

765kV 1회선 송전철탑 구축 연구

이동일\* 김정호\* 최인혁\* 정윤환\* 신구용\* 이성두\* 김신철\*\* 유홍준\*\*  
 한전전력연구원\* 한전 전력계통건설처\*\*

Study on construction of Single Circuit transmission line with triangle arranged

Dong-il Lee\* Jung-ho kim\* In-hyuk Choi\* Yoon-hwan Jung\* Koo-yong Shin\* Seong-doo Lee\* Shin-chul Kim\*\* Heung-joon Yoo\*\*  
 KEPRI\*, Power system construction department of KEPCO\*\*

**Abstract** -'99년 장기 송변전 설비계획에 의거하여 765kV 신안성 T/L이 2회선에서 1회선으로 기본계획이 변경되면서 이의 건설과 운용을 위하여 1회선 선로 건설을 위한 송전 철탑의 설계 및 제작이 시행되었고 실선로 운용 전에 신뢰성 검토를 위하여 전기적, 기계적 특성을 파악해야할 필요성이 제기 되었다. 이와 관련하여 한전 전력연구원에서는 765kV 1회선 시험선로를 구축하고 하중시험을 실시하였다. 이 논문에서는 765kV 1회선 삼각배열 시험 송전철탑 철탑 관련 연구개발 내용 및 신뢰성 확보를 위해 실시된 하중 시험 등에 대하여 기술하였다.

1. 서 론

전력을 수송하는데 있어서 동맥 역할을 담당하는 송전선로에서 철탑은 가장 중요한 기자재 중의 하나이다. 우리나라는 지금까지 다양한 전압 레벨에 걸쳐서 철탑 제작과 운용에 대한 실적을 쌓아왔다. 하지만 전력의 보다 효율적인 사용에 대한 관심과 다양한 형태의 전력수요를 충족시켜야할 필요성이 발생하면서 추후의 송전선로의 구축에 있어서 경제성, 효율성, 환경친화성 등에의 접근이 새로운 이슈로 부각되었다. 이러한 추세를 반영하여 99년 장기 송변전 설비계획에서는 새로이 건설되는 765kV 신안성 T/L 구축계획을 2회선에서 1회선으로 변경하게 되었고 이의 구축과 운용을 위해서는 1회선 송전철탑을 설계, 제작해야할 당위성에 직면하게 되었다. 본 논문에서는 이의 연장선상에서 실시된 765kV 1회선 삼각배열 시험 송전철탑 관련 연구 개발 내용과 실 선로 적용 이전에 신뢰성 검토를 위하여 시행된 하중시험 그리고 1회선 송전선로의 도입으로 얻을 수 있는 기대효과 등에 대해 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 765kV 1회선 송전철탑 구축 추진배경

현재 우리나라에서는 765kV 2회선, 345kV 4회선 등 다양한 전압과 회선에 대해 상용화 실적 및 연구가 이루어져 왔고, 그에 상응하는 높은 수준의 철탑설계, 제조기술 및 건설기술력을 보유하고 있다. 하지만 전력 계통의 효율적 운용을 위한 99년 장기 송변전 설비계획에 따라 765kV 2단계 사업인 신안성 T/L의 건설 기본계획이 변경되었고 1회선 선로를 도입하는 것이 결정되었다. 현 시점에서 우리나라는 1회선 선로에 도입할 철탑에 대한 설계와 제작 및 운용 경험이 전무한 실정이고, 이에 따라 새로운 송전선로에 사용될 1회선 철탑에 대한 기술개발 및 기본설계, 설계 및 제작기술에 대한 신뢰성 및 경제성 검증이 중요한 문제가 되었다.

2.2 765kV 1회선 철탑 관련 연구개발 내용

2.2.1 765kV 1회선 철탑 기본설계 및 형상결정

765kV 1회선 철탑의 설계 및 제작을 위해서는 철탑의 기본적인 전기적, 기계적 특성을 감안한 형상을 결정하고 그에 의거하여 전선의 배열을 정해야 한다. 이에 따라 2000년 1월에 765kV 1회선 T/L의 기본설계 시행시기가 결정되었고 전선배열 및 철탑형상에 대한 전문가의견을 수렴하는 과정을 거쳐서 2002년 8월에 765kV 1회선 철탑에 대한 기술검토 및 기본설계가 완료되었다. 765kV 2단계 사업에 사용하게 될 1회선 철탑의 형상과 전선의 배열은 아래의 표 1에서 보듯이 경제성, 환경성, 시공성, 설계 제작에서의 용이성, 부지면적 등의 여러 가지 요소를 고려하여 삼각배열로 결정되었다.

표 1. 1회선 T/L 철탑 형상 검토

구 분	수평배열	삼각배열	직삼각배열
경제성	△	0	×
환경성	△	0	×
기술축적	0	0	×
시공성	△	△	0
설계,제작	△	△	0
선하지폭	현수:40m, 내장:46m	현수:22.4m, 내장:29m	현수:28m, 내장:29m
	×	0	0
부지면적	×	0	△
금구류 및 공구개발	△	△	0
유지보수	△	△	0
종 합	×	0	△
	경제성우수 선하지불리	경제성,미관우수 제작,시공불리	제작,시공성, 유지보수 유리 미관불리

또한 765kV 1회선 삼각배열 철탑은 기존의 2회선 철탑과 비교하여 전선의 배열, 애자런의 형상 등이 다르기 때문에 그에 따라 기존의 선로와 상이한 전기적, 기계적 특성을 가지고 있어서 그에 대한 기술 검토가 필요불가결 하였다. 또한 철탑의 형상에 맞는 금구류의 개발 및 새로운 형상에 대한 절연설계가 새롭게 필요할 것이라는 것은 주지의 사실이다. 아래 표 2는 1회선 삼각배열 철탑과 기존 2회선 철탑의 형상 및 특징에 대한 차이점을 보여주고 있다.

표 2. 1회선과 2회선의 비교

구분	1회선	2회선
배열	삼각배열	수직배열
전선	ACSR×6조	좌동
표준경간	500m	좌동
사용부재	주주재:강관 복재:산형강	주주재:강관 복재:강관
평균중량	75톤	180톤
탑고(평균)	65~75m	90~100m
현수 애자런	V런	I런
선하지 폭	현수: 22.4m	현수: 29.0m
	내장: 29.0m	내장: 29.0m

2.2.2 765kV 1회선 철탁설계 및 제작연구개발

1회선 삼각배열 송전철탁의 설계 제작은 설계하중 산출, 결구형상 결정, 입체해석에 의한 구조해석 및 부재산정, 기초하중 및 물량산출 등의 과정을 거쳐서 이루어졌다. 기존 2회선 수직배열 철탁 설계와 달리 1회선 삼각배열 철탁은 구조상 평면해석 적용이 곤란하였기에 입체해석법을 적용하였고, 제작과정에서는 상부형상이 기존 철탁의 형상과 상이하기 때문에 제작 후 가 조립 절차를 거쳐서 제작 유효성을 검증하였다. 이러한 절차를 거쳐서 시제품 시험선로에 설치된 1회선 철탁 2기(현수 1기, 내장 1기)를 제작하였고 상용화에 대비한 설계 및 제작기술을 확보할 수 있었다. 아래 그림 1와 그림 2는 실증시험선로에 설치된 1회선 삼각배열 현수 및 내장철탁의 Layout이다.

2.2.3 765kV 1회선 철탁 사용부재 검토

기존 765kV 2회선 수직배열 철탁에서 사용된 강관형 철탁들과 달리 실증시험선로에 구축된 765kV 1회선 철탁은 삼각배열을 기본으로 하고 구조적 안정성, 시각적 미려함과 경제성을 고려하여 현수형, 내장형에 대하여 각각 4가지의 모델을 정하여 실제설계 후 예상중량을 산출하고 전문가들의 의견을 수렴하여 표 3의 “라”와 같은 환경친화형 산형강, 강관 사용 형태로 결정하였다. 실증시험선로에서의 사용 데이터 축적으로 추후의 실선로 적용시의 신뢰성 확보가 가능할 것으로 기대된다.

2.2.4 765kV 송전 선로용 V런 애자장치 개발

765kV 2단계 사업에서 채택된 1회선 삼각배열 철탁은 기존의 2회선 수직배열 철탁과는 그 형상과 전선의 배열이 다르기 때문에 절연에 대한 설계와 애자, 금구류에 대한 기본개념 설계를 새롭게 해야 한다. 이를 감안하여 765kV 1회선 삼각배열 현수철탁에 사용되게 될 V런 금구류를 개발하였다. 아래 그림 3은 765kV 송전선로용 V런 애자장치의 시험 장면이다.

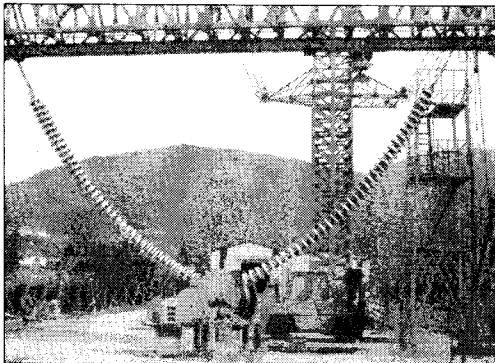


그림 3. 765kV 송전선로용 V런 애자장치 시험

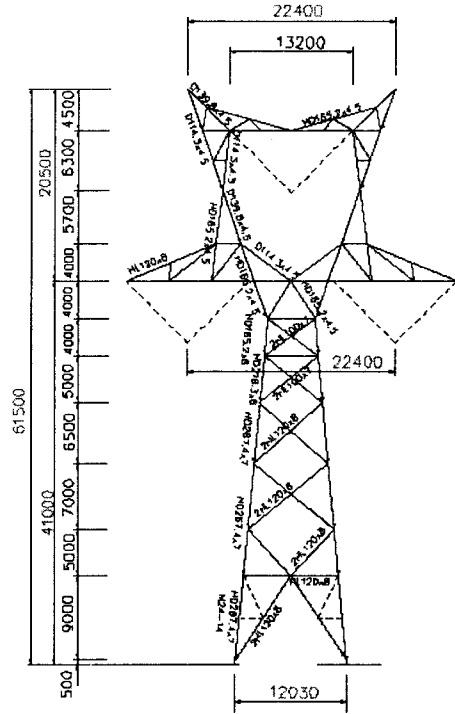


그림 1. 765kV 1회선 삼각배열 현수형 철탁

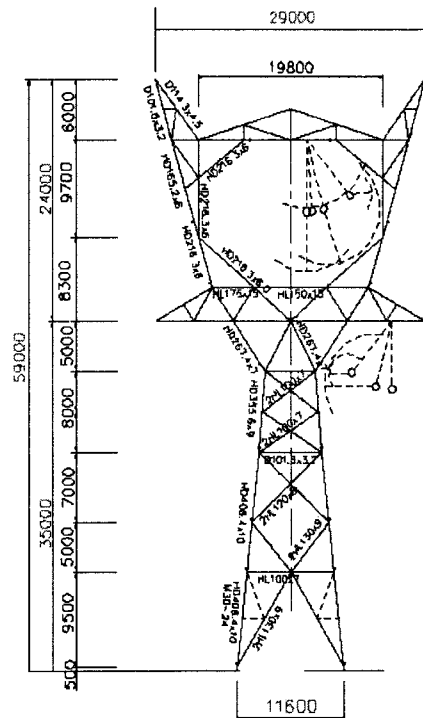


그림 2. 765kV 1회선 삼각배열 내장형 철탁

표 3. 첩탑부재 사용검토

구분		“가” 형	“나” 형	“다” 형	“라” 형
형태 및 사용부재		산형강-1	산형강-2	환경친화형-1 (산형강+강관)	환경친화형-2 (산형강+강관)
상부형상	현수				
	내장				
건설비 증감률		기준 값	0.15% 증가	2.5% 증가	2.3% 증가
장단점	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>•설계, 제작면에서 용이</li> <li>•경제성면에서 다소 유리</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•환경친화적으로 외관이 미려하여 민원대응 유리</li> <li>•산형강 구조에 비하여 설계시 풍압적용해 장점</li> <li>•기초하중의 감소로 기초시공 비용 절감</li> <li>•조립공수 단축으로 공기단축 효과</li> <li>•주주재 감관사용으로 구조적 안전성 확보</li> </ul>	
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>•시각적 거부감으로 인한 민원 발생의 소지가 높아 경과지 확보에 어려움 예상</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•경제성이 다소 떨어짐</li> </ul>	

2.3 765kV 1회선 송전첩탑 하중 시험

하중시험이란 특정 설계기준, 제작기준, 재질특성 등에 따라 설계하고 제작한 첩탑에, 실 선로 환경에서 발생 예상되는 하중 값을 시험설비를 통해 첩탑에 적용시켜, 첩탑의 이상유, 무를 검증하는 시험을 말한다. 이는 이론에 바탕을 두고 설계, 제작된 설계결과물을 시험을 통해 검증하고, 그 결과를 설계에 지속적으로 반영하여 경제성, 신뢰성을 갖춘 첩탑을 생산하기 위해서 시행되었다. 국제표준규격( IEC 652 )에 따르면 송전첩탑에 대해서는 하중시험을 실시하도록 명시하고 있으며, 765kV 1회선 삼각배열 첩탑에 대한 하중 및 파괴 시험은 상용화 이전에 신규 개발제품에 대해서 설계 유효성 및 제작 신뢰성 검증 절차를 거쳐야만 한다.

2.3.1 하중시험 원리

실제 수행되는 하중 시험의 기본원리는 그림 4와 같다.

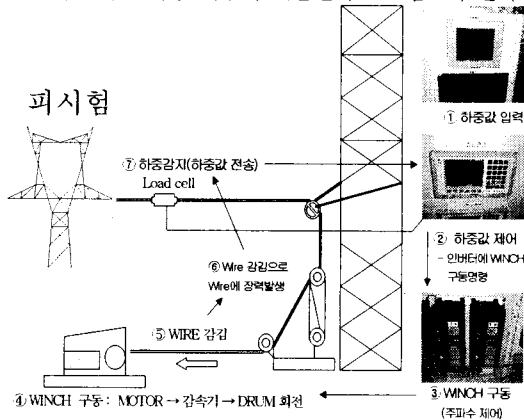


그림 4. 하중시험 원리

2.3.2 하중시험 시행 순서

1회선 송전첩탑에 시행되는 하중시험의 절차는 다음과 같이 진행하였다.

- 1) 3개의 시험용 첩탑 중앙 TEST BASE에 피 시험 첩탑을 조립한다.
- 2) STEEL WIRE를 각 하중점에 LOAD-CELL과 함께 POWER WINCH 에 연결한다.
- 3) 통제실 내부의 COMPUTER에 입력된 시험하중 DATA의 MAX. LOAD와 MIN. LOAD 사이에서 TEST LOAD가 유지 되도록 LOAD CELL로부터 수신, 변환된 하중 값을 제어기가 INVERTER를 통제하여 POWER WINCH가 가동되도록 한다.
- 4) LOAD CELL에서 감지된 하중 값이 제어기로 전송되어 하중을 증감 한다.
- 5) 요구된 하중 값에 도달하면 1분간 하중 값을 유지한다.
- 6) 1분경과 후 피 시험 첩탑의 변위를 측정한다.
- 7) 상기 1) - 6)항의 절차를 시험하중 100%에 도달하도록 50% → 75% → 90% → 100% 순으로 점진적으로 하중을 증가시키면서 시험을 진행한다.
- 8) 상기 7)항의 시험이 완료되면 다음 하중CASE로 시험을 진행한다.
- 9) 상기 7)항까지의 시험을 내하시험이라 하며, 내하시험 하중 100%의 이론적인 의미는 부재에 가해지는 용력이 탄성한계(항복강도)점에 도달하는 하중을 말한다.
- 10) 파괴시험은 부재에 발생하는 용력이 항복강도(탄성 한계점)가 초과되게 하중을 가하여 구조물의 파괴를 유도하는 시험이다.

2.3.3 하중시험 조건 및 절차

실시된 내하 및 파괴시험에서 가공지선 또는 전력선이 단선된 조건, 가공지선 및 전력선이 모두 첩탑에서 설치된 조건, 이상의 조건에 첩탑에 사풍의 풍압이 적용되는 조건을 고려하여 시험을 실시하였다. 각 시험조건에는 그림 5과 같이 20개 포인트의 하중을 부여하였다. 내하 시험의 경우 첩탑 설계 조건 중, LOAD TREE 상의 하

중 값 (가공지선 및 전력선의 장력, 무게 및 풍압이 피 시험 철타에 부하하는 하중)과 철타에 부하하는 풍압 하중 값을 각기 상시(Normal)와 이상 시(Abnormal) 조건으로 구분하여 100% 시험하중 값으로 산정한 후 100% 하중을 기준값으로 하여 50% → 75% → 90% → 95% → 100%까지 증가시킨 후 100%에서 1분간 Holding Time 을 유지하고 측량기를 이용하여 철타의 휨을 정면 5개소, 측면 3개소를 측정하여 변위를 측정하였다. 파괴시험의 경우 수평하중(전력선 풍압)이 고온계 All Wire Intact 시험조건인 경우에 대하여 시험하중의 100%부터 시작하여 5% 씩 하중을 증가시키며 각 단계별로 피 시험 철타의 변위를 측정하며 파괴 발생 유무를 관찰하였다. 이 실험들은 765kV 1회선 삼각배열 현수형, 내장형 철타에 대하여 모두 수행되었다.

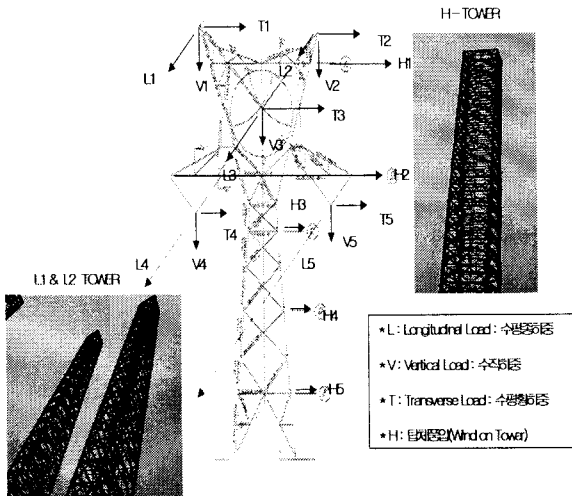


그림 5. 하중시험 포인트

### 2.3.4. 하중시험 결과

765kV 1회선 삼각배열 현수형 철타 1기와 내장형 철타 1기에 대하여 수행한 내하시험과 파괴시험의 결과 현수형 철타와 내장형 철타의 두 경우 모두에 하중시험절차에 따라 하중 부하를 부여한 후 Holding Time 1분간 유지 후 피 시험 철타의 정면 및 측면 방향으로부터 부재의 변형이 발견되지 않았기 때문에 내하시험 결과를 만족하였다고 볼 수 있다. 파괴시험의 경우 현수형 철타는 시험하중 125% 부여 후 2분 30초 경과시에 가공지선 지지용 부재가 좌굴되면서 인접 부재들이 연동되어 좌굴되어 파괴시험을 종료하였고 내장형 철타는 시험하중 135% 부여 후 1분 경과시에 가공지선 지지용 부재가 좌굴되면서 수평재를 구성하는 사재들의 볼트 전단 발생으로 수평재 전체가 좌굴되는 결과가 나왔다. 내하시험과 파괴시험 결과 개발된 765kV 1회선 삼각배열 현수형과 내장형 철타는 모두 기준 (시험하중 100%)을 통과하였으므로 실 선로에 적용 시에 신뢰성에 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

## 3. 결 론

시 제작된 1회선 삼각배열 현수형 및 내장형 철타에 시행된 하중시험 및 파괴시험을 통하여, 향후 실 선로에서의 사용에 제품 신뢰성 및 안전성을 확보할 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 이는 결과적으로 새로운 전력 기술의 확보로 기존의 확립적인 수직배열 송전선로에서 탈피하여 다양한 형상의 송전 철타 건설을 가능하게 하고, 필요시 환경친화적인 송전선로 건설의 기반을 마련하는 것이다. 아울러 1회선 송전선로가 일반화 되어 있

는 해외시장에 철타 제조 및 시공기술력을 보유한 국내 전력 산업체의 시장 진출을 가능케 하는 효과를 나타낼 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "765kV 1회선 삼각배열 송전철타 하중시험 보고서", 03. 11