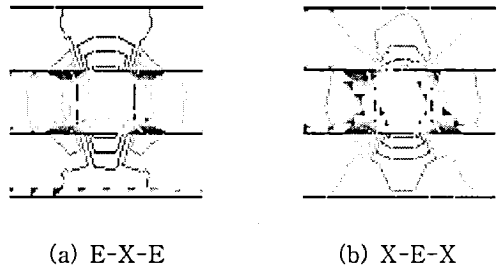


그림 3. 인가전압 5[kV] 시뮬레이션

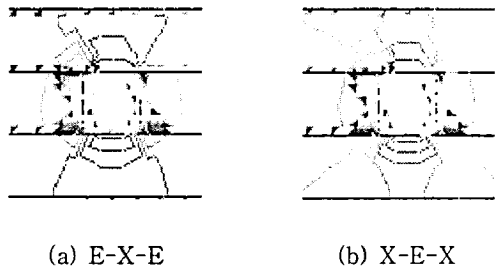


그림 4. 인가전압 10[kV] 시뮬레이션

그림 2, 3과 4는 시료내부에 Air 보이드가 있을 경우 E-X-E와 X-E-X로 구성된 모델을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 시료내부의 보이드에서의 전계분포를 나타낸 그림이다. 그림 2에서 (b)로 구성

된 시료의 모델이 보이드 내부의 전계분포 형상이 (a)보다 완화되고 전계가 주위로 고르게 분포되고 있는 형상을 나타내고 있다. 전계값 분포 다이어그램을 살펴보면 (a)의 모델은 약  $2.85 \times 10^6$  [V/m] 정도의 크기를 가지는 반면에 (b)는 약  $2.81 \times 10^6$  [V/m]의 크기를 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 중간시료로 구성된 EPDM이 XLPE보다 조금 더 안정한 절연특성을 가지고 있는 것이라 사료된다. 그림 3과 4는 인가전압을 5[kV]와 10[kV]로 승압하였을때의 전계분포 시뮬레이션으로 각각의 절연재료에 상승된 전압에 의해 전계분포도 커지는 것을 보여주고 있다.

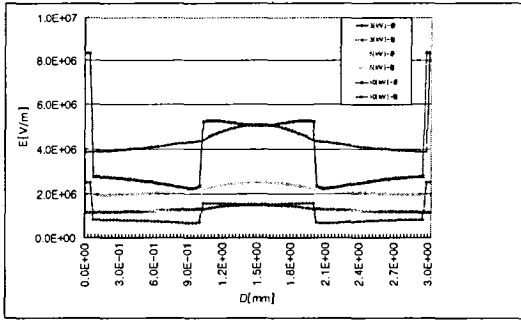


그림 5. E-X-E 전계 분포곡선 (3, 5, 10[kV])

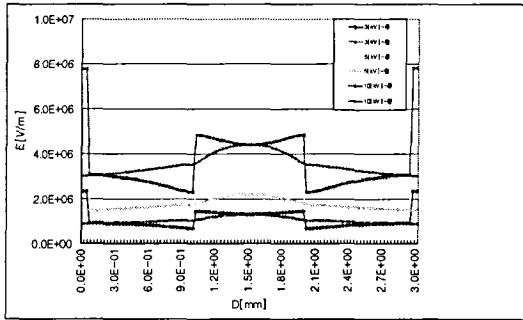


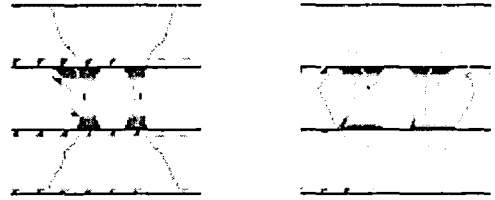
그림 6. X-E-X 전계 분포곡선 (3, 5, 10[kV])

그림 5와 6은 전압을 상승시켰을 경우 내부 보이드 부근에 걸리는 전계를 종합적으로 해석한 그림으로 모델링 되어진 시료에서 x축은 보이드 중앙을 중심으로 좌우상하 1.5[mm]의 크기로 자른 것이고 y축은 이때의 전계값을 나타낸 그림이다. 그림 5와 6을 전체적으로 비교하여 보면 E-X-E로 구성된 시료가 X-E-X로 구성된 조금 더 전계가 높게 나오고 있음을 알 수 있는데, 이것은 EPDM의 물성으로 인하여 전계가 완화되기 때문으로 사료되

고, 중앙의 보이드 지점에서의 전계값이 다른 곳보다 높게 나옴을 확인할 수 있는데, 이것은 보이드 중앙부가 전계가 집중되기 때문이다.

### 3.2 Void 내부 Silicone Oil 전계 시뮬레이션

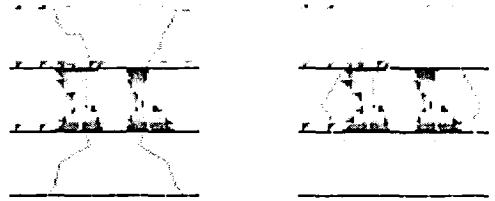
본 절에서는 케이블을 중간접속재 kit에 삽입하여 조인트 할 경우 작업의 편리성과 접속부의 전계를 완화하기 위한 것으로 케이블의 외피에 도포해 주는 실리콘오일의 경우를 고려하였다. defect에 실리콘오일이 충전된 경우는 케이블이나 접속재의 표면에 생길 수 있는 보이드에 실리콘 오일이 채워져 있을 경우를 모의하였다.



(a) E-X-E

(b) X-E-X

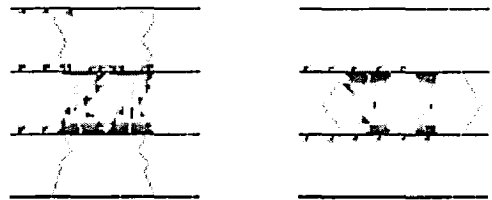
그림 7. 3[kV]에서의 전계 시뮬레이션



(a) E-X-E

(b) X-E-X

그림 8. 5[kV]에서의 전계 시뮬레이션



(a) E-X-E

(b) X-E-X

그림 9. 10[kV]에서의 전계 시뮬레이션

그림 7, 8과 9는 보이드 내부에 실리콘오일이 채워져 있을 경우 E-X-E와 X-E-X로 구성된 모델을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 시료내부의 보이드에서의 전계분포를 나타낸 그림이다. 그림 7에서 (b)

로 구성된 모델이 보이드 내부의 전계분포 형상이 Air 보이드와 마찬가지로 (a)보다 완화되고 전계가 주위로 고르게 분포되고 있는 형상을 보이고 있다. 전계값 분포 다이어그램을 살펴보면 (a)의 모델은 약  $2.73 \times 10^6$  [V/m] 정도의 크기를 나타내지만 (b)는 약  $2.57 \times 10^6$  [V/m]의 크기를 가짐을 확인할 수 있는데, 이것은 보이드 내부에 실리콘오일이 채워짐으로 인해서 시료의 계면이 분리되지 않아 전계분포값이 적어진다. 이것은 또한, 중간층 시료로 구성된 EPDM이 XLPE보다 조금 더 안정한 절연특성을 가지고 있는것이라 사료되며, Air 보이드로 구성된 시료의 모델링 시뮬레이션과 비교해 보았을 때, 약 4배 이상의 전계완화 특성을 확인할 수 있었다. 그림 8과 9는 인가전압을 5[kV]와 10[kV]로 승압하여 전압이 높아지면 XLPE는 y축으로 EPDM은 x축으로 전계가 분포됨을 확인할 수 있었다.

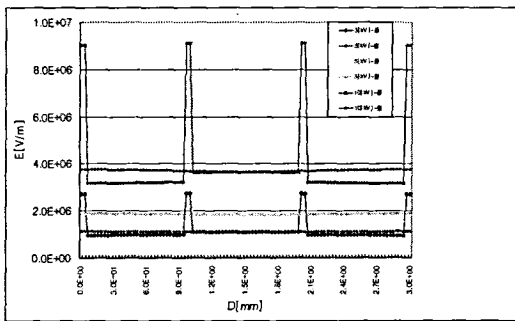


그림 10. E-X-E 전계 분포곡선(3, 5, 10[kV])

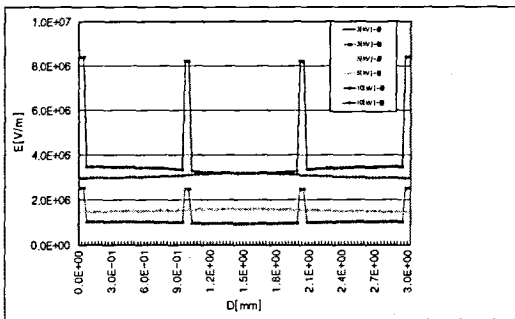


그림 11. X-E-X 전계 분포곡선(3, 5, 10[kV])

그림 10과 11은 Air 보이드와 마찬가지로 3[kV], 5[kV], 10[kV]로 전압을 상승시켰을 경우 종합적으로 해석한 그림이다. 그림의 x축에서 약 1[mm]부근과 2[mm]근처에서 전계값이 튀는 현상이 발생하는

모습이 나타나는데 이는 모델링하는 중에 시료와 시료와의 간격 1[μm]의 갭이 존재하여 그러한 현상이 나타나는 것으로 사료된다. 그림 10과 11을 전체적으로 비교하여 보면 마찬가지로 E-X-E로 구성된 시료가 X-E-X로 구성된 조금 더 전계가 높게 나오고 있음을 알 수가 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서 XLPE와 EPDM으로 구성된 지중전선로 중간접속재 내부에서의 전계집중을 모델링하여 시뮬레이션한 결과

1. 시료 내부에 보이드가 있는 부분을 보이드가 없는 부분과 비교하였을 때, 상대적으로 높은 전계값이 검출되었다.
2. 보이드 내부에 불순물이 존재하더라도 EPDM이 XLPE보다 더욱 전계를 완하시킴을 확인할 수 있었다.
3. Air 보이드보다 보이드 내부에 실리콘 오일이 채워져 있는 경우 전계값이 완만하게 유지되어 절연파괴 발생을 억제함을 알 수 있었다.
4. 보이드 모델링 되어진 시료를 x축으로 분석하였을 경우 전계가 완만하게 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] I. W. McAllister, Electric Field Theory and the Fallacy of Void Capacitance, IEEE Trans. EI., Vol. 23, No. 4, 1988
- [2] I. Franta, "Elastomers and Rubber compounding Materials", p. 133, Elsevier, Amsterdam, 1989
- [3] F. W. Barlow, "Rubber Compounding", p. 68, Marcel Dekker Inc. New York, 1988
- [4] L. Corbelli, "Developments in Rubber Technology", ed. by A. Whelan and K. S. Lee, vol. 2, p. 120, Applied Science Publishers, London, 1985
- [5] J. D. Andraded, "Polymer Surface and Interface Dynamics", Plenum Press, 8, 1988
- [6] ASTM D 2303, "Standard Test Method for Liquid-Contaminant, Inclined -Plane Tracking and Erosion of Insulating Materials"
- [7] G. Geuskens and M. Kabamba, Polymer Degradation and Stability, 4, 69, 1982