

Composite Insulator silicone shed 전계특성

장윤기, 최성만, 정용수, 이동원, 김정배
(주) 효성 중공업연구소

Characteristics for the Electric Field of Composite Insulator Silicone Shed

Yoon-Ki Jang, Sung-Man Choi, Young-Soo Chung, Dong-Woen Lee, Jung-Bae Kim
Hyosung Corporation Power & Industrial System R&D Center

Abstract - Composite insulators are rapidly replacing their porcelain counterparts in electrical substation applications. The composite insulator provide technical and safety advantages over other types of insulator. These insulators consist of a FRP(Fiber-reinforced polymer), with two metal flanges and silicone rubber. In this paper, we have investigated the influence of electric field different shaped silicone shed under SF₆ gas. As a result, shape of silicone rubber does not effected a electric field. However, the shape of shed can be decided the creepage distance.

1. 서 론

산업의 급속한 발전으로 전력수요가 급속히 증가함에 따라 초고압 절연재료는 절연능력이 우수한 재료가 요구되어지고 있다. 또한 사용전압의 고압화 추세에 따라 성능이 우수한 절연재료를 사용하여 뛰어난 절연특성 향상된 복합재료를 개발하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다 [1]. 최근 유럽과 미국을 중심으로 초고압중전기기 시장의 활황으로 초고압 중전기기의 수요가 확대하고 있지만, 핵심부품인 Bushing은 국산화가 안 되어 있어서 전망 수입해 의존하여 사용하고 있다. 기존의 porcelain bushing은 기계적 특성이 취약하여 충격에 의한 크랙이나 파괴 등을 가져올 뿐만 아니라 내오손 특성이 좋지 않아 옥외 환경에서 표면이 오염되고 습윤한 조건이 형성되면 표면방전과 섬락을 일으킬 수 있으므로 주기적으로 세정을 해야 하는 단점이 있다. 또한 누설 거리를 키우기가 힘들므로 디자인에 많은 변화를 줄 수 없고 compact한 설계를 할 수가 없다. 이에 반해 silicone rubber와 FRP의 복합 절연재료인 composite insulator는 발수성, 화학적 안정성, 우수한 전기절연성, 경량 소형화 등의 장점으로 인해 porcelain 절연물 시장을 대체하고 있으며, 협수예자는 물론이고 피뢰기, 변압기, GCB/GIS, 변성기(CT/PT) 등 다양한 분야에서 빠르게 적용되고 있다. 외국의 사례에도 해안가 등의 중 오손지역에서 집중적으로 composite insulator로 대체하여 사용하고 있는 중이다[2,3].

Composite insulator의 shed 형상은 제조방법에 의해 다양하며, 이러한 shed 형상은 creepage distance를 결정하는 중요한 요소가 되어진다. 현재 composite insulator의 shed 형상은 shed 사이의 특성 등을 고려하여 IEC 60815(Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions) 규정에 준하여 설계가 되어져야 한다. Silicone rubber shed 설계에는 규칙 갓(standard shed)과 교대 갓(alternating shed)의 형태로 분류할 수 있는데, 교대 갓의 형태는 insulator의 길이가 감소되므로 재료비를 감소하는 효과가 있지만, 절연성능은 Insulator 길이가 긴 규칙 갓 형태의 디자인이 유리하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 composite insulator 에서 silicone rubber 형상이 전계특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 shed형상을 디자인하여 2차원 전계해석 실시하여 그 결과를 비교하였다.

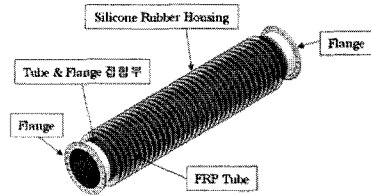
2. 본 론

2.1 Composite Insulator의 구조

그림 1은 composite insulator의 일반적인 구조를 나타냈었다. Composite Insulator는 길이 및 기계적 강도를 결정하는 FRP tube와 공기 중에서 절연 및 creepage distance를 결정하는 silicone rubber 그리고 FRP tube와 결합하여 내부 기밀을 유지하는 상, 하부 Flange 금구로 구성되어 진다.

2.2 Silicone Shed 설계

절연물의 전장이 커지면 절연내력은 증가하지만, 규정전압에 따라 적절히 arcing distance가 요구되므로, 필요이상으로 전장을 키우는 것은



<그림 1> Composite Insulator의 구성

비경제적이다. 절연물의 성능과 직결되는 표면저항(R), 연면거리(x), 절연물의 평균직경(D), 오손된 절연물 표면의 전도도(δS) 등에 의해 다음 식으로 나타낼 수가 있다.

$$dR = \frac{1}{\pi D \delta s} dx$$

절연물의 표면저항이 클수록 절연성능은 우수한데 전극간의 누설 거리가 길고, 절연물의 평균직경이 적을수록 표면저항은 크다. 같은 전장에서 연면거리를 키우는 방법은 shed 수와 크기를 늘리면 가능하지만, shed의 돌출된 거리(overhang, P)와 shed 사이 간의 거리(S)의 비 값인 s/p를 무한정 작게 할 수는 없다. s/p는 오손물질이나 눈 등이 많이 누적되었을 경우와 누설전류가 상당히 흐르면서 아크 방전이 발생할 때 shed간의 기중방전(bridging)현상을 유발시키는 인자가 되므로 일정한 값 이상을 유지해야 한다. 눈이 오지 않고 오손물질의 누적이 크지 않을 것으로 예상될 경우 0.7 까지는 가능하지만 우리나라의 경우 대개 0.9 (청정 환경이면서 심한 염해지역)에서 1.5(오손물 누적이 큰 산업지역)의 범위를 가지므로, shed 돌출에 대한 간격의 비(s/p)는 0.8 이상이어야 한다. 그림 2의 Alternating shed 형상에서 shed의 최소 overhang 거리는 32 mm 이상 되는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

표 1은 오염등급에 따른 최소공칭 특정연면거리(Minimum nominal specific creepage distance)를 나타내고 있다. 오염등급은 Insulator의 creepage distance를 결정하는 중요한 요소로 작용 한다.

<표 1> 오염등급에 따른 최소공칭 특정연면거리 및 주요환경

오염등급	최소공칭 특정연면거리 (mm/kV)	주요환경
I - Light	16	-농업, 산악 지역 -집의 밀도가 적은 지역
II - Medium	20	-집의 밀도가 평균적인 지역 -맑은 바람과 강우가 내리는 지역
III - Heavy	25	-바다와 가까운 지역 -대도시의 교외 지역
IV - Very heavy	31	-산업단지, 사막 및 해안 지역

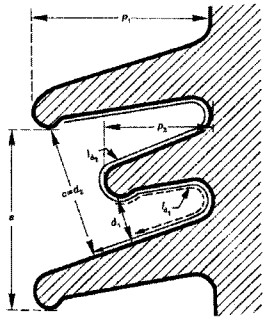
일반적으로 shed 사이의 거리 C는 30 mm 이상 이어야 한다. 이 거리는 연속하는 shed 사이의 경우에 있어서 강우 및 눈에 의한 전교를 피하기 위해 상당히 중요한 부분이다.

Alternating shed의 설계 시에는 큰 shed와 작은 shed의 돌출된 사이의 거리의 요소를 고려해야 하는데, p1-p2 > 15 이상 이어야 한다. 이 둘 사이의 거리는 강우 상태에 있어 서로 전교되는 것을 피하는데 중요한 요소로 작용한다.

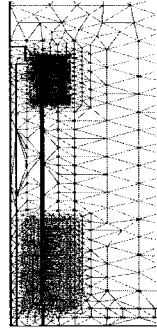
2.3 Composite Insulator 전계해석

2.3.1 해석 모델링 및 조건

Composite insulator의 전계해석을 수행하기 위하여 Ansoft사의



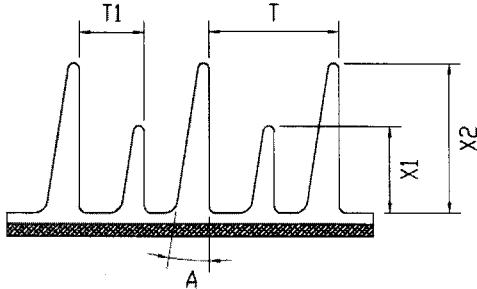
<그림 2> Alternating shed profiles



<그림 3> 유한요소법에 의한 요소분할

Maxwell EM 2D 프로그램을 사용하였고, 2차원 모델을 축대칭으로 근사화 하였다. 중심도체에 100% 전압을 인가하였고, 내부 shield 및 외함을 접지조건으로 하여 전계해석을 실시하였다. FRP Tube의 유전율은 5.0, silicone rubber의 유전율은 2.9로 설정하였다. 해석 모델링 시 해석 시간 절감을 위해 많은 mesh가 요구되는 silicone rubber shed 형상은 그림 3과 같이 전계가 집중되는 일부 구역에서만 모델링 하였다.

2.3.2 해석 결과 및 검토



<그림 4> Alternating shed 형상에 따른 설계 변수

그림 4의 alternating shed 형상에 대해 설계 변수(shed 사이 거리, shed overhang, shed 각도)를 설정하여, 각각 치수가 다른 4가지 타입의 shed 형상을 설계하였고, 각각의 설계 치수들을 표 2에서 나타냈었다. 해석 시 insulator 길이 및 FRP tube의 직경은 모두 동일하게 적용하였다.

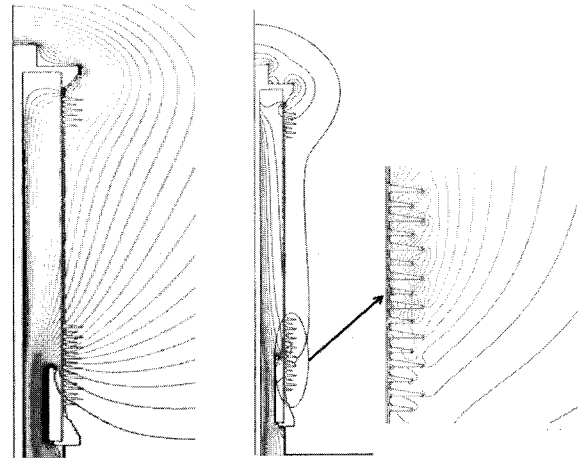
<표 2> Type 변화에 따른 설계안 치수비교

	T1	T	X1	X2	A
Type 1	24	48	32	47	11
Type 2	24	48	39	55	11
Type 3	36	72	32	55	9
Type 4	28	56	53	70	9

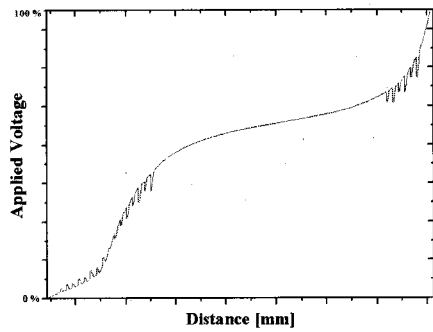
그림 5는 Type 1 shed 형상에 대하여 등전위 분포 및 전계분포를 나타내고 있다. silicone rubber 부위에서 계산된 최대 전계 값은 기중인 shed와 shed 사이에서 전계강도가 높게 나타나지만, 절연물의 절연과파 강도에는 미치지 않기 때문에 절연상의 문제는 없으며, 상, 하부 금구와 silicone rubber 계면에서 전계 집중 부위가 두드러지게 나왔다. 또한 Type 2~4 도 Type 1과 같은 유사한 결과를 나타내었다.

Type 1에 대한 insulator 외부 연면에 따른 전위분포를 그림 6에서 나타내었다. 그림에서 하부 부분과 상부 부분에서 전위의 변화가 큰 것을 알 수 있는데, 이러한 전위 분포는 직선적인 전위 분포가 이상적인 상태이므로 불균일한 전위 분포가 형성되었다는 것을 알 수 있다. 이러한 전위분포를 개선하기 위해서는 shed 형상의 변경이 아니라 insulator 내, 외부의 shield의 개량으로 전위분포를 균일하게 만들 필요가 있다. 그리고 Type 2~4도 Type 1과 동일한 전위분포를 가지고 있는 것으로 확인 할 수 있다.

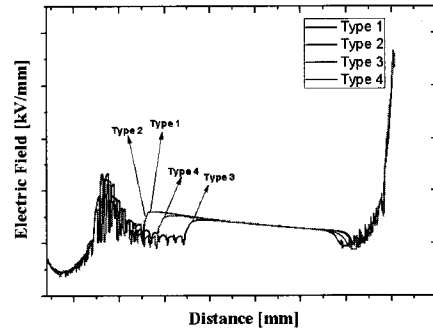
그림 7은 Type 1~4의 shed 형상에 따른 silicone rubber의 연면전계를 나타낸다. shed가 있는 부분에서 전계강도가 크게 진동하고 있는데, 이것은 silicone rubber의 유전율이 2.9로 공기의 유전율 1.0보다 크기 때문이다. 그림과 같이 shed 형상의 차이로 인해 연면전계의 변화는 거의 없는 것으로 알 수 있다.



<그림 5> Type 1에 대한 등전위(a) 및 전계(b) 분포



<그림 6> Type 1 외부연면에 대한 전위분포



<그림 7> Type 1~4 shed의 연면전계

3. 결 론

Composite insulator에서 기중 절연을 하는 silicone rubber shed 형상을 4가지 타입으로 디자인하여 전계해석을 실시하여 그 영향을 알아보 고자 하였다. 해석결과 silicone rubber의 형상은 전계의 큰 영향이 없음을 알게 되었고, shed와 shed 사이 공간에 전계강도가 높게 나타나지만 절연과파 강도에 크게 영향이 없으면 알 수 있었다. 하지만, shed와 shed 사이 공간의 전계강도를 감소시키려면 shed의 두께를 얇게 하거나, shed 사이 공간을 크게 할 경우 전계 강도를 감소시킬 수 있을 것이다. 이상의 결과를 종합적으로 고려하였을 때, 최적의 shed 형상을 결정하기 위해서는 FRP tube와 silicone rubber의 재료비 영향을 고려하여 creepage distance를 만족하는 shed 형상을 도출하여야 할 것이다.

[참고 문헌]

[1] A. Bansal et al. "FINITE ELEMENT ANALYSIS OF SUBSTATION COMPOSITE INSULATOR", Composites Science and Technology, 55,p.375, 1995
 [2] Chris S. Engelbrecht et al., " Pollution Tests for Coastal Conditions on an 800-kV Composite Bushing", IEEE Trans. Power Delivery, p.953, 2003
 [3] A.Kobayashi et al., "Development of 550kV-8000A Composite Insulator Gas Bushing", IEEE Xplore, p.2294, 2000