

표면 거칠도에 따른 종이절연지의 전계분포

박형준, 김원중, 신종열^{*}, 이수원^{**}, 홍진웅

광운대학교, 삼육의명대학^{*}, 한국철도대학^{**}

Electric field distribution according to surface roughness of insulating paper

Hyoun-Jun Park, Weon-Jong Kim, Jong-Yeol Shin^{*}, and Soo-won Kim^{**}, Jin-woong Hong

Kwangwoon Uni., Samyook College^{*}, Korea National Railroad College^{**}

Abstract

The this paper is describing about the electric field distribution due to the roughness in Aramid insulating paper for electric machine. The insulating and pressboard paper have been used at electric insulating of traction motor and generators. There was a change investigation of the electric field distribution according to the roughness of specimen by simulation program of Electro. We studied the electric field distribution using boundary element method for Aramid insulator. We find out an optimal condition in insulating paper of electric machine.

Keyword: Aramid paper, boundary element method, electric field, surface roughness.

1. 서 론

아라미드를 주요한 고온 절연재는 용량증가와 신뢰성 개선을 위해 전력용 및 배전용 변압기에 사용되며 경제성 측면에서 기존 절연유와 함께 사용할 수 있다. 아라미드 절연지는 최근까지 초고압 설비에서 연구가 활발하게 이루어져왔다. 특히, 대형 회전기기의 Slot liner 및 상 절연, 소형 모터의 열 가공, 대용량 변압기의 층간, 배리어, 탭 및 리드 절연, 회전기용 열철판 말단에 사용되는 두께 0.5[mm]인 아라미드 절연지는 원재료 분자구조가 섬유질 결합분자이다. 특히, 절연강도를 강하게 해주는 고분자인 Fibrid와 기계적 강도를 증가시키는

Floc를 혼합, 절연지 형태로 가공한 방향족 폴리아미드로서 우수한 전기적 특성을 가지고 있다. 하지만 아라미드 절연지를 적층되어 존재 시에 오랜 기간 동안 외상이나 왜곡, 보이드, 오염물질, 용기에 의한 국부적인 전계집중을 통한 부분방전이나 수분에 의한 수 트리 열화는 전기절연특성에 심각한 손상을 주어 전력계통에 손실을 가져온다. 따라서, 본 논문에서는 아라미드 절연지에 인공 표면거칠도와 보이드 존재 시 전기적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 아라미드 절연지를 3층 적층한다. 또한 인공표면거칠도에 면적에 따른 전계분포에 관한 연구를 경계요소법을 이용한 시뮬레이션 결과를 소개한다.

2. 실험

2.1 전극 및 시료

본 연구에서는 아라미드 절연지에서 보이드와 거침도에 따른 전계분포를 조사하기 위해 전계강도를 경계요소법(Boundary element method)을 기반으로 한 2차원 범용프로그램인 IES (Integrated Engineering Software)의 준안정-정전계 해석 프로그램인 Electro를 사용하여 설계하였다. 일반적으로, IES에 범용프로그램은 크게 사단계로 형상을 해석한다 첫 단계로, 형상을 CIGRE(International Council on Large Electric Systems) 전극법에 의해 설계하였다. 두 번째로, 상부전극에 경계조건으로 교류 20[kV]를 인가하고 하부전극은 접지로 설정하였다. 이 때 상, 하 전극은 동위상(0°)으로 주었다. 세번째로 형상을 해석하기 위해 삼각형 형태에 그물망(Mesh) 3000개로 이산화(Discretization)하였다. 형상이 원호로 된 부분이 존재할 경우에 정사각에 그물망보다 삼각형 꼴로 이산화할 경우가 더 근접한 결과값을 얻을 수 있다. 마지막으로 형상을 해석하여준다. 출력은 크게 그래프나 윤곽선(Contour), 화살표(Arrows), 유선(Streamlines)으로 해석가능하다. 주로 2차원 형상에서 스칼라값을 가지는 정량적인 전계가 존재 시 윤곽선이나 그래프로 표현한다. [1] 그림 1은 CIGRE 전극법에 의한 형상을 2차원 평면으로 설계하였다.

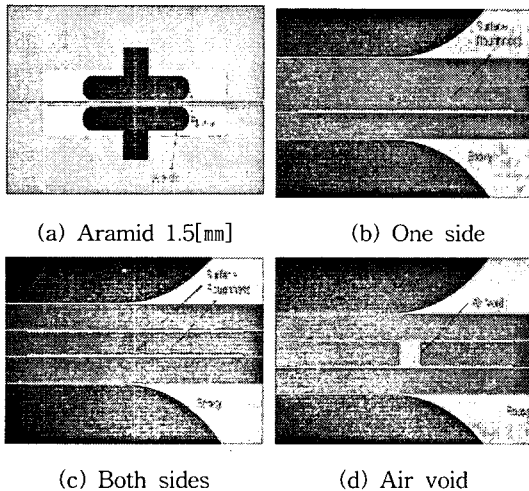


그림 1. 전극형상의 개략도.

Fig 1. Schematic diagram of electrode geometry.

표 1. 물질의 특성.

Table 1. Physical properties of materials.

Classification	Air	Aramid	Copper	Epoxy
Permittivity(ϵ_r)	1.00006	3.5	1	4.9
Conductivity(σ)	5×10^{-17}	0.2×10^{-1}	5.8×10^7	6.6×10^{-18}

그림 1- (a)은 원시료의 형상이다. 아라미드 절연지 두께는 0.5[mm]로 3장을 적층하여 1.5[mm]로 조사하였다. 그림 1 - (b)는 거침도가 단면으로 존재 시, 그림 1 - (c)는 거침도가 양면으로 존재 시, 그림 1 - (d)는 양면으로 거침도를 설정한 정방형 보이드가 존재 시 형상이다. 아라미드 절연지 3층에서 2, 3층 사이에 보이드를 단면과 양면으로 각각 지름 30[μ m]에 거침도 길이를 5.6 [mm]로 전계분포를 조사하였다. 또한 거침도에 길이는 동일하고, 지름을 2, 5배로 설정하여, 거침도에 면적에 따른 전계분포를 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1.1 윤곽선 도표 (Contours Plot)

그림 2는 아라미드 절연지가 원시료일 때 전계분포이다. 그림 2 - (a)는 전극 경계면을 중심으로 확대한 전계분포를 윤곽선 도표로 표현한 것이다.

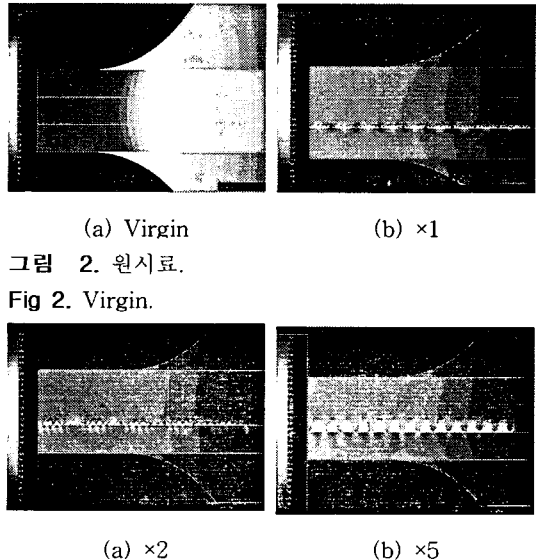
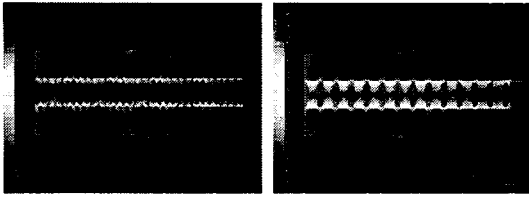


그림 2. 원시료.

Fig 2. Virgin.

그림 3. 단면거침도.

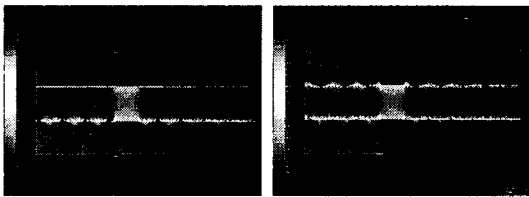
Fig 3. Surface roughness of one side.



(a) ×2 (b) ×5

그림 4. 양면거침도.

Fig 4. Surface roughness of both sides.



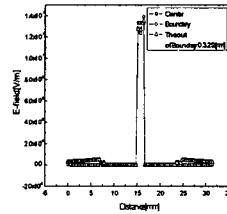
(a) One side (b) Both sides

그림 5. 보이드.

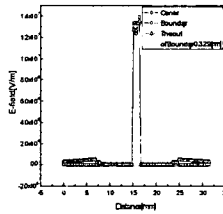
Fig 5. Void.

곡률반경이 있는 전극 경계를 중심으로 전극 내, 외에서 강한 전계집중이 조사되었다. 전극곡률반경에 따른 전계집중 되는 것으로 사료된다. 그림 2 - (b)는 절연지 2층과 3층 간에 단면에 거침도를 설정한 것이다. 그림 3, 4, 5는 단면, 양면으로 거침도가 2배, 5배로 존재 시와 전계분포이다. 배율이 높을수록 전계강도가 작아지는 것이 조사되었다. 이것은 거침도 곡률반경 증가에 따른 전계집중이 감소하는 것으로 사료된다. 그림 6은 절연지를 중심으로 수직면 전계를 조사한 결과 경계 외측 0.32[mm]에서 가장 높은 전계값이 조사되었다. 따라서 전극에 곡률반경이 시작되는 경계를 중심으로 보이드가 존재 시 전극중앙, 전극경계, 경계 외측 0.32[mm] 수직면 전계분포이다. 그림 6 - (a)는 원시료, (b)는 거침도가 단면, (c)는 양면, (d) ~ (g)는 거침도가 단면으로 존재할 때 거침도 표면곡률반경이 기존에 2배, 5배로 존재 시 전계분포를 조사하였다. 그 결과 거침도가 있는 면에서 전계집중이 나타났으며 배율이 작을 수록 더 높은 전계집중 최대값이 조사되었다. 이는 동일한 길이에 거침도에서 상대적으로 곡률반경이 커질 경우, 전계집중이 낮아지는 것으로 사료된다. 그림 6 - (a) ~ (g)에서 수직면 전계집중은 주로 거침도가 있는 부

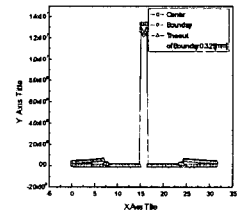
분에서 강하게 조사되었다. 이는 원시료에 비해 상대적으로 비유전율이 낮은 거침도 충전재인 공기에 의한 것으로 사료된다.



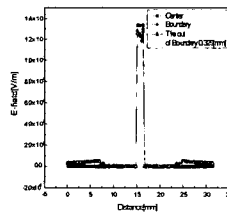
(a) Virgin



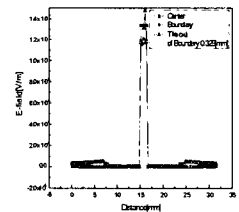
(b) One side



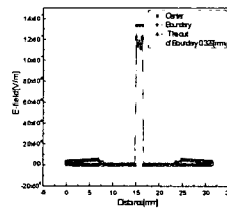
(c) Both sides



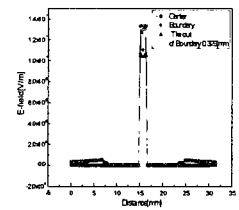
(d) One side ×2



(e) One side ×5



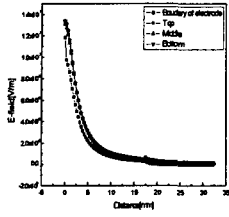
(f) Both sides ×2



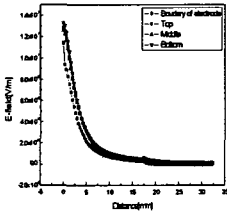
(g) Both sides ×5

그림 6. 거침도 유, 무 및 배율에 따른 수직면전계분포.

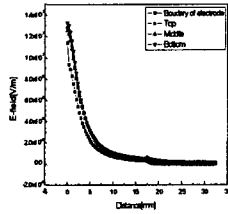
Fig 6. Vertical E-field distribution according to roughness and magnifications.



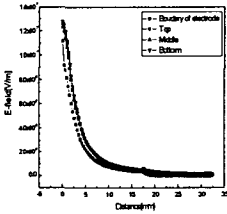
(a) Virgin



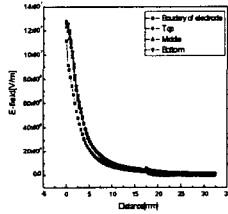
(b) One side



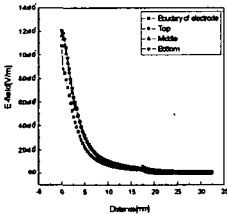
(c) Both sides



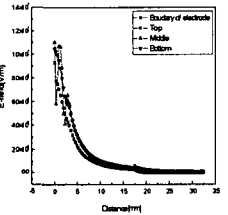
(d) One side ×2



(e) One side ×5



(f) Both sides ×2



(g) Both sides ×5

그림 7 거침도 유, 무 및 배율에 따른 수평면 경계전계분포.

Fig 7. Horizontal E-field distribution according to roughness and magnifications.

그림 7은 거침도 유, 무와 배율에 따른 수평면 전계분포이다. 그래프에서 전극중앙, 전극경계, 상부에 절연지 중심, 중앙에 적층한 절연지 중심에 수

평면 분포를 조사하였다. 그 결과 그림 7 - (g)에서 경계 외측 0.32[mm] 지점에 전계가 집중된 것을 확인하였다. 양면에 거침도 증가에 따른 전계집중인 것으로 사료된다.

표 2. 거침도 존재 유무와 크기에 따른 전계값.

Table 2. E-field due to roughness and magnitude.

Classification		E-field value
Virgin		1.425×10^7 [V/m]
Void	One side	6.503×10^7 [V/m]
	Both sides	6.601×10^7 [V/m]
Surface roughness	One side	1.423×10^7 [V/m]
	Both sides	5.585×10^7 [V/m]
×2	One sides	6.564×10^7 [V/m]
	Both sides	6.111×10^7 [V/m]
×5	One side	5.994×10^7 [V/m]
	Both sides	5.409×10^7 [V/m]

4. 결론

표면 거침도에 따른 종이절연지의 전계분포를 연구한 결과, 아라미드 절연지에 거침도의 크기가 증가할수록 전계집중 최대값이 커졌으며, 동일한 길이에서 곡률반경이 증가할 경우 작아졌다. 곡률반경이 증가하면 상대적으로 거침도수감소에 따른 것으로 사료된다. 공기 보이드 존재하면 원시료에 비해서 상대적으로 비유전율이 낮은 보이드를 중심으로 전계가 집중되는 것을 확인하였다. 또한 양면으로 거침도가 존재하고 공기 보이드가 있으면 가장 높은 전계집중을 확인하였다. 이것은 보이드에 부피증가에 따라 전계분포가 가장 높게 집중된 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] F.H Kreuger, "Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment ", Butterworths & Co. Ltd, pp 15-28, pp. 50-71, 2001.
- [2] Mazen Abdel-Salam et. al, "High-Voltage Engineering Theory and Practice", Marcel Dekker, Inc., pp. 373-414, 2000.
- [3] M. Defourny, "The boundary element method applied to electric field computation", The boundary element Techn. 1996 June.