

## 긴급복구용 자주조립식 철주 절연암 개발

민 병 옥\* 위 화 복\* 박 재 응\*\* 이 철 호\*\*\*  
 \*한국전력공사 \*\*한밭대학교 \*\*\*화인폴리머(주)

### Development of Arm Insulator for Self-Build Based Emergency Tower

Byeong-Wook.Min\* Hwa-bog.Wi\* Jae-Ung.Park\*\* Cheol-Ho, Lee  
 \*KEPCO \*\*Hanbat National University \*\*\*Fine Polymer Inc.

**Abstract** - Overhead transmission lines are completely exposed to the environment. This causes faults in transmission lines due to natural environmental conditions. In some cases, transmission towers are damaged by typhoons and snow, as well as sleet on the transmission lines. It takes a lot of time to repair the damaged towers. For emergency restoration purposes, steel poles are installed to temporarily supply power. Before 2003, emergency restoration steel poles were made of angled steel, which required a large number of beams, bolts, etc. In addition, the foundation of the steel pole and ground wire was constructed using excavation and burial methods, therefore it required a lot of manpower and time to construct temporary transmission lines. In September 2003, typhoon Maemi, whose maximum wind speed was 60%, hit Korea. 'Maemi' destroyed transmission lines in the Busan and Geojea area, causing long blackouts. To reduce the recovery time to the damaged transmission lines, self-build based emergency towers were developed. self-build based emergency towers reduced recovery time from 24 hours to 4 hours or less. However, the self-build based emergency tower had no arms, so the temporary transmission lines could only be constructed without curves in line routes. In this paper, solving these self-build based emergency tower limitations, using insulated arms(designed for use with the self-build based emergency tower), shall be explained.

## 1. 서 론

가공 송전선로는 자연환경에 완전히 노출되어 운전되므로 자연환경에 의해 고장이 많이 발생되고 있다. 태풍과 강풍뿐만 아니라 착설과 착빙에 의해서도 송전철탑이 도괴되거나 파손되는 경우도 있다. 송전선로의 철탑이 도괴되거나 파손되면 복구시간이 장기간 소요되므로 긴급복구용 철주로 임시선로를 구성하여 전력을 공급하게 된다. 2003년 이전의 비상복구용 철주는 산형강 철주로 부재와 볼트의 수량이 많고 철주기초와 지선은 굴착 매설방식을 사용하고 있어 시공이 어려울 뿐만 아니라 철탑중량이 커서 공사용 도로를 개설하여 자재를 운반하여야 하므로 임시선로를 구성하는데 많은 시간이 소요되었다. 2003년 9월에 우리나라 태풍의 극값인 최대순간풍속 60%의 태풍 매미(Maemi)의 내습으로 철탑이 도괴되어 부산, 거제지역이 장시간 정전됨에 따라 임시선로의 건설기간을 단축시키기 위하여 2004년에 자주조립식 철주를 개발하였으며 철탑조립시간을 24시간에서 4시간 이내로 획기적으로 단축할 수 있게 되었다. 그러나 자주조립식 철주의 경우 절연암을 설치하기 위한 암 플레이트 모듈이 개발되지 않아 암(arm)을 설치할 수 없어 임시선로를 직선으로 건설하여야 하므로 각도개소 등 모든 지형에 적용할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 긴급복구용 자주조립식 철주의 절연암을 개발하여 지형에 관계없이 임시선로를 건설할 수 있도록 하였다.[1]

## 2. 긴급복구용 자주조립식 철주

### 2.1 철주설계규격

자주조립식 철주는 내장애자장치와 현수애자장치를 병용하여 사용할 수 있도록 각도철탑으로 설계되어 있다. 설계풍압은 철탑설계 II지역 기준인 최대순간풍속 50%를 적용하였으며, 풍압과 선로각도로 인하여 발생하는 수평하중은 지선이 전담하고 수직하중은 철탑본체가 전담하는 것을 기본설계조건으로 하였으며 설계규격은 다음과 같다.[1]

- |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| (1) 사용전압 : 345kV, 154kV | (5) 수평하중경간 : 300m     |
| (2) 철주높이 : 30m(최하단암높이)  | (6) 수직하중경간 : 500m     |
| (3) 전선배열 : 1회선 수직배열     | (7) 사용전선규격 : 2도체      |
| (4) 철탑 형 : B형(수평각 30°)  | (8) 최대사용장력 : 4,250kgf |

### 2.2 철주구조

자주조립식 철주는 철주 본체가 2m 단위의 모듈로 구성되어 있어 송전전압에 따라 절연거리를 확보할 수 있도록 되어 있어 상(phase)간 절연간격을 확보하기 위하여 154kV 철주는 암과 암 사이에 2개의 모듈을, 345kV는 3개의 모듈을 조립하여 154kV와 345kV 철주로 병용하여 사용할 수 있는 구조로 되어 있다. 자주조립식 철주는 정사각형(750×750mm) 단면구조로 폭이 매우 좁아 철주의 조립하중에 의한 displacement가 발생하지 않도록 anchor plate를 지상에 설치하여 4개의 앵커로 고정하게 되어 있고 철주본체와 기초판(foundation plate), 지선판(guy plate), 승강기(hoist) 등으로 구성되어 있다.[1]

#### 2.2.1 철주본체모듈

철주의 본체모듈은 single warren 구조로 주주재(main post)는  $\phi 89 \times 4.0$ mm의 duralumin pipe를 사용하고 사재(bracing)는 L65×65×6mm, 수평재는 L65×65×4mm의 duralumin angle을 사용하였으며, 각 부재는 용접하여 일체형 단위모듈로 되어 있다. 전선을 취부하는 3개의 arm part 모듈의 사재는 L65×65×8mm의 angle를 사용하여 강도를 보강하였다. 철주 본체의 단위모듈 길이는 2m, top module의 길이는 1m로 철주의 최하단 전력선 취부점까지는 15개의 단위모듈로 구성되어 높이는 30m이며, arm part 인 상부는 8개의 단위모듈과 1개의 top module로 구성되어 철주 전체는 총 24개 모듈로 높이는 47m이다. 철주조립식 모듈이 자주적으로 승강할 수 있도록 호이스트의 roller가 모듈의 주주재(main post)를 이용하여 승강 수 있도록 되어 있으며, 모듈의 이동이 용이하도록 호이스트는 회전형으로 되어 있어 작업자가 혼자서 철주를 조립할 수 있다.[1]

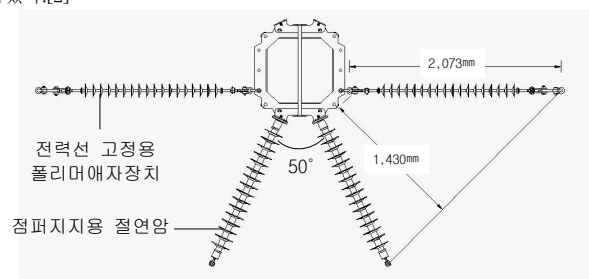
#### 2.2.2 지선판(Guy Plate)

철주의 수평하중은 지선이 전부 부담하여야 하므로 지선의 설치가 필요한 모듈과 모듈 사이에 지선판을 삽입하여 지선과 애자장치를 동시에 설치할 수 있다. 지선판은 애자장치와 지선을 설치하기 위한 carbon steel plate로 철탑본체 모듈과 모듈 사이에 삽입하고 모듈과 지선판의 key hole을 이용하여 본체와 연결하도록 하여 모듈과 모듈사이의 모든 위치에 설치할 수 있으며 애자장치 및 지선설치용 hole은 4방향으로 설치되어 있어 어느 방향에서도 앵커체클(anchor shackle)을 이용하여 연결할 수 있다.[1]

## 3. 자주조립식 철주 절연암의 설계

### 3.1 절연암의 설계모형

자주조립식 철주에 절연암을 설치하기 위해서는 전력선의 수직하중을 담당하는 암타이(arm tie)를 설치하여야 하므로 암타이 길이에 해당되는 본체 모듈을 추가하여야 한다. 또한 전선장력과 풍압하중, 각도하중 등 전력선의 수평하중을 적용하여 절연암을 설계할 경우 FRP Rod의 규격이 매우 크게 되어 제작이 곤란하다. 따라서 전력선의 설치는 그림1과 같이 기존의 폴리머애자련으로 고정하고 절연암은 점퍼선을 지지하도록 설계하였다.[2]



<그림 1> 자주조립식 철주의 절연암 설계모형

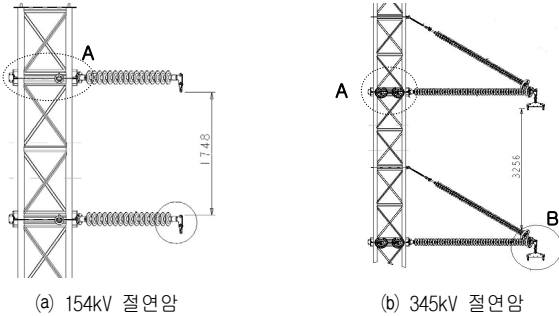
### 3.2 절연암의 구조설계

낙뢰에 의한 점퍼선과 철주와의 섬락을 방지하기 위한 공기절연간격을 고려하여 절연암의 구조를 설계하였다. 전력선을 지지하는 폴리머에 자장치의 길이는 154kV 2,073mm, 345kV 4,174mm, 절연암의 설치길이는 154kV 1,725mm, 345kV 3,260mm로 절연암을 폴리머에 자련과 직각방향으로 1개를 취부할 경우 표준절연간격이 부족하게 되어 절연암의 길이를 크게 증가시켜야 한다. 따라서 그림1과 같이 절연암 2개를 50° 각도의 부채꼴로 설치하여 표1과 같이 표준절연간격을 확보하였다. [2]

<표 1> 점퍼선과 철주간의 절연간격 (단위: mm)

전압별 절연간격	154 kV 절연암		345 kV 절연암	
	1개 취부	2개 취부	1개 취부	2개 취부
공기절연간격	1,300	1,300	2,700	2,700
설계절연간격	1,138	1,430	2,209	2,780

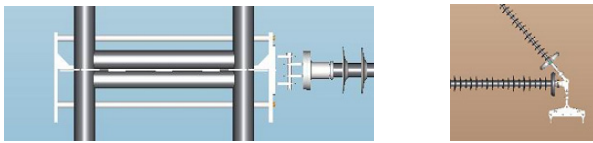
또한 상간 공기절연간격(154kV 1,500mm, 345kV 3,200mm)을 확보하기 위하여 그림2와 같이 구조설계를 하였다. 154kV 점퍼선은 수직하중이 매우 적고 절연암의 길이가 짧기 때문에 암타이(arm tie)가 필요 없으나 345kV 절연암은 길이가 3,260mm로 길기 때문에 기존의 폴리머에자(SR 36N)를 사용하여 수직하중을 분담하도록 설계하였고 본체모듈 2개 높이 지점의 지선판에 고정하고 턴버클로 장력을 조정할 수 있도록 하였다



<그림 2> 절연암의 설계구조

### 3.3 Arm Plate 및 Corona Ring의 설계

자주조립식 철주를 개발하면서 암을 설치하기 위한 암 플레이트 모듈을 개발하지 않아 현재의 자주조립식 철주는 암(arm)을 설치할 수 없는 구조로 되어 있다. 따라서 암을 설치하기 위해 기존 자주조립식 철주의 본체 규격을 변경할 수 없어 지선판을 이용한 암 고정용 plate를 설계하였다. Arm plate는 그림2의 A부분과 그림3과 같이 지선판의 애자련 고정용 hole을 이용하여 볼트로 고정하도록 하였으며 본체 상하모듈 조립 접속부분 전체를 490mm rod 2개로 고정하여 탈락되지 않도록 하였다. 또한 높은 전압에서 코로나 발생으로 인하여 폴리머가 열화되는 것을 방지하기 위하여 그림2의 B부분과 그림3과 같이 345kV 절연암의 전선 측에 corona shield ring을 설치하였다.



<그림 3> Arm Plate and Corona Shield Ring Design

### 3.4 재질 및 규격

절연암의 절연체는 발수성과 내오손성이 뛰어난 silicone계 폴리머를 사용하였으며, 폴리머에자의 shed는 직경이 190mm로 154kV는 16개, 345kV는 45개로 설계하여 누설거리를 확보하였다. Core는 에폭시 및 유리섬유로 구성된 유리섬유강화플라스틱(FRP; fiber glass reinforced plastic)을 사용하고 154kV는 직경 50mm, 345kV는 64mm로 설계하여 core의 bending을 방지하고 점퍼선의 수직하중을 담당하도록 하였다. [3]

## 4. 자주조립식 철주 절연암 개발

### 4.1 개발규격 및 성능

절연암을 개발·제작하기 위하여 구조 및 절연설계 결과를 반영하여 규격과 전기적, 기계적 성능을 표2와 같이 결정하였으며, 345kV 절연암의 전과장에전압시험기준은 corona ring을 취부한 상태를 기준으로 하였다.

<표 2> 절연암(Post Insulator) 규격 및 성능

규격 및 성능 항목		154kV	345kV	
규격	연결 길이 (mm)	1,606	3,260	
	최소누설거리 (mm)	3,080	7,820	
	최소건조섬락거리 (mm)	1,120	2,340	
전기적 특성	상용주파주수섬락전압 (kV)	정극성	455	830
		부극성	696	1,367
	뇌충격건조섬락전압(kV) (1.2 × 50μs)	정극성	696	1,367
		부극성	696	1,367
특성	상용주파대지간(rms kV)	105	220	
	최대전과장에전압 (μV at 1000 kHz)	40	40	
기계적 특성	인장내하중(RTL) (kgf)	600	600	
	굽힘내하중(WCL) (kgf)	150	150	
	굽힘과과하중 (kgf)	300	300	

### 4.2 절연암 개발

절연암의 성능과 개발규격을 적용하여 제작한 절연암은 그림6과 같은 자주조립식 철주에 설치한 절연암의 형상은 그림4 및 그림5와 같다.



<그림 4> 자주조립식 철주의 절연암



<그림 5> 자주조립식 철주의 절연암 설치

### 4.3 성능시험

개발한 절연암에 대하여 내트래킹시험, 내후성시험, 염색용액침투시험 등 제질성능시험과 상용주파주수섬락시험, 뇌충격건조섬락전압시험, 전과장에시험 등 전기적 시험, 인장 및 굽힘하중시험 등 기계적 시험, 그리고 현장조립시험을 시행한 결과 절연암 성능기준에 모두 적합하였다.[2]



<그림 6> 절연암 성능 및 현장조립시험

## 5. 결론

송전선로의 철탑이 도파되거나 파손되면 복구에 장기간이 소요되므로 긴급복구용 철주로 임시선로를 구성하여 전력을 공급하게 된다. 임시선로를 구성하기 위하여 사용하고 있는 철주는 2004년에 조립시간을 단축하기 위하여 자주조립식 철주로 개발하였으나 암(arm)을 설치할 수 없는 구조로 되어 있어 임시선로를 직선으로 건설하여야 하므로 각도개소 등 모든 지형에 설치할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 자주조립식 철주의 154kV 및 345kV 절연암 2종류를 설계·개발하고 성능시험과 현장조립시험을 성공적으로 완료하여 송전선로에 사고가 발생하였을 경우 지형에 관계없이 임시선로를 건설할 수 있도록 하였다.

### [참고 문헌]

- [1] 민병욱, "송전선로 비상복구용 자주조립식 철주 개발", 2004년 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pp.494~496, 2004.7.
- [2] 자주조립식 철주 절연암 개발, 한국전력공사, pp.68~136, 2006.7.
- [3] CEA LWIWG-02, "Line post composite insulator for overhead distribution lines". 1996년