

송전선로 비상복구용 자주조립식 철주 개발

변 강\* 민병욱\* 최진성\* 박재웅\*\* 백수곤\*\*\*  
\*한국전력공사 \*\*한밭대학교 \*\*\*(주)한밭

Development of the Self-Build based Emergency Towers for Overhead Transmission Line

Gang.Byun\* Byeong-Wook.Min\* Hwa-Bog.Wi\* Jae-Ung.Park\*\* Soo-Gon.Baek\*\*\*  
\*KEPCO \*\*Hanbat National University \*\*\*HanBal Corporation

**Abstract** - Due to a typhoon named MAEMI on Sep12, 2004, 7 transmission towers collapsed and 3 were damaged in the Gyeongnam and Busan areas. These caused long-term black-outs in Goeje-do. When a transmission tower collapses or is damaged, Construction will take more than 2 months and this will be accompanied by long-term black-outs. Therefore a temporary iron pole is used in such emergencies. Current temporary rehabilitation angle steel iron pole consists of around 800 members, 2,800 bolts and it takes about 5 days to construct a temporary transmission line. Consequently wide black-outs occur during the construction of the temporary transmission line. To reduce black-out time, the construction period must be reduced as much as possible. This paper presents new methods to reduce temporary transmission line construction time to within 48 hours by applying a self-reliance assembling method instead of the current man power assembling method and by modulizing each angle steel with duralumin.

1. 서 론

2003년 9월 12일 발생한 제14호 태풍 '매미(MAEMI)'의 최대순간풍속은 1904년 우리 나라 기상 관측 이래 극값을 경신하였다. 우리 나라의 최대순간풍속의 극값은 2000년 8월 31일에 발생한 태풍 '프라피룬'의 58.3%였으나 "매미"의 최대순간풍속은 60.0%로 극값을 경신하면서 전력설비에 막대한 피해를 입혔다. 경남, 부산지역에서 송전철탐 7기가 도괴되고 3기가 파손되었으며, 철탐의 피해로 인하여 거제지역의 6만 5천여 가구가 약 91시간 동안 정전이 되었다. 송전선로의 철탐이 도괴되거나 파손되면 복구기간이 약 2개월 이상 소요되어 장기간 정전이 초래되므로 비상선로를 구성하여 임시로 복구하게 되며 이때 비상복구용 철주를 사용하게 된다. 현재 비상복구용으로 사용 중인 철주는 산형강 철주로 부재와 볼트의 수량이 많고 철주의 기초와 지선 anchor는 굴착 매설방식을 사용하고 있으며, 철탐중량이 약 8.6톤으로 공사용 도로를 개설하여 자재를 운반하여야 하므로 임시선로를 구성하는데 약 5일 정도 소요된다. 따라서 임시선로를 구성하는 동안 발생하는 정전시간을 최대한 단축시키기 위해서는 임시선로 구성시간을 최대한 단축시켜야 한다. 본 논문에서는 비상복구용 철주의 운반과 시공기간을 단축할 수 있도록 경량화, 단순화한 자주조립식 철주를 설계, 제작하고 하중시험을 시행하여 긴급복구용 철주의 개발 모델을 제시하였으며, 신개발 철주는 듀랄루민으로 모듈화하여 인력운반이 가능하도록 하였고 무굴착 앵커 기초방식으로 철주의 조립시간을 24시간에서 4시간 이내로 획기적으로 단축할 수 있도록 하였다.

2. 자주조립식 철주의 설계

2.1 설계조건

자주조립식 신개발 철주는 내장에자장치와 현수애자장을 병용하여 사용할 수 있도록 각도철탐으로 설계하였다. 설계풍압은 철탐설계 II지역 기준인 최대순간풍속 50%를 적용하였으며, 풍압과 선로각도로 인하여 발생되는 수평하중은 지선이 전량 부담하고 수직하중은 철탐 본체가 전담하는 것을 기본조건으로 하여 다음과 같이 설계조건을 적용하였다.[1]

- 사용전압 : 345kV, 154kV
- 철주높이 : 30m (최하단 Arm 높이)
- 전선배열 : 1회선 수직배열
- 철탐형 : B형 (선로 수평각 0~30도)
- 수평하중경간 : 300m
- 수직하중경간 : 500m
- 사용전선 : 2도체 (ACSR 480mm<sup>2</sup>, 410mm<sup>2</sup>)
- 풍압적용지역 : II지역
- 최대사용장력 : 4,250kgf (전선안전율 2.8)

2.2 구조설계

기존의 비상복구용 철주는 345kV용 철주로 설계되어 154kV용으로 사용할 경우에는 필요 이상으로 규모가 커서 공사기간이 길고 시공이 매우 불편하였으나 신개발 철주는 본체를 2m 단위로 모듈화하여 송전전압에 따라 절연거리를 확보할 수 있도록 범용화하였다. 즉 345kV 철주는 압과 압 사이에 모듈 3개를 사용하고 154kV는 2개를 사용하여 상(phase)간의 절연간격을 그림1과 같이 전압에 따라 확보할 수 있는 구조로 설계하였다.

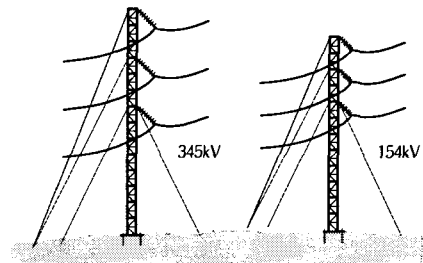


그림 1 비상복구용 철주의 구조  
Fig. 1 Structure of emergency tower

신개발 철주는 정사각형(750×750mm) 단면구조로 폭이 기존 철주의 1/3로 매우 좁아 철주의 조립하중에 의한 displacement가 발생하지 않도록 anchor plate를 지상에 설치하여 4개의 앵커로 고정하도록 하였다. 또한 철주의 결구는 기존의 double warren 구조에서 single warren 구조로 단순화하였으며, 주주재(main post)는 duralumin pipe를 사용하고 사재(bracing)와 수평재는 duralumin angle을 사용하여 철주의 중량은 최대한 줄이고 설계하중은 만족할 수 있도록 하였다.

### 3. 자주조립식 철주의 설계모델

#### 3.1 철주의 설계모델

철주 본체의 단위모듈 길이는 2m, top module의 길이는 1m로 철주의 최하단 전력선 취부점 까지는 15개의 단위모듈로 구성되어 높이는 30m이며, arm part인 상부는 8개의 단위모듈과 1개의 top module 구성되어 철주 전체는 총 24개 모듈로 높이는 47m이다. 철주의 기초는 4-leg 일팔 fixed 구조로 기초판을 지상에 설치하고 길이 1.5m의 앵커 4개로 고정하도록 하였으며, 철주의 수평하중은 지선이 전부 부담하여야 하므로 지선의 설치가 필요한 모듈과 모듈 사이에 지선판을 삽입하여 지선과 애자장치를 동시에 설치할 수 있도록 하였다. 자주조립식 모듈이 자주적으로 승강할 수 있도록 호이스트의 roller가 모듈의 주주재(main post)를 이용하여 승강할 수 있도록 하였으며, 모듈의 이동이 용이하도록 호이스트는 회전형으로 개발하여 작업자 혼자서 철주를 조립할 수 있도록 하였다. 또한 철주의 arm은 설치하지 않고 polymer insulator string을 철주에 직접 설치하여 내장 또는 현수애자장치를 선택하여 사용할 수 있도록 하였으며, 철주의 개발 모델과 시공방법은 표1과 같다.[2][3]

표 1 철주의 개발모델 및 시공방법

Table 1 Development model and engineering method

구분	현행 철주	개발 철주	장점
철주재질	산형강 SS 400	듀랄루민 (Duralumin)	경량화
부재구성	부재 744개 볼트 2,779개	조립형태 (24개 Module)	단순화
철주기초	강판매설 (길이 1.5m)	기초판 Anchor 고정	신속성
조립방법	목봉조립 (Gin Pole)	본체 승강용 Hoist 조립	신속성
지선설치	근가목 매설 (길이 2.5m)	Anchor 향타	신속성
애자장치	자기애자	Polymer Insulator String	경량화
보관운반	단위부재별 묶음	Container 적재	단순화

#### 3.2 규격 및 재질

시공기간 단축을 위하여 공사용 도로를 개설하지 않고 인력으로 운반이 가능하도록 철주의 주주재 길이를 기존 6m에서 2m로 축소하였으며, 듀랄루민(duralumin)을 사용하여 설계강도는 확보하고 중량은 최소화할 수 있도록 하였다. 철주와 지선의 규격과 재질은 표2와 같다.[4]

표 2 철주의 규격 및 재질

Table 2 Specification and quality of the material

구분	규격	재질
Module	750×750×2000mm (72.5kg/EA)	Aluminum 6061(T-6) 항복강도 2,500kgf/cm <sup>2</sup> 인장강도 3,000kgf/cm <sup>2</sup>
Foundation plate	12×1250×1500mm (82.7kg/EA)	Aluminum 6061(T-6)
Guy plate	9t×884×884mm (22.5kg/EA)	Carbon steel
Guy	GSW φ16mm (KSD3514 제4종)	최소인장하중 11,900kgf 최대사용장력 4,760kgf
Hoist	(98kg/EA)	Aluminum 6061(T-6)

### 4. 자주조립식 철주의 개발

#### 4.1 철주 본체모듈

철주의 본체 모듈은 single warren 구조로 주주재(main post)는 φ89×4.0mm의 duralumin pipe를 사용하고 사재(bracing)는 L65×6mm, 수평재는 L65×4mm의 duralumin angle을 사용하였으며, 각 부재는 용접하여 일체형 단위모듈로 개발하였다. 다만, 전선을 취부하는 3개의 arm part 모듈의 사재는 L65×8mm의 angle를 사용하여 강도를 보강하였다. 또한 최상단의 모듈과 지선판을 고정하기 위한 top module은 본체 모듈과 구조는 동일하나 길이를 1m로 축소하였다. 철주 본체의 모듈은 그림2와 같다.



그림 2 비상복구용 철주의 본체 모듈

Fig. 2 Body module of emergency tower

#### 4.2 기초판(Foundation Plate)

철주의 설계수직하중은 32톤으로 철주 본체가 부담하며 철주의 수직하중은 최종적으로 기초판이 부담한다. 기초판은 12t×1,250×1,500mm의 duralumin plate로 112.5톤의 하중에 견딜 수 있어 기초판의 안전율은 3.5이상이다. 기초판은 매설하지 않고 평평한 땅위에 설치한 후 4개의 앵커로 고정하여 수평하중에 의하여 displacement가 발생되지 않도록 하였으며, 철주 본체는 기초판에 장착되어 있는 8개의 볼트로 고정할 수 있게 하였으며 기초판의 형상은 그림3과 같다.

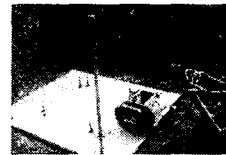


그림 3 비상복구용 철주의 기초판

Fig. 3 Foundation plate of emergency tower

#### 4.3 지선판 (Guy plate)

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 있도록 하였다. 애자장치 및 지선 설치용 hole은 4방향으로 설치하여 어느 방향에서도 앵커쇄클(anchor shackle)을 이용하여 연결할 수 있도록 하였다.[5]

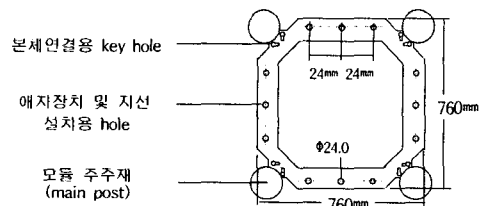


그림 4 비상복구용 철주의 지선판

Fig. 4 Guy plate of emergency tower

#### 4.4 승강기 (Hoist)

철주의 블록형 조립식 모듈은 호이스트를 이용하여 승강할 수 있도록 하였으며, 호이스트를 철주 본체 모듈의 주주재에 설치할 수 있게 하여 호이스트용 레일은 별도로 필요하지 않고 철주 본체모듈의 주주재를 레일로 이용하여 승강할 수 있도록 하였다. 자주조립식 철주의 호이스트는 그림5와 같다.[6]

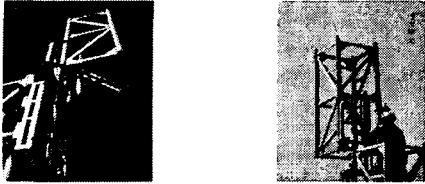


그림 5 비상복구용 철주의 승강기  
Fig. 5 Hoist of emergency tower

호이스트는 휴대용 발전기로 윈치를 구동하여 승강하며, 최상부에 모듈이 도착하면 호이스트를 180도 회전시켜 하단모듈과 조립할 수 있도록 하여 작업자 혼자서 조립할 수 있도록 하였다.

#### 5. 철주의 하중시험

##### 5.1 하중시험

모듈형 철주의 하중시험방법 및 판정기준은 IEEE Std 1070-1995에서 규정하고 있는 표3의 시험조건에 따라 그림6과 같이 시험하였으며 하중시험결과 시험판정기준에 합격하였다.[7]

표 3 모듈형 철주의 시험 및 판정기준

Table 3 Testing and decision standards of modular tower

시험종류	시료길이	시험하중	판정기준(변형)
압축시험	6.4m	290kN	0.508mm 이내
굽힘시험	6.4m	11.34kN	2.032mm 이내
비틀림시험	6.4m	8kN	0.5° 이내
압축굽힘시험	6.4m	압축 445kN 굽힘 22.2kN	0.508mm 이내 2.540mm 이내
볼트굽힘파단	-	190kN · m	파손 여부
용접굽힘파단	-	190kN · m	파손 여부
지선판인장	-	267kN	파손 여부

##### 5.2 조립시험

회전형 호이스트를 이용한 철주 본체모듈의 승강과 조립 성능을 확인하기 위하여 현장 조립시험을 그림6과 같이 시행하였다. 철주 본체의 조립시간은 2시간 정도 소요되어 기존 철주에 비하여 1/6로 단축되었다.

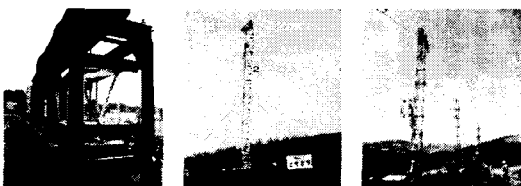


그림 6 하중시험 및 조립시험  
Fig. 6 load and construction test of modular tower

#### 6. 철주의 조립공법

자주조립식 철주의 주주재에 호이스트를 설치하고 모듈을 상부로 들어 올린 후 호이스트를 180도 회전하여 모듈간을 연결하여 조립하며, 조립하중에 견딜 수 있도록 6m 단위로 보조지선을 그림7과 같이 설치한다.

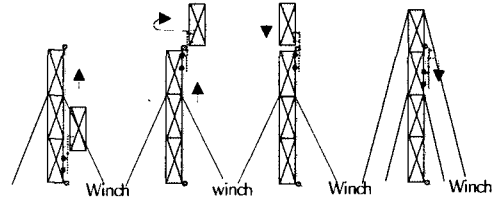


그림 7 비상복구용 철주의 조립공법  
Fig. 7 Construction of emergency tower

모듈간의 조립은 그림8과 같이 초고속 볼트 체결방식을 적용하였다. 모듈에 장착된 볼트/너트셋트를 밀어 올린 후 옆으로 밀어 너트를 회전시켜 고정하도록 하였다.[6]



그림 8 모듈의 볼트체결시스템  
Fig. 8 Bolt fastening system of module

#### 3. 결 론

송전선로의 철탑이 도괴되거나 파손되면 복구기간이 장기간 소요되므로 비상복구용 철주로 임시선로를 구성하여 전력을 공급하게 된다. 현재 사용되고 있는 비상복구용 철주는 산형강 철주로 부재와 볼트의 수량이 많고 철주의 기초와 지선 anchor는 굴착 매설방식을 사용하고 있어 시공이 어려울 뿐만 아니라 철탑중량이 커서 공사용 도로를 개설하여 자재를 운반하여야 하므로 임시선로를 구성하는데 많은 시간이 소요된다. 따라서 임시선로의 건설기간을 최대한 단축시키기 위하여 자주조립식 철주를 개발하고 하중시험을 거쳐 현장 조립시험을 성공적으로 완료하였다. 신형 철주는 듀랄루민을 사용하여 모듈화하므로써 인력운반이 가능하게 되었고 기존 철주의 중량에 비하여 1/6로 경량화하였으며, 앵커를 이용한 기초정착방식과 회전형 호이스트를 이용한 자주조립공법을 개발하므로써 철주조립시간을 1/6로 단축하게 되어 임시선로의 건설기간을 획기적으로 단축할 수 있게 되었다. 본 논문에서는 자주조립식 가복구용 철주의 개발에 대하여 연구하였으나 현장여건에 따라 철주의 arm 이 필요할 경우에 대비하여 향후 폴리머를 이용한 자주조립식 철주용 절연암의 개발에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 가공송전용 철탑설계기준, 한국전력, pp.3~27, 2004.3
- [2] 가공송전선로 재해대비 긴급복구기간 단축방안, 한국전력, pp.1~16, 2003.10
- [3] 송전선로 가복구용 철주 구매규격서, 한국전력, 1989
- [4] Emergency towers, SBB International inc, pp.2~16, 1997.2
- [5] Emergency restoration system, LINDSEY, pp.3~15, 2003
- [6] 블록비계(Block scaffold), ㈜한발, pp.2~8, 2003.8
- [7] Guide for the Design and Testing of Transmission Modular Restoration Structure Components, IEEE Std 1070-1995, ISBN 1-55937 592 2