

배전용 Y형 강관전주 개발

오재형, 안창호, 김준오, 장진우, 이홍재(한국전력공사 부산사업본부)
이수목, 이승희(배전계획처), 권태준, 김영민(배전운영처)

The Development of Y-type Steel Pole for Distribution Facilities

Oh Jae Hyung, Ahn Chang Ho, Kim Jun Oh, Jang Jin-woo, Lee Heung Jae(Busan District Division, KEPCO)
Yi Sue Muk, Kwon Tae joon, Kim Young Min, Lee Seung Hee, (Distribution Department)

Abstract - 부하가 밀집된 도심지의 배전전주는 고저압 배전선 로용은 물론 주상변압기, 개폐기 등 배전기기의 설치를 위하여 필요불가결한 설비 중의 하나이다. 그러나 도심지에서는 미관저 해 및 건물의 가치하락을 우려하는 민원으로 인하여 신규 건축에 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 일반전주의 2배 인 최대 6대의 주상변압기, 2대의 개폐기 및 특고압 인입설비를 설치할 수 있도록 2개의 상부 구조를 가지는 Y형 강관전주를 개발하였다.

1. 서 론

국민 생활수준 향상 및 산업의 고도화에 따라 전력수요는 매년 증가하고 있으며, 배전설비의 증설은 불가피한 현실이다. 배전선로는 가공 및 지중으로 분류할 수 있으며, 도시미관, 안전 및 친환경 설비 추구에 따라 지중화의 요구는 증가하고 있으나 건설재원 및 도심구조의 제약으로 인하여 지중화율은 전격적으로 약 13%에 머물고 있는 것이 현실이다.

가공 배전선로의 주요 설비로는 전주, 전선, 변압기, 개폐기 등이 있으며, 특히 전주는 다른 설비를 설치하기 위한 가장 기본적인 필수적인 가공배전설비이다.

배전선로에 사용되는 지지물은 그 재료 및 형상에 따라 철탑, 철주, 목주, 강관전주 및 콘크리트 전주로 구별할 수 있으며, 전국에 770만 여기의 배전용 지지물이 설치되어 있고 그중 콘크리트 전주가 97%인 750만 여기로 대부분을 차지하고 있다.

대도시의 부하밀집 지역은 그 특성상 많은 수의 전주를 필요로 한다. 우선 지압을 공급하기 위한 변압기, 고압고객을 위한 개폐기 및 인입설비, 신속한 부하전환을 위한 자동화용 개폐기 등이 그것이다. 따라서 표준경간 보다 조밀하게 전주가 밀집되며, 이러한 상황은 빈번한 민원의 대상이 된다. 이러한 문제를 경감하기 위하여 1기의 전주로 2기의 배전설비 설치공간을 제공할 수 있는 Y형 강관전주를 고안하고 실제 시제품을 생산하고 필요한 시험에 통과하여 양산의 준비단계에 있다.

2. 본 론

2.1 강관전주의 특징

2.1.1 강관전주의 장점

강관은 타 소재에 비해 균일한 재질강도 및 고강도의 전주제작을 가능하게 한다. 현재 한국전력공사에서 적용하고 있는 콘크리트 전주의 최대 설계하중은 1,000kgf에 불과하지만 강관전주의 경우는 현재 2,000kgf까지 제작되어 사용되고 있다. 고강도 제작은 경간확대가 가능하여 미관개선 효과를 얻을 수 있으며, 콘크리트 전주에 비해 경량으로 운반 및 시공성에서 유리하다.

한편, 차량충돌과 같은 과하중 대응력에 대해 콘크리트 전주는 전주붕괴 및 도미노현상 등이 발생하는 반면 강관전주는 단순한 소성변형으로 전주 본연의 역할을 수행함으로써 정전과 같은 2차 사고로 이행되는 것을 방지할 수 있다. 또한 전세계적으로 지구온난화에 따른 기상이변이 속출하고 있으며, 국내 역시 하절기 집중호우 또는 태풍 등으로 인한 전력설비 피해는 끊이지 않고 있으므로 피해 다발 지역에 대해서는 선택적으로 강관전주를 채용하는 방안을 검토할 필요가 있다.

일반적으로 콘크리트 전주의 평균 수명은 25년 정도로 추정하고 있으며, 강관전주의 수명은 55~75년 정도로 거의 2~3배 정도 내구성이 뛰어난 장점을 가지고 있고, 강관전주의 경우 수명이 다해 교체된다라도 100% 재활용이 가능하므로 환경친화적 측면에서도 큰 장점을 가지고 있다.

그러나, 강관전주의 단점은 콘크리트 전주에 비해 상당히 고가로 현재 비용 절감을 위해 적정설계 또는 제질개선 등의 다양한 연구가 진행되고 있다.

〈표 1〉 콘크리트 전주와 강관전주의 비교

항목	콘크리트 전주	강관전주
재질 강도	보통	우수
최대 설계하중	1000kgf	2000kgf
평균수명	25년	55~75년
환경친화성	폐기물 처리	재활용 가능
운반 및 시공성	보통	우수
과하중 대응력	취약	우수
가격	저가	고가

2.1.2 내후성강의 특징

가장 최근에 개발된 강관전주는 내후성강(SPA-H)을 적용한 것으로 '07년부터 한국전력공사에서 사용되고 있다. 내후성강은 대기환경에서 녹발생이 적고, 부식 저항성을 높이기 위해 일반강에 Cu, Cr, P 등의 원소를 첨가한 저합금강으로 대기에 노출되면 초기에는 일반강과 유사하게 산화되지만, 시간이 경과함에 따라 그 산화막이 서서히 도재에 밀착하여 안정피막을 형성하고, 이 보호산화피막(Protective-oxide-film)이 외부 환경에 대한 보호막이 되어 더 이상의 부식진행을 억제한다. 일반적으로 내후성강의 내식성은 일반강에 비해 8배 정도 우수한 것으로 알려져 있다.

내후성강은 1933년 미국의 US Steel과 Bethlehem Steel사가 시판하여 지속적인 개발이 이루어져 SPA의 고내후성강 성분계가 확립되었다. 또한 내후성강은 강관전주 외에도 교량 등의 대형 구조물과 컨테이너, 차량부대, 대기노출 강관재 등에 상당량 사용되고 있으며, 박관형태의 내후성강재는 건축용 외장판이나 새시(sash)등에 적용되고 있다.

2.1.3 안정녹의 진행과정

일반적으로 철의 녹은 대기 중 산소와 강표면의 수분에 의해 철이 산화되어 발생하게 되고, 일반강은 이러한 부식이 계속해서 발생되어 안정녹의 형성은 어렵다. 그러나 내후성강의 경우 표면 녹(Scale) 내부에서 Cu, P, Cr의 상승작용으로 치밀한 비정질층(안정녹)이 형성되어 물과 산소의 침투를 억제하므로 부식의 진행을 막게 된다. 따라서 내후성강의 경우 지속적인 부식 없이 암갈색의 초기 안정녹 발생 후 안정된 표면을 유지하게 된다.

대기노출 2년까지는 오렌지색으로 변하며 일반강과 동일하게 부식진행되고 녹가무도 발생한다. 3~4년이 경과하면 부식 산화층 내부에서 크롬, 구리 니켈 등의 작용으로 치밀한 안정산화층이 형성되기 시작하며 옅은 갈색으로 변화한다. 5~10년이 경과하면 안정녹이 완성되는데 암갈색의 안정된 산화피막층의 형성이 완료되고 짙은 갈색으로 변화하며 그 후 부식진행은 정지된다.

2.1.4 Y형 강관전주의 특징

현재 한국전력공사에서 배전선로에 적용하고 있는 전주들은 재질에 관계없이 모두 "1"자 형의 단일형 전주의 형태이다. 최근에는 특수개소에 곡선형 강관전주가 사용되고 있으나, 그것

또한 단일형 전주의 변형된 모습으로 일반전주와 크게 다르지 않다. 이러한 단일형 전주에 설치할 수 있는 최대 수상변압기 수는 3대로, 전주의 설계하중이나 길이에 관계없이 일정하다.

본 연구에서 개발된 Y형 강관전주는 2개의 상부를 가지는 구조로 변압기를 최대 6대까지 설치가능하고, 적용개소에 따라 변압기 및 개폐기, 개폐기 및 특고인입설비 등 다양한 형태의 장주가 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 꼭각지점 또는 교차로 등에서도 풍중분기 및 선로 상하방 교차가 용이하여 다양한 용도로 활용될 수 있다.

2.2 Y형 강관전주의 강도계산

2.2.1 하중의 종류

지시물, 전선에 작용하는 하중은 풍압하중, 불평형 장력, 설비 자체의 자중, 부착병설의 중량 등이 있으며, 이들을 작용방향별로 분류하면 수직하중, 수평하중 및 수평중하중이 있다. 그러나 이들 하중 중, 지시물의 수직하중은 일반적으로 강도가 충분하므로 검토가 불필요하며, 수평하중에 대한 강도를 검토하면 된다. 또한 하중이 걸리는 상태를 분류하면 상시 일정한 하중이 걸려있는 상태(정하중), 반복하여 걸리는 상태(반복하중), 급격히 걸리는 상태(Shock 하중) 등이 있으나, 배전선로의 일반적인 강도계산은 전주일 때는 풍압하중과 그 지지하는 전선의 불평형장력에 기인하는 정하중, 전선일 때는 풍압하중과 전선 자중과의 합성하중에 대한 정하중을 대상으로 한다.

2.2.2 Y형 강관전주의 풍압하중

전주 강도 계산에 적용하는 풍압하중은 감중하중, 울중하중 및 병중하중의 3종류로 분류되며, 본 연구에서는 가장 가혹한 감중풍압하중을 기초로 전주의 강도계산을 하였다.

먼저 Y형 강관전주의 풍압하중 계산을 위해 표 2와 같이 전주의 특성 및 설계조건을 설정하였으며, 전주에 설치되는 최대 설비구성을 표 3에 나타내었다.

<표 2> Y형 강관전주의 설계조건

항 목	특성값	비 고
설계하중	700kgf	중하중용
전주길이	16m	
강관 근입 깊이	2.8m	강관근입
회선수	2회선	
장주형태	기기주	
공가설비	2단	
최대경간	감중풍압하중	36m
	강화지역	19m

<표 3> 최대 설치기기

항 목	규격	수량
전력선	ACSR-OC 160mm ²	6조
중성선	ACSR 95mm ²	1조
변압기	150kVA	6기
전선용 완철	75 × 75 × 2400 [mm]	4개
COS용 완철	75 × 75 × 1800 [mm]	2개

전주의 강도는 전주의 최대용력을 생기도록 하는 부분에서 전주가 분담하는 최악조건하의 외력에 의한 굽힘 모멘트(M)보다 전주의 저항 모멘트(Mr)가 크도록 설계하여야 한다.

즉, Mr > M = Mp + Mw + Mc + Mt 가 되도록 하중 설계를 하여야 한다.

2.2.2.1 전주가 받는 풍압에 의한 굽힘모멘트(Mp)

전주 자체에 가해지는 굽힘 모멘트는 식(1)과 같다.

$$M_p = W_p A_p H' \quad \text{[kg-m]} \quad \text{----- 식(1)}$$

여기서,

Mp : 원형주체에 가해지는 풍압에 의한 굽힘 모멘트 [kg-m]

Wp : 원형주체의 단위면적당 풍압하중 [kg/m²]

Ap : 전주의 수평면적 [m²]

H' : 환산된 전주높이 [m]

단일형 전주에서 H'=KH로 상수 K의 값은 일반적으로 0.45~0.48이다. 따라서 식 (1)에 의해 계산된 전주 전체에 가해지는 굽힘 모멘트의 값은 2,163.7 [kg-m]이다.

2.2.2.2 전선이 받는 풍압에 의한 굽힘모멘트(Mw)

전선에 가해지는 굽힘 모멘트는 식(2)와 같다.

$$M_w = 0.01KS(\Sigma 7.6dH) \quad \text{[kg-m]} \quad \text{----- 식(2)}$$

여기서,

Mw : 전선에 가해지는 풍압에 의한 굽힘 모멘트 [kg-m]

d : 전선의 직경 [mm]

H : 지표상의 높이 [m]

S : 경간 [m]

K : 계수로서, 감중일 때 1.0, 울 및 병중일 때 0.5

ACSR 160mm² 2회선 6조, 중성선 ACSR 95mm² 1조 가산시 전선에 가해지는 총 굽힘 모멘트는 5,085.4 [kg-m]이다.

2.2.2.3 완철이 받는 풍압에 의한 굽힘모멘트(Mc)

완철에 가해지는 굽힘 모멘트는 식(3)과 같다.

$$M_c = AW_c H \quad \text{[kg-m]} \quad \text{----- 식(3)}$$

여기서,

Mc : 완철에 가해지는 풍압에 의한 굽힘 모멘트 [kg-m]

A : 완철의 수평면적 [m²]

Wc : 완철의 단위 면적당 풍압하중 [kg/m²]

H : 완철의 지표상 높이 [m]

전선용 완철 4개, COS용 완철 2개의 총 굽힘 모멘트는 1,990.0 [kg-m]이다.

2.2.2.4 변압기가 받는 풍압에 의한 굽힘모멘트(Mt)

변압기에 가해지는 굽힘 모멘트는 식(4)과 같으며 결과를 표 10에 나타내었다.

$$M_t = AW_t H \quad \text{[kg-m]} \quad \text{----- 식(4)}$$

여기서,

Mt : 변압기에 가해지는 풍압에 의한 굽힘 모멘트 [kg-m]

A : 변압기의 수평면적 [m²]

Wt : 변압기의 단위 면적당 풍압하중 [kg/m²]

H : 변압기의 지표상 높이 [m]

150kVA 주상변압기 6대에 가해지는 총 굽힘 모멘트는 3,729.4 [kg-m]이며, 이렇게 구하여진 외력에 의한 굽힘 모멘트의 총합은 12,968.5 [kg-m]이다.

2.2.2.5 전주의 저항 모멘트 (Mr)

전주의 저항 모멘트는 식(5)와 같다.

$$M_r = f \cdot Z = \frac{P}{F} Z \quad \text{[kg-m]} \quad \text{----- 식(5)}$$

여기서,

Mr : 전주의 굽힘에 대한 허용 저항 모멘트 [kg-m]

f : 전주의 굽힘에 대한 허용 내용력 [kg/m²]

P : 전주의 굽힘에 대한 파괴강도 [kg/m²]

F : 상정한 안전율

Z : 단면계수 [m³]

전 항에서 구하여진 외력에 의한 굽힘 모멘트의 총합이 12,968.5 [kg-m] 임을 고려하여 전주의 저항 모멘트를 13,200 [kg-m](>12,968.5 [kg-m])로 설정하고, 안전율 1.5를 적용하면 강관의 재질에 따른 강관의 직경 및 두께 그리고 단면계수 등은 표 11과 같이 계산될 수 있다.

일반적으로 강관전주에 사용되는 재질은 STK400 또는

STK490이 주를 이루고 있고, 최근에는 고내후성강이 SPA-H 재질을 사용한 테이퍼형 강관도 사용되고 있다. 본 연구에서는 STK 및 SPA-H 재질을 모두 고려하였고 SPA-H 강관이 가장 적합한 상정하중 조건과 경제성을 갖추고 있는 것으로 판명되었다.

〈표 4〉 강관재질에 따른 전주의 저항 모멘트

재 질	외경 [a]	내경 [a]	두께 [a]	단면 계수 [a]	항복 력 [kg/a]	안전율	저항 모멘트
STK 400	35.56	33.76	0.90	825.7	2,398.0	1.5	13,200
STK 490	35.56	34.25	0.66	616.0	3,214.3	1.5	13,200
STK 500	35.56	34.40	0.58	546.6	3,622.4	1.5	13,200
STK 540	35.56	34.51	0.52	497.5	3,979.6	1.5	13,200
STK 590	35.56	34.51	0.52	497.5	3,979.6	1.5	13,200
SPA-H	37.70	36.65	0.52	562.4	3,520.4	1.5	13,200

2.3 시제품의 제작

2.3.1 시제품의 제작과정

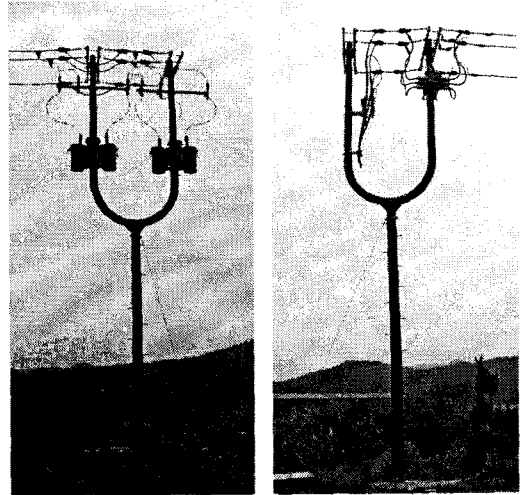
시제품은 3차에 걸쳐 제작되어 각 과정마다 수정과 보완작업을 거쳤으며 최종의 시제품은 상하부가 삼입형으로 연결되는 구조로 제작되었다. 제작에 앞서 밴딩부 상부를 축관하기 위한 축관용 금형을 제작하였으며 밴딩부를 제작하기 위해서는 이전에는 강관밴딩 후에 도면에 따라 밴딩된 강관을 cutting하여 제작되었으나, 축관형의 경우에는 밴딩작업을 먼저 할 경우 축관이 불가능하기 때문에 축관작업을 한 후 밴딩을 하였다. 이러한 작업순서의 변화에 따른 길도 사항은 축관작업과 밴딩작업시 강관의 구조 변화에 따른 전체 강관길이의 변화이다. 일반적으로 축관 및 밴딩작업 후에는 강관길이가 늘어나는 특성을 나타내어 수차례 샘플 제작을 통해 적정길이를 설정하였다. 축관 작업은 한쪽에는 축관금형을 배치하고 다른 쪽은 평판의 지지판을 설치하여 유압에 의해 축관할 강관을 조금씩 금형속으로 삽입하는 작업으로 본 연구에서 제작된 밴딩부의 축관은 밴딩부의 일반적인 강관전주에 비해 강관두께가 두껍고, 축관 전·후의 적경 차이가 커 작업시 세심한 주의가 요구되었으며, 수차례 시험제작을 통해 적정 작업조건을 설정할 수 있었다.

2.3.2 최종 Prototype 시험

제작된 최종 시제품은 Y형으로 분기되는 부분을 제외하고는 용접부 또는 리브와 같은 용접구조물이 없는 구조로 1차 시제품과 비교하면 상당히 미려한 구조를 갖게 되었다. 또한 표 5의 시험결과에서도 알 수 있듯이 기계적인 특성도 양호한 것으로 나타났다. 특히 하부의 끼움식 구조에는 상단의 전주가 더 이상 침하하지 않도록 미끄럼 방지턱이 있는 구조이지만, 상부의 끼움식 구조는 축관 자체가 이중 테이퍼 구조로 되어 있어 미끄럼 방지턱이 없는 구조이다. 따라서 시험실시 전 수직강도시험시 최상부의 전주의 하부전주측 침하우려가 있었으나, 수직강도시험의 하중유지 시간이 1분인데 비해 본 시험에서는 5분 이상을 유지하였고 아무런 문제점도 발생되지 않았다. 한편 그림 1의 변압기 6대 장주 및 개폐기 설치와 고압인입선 설치 사진에 나타나 있듯이 상당히 미려한 외관을 나타내었다.

〈표 5〉 최종 시제품의 시험결과

구 분	시험 순서 및 조건			
	1	2	3	4
시료번호 및 재 질	수직강도시험	굽힘강도시험	굽힘강도시험	굽힘파괴강도시험
	5700kgf	700kgf	700kgf	1400kgf
SPA-H (5.2t)	수직 방향	종 방향	종 방향	횡 방향
	6000kgf	763kgf	740kgf	2000kgf
	5분 유지함	370mm	405mm	파괴안됨



〈그림 1〉 시제품의 활용

3. 결 론

본 연구에서 개발된 Y형 강관전주는 고내후성강(SPA-H) 재질로, 전주길이 16m, 설계하중 700kgf, 3단 구성으로 제작되었으며 하부에 1기의 전주와 상부에 U자형의 전주 2기 역할 구조로 결합되어 전주 1기로 기존의 단일형 전주 2기의 역할을 수행할 수 있다. 혼합지역의 지지물 수 감소와 설비용량 증대, 기존의 H주 사용개소의 대체, 배전선로 4회선 가선 등 다양한 용도로 활용됨은 물론, 수명이 기존 전주의 2~3배에 달하고 재활용이 가능하여 친환경적이므로 전력설비의 이미지 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 한국전력공사, "배전설계기준 (DS-4901)", 2007
- [2] 한국전력공사, "설계기준 배전분야", 2005.
- [3] 에너지경제연구원 "에너지수요전망", 2007
- [4] 문운당, "재료역학", 2005