

해상송전선로 설계 및 시공기술에 대한 고찰

운영순, 김태영, 김병호, 나경우  
한국전력공사

Design & Construction Technologies of 345kV marine Transmission Line

Young-Soon Yoon, Tai-Young Kim, Byung-Ho Kim, Kyung-Ku Nah  
Korea Electric Power Corporation

**Abstract** - 345kV youngheung tansmission line which has been constructed in the western sea is the first and the largest marine project in the world crossing the youngheung island and the sihwa bay.

It helps the stabilization of power supply greatly to cope with the rapid growth of the electric power consumption in the metropolitan areas and Gyeonggi province.

Having constructed the project successfully with the purely domestic-developed technologies, KEPCO is able to not only accumulate more advanced technologies of the marine project but also establish a bridgehead toward overseas market.

It is very meaningful that we completed project successfully in spite of many difficulties including the uncertainty of the first project in the sea and strong objections from the environment groups and local residents.

In this paper I will briefly introduce the project, newly developed technologies and materials.

1. 서 론

345kV 영흥송전선로는 수도권 및 경기 서남부지역의 급증하는 전력수요에 대비하기 위하여 영흥화력발전소의 발전전력을 서해바다와 시화호를 횡단하여 신시흥변전소까지 수송하는 세계 최장의 해상 송전선로이다.

설계 및 시공 등 전 분야를 순수 국내 기술로 추진한 본 사업의 성공적인 수행으로 해상 송전선로 건설에 대한 기술력 축적은 물론 해외시장 진출의 교두보를 마련하였다.

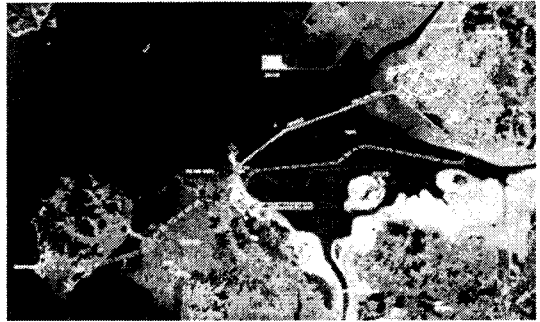
본 논문에서는 345kV 영흥송전선로의 건설 개요, 순수 국내기술로 개발한 설계 및 시공 기술, 해상구조물 유지보수를 위한 실증시험장, 해상 송전선로 준공 의의 등에 대하여 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 건설사업 개요

345kV 영흥송전선로는 총사업비 약 4,430억원과 9년여에 걸친 사업기간이 소요되었으며 순수 공사기간은 약 6년에 이르는 대단위 해상 송전선로 건설사업이다.

- 선로길이 : 39 km(해상구간 약 25 km)
- 송전용량 : 12,000 MW
- 지지물 : 강관철탑 137기(해상구간 89기)
- 전선길이 : 1,900 km
- 사용애자 : 자기애자(210kN, 300kN, 400kN)



[그림 1] 345kV 영흥송전선로 경과지도

2.2 절연설계

2.2.1 오손지역 구분

해상구간은 바다를 관통하여 단기간에 애자가 오손되는 해염 급속오손이 매우 용이하게 진행되고 육상구간은 반월, 시화공단과 인접하여 공단지역의 연진부착으로 인한 공업오손과 해염오손이 중첩하므로 오손에 의한 flashover 사고율이 증가하게 된다.

특히, 해상구간은 애자세정작업 등의 유지보수 작업이 극히 어렵고 사고가 발생할 경우 복구에 장시간이 소요되는 등 대용량 송전선의 사고과급 영향을 감안할 경우 무보수 개념의 내오손설계가 필요하므로 다음과 같이 오손지역을 구분하여 절연설계시 반영하였다.

- 해상구간 : D 지역(0.250초과 0.50초까지, ESDD)
- 육상구간 : C 지역(0.125초과 0.25초까지, ESDD)

2.2.2 소요애자 수량

소요 애자수량은 내전압 방식으로 산출하였으며 오손 등급별 애자수량은 아래 표 1 과 같다.

$$362kV \times \sqrt{3} \times 1.2 = 251kV$$

[표 1] 소요 애자수량(내전압방식 산출결과)

구 분		소요 애자수량(개)			
		해상구간		육상구간	
		kV/개	총수량	kV/개	총수량
해상	210kN 내무	9.6	27		
	300kN 내무	11.1	23		
	400kN 일반	9.0	28		
육상	210kN 내무			10.8	24
	300kN 일반			9.6	27

### 2.2.3 애자장치

애자장치 강도 검토결과 해상구간의 경우 현수형은 수평하중경간 700m 이하에서는 210kN×2련, 700m 초과는 300kN×2련을 적용하였고, 내장형은 전경간에서 400kN×2련을 적용하였다. 또한 육상구간의 경우 현수형은 210kN×2련, 내장형은 300kN×2련을 적용 하였다.

### 2.2.4 아킥혼

애자련의 아킥혼 간격은 절연거리 산정의 기본적 요소로서 일반적으로 개폐과전압, 뇌 과전압에 의한 소요 GAP 길이와 적정 HORN 능률을 고려하여 결정하나, 345kV 영흥송전선로의 경우 차폐물이 없는 상태에서 해상구간을 통과할 뿐 아니라 첩탑이 높아 뇌 발생시 송전선로에 집중될 우려가 있으며 대용량 발전전력을 수송하는 중요성을 감안하여 뇌 사고율을 최소화 하였다.

[표 2] 뇌 사고율 비교

구 분	혼 간격(mm)				비 고
	2,340	2,730	3,000	3,200	
전체 뇌사고율	2.239	1.556	1.189	1.012	
특수형 제외시 뇌사고율	2.032	1.322	1.006	0.858	

표 2와 같이 뇌 사고율을 1회 내외로 유지하기 위해서는 특수형 첩탑에 S.B.I(낙뢰보호장치)를 설치하고 아킥혼 간격을 3,000mm로 유지하는 것이 적절하다.

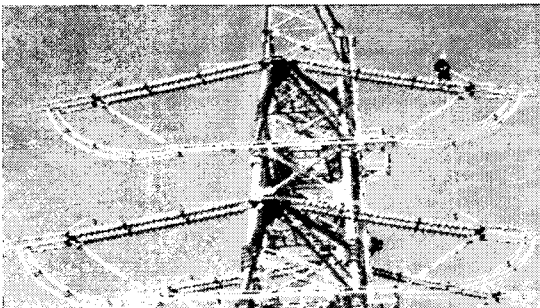
아킥혼 간격 증가는 공기 절연거리의 증가로 인한 첩탑 크기 증가 및 공사비 증가 요인이 되지만 영흥 송전선로는 신뢰성이 크게 요구되는 대규모 발전단지의 독립선로임을 고려하고 낙뢰 사고로부터 유발될 수 있는 발전소 정지사고를 방지하는 것이 신뢰성 확보를 위해 필요하므로 아킥혼 간격을 기존 345kV 염해지구(2,730mm)보다 증가시켰다.

### 2.2.5 조가식 Pre-fab Jumper

수평각 40° 이하 첩탑에서는 조가식 Pre-fab 점퍼를 적용하였고, 40° 초과첩탑에는 연선식 점퍼 및 V련을 이용한 지지를 하였다.

굵은 전선은 전선자체의 강성이 커서 점퍼선의 취부와 성형이 매우 곤란하기 때문에 파이프식의 장점을 살리고 점퍼선의 성형성, 취부시 작업성 등을 향상시킬 목적으로 조가식 Pre-fab 점퍼장치가 사용되었다.

조가식 점퍼장치는 점퍼선의 중앙부분을 수평으로 유지하기 때문에 첩탑 높이를 저감시키고 현장에서의 절연 이격 거리 조정이 볼트에 의한 지지 장치의 길이 조정만으로 간단히 이루어지며, 점퍼장치 횡진 억제용 보강선과 같은 것을 부가하지 않아도 횡진시 아무런 문제가 없는 특징이 있다.



[그림 2] 조가식 Pre-fab 점퍼

## 2.3 전선 설계

### 2.3.1 전력선 선정

해상에 설치되는 특성상 첩탑이 대형화되어 사업비의 증가를 최소화하기 위해 전선의 인장강도를 크게 향상시킨 HTACSR 전선은 순수 국내기술로 개발되었다.

육상구간은 내열강심 알루미늄 전선[TACSR/AW 480mm(Rail)], 해상구간은 고장력 내열강심 알루미늄 전선[HTACSR/AW 480mm(Cardinal)]을 적용하여 기존 선로 대비 송전용량 1.5배, 인장강도는 1.6배가 향상되었다.

신개발 전선사용으로 경간을 350m 에서 600m 로 향상되었으며 인장강도는 11Ton 에서 18Ton 으로 증가시켰다. 특히, HTACSR/AW 전선은 고장력으로 첩탑높이를 경감시키는데 기여하였으며, 내식성 및 진동에 의한 피로응력이 우수한 특징을 가지고 있다.

### 2.3.2 가공지선 선정

가공지선은 상시 및 이상시 전력선에 흐르는 전류에 의한 유도전류 및 지락사고시 사고전류를 통전시킬 수 있어야 하며 가공지선 이도는 전력선 이도의 80% 이내로 유지하고 최악 하중조건에서 인장하중이 규정 안전율(2.8)을 유지할 수 있어야 한다.

따라서 유도전류, 최대고장전류와 기계적 특성을 모두 검토한 결과 AW 200mm<sup>2</sup> 와 OPGW 200mm<sup>2</sup>를 선정하였다.

### 2.3.3 무볼트형 스페이서댐퍼

기존 345kV 스페이서댐퍼(Spacer Damper)는 전력선과 접속부위를 볼트로 고정토록 되어있어 작업여건상 완전한 볼트 조임이 어려워 설치 후 진동에 의한 전선의 소선이 단선되는 등의 결점이 있었다.

하지만 이번 345kV 영흥송전선로에는 해상설치에 따른 유지보수의 어려움을 감안, 무볼트형(Boltless type) 스페이서 댐퍼를 개발하여 국내 최초로 345kV 송전선로에 적용함으로써 진동에 의한 볼트풀림을 방지 및 전선 손상으로 인한 고장요인을 감소할 수 있도록 하였다.

### 2.4 첩탑 기초

345kV 영흥송전선로는 대부분 유속이 빠른 해수로 주변, 어장, 갯벌 등에 위치하고 있어 첩탑을 지지하는 기초부분도 각각의 지반 특성, 시공성, 경제성 등을 면밀히 검토하여 설계하고 시공하였다.

해상구간에서는 해상구조물의 지지에 효과적이며 인발력에 대한 저항력이 우수한 "Jacket 파일 기초 공법"을 도입하였고, 지반이 연약하여 "Jacket 파일" 공법이 불가능한 곳에는 안정적이고 경제성이 좋은 "강관 파일 기초 공법"을 적용하였다.

### 2.5 첩탑 조립

일반적으로 첩탑은 첩탑크레인 만으로 조립이 가능하나 해상구간의 150m 가 넘는 첩탑은 첩탑크레인의 작업반경(13m)과 인상능력(2.8Ton)을 초과하여 300Ton 급의 해상크레인을 함께 사용하여 조립하였다.

특히, 해상구간에 건설되는 첩탑은 대형 바지선위에 Hydraulic Crane을 선적하여 약 80m 까지는 Hydraulic Crane으로 조립하고 80m 이상은 첩탑크레인과의 공조하여 조립을 해야 했으며, 첩탑재의 운반도 바지선과 예인선을 이용하여 운반하였다.

### 2.6 가선 공법

#### 2.6.1 헬기 연선

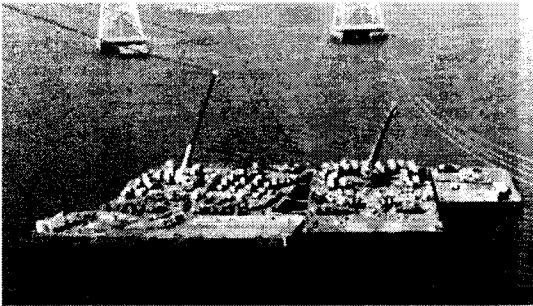
345kV 영흥송전선로는 선로 대부분이 해상을 경과하므로 가선공사를 위한 와이어 포설작업에 헬기가 이용되었다. 특히, 영흥도와 선제도 지역은 해운항로를 횡단하는 곳으로 선박 운항에 지장이 없도록 가선공사 기간 중 바지선위에 대형크레인으로 발발침을 설치하여 전선과 해면과의 적정 이격거리를 유지하였다.

## 2.6.2 Semi Pre-fab 가선공법

Semi Pre-fab 공법은 내장구간의 한 쪽을 지상에서 압축하고 다른 한편은 탑상에서 압축작업을 병행하는 공법으로 보강철탑간의 전선실장을 계산하여 전선 조장별로 구매 발주한다.

전선의 한쪽 끝은 블록통과형 크래프를 지상에서 압축해 프로젝터를 취부하며 다른 한쪽 끝은 연선크래프를 취부하여 애자런길이에 맞게 연결와이어를 접속해 연결와이어가 보강철탑 애자런에 위치하게 연선한다.

내장철탑개소의 블록통과형 압축크래프는 내장에자런에 그대로 연결하고, 양긴선개소의 압축인류크래프는 적정이도를 관측한 후 철탑위에서 압축인류크래프를 압축해 내장에자런에 취부하는 공법으로 기존 가선공법에 비해 전선 손실을 줄이고 시공품질을 향상시켰다.



[그림 3] 해상구간 연선전경

## 2.7 환경 친화형 철탑 도장

345kV 영흥송전선로는 영흥도, 시화호, 안산시, 시흥시 등 도심지역 주변을 경과하고 있어 일반적으로 시행하는 철탑도장(황적색, 백색)을 시행할 경우 철탑에 대한 거부감이 더욱 커질 것으로 예상되어 위화감을 거의 느끼지 않는 환경친화형 철탑도장을 하였다. 해안인접 지역은 칙칙한 정록을, 문화재지역은 밝은 회노랑, 공단지역은 아주연한 파랑, 아파트지역은 밝은 회연두, 농경지는 밝은 회녹색, 해상구간은 밝은 회정록을 채택하여 철탑 도장을 실시했다.

## 2.8 대기오염 방지대책

시화반월 공단에서 배출되는 SO<sub>2</sub>(아황산가스), NO<sub>2</sub>(질소산화물), TSP(Total Suspended Particle, 분진) 등의 오염물질이 금구류와 전선 등에 부착되어 부식이 발생할 우려가 있어 전문기관의 자문용역을 시행한 후 아래와 같이 방지대책을 수립하였다.

표 3. 대기오염 방지대책

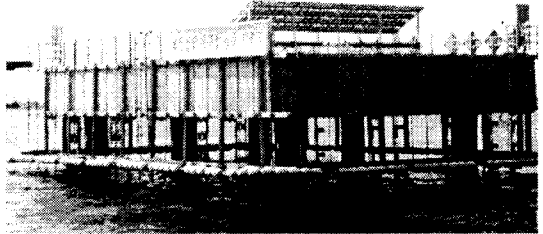
항 목	오염상태	대기오염 방지대책
철탑재	물 세척 불가	철탑도장 시행
애 자	물 세척 가능	청소용 주수파이프 설치
금구류	물 세척 불가	- 브러쉬와 샌드페이퍼를 이용하여 분진제거 - 부식방지용 코팅제 도장
전 선		
스페이스		
점퍼장치		
추락방지레일		
승강기		

## 2.9 실증시험장 설치

해상철탑 구조물의 내구성을 확보하고 과학적이고 체계적인 수명관리 기법을 수립하고 부식 및 방식과 관련된 현장시험, 콘크리트 열화에 대한 시험, 평가 및 수치

해석을 통한 구조물의 안전성을 평가하기 위하여 시화호에 실증시험장을 설치하였다.

철근 부식속도 측정, 염분침투 측정, 부식 전위 측정, 강관파일 전위 측정 등 17개 항목을 측정하여 해상구조물의 안전성을 평가하고 방식설비 및 재료의 수명 및 효과를 측정하고 있다.



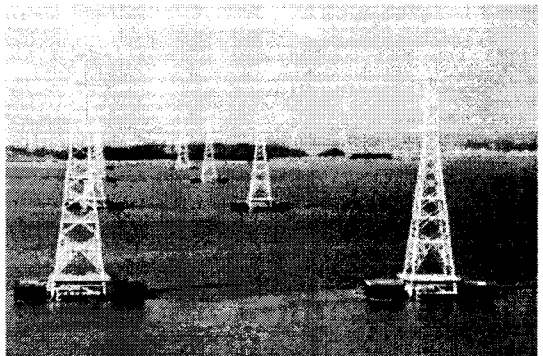
[그림 4] 실증시험장 전경

## 3. 결 론

순수 국내기술로 건설된 345kV 영흥 송전선로가 2004년 7월부터 상업운전을 하고 있다.

한전의 지난 30여년의 경험과 기술이 집약된 해상 송전선로의 성공적인 준공으로 수도권과 경기 일원에 안정적인 전력을 공급할 뿐만 아니라, 국산 기자재 개발사용으로 약 270억원의 외화를 절감했으며 값싼 연료를 사용하는 영흥화력의 발전 전력을 계통에 병입하여 연간 약 3,700억원의 연료비를 절감하였다.

또한, 최초로 시행하는 해상선로 건설사업에 대한 불확실성과 현장 주변지역의 건설반대 민원 등 각종 어려움을 슬기롭게 극복하고 국책사업을 완수하여 해상선로 건설기술 경쟁력을 제고 하였으며 향후 해외사업 진출을 위한 교두보를 마련하였는데 큰 의의를 둘 수 있다.



[그림 5] 해상구간 전경

## [참 고 문 헌]

- [1] 이상규 외 4, "345kV 영흥 송전선로 건설사업 기술자료집" Vol 1, 2003.06
- [2] 성의승 외 5, "송전철탑 특수기초 해설집", 2004.01
- [3] 김태영 외 4, "345kV 영흥 송전선로 건설사업 기술자료집" Vol 2, 2004.04