

컴팩트형 철탑 설계에 관한 연구

이원교*, 박준호*, 최인혁*, 이동일*, 송홍준**, 변기식***
 한전 전력연구원*, TY 테크**, 부경대***

Study on the compact design for steel tower

W. K. Lee, J. H. Park, I. H. Choi, D. I. Lee, H. J. Song, G. S. Byun
 KEPRI TY Tech, Bukyoung UNIV.

Abstract - 전력수요의 지속적 증가에 따라 송전설비의 추가적인 건설은 불가피하지만 토지구입비 증대 및 님비현상 등에 따른 토지구입난 등의 건설여건의 악화에 따라 보다 더 최적화된 송전철탑의 도입이 요구되고 있다. 고분자소재 및 성형기술의 발달로 금속의 기계적 강도를 증가하는 절연성능을 가진 고분자 복합재료의 제작이 가능하게 되면서 큰 기계적 강도가 요구되는 철탑의 암(arm)을 고강도 FRP(Fiber glass Reinforced Plastics)를 적용한 암 절연물(braced post insulator)로 대체하려는 시도가 진행되고 있다. 본 논문은 기존의 철탑에서 도체를 지지하고 고전압이 인가된 도체의 공간적 절연 유지를 위하여 사용되던 무거운 금속 암과 애자런 대신 중심부분을 전기적 특성과 내환경성이 우수한 암 절연물을 사용한 154kV급 철탑 설계 방법과 컴팩트화 방법에 대해 제시하고자 한다.

1. 서 론

송배전용 설비에 사용되는 옥외 절연물로는 porcelain이나 glass insulator가 주로 사용되어 왔지만 최근 신소재의 발달로 가볍고 절연성능이 우수한 폴리머애자(composite insulator)가 보편화되기 시작하였다. 고분자 소재를 이용한 대형절연물의 제조기술이 성숙되어 가고 있고, 생산 원가 면에서도 porcelain보다 유리하여 이미 폴리머애자의 가격이 저렴해지고 있는 실정이다. 더욱이 국토가 좁아 송배전 설비의 시설환경이 좋지 않고(산악, 도서) 선진사화되면서 인건비 상승으로 인하여 취급이 용이하고 경량인 이들 폴리머애자의 장점이 부각되는 시점에 와 있다.

폴리머애자는 기계적 강도유지를 위한 FRP core와 표면절연성능유지를 위한 고무 갖으로 구성되어 있다. 산업의 대규모화와 도시의 과밀화로 배연과 분진에 의한 절연물의 오손이 증가하고 있으며 전력 부하가 밀집된 도시의 공간지역은 대부분이 염해가 있는 해안 지역에 위치하고 있기 때문에 표면방전에 의한 외피소재의 열화내성이 중요한 인자로 부각되고 있다. 폴리머 shed 소재가 자기제 소재에 비하여 내열성과 내후성이 부족하지만 절연물이 오염과 습도가 높은 환경 하에서 폴리머 애자의 표면절연성능은 훨씬 우수한 것으로 밝혀지고 있다. 폴리머애자용 갖소재는 트래킹성(재료침식), 내광성, 산화안정성 등의 성능이 기본적으로 우수하므로 오염으로 인해 재료열화가 가속되는 환경에서도 장기성능이 매우 좋게 나타나고 있다.

폴리머애자의 우수성이 입증되면서 국내의 배전급 절연물뿐만 아니라 전철용 절연물과 초고압의 대형 절연물도 자기제 애자에서 폴리머 절연물로 확대 적용 중이어서 신규절연물의 상당량이 폴리머 애자가 사용될 전망이다. 경과지 확보가 어렵고 환경 문제를 고려하면서 그 해결책으로 암 절연물을 활용한 최적화된 철탑 제작을 위한 기초연구가 진행되는 단계이다.

2. 본 론

2.1 폴리머 애자를 사용한 암 절연물

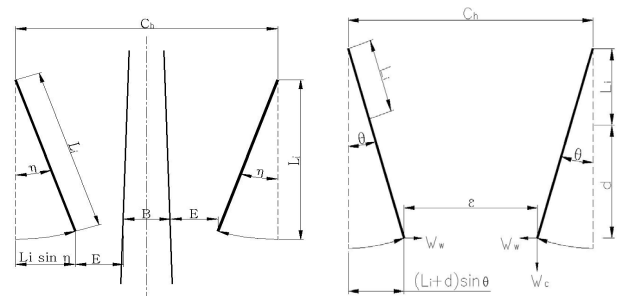
인발(pultrusion)공법으로 glass fibre와 수지를 결합시켜 고강도의 무결점 FRP 절연봉을 만들 수가 있다. FRP봉을 core재로 하여 표면의 절연저항 특성을 만족하도록 고무로 된 shed를 찍고 양쪽 끝에 금구류를 부착하면 composite insulator를 만들 수가 있다. composite insulator의 제작은 크게 여러 개의 shed를 한 번에 진공사출하는 방법과 shed를 금형에서 찍어 조립하는 방법 두가지로 나누어 볼 수 있으며, 아래와 같은 많은 장점을 가지고 있어 암 절연체로 활용이 가능하다.

- 기계적 강도(인장강도는 자기질의 2배, 충격강도는 5배) 우수
- 자기질의 15% 정도의 경량, 생산, 보관, 운반, 설치가 용이

- 가공용 설비의 발전으로 생산성이 높아 완제품의 제조에 2일 정도 소요되며 생산 시 에너지 소모가 적어 가격이 저렴
- 고강도 FRP rod와 내충격성이 좋은 고무를 사용함으로써 얇고 가늘게 제작이 가능하며, 누설거리 확대가 용이하여 특성이 우수한 절연물 제작이 가능하여 설계 가변성이 우수
- 실리콘 고무는 낮은 표면 에너지 때문에 발수성이 좋아 같은 환경 조건에서는 누설전류 값이 낮고 트래킹이 적다.
- 트래킹이 수반되어 열이 발생해도 실리콘 고무는 주 사슬이 무기 결합이므로 내열성이 우수하여 유기계의 고무보다 열화가 적다.
- 열화가 진행되어 화학결합의 분해가 수반된다 하여도 생성된 부산물이 절연성이 우수한 SiO₂이므로 절연성능의 저하는 크게 일어나지 않는다.
- 사용 중의 절연물 표면이 오염이 되든지 열화 되어 SiO₂가 노출이 되어도 표면이 실리콘 lubricant에 의해 encapsulation 된 상태로 존재하기 때문에 항상 발수성이 좋은 표면상태(낮은 접촉각 표면)를 유지시켜 준다.
- 부분방전이나 flashover로 표면이 hydrophilic하게 되도 곧 발수성이 회복된다.

2.2 철탑암 적용 설계

가공 송전용 철탑은 절연협조, 지지물 잡지, 철탑 기초, 전선 선정, 이도, 가공지선, 진동방지, 애자장치 설계 등의 복합적인 요소를 고려하여 설계 한다. 이러한 과정을 거쳐 제작된 철탑은 도체를 지지하고 고전압이 걸린 도체의 공간적 절연 유지를 위하여 무거운 금속 암과 애자런이 필요하고, 도체의 swing 공간을 고려하여 철탑 본체와 도체가 허용되는 거리를 유지하도록 철탑암의 길이가 결정된다. 특히 철탑에서의 clearance(상-대지 절연)에 의해 철탑의 전선 배치가 정해지며, 이러한 전선 배치는 철탑의 clearance diagram에 의한 수직·수평 선간거리와 바람의 움직임의 정적 등가 환산에 의한 수직·수평 선간거리로 크게 나누어 산출 되어 적용된다. 일반적으로 전선로의 설계상 표준으로 정하는 철탑의 중심 간의 거리인 공간에 의해 분류되어 정해진 표준 철탑을 기준으로 설계된다.



(a) clearance diagram (b) 정적 등가환산

<그림 1> 수평선간거리

2.2.1 철탑의 clearance diagram에 의한 수평선간거리

표준공간에 있어서 수평선간거리는 철탑의 탑체의 폭과 clearance diagram에 의하여 결정된다. 이것을 식의 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$C_h = 2(L_i \sin \alpha + E) + B \tag{1}$$

Ch : 수평선간 거리 (m), B : 탑체의 폭 (m)
 Li : (현수)애자런의 길이 (m), (내장)점프의 깊이 (m)
 alpha : 최대 횡진각 (°), E : 최대 횡진시의 소요 이격거리 (m)

탑체의 폭과 clearance diagram에 의하여 결정된 수평선간거리를 일본의 Takahashi(竹下)는 전압의 parameter로 다음과 같은 경험식으로 나타내었다.

$$Ch = 1.5 + \frac{V}{1.1 \times K_2} \quad (2)$$

C_h : 수평선간 거리 (m) V : 선로의 공칭전압(kV) K_2 : 정수

2.2.2 바람의 움직임의 정적 등가환산에 의한 수평선간거리

바람은 균일하게 불지 않고 풍속 풍향도 시시각각으로 변화한다. 이 경우 전선에는 관성이 있으므로 바람의 변화를 따르지 않으므로 수평으로 배열된 전선의 횡진 각이 달라서 접근하는 것으로 생각된다. 이것을 등가적으로 양측의 전선이 반대방향의 바람을 받는 것으로 생각하면 다음 식에 의하여 수평선간거리를 check하는 방법이 있다. 장경간 혹은 협선간의 송전선의 수평선간거리를 결정할 때 이 방법이 많이 사용된다.

$$C_h = (D - \epsilon) \frac{S_m - S}{S_m} + 2(L_i + d) \sin \theta + \epsilon + 2r \quad (3)$$

C_h : 수평선간거리 (m), D : 옥외변전소 모선 간격 (m)
 $\epsilon = 0.0035U_m$: 상용주파내전압거리(m) - U_m : 최고허용전압 (kV)
 S_m : 장경간용의 특수설계를 해야 하는 한계경간의 길이 (m)
 S : 검토 대상 경간의 길이 (m), d : 이도 (m)
 L_i : 현수애자장치(直形)의 애자련의 길이 (m), r : 전선반경 (m)

$\theta = \tan^{-1} \frac{W_w}{W_c}$: 바람의 움직임에 의한 횡진각

- W_w : 전선풍압 (kg/m) : 단위 길이에 대한 전선풍압
- W_c : 전선중량 (kg/m) : 단위 길이에 대한 전선중량

2.2.3 첩탑에서의 clearance diagram에 의한 수직선간거리

전선의 수직간격은 바람·sleet jump에 의한 전선의 수직방향의 움직임 및 작업상의 필요 이격 등을 고려하여 정해지지만 표준적인 2회선 수직배열에 있어서 수직선간거리는 첩탑의 암 사이의 clearance에 의해 정해진다.

2.3 절연암 적용 설계

절연암을 적용하는 경우(첩탑의 주재료는 철제)는 암과의 절연을 위한 애자련이 불필요하므로, 금구장치는 전선을 잡아주고 암 절연물 고정을 위한 최소한의 장치로 구성되어 길이가 매우 짧아진다. 또한, 전선 배치에 있어서는 현수형과 내장형의 구분 없는 동일한 배치형태가 된다. 절연암 첩탑의 전선 배치는 첩탑에서보다는 공간에서의 선간거리(상간 절연)에 의해 정해진다. 이러한 조건이 첩탑의 크기를 줄일 수 있는 조건이 된다. 기존의 금속암 첩탑에서 규정된 절연, 바람에 의한 움직임 등을 고려하여 계산된 선로의 수평 이격거리를 적용하게 되면 암 절연물의 적용에 의한 첩탑의 소형화는 이루어지기 어렵다. 또한 착빙설의 탈락에 따른 전선 도약(sleet jump)시의 접촉사고를 방지하기 위하여 동일 수직선상 배치를 피하기 위한 offset도 설정하여야 한다. 현재 국내에서는 암 절연물을 적용한 경험이 전혀 없으므로 이러한 외국의 경험을 참고하여 그림 2와 같이 실증선로에 설치할 암 절연물 및 첩탑을 설계하였다.

2.3.1 첩탑의 clearance diagram에 의한 수평선간거리

공기절연간격은 표준절연간격인 1,300mm를 적용할 수 있다. 절연암을 적용할 경우 기본적으로 애자련을 사용하지 않으므로 첩탑에서의 횡진이 나타나지 않는다. 첩탑과 애자(post insulator)가 연결되는 금구(base mounting), 애자(post insulator) 양 단의 금구 등 총 연결금구의 길이를 고려하면 된다.

- pole의 지름 : 508 mm
- 상, 하 수평선간거리 : (2,047×2)+508=4,602 mm
- 중 수평선간거리 : (2,047×2)+508+559(offset)=5,161mm

2.3.2 첩탑에서의 clearance diagram에 의한 수직선간거리

절연암을 적용하기 때문에 도체와 암과의 절연은 고려하지 않아도 되므로 수직선간거리는 상간절연거리인 1,500mm를 적용하면 된다. 그러나 바람·sleet jump에 의한 전선의 수직방향의 움직임, 연결금구의 길이 등을 고려하여야 하므로 별도로 offset을 부여한다고 하여도 이 값을 그대로 적용할 수는 없는 것으로 보인다. 실제 한전에서 적용 규격 및 전체의 설계를 고려하여 3,200mm를 적용하였다. 2회선 수직배열의 경우 상, 중, 하 각 선 상호간의 수평거리를 offset이라 한다. offset의 주 목적은 각 상의 불균일 착빙설에 의한 전선의 이도나 횡진의 차이, 착빙설

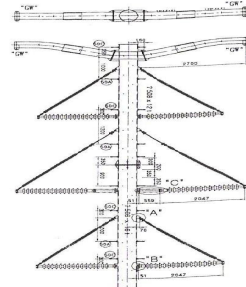
탈락시의 전선의 운동, galloping 등에 의한 전선단락을 방지하기 위함이다.

가. Offset 계산법

Offset length = 0.003 × V, V : 최고 선간 전압 (kV) : 170
 → Offset length = 0.51 m,
 상하 : 무시, 중하 : offset length의 1~2배

나. 절연암을 적용한 offset 계산

절연암의 길이와 전체의 형상을 고려 559 mm 적용

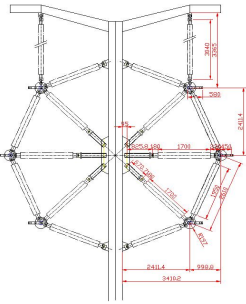


<그림 2> 절연암을 활용한 콤팩트형 첩탑

2.3.3 독창적인 콤팩트 첩탑 설계

절연암을 사용한 첩탑의 콤팩트화는 미국, 일본, 호주 등에서 개발이 진행 중이며, 절연암 적용한 첩탑은 일반적으로 그림 2와 같은 형상을 갖고 있다. 이에 암절연물 형상 설계를 달리하여 좀더 콤팩트하고 독창적인 송전첩탑이 되도록 설계하였다.

3상 2회선을 기본으로 미관을 좋게 하기 위하여 팔각형을 기본으로 첩탑 중심에서 각각 45°씩을 가지게 되도록 절연물을 배치하고 절연물 사이에 특별히 설계한 연결금구를 사용하여 연결하였다. 도체를 연결하는 현수클램프를 팔각형의 첩탑에 바로 연결할 수가 없으므로 애자를 연결하는 연결금구의 끝에서 일정한 길이의 취부 금구를 연결한 뒤 현수클램프를 연결하는 구조로 하였다.



<그림 3> 팔각형 콤팩트 첩탑

첩탑과 연결되는 애자의 경우에는 강도 보강 및 애자 제작의 용이성을 위하여 첩탑과 애자 사이에 철제 pedestal를 개입시켰다. 그리고 강도 보강을 위하여 가공지선 암으로부터 인장강도가 우수한 폴리머 현수애자를 설치하여 하단의 포스트 애자 세트를 잡아줄 수 있도록 설계 하였다.

3. 결 론

절연암 첩탑의 전선 배치는 첩탑에서보다는 공간에서의 선간거리(상간 절연)에 의해 정해진다. 첩탑의 소형화를 이루기 위한 절연암 첩탑의 설계를 위하여 미국, 일본, 호주 등에서의 암절연물을 적용한 첩탑의 사례를 조사하고 수평선간거리, 수직선간거리, offset 등을 계산하여 절연암 첩탑을 설계하였다. 또한 좀더 콤팩트하고 독창적인 설계를 위해 팔각형 콤팩트 첩탑 구성을 제안하여 설치하였다. 이러한 첩탑의 소형 경량화는 송전선 경과지 확보 난을 극복하고 송전 설비 개선이 가능한 친환경적인 송전설비 구축의 해결 방안이 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1]한전전력연구원 “신송전 실증시험선로 및 변전설비 구축사업”, 2007.6.
- [2]한전전력연구원 “송전 설계기준 제 개정 및 보완연구”, 2001. 5.