25.8kV급 플러그인 케이블접속시스템의 최적설계를 위한 전계해석 및 열해석

[1]김태영 , [1]김한수 , [1]신판석 , [2]장창호 , [2]김평중
[1]홍익대학교 전기공학과 , [2]동우전기공업(주)

An Electric Field and Thermal Analysis of 25.8kV class Plug-in Cable Connecting System

[1]Tae-Young Kim , [1]Han-Soo Kim , [1]Pan-Seok Shin , [2]Chang-Ho Jang , [2]Pyung-Jung Kim
[1]Department of Electrical Engineering, Hong-ik University , [2]Dong-woo Electric Corporation

Abstract - Cable 접속장치인 정격 25.8kV 600/1200A Plug-in socket의 절연설계, 전계분포해석 및 열계해석을 위하여 전자계 및 열해석 프로그램인 Flux2D를 이용하여 simulation하였다.

Plug-in접속장치의 shield형상을 변화하면서 각종 금구류 및 접속장치의 절연물의 연면전계강도를 계산하여 기준전계와 비교 검토하여 전계해석 하였다. 해석결과 shield 의 위치와 형상의 변화에 따라 socket내부의 전계강도를 완화시키는 중요한 역할을 하고 있음을 보여주고 있다. 열해석은 도체저항의 Joule 열원으로 입력하였으며, 정상상태에서의 온도분포는 설계에 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다.

1. 연구 개요

Cable 접속장치 분야는 다품종 소량생산을 하기 때문에 계속적으로 기술을 축적해온 기업이 경쟁을 갖는 부품 소재 분야이다. 현재 배전용 G.I.S(Gas Insulated Substation)의 전압과 전류의 정격은 변전소에서 공급하는 부하의 크기에 따라서 600/1200/2000/3000A등으로 계열화 되어 있으나, 국산화 개발범위는 Plug-in socket의 정격을 25.8kV 600/1200A로 정하여, socket의 설계해석, 제작 및 검증을 위한 연구가 진행되고 있다. Plug-in socket은 절연계통, 통전부분으로 구성된 전기적 설비와 구조적 mechanism의 기계적 설계로 나눌 수 있다.

본 논문에서는 절연, 열해석 및 통전설계에 대한 검증과 설계방향을 찾기 위하여 기본 설계된 모델을 유한 요소법 프로그램인 Flux2D를 이용하여 해석하였으며, shield의 형상변경을 통하여 전계강도를 완화시키는 것과 열해석을 통해 열적특성을 검증하여 parameter를 제시하는 것이다.

설계를 위해 25.8kV의 Plug-in socket의 접속장치의 절연물, shield영역, 각종 금구류의 전계강도를 계산하여 각 부위의 연면 전계강도를 계산하여 기준 전계강도와 비교하고, 여러 저항값을 대입하여 적당한 온도분포를 찾아내어 최적설계를 하였다.

2. 25.8kV Plug-in Socket 전계해석

2.1 Plug-in Socket의 구조

그림 1은 Plug-in socket의 설계model을 보여 주고 있다. socket은 그림 1에서 보는 것과 같이 Plug-in socket 내부에는 도체로 되어있고, 도체를 절연하기 위해 에폭시로 둘러 쌓여있다. 에폭시내부에는 shield가 내장되어 있으며, 바닥면에는 connector와 연결할 수 있는 조립용 볼트와 삽입구가 있는 구조로 되어있다. 이때 Plug-in socket 내부 도체에 25.8kV의 전압인가시 각종 금구류 및 절연의 전계완화를 위하여 차폐용 shield를 설치하였다.

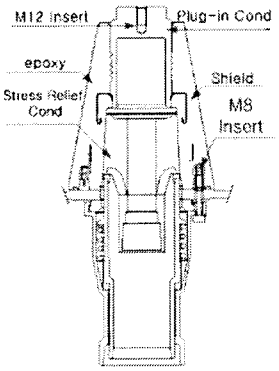


그림 1. Plug-in cable connector 단면도

2.2 Plug-in Socket에서의 Shield의 영향

Plug-in socket에서의 shield의 영향을 확인하기 위해 그림 2를 shield가 없는 경우와 있는 경우를 축대칭 해석하여 에폭시의 연면전계강도를 비교 검토하였다.

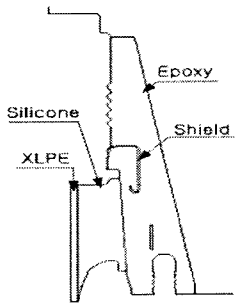
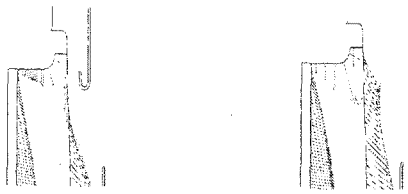


그림 2. 축대칭 해석모델

표 1. 절연재료의 비유전율

구분	비유전율 (ϵ_r)
Epoxy	3.4
Silicone	2.8
XLPE	2.3

각 절연재료의 비유전율을 표 1과 같이 주어서 해석한 결과 다음과 같은 결과가 나왔다.



(a) shield가 있는 경우 (b) shield가 없는 경우

그림 3. Shield가 있는 경우와 없는 경우 vector도

그림 3은 Plug-in socket의 에폭시 절연물 내에 shield가 있는 경우와 없는 경우의 에폭시 연면전계강도 vector도를 보여주고 있다. 그림 3(b)은 shield가 없는 경우로서 25.8kV 인가 시 최대전계강도가 최대 약 2.58[kV/cm]이었으며, 그림 3(a)은 동일전압을 인가했을 경우 최대전계강도가 약 2.23[kV/cm]로서 13.5% 정도 완화되었고, 부분마다 전계강도가 다르지만 최대 약 4.6[kV/cm]만큼 차이가 나는 부분도 있었다. 그림 4에서 연면전계강도의 변화를 보여주고 있다.

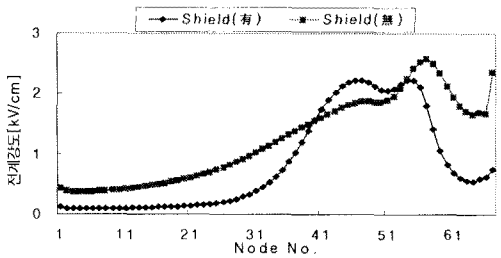
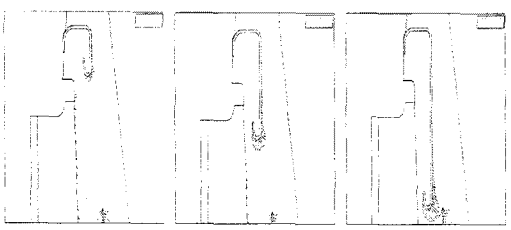


그림 4. Shield 유·무에 따른 에폭시 연면전계강도

2.3 Shield의 크기가 연면 전계에 미치는 영향

Shield의 유무가 아닌 shield의 크기를 변화시키면서 에폭시에 대한 위치별 전계강도를 보았다. 그림 5에서 보는 바와 같이 shield의 길이를 최대 43[mm]에서 17[mm]까지 2[mm]씩 변화를 주면서 최적화 하였다.



(a) shield(17mm) (b) shield(37mm) (c) shield(43mm)

그림 5. Shield 크기에 따른 전계강도

그림6은 shield의 형상(길이)을 변화를 주었을 때 에폭시에 대한 위치별 전계강도 크기를 보여주고 있다. 그림 6에서 보는바와 같이 25.8kV인가시 1번 node에서 shield의 형상(길이)이 17[mm]였을 때 전계강도 값이 최대 3.2[kV/cm]로 가장 높게 나타났으며, 반면 shield의 형상(길이)이 43[mm]였을 때 전계강도 값은 최대 0.26[kV/cm]로 전계강도 값이 가장 적게 나타난 것을 보여주고 있다.

그림 6과 7은 보는 바와 같이 17[mm]에서 43[mm]까지의 전체 전계강도 값의 평균값은 shield의 형상(길이)이 37[mm]였을 때 가장 좋게 보여주고 있으므로 최종설계에서는 37[mm]를 선정하였다.

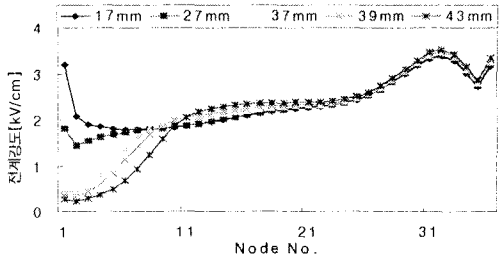


그림 6. Shield 크기에 따른 연면전계강도 비교(1)

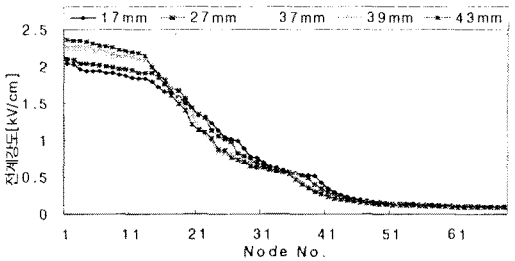


그림 7. Shield 크기에 따른 연면전계강도 비교(2)

3. 25.8kV Plug-in Socket의 열계해석

열해석을 위해 표 2, 표 3과 같이 각 재질의 열전도율 값과 발산계수를 대입하였다. 그림 8은 Plug-in socket과 connector가 결합된 모습을 축대칭으로 보여주고 있으며, 열해석에서는 Plug-in socket만으로 해석하는데 어려움이 있기에 connector와 결합된 모델을 바탕으로 열해석을 실시하였다. 열해석은 전계해석과 달리 온도의 열원을 전압[V]가 아닌 도체 저항과 전류에 의한 Joule 열의 전력[W]으로 입력하기 위해 식(1)과 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$R = \rho\frac{\ell}{A} \quad [\Omega] \tag{1}$$

$$P = I^2R \quad [W] \tag{2}$$

여기서, ρ:저항률 [Ω], ℓ :도체의 길이 [m], A:도체의 단면적 [mm^2]이다.

그림 8에서 보는 바와 같이 도체를 3부분으로 나누어 저항을 계산한 결과 Plug-in cone와 Tension cone, Contact ring의 저항값은 다음과 같다.

표 2. Plug-in socket 각종재질의 열전도율

구분	연전도율(λ)[W/m℃]
Copper	386.000
Aluminium	204.000
Silicone	0.780
Epoxy	0.150
XLPE	0.170
Air	0.024

표 3. 열 발산계수

재질	발산계수[W/℃]
Epoxy	0.005
Aluminium	0.01

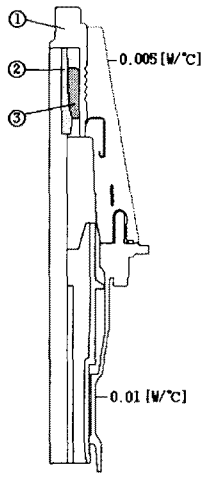


그림 8. 열해석을 위한 경계조건

표 4. 각 도체의 저항값과 최고온도

번호	도체	저항값[Ω]	최고온도[℃]
①	Plug-in cond	2.38×10^{-5}	35
②	Tension cone	1.47×10^{-5}	21.25
③	Contact ring	3.37×10^{-7}	30

통전 정격전류 1200[A]를 식에 대입하여 각각 34[W], 21[W], 0.6[W]의 값을 구하여 그림 8의 도체에 각각 전력을 인가하였으며, 최대온도는 35℃ 정도로서 온도분포는 그림 9의 결과를 얻어 냈다.

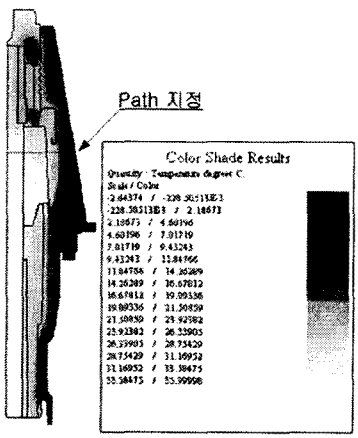


그림 9. Plug-in Socket과 Connector 열분포

그림 9에서 보는 바와 같이 socket과 connector 중심에 있는 도체의 열에 의해 socket과 connector에 열 전달이 이루어지지만 온도상승이 최대 35℃ 정도이므로 열적인자는 설계에 큰 영향을 미치지 않는 것 같다.

그림 10은 도체 중심에서 에폭시까지의 일직선상에서 온도변화를 본 것이다. 도체부위에서는 온도가 비슷하지만 절연물 부분에서는 열전달이 잘 되지 않으므로 온도가 낮아서, 온도상승으로 인한 문제는 없다.

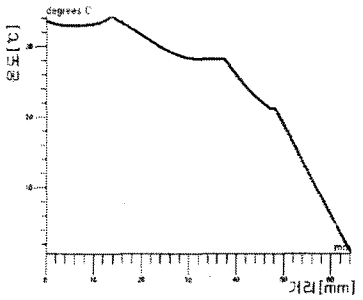


그림 10. 위치별 온도의 관계

3. 연구요약

Cable접속장치인 정격 25.8kV 600/1200A Plug-in socket의 절연설계, 전계분포해석 및 열계해석을 위하여 전자계 및 열해석 프로그램인 FLUX2D를 사용하여 simulation하였다. 전계해석은 Plug-in 접속장치의 절연물, shield영향, 각종 금구의 연면 전계강도를 계산하여 기준전계와 비교 검토하였다. 우선 shield가 있는 경우와 없는 경우를 비교하여 shield가 전계강도에 많은 영향을 미치는 것을 보았고, shield의 길이에 변화를 주면서 전계해석을 한 결과 15kV인가시 최대 약 25%정도의 전계강도 완화효과가 있었다.

열해석으로는 여러 저항값을 입력하여 최대온도는 35℃정도로서 정상상태에서의 열로 인한 운전의 영향은 없는 것으로 판명되었다. 향후 형상 최적화 기법을 도입하여 최적모델의 도출이 필요하며, 3차원 해석에 의한 전계강도 분석도 이루어지게 될 것이다.

본 연구는 2003년도 전력산업연구개발사업으로 동우전기공업(주)와 공동으로 이루어졌음

[참 고 문 헌]

[1] 동우전기공업주식회사, "플러그인 케이블 접속시스템 국산화 개발" 기술보고서 2002년 11월
[2] 고대승 외 "Flux2D를 이용한 362kV G.I.S 차단부의 전계 및 열해석"98년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집 p. 122~126
[3] 이종혁 외 "3차원 유한요소법을 이용한 초전도 발전기의 유효길이 선정" 99년도 대한전기학회 춘계학술대회 논문집 p. 185~188
[4] 김한수 외 "25.8kV급 플러그인 접속시스템 설계 및 전계해석" 2003년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집 p. 98~100