

# 조가선 이상 장력 작용에 대한 전주의 영향 및 보호 대책 연구

(A Study on the Protect Measures and Impact of Electric Pole for Abnormal Tension of Messenger Wire)

오 훈\*

(Hun Oh)

## 요 약

본 연구에서는 통신선 가설 보조 기구인 조가선에 이상 장력이 작용하였을 때 전주의 영향을 유한 요소 해석을 통하여 전주 보호 기구를 설계·해석하여 보호시스템을 개발하였다. 보호시스템은 일반하중 또는 풍압과 일반적인 불평형 하중에서는 조가선이 탈락되지 않고 일정강도 이상이 가해지면 조가선이 자동 탈락되어 전주의 절손 방지 역할을 한다. 이러한 보호시스템의 구조는 유한 요소 해석을 통하여 해석되어졌고, 실제 제품에 대한 인장강도를 측정함으로써 성능을 입증하였다.

## Abstract

In this study, we analyzed the influence of electrical pole by FEM(Finite Element Method) and developed protective system by designing and interpreting protective system for electrical pole when abnormal strength worked on messenger wire. Protective system did not shed messenger wire under wind pressure and discontent load but did assign a part to preventing rupture of electrical pole through automatically shed messenger wire over fixed strength. Structure of protective system analysis by FEM and prove property by measuring tensile strength for practical product.

Key Words : FEM, Protective System, Electrical Pole, Messenger Wire, Tensile Strength

## 1. 서 론

90년대 후반 들어 인터넷 보급과 더불어 개인 통신 산업이 급속히 발전하면서 통신선을 가설하기 위한 시설들의 필요성이 절실히 대두되었고, 이러한

필요성을 충족시키기 위하여 배전용 전주에 통신선을 가설하여 공동으로 사용하고 있다.

그러나 전주에 설치하고 있는 각종 통신 케이블의 조가선 밴드는 통신 선로 공사를 수행하고 있는 회사들이 임의로 제작·사용하고 있는 실정이어서 규격이 일정하지 않을 뿐만 아니라 공인기관의 성능 확인을 거치지 않은 것이 대부분이다. 또한 전기통신업자가 공동으로 통신케이블 공사를 시행하기 위해 완벽한 검토 없이 배전 전주에 통신 케이블을 부

\* 주저자 : 원광대학교 전기전자및정보공학부 강사  
Tel : 063-850-6731, Fax : 063-850-0756

E-mail : ohhunkr@yahoo.co.kr

접수일자 : 2006년 2월 1일

1차심사 : 2006년 2월 8일

심사완료 : 2006년 2월 20일

착하기 위한 수단으로 전력선용 지선밴드, 암타이 및 락크밴드, 접속 클램프 등을 사용하고 있으며, 이와 같은 각종 밴드에 조가선을 가설하고, 통신케이블을 바인드선 또는 행거로 고정시켜 가설하고 있다.

이러한 시설은 전주보다 강한 파괴하중을 갖고 있으면서, 낮은 부착 높이로 인하여 지상고가 낮기 때문에 일반적으로 도심상가지역이나 주택가 도로에 위치한 전주는 굴착기나, 집을 짓는데 사용하는 펌프카 등에 의해 조가선에 설치되어 있는 통신 케이블이 접촉되어 전주가 절손되는 사고가 일어나 광역 정전사고가 발생하고 있다.

한국전력공사에서 1회 전주 손괴 사고시에 막대한 자산 손실은 물론 복구시 새로운 자재와 인력이 소요되어 많은 손실이 발생되고 있으며 양질의 전력공급에 큰 문제점을 야기하고 있는 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 취할 수 있는 임시 방편은 전주의 높이를 높여 조가선의 지상고를 확보하는 방법이 있기는 하지만, 많은 비용과 시간이 걸리는 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 배전용 전주에 일반하중 또는 풍압과 일반적인 불평형 하중조건에서는 조가선이 탈락되지 않고 일정강도 이상이 가해지면 조가선이 자동 탈락되어 전주의 절손 방지에 적합한 기구를 구조 해석 및 실제 시험을 통하여 개발함으로써 기존의 문제점을 해결하는데 그 목적이 있다.

## 2. 전주의 강도 계산

### 2.1 전주의 강도 계산식

전주의 강도 계산식은 크게 저항모멘트와 굽힘 모멘트로 나눌 수 있으며, 굽힘 모멘트는 다시 크게 5가지로 나눠 계산하였고, 이것을 근거로 하여 한국 전력의 전주의 안정성을 평가하기 위하여 아래 식들로 계산하였다[1].

#### 2.1.1 저항모멘트(M<sub>r</sub>)

전주 자체가 쓰러지지 않고 견딜 수 있는 힘으로 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$M_r = P_c \times H_i \quad (1)$$

여기서,

P<sub>c</sub> : 전주 설계하중,

H<sub>i</sub> : 말구로부터 25[cm] 지점의 지표상 높이

#### 2.1.2 굽힘 모멘트

전주에 작용하는 외력에 대한 모멘트는 크게 5가지로 나뉘지며, 각각 식들은 다음과 같다.

##### 2.1.2.1 전주의 풍압(M<sub>cp</sub>)

$$M_{cp} = 0.01 \times H^2 \times K \times (30D_0 - 26.6H) \quad (2)$$

여기서,

H : 전주의 지표상 높이,

D<sub>0</sub> : 전주의 지표면상 직경

K : 풍압하중 계수

##### 2.1.2.2 가공지선 지지대(M<sub>b</sub>)

$$M_b = \frac{W_s}{1000} \frac{(D_1 + K_1 H_g)(H_g^2 - H^2)}{2} - \frac{K_1}{3} (H_g^3 - H^3) \quad (3)$$

여기서

W<sub>s</sub> : 단위면적당 풍압하중,

H<sub>g</sub> : 지지대 지표상 최고 높이,

H : 지지대 지표상 최저 높이,

D<sub>1</sub> : 가공지선지지대 최대 최소 직경

K<sub>1</sub> : 가공지선지지대 지름증가율

##### 2.1.2.3 전선 및 정보통신 케이블(M<sub>w</sub>)

$$M_w = 0.01 \times K \times S \times \sum 7.6D_2 H \quad (4)$$

여기서

S : 경간, D<sub>2</sub> : 전선의 직경,

H : 전선의 지표상 높이

##### 2.1.2.4 애자(M<sub>i</sub>)

$$M_i = K \times W_i \times \frac{D_3}{1000} \times n \times \frac{H_1^2 - H^2}{2} \quad (5)$$

여기서

- $W_i$  : 전력선 1조당 애자장치의 풍압하중,
- $D_3$  : 애자의 직경,  $n$  : 애자의 개수,
- $H_t$  : 애자의 지표면상 최고 높이,
- $H$  : 애자의 지표면상 최저 높이

2.1.2.5 변압기(M)

$$M_i = W_t \times D_4 \times \frac{(H_t^2 - H_1^2)}{2} \quad (6)$$

여기서

- $W_t$  : 단위면적당 풍압하중,
- $D_4$  : 변압기 밑변길이,
- $H_t$  : 변압기 취부점의 최고 높이,
- $H_1$  : 변압기 취부점의 최저 높이

그러나 이러한 식들은 단지 한국전력공사에서 전주강도계산 프로그램을 사용하여 전주에 사용하는 자재에 대해서만 고려하고 있을 뿐이며, 새롭게 사용되어지는 통신선 자재에 대해서는 고려할 수 없는 상황이며, 특히 이러한 계산식으로는 전주에 가해지고 있는 하중 분포를 알 수 없다.

이런 상황을 고려하여 식 (1)~(6)에 대해 검토·설계한 전주는 일차적으로 안정한 상태라고 가정하고, 한국전력에서 실시하고 있는 전주의 파괴시험의 조건으로 16[m] 전주의 유한요소법을 통하여 검증하면서, 안전한 조가선 및 조가선 밴드를 유한 요소 해석을 통하여 설계하고자 한다.

### 3. 전주의 유한 요소 해석 및 이상 하중 계산

#### 3.1 유한 요소 해석 절차

본 논문에서 사용한 유한 요소 해석 프로그램은 ABAQUS[2]를 사용하였으며, 각각의 해석 절차는 그림 1에 나타내었다.

#### 3.2 이상 하중 계산

이상 하중에 대해 전주를 보호하는 기구를 설계하

는데 있어 가장 먼저 확인해야 할 사항은 조가선에 작용하는 이상 하중을 판정하는 것이다. 이상 하중은 통신 케이블 장력, 이도, 전신주 파괴 하중 등을 고려하여 설정하였다.

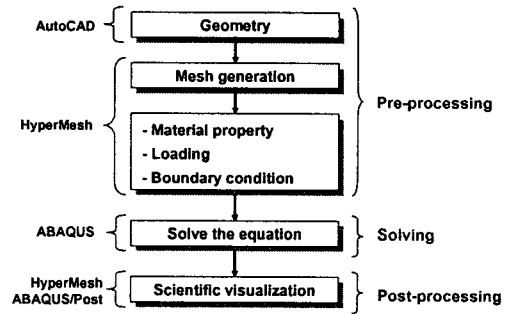


그림 1. 유한 요소 해석 절차  
Fig. 1. Process of Finite Element Method

#### 3.2.1 이상하중 범위 : 최소값

이상 하중의 최소값은 케이블 장력과 이도를 고려하여 결정하였고, 계산은 식 (7)과 같다.

$$P = W \frac{L^2}{8Y} \quad (7)$$

여기서

- $W$  : 케이블의 무게,
- $L$  : 케이블 길이(경간),  $Y$  : 이도

식 (7)에서 보는 바와 같이 케이블 장력은 이도에 큰 영향을 받고 있다. 조가선 규정상 통신 케이블은 전력선 이도값(40[cm])의 80[%]에 해당하는 32[cm]의 이도를 부여하도록 되어 있으나 실제 시공에서는 이보다 훨씬 작은 값으로 시설되고 있는 실정이다[1].

이러한 실정을 감안하여 식 (7)로 케이블 장력의 최대/최소값을 계산하면 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있다. 이때 이도가 0인 경우는 조가선의 자재 연신율이 작용하기 때문에 현실적으로 불가능하므로 최소 이도 값은 2[cm]로 가정하여 계산하였다.

표 1에서 확인할 수 있듯이 케이블의 이상 하중은 최대와 최소 평균값인 500[kgf] 이상의 값으로 설정되어야 한다. 그보다 작은 하중에서 탈락되도록 설계할 경우 별도의 이상 하중이 작용하지 않아도 가설되는 케이블 장력만으로 탈락할 수 있기 때문이다.

표 1. 케이블 장력의 계산  
Table 1. Calculation for Cable Tension

구분	W([kg])	L([m])	Y([m])	케이블 장력
최대	0.504	70	0.32	965
최소	0.0035	40	0.02	35
평균				500

3.2.2 이상하중 범위 : 최대값

통신 케이블 이상 하중의 최대값은 파괴하중 작용시의 모멘트 값을 계산함으로써 구할 수 있다. 그림 2는 한국전력공사의 파괴 하중 시험을 유한요소 해석법에 입각하여 해석한 결과로써 16[m] 전주에 파괴하중이 작용할 때의 굽힘 모멘트는 1400[kgf] × 13.25[m] = 18,550[kgf · m]이다[1]. 즉 이를 역으로 추정하여 6.8[m]지점에 18,550[kgf · m]의 굽힘 모멘트가 작용하는 하중을 산출한 결과 통신 케이블에 2,728[kgf]의 하중이 작용하면 전주가 파괴된다고 볼 수 있다.

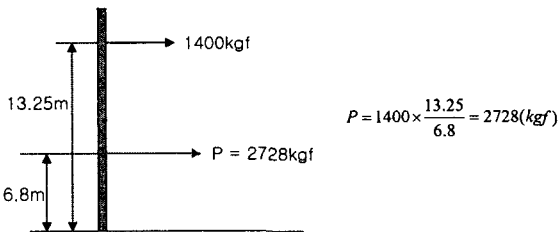


그림 2. 굽힘 모멘트에 대한 파괴 하중  
Fig. 2. Breakdown Load for Bending Moment

그러므로 높이 16[m]전주에 있어 6.8[m]지점에 부착되는 통신 케이블 조가선은 2,728[kgf] 이하의 하중에서 탈락되어야 전신주를 보호할 수 있다. 위와 같은 방법으로 각각의 전신주에 대하여 케이블 부착 지점에서의 파괴 하중을 구하면 표 2와 같다.

3.3 유한요소 해석을 통한 이상 하중의 확인

전주는 철골과 콘크리트로 이루어진 복합 재료이므로 외팔보의 거동으로 단순화[3-4]시킬 때 실제 거동과 오차가 있을 수 있다. 이를 확인하기 위해 유한 요소 모델을 사용하여 케이블 부착 지점에서의

파괴 하중을 검증하여 보았고, 그림 3에 16[m]전주의 유한요소 해석 모델의 기본도를 나타내었다.

표 2. 케이블 부착 지점에서의 이상 하중  
Table 2. Abnormal Tension on Bonding Cable

전신주 높이([m])		14	16
하중점 높이([m])		11.35	13.25
규정	설계하중	500	700
	파괴하중	1,000	1,400
케이블의 부착지점	6.8[m]	설계하중	835
		파괴하중	1,669
	6.5[m]	설계하중	873
		파괴하중	1,746
	5.8[m]	설계하중	978
		파괴하중	1,957
5.5[m]	설계하중	1,032	
	파괴하중	2,064	

요소의 총 개수는 700개이며 콘크리트 전용 요소 65를 사용하였다. solid는 철근 부피와 전체 부피 비를 입력함으로써 철근 콘크리트의 특성을 묘사할 수 있으며, 본 모델에서의 철근 부피/전체 부피 비는 0.0072이다.

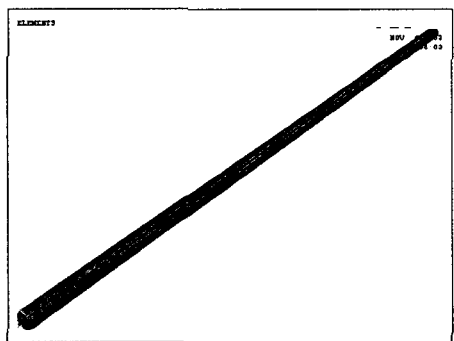


그림 3. 16[m] 전신주의 유한 요소 모델  
Fig. 3. Finite Element Method Model for 16m Electric Pole

먼저 16[m] 700[kgf] 전주에 대해 한국전력공사 파괴시험을 근거로 하여 파괴하중 작용점(13.25[m])에 1,400[kgf]의 파괴하중을 가하였다. 이때 최대 압축 응력은 812[kgf/cm<sup>2</sup>]으로 나타났고, 파괴되는 부분

조가선 이상 장력 작용에 대한 전주의 영향 및 보호 대책 연구

은 지상에서 70[cm]로 나타나고, 해석결과는 그림 4에 나타내었다.

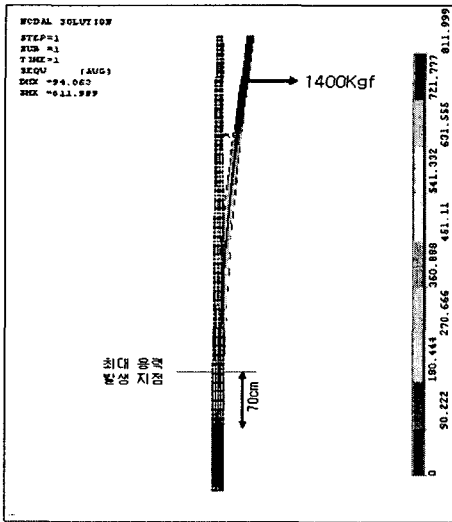


그림 4. 16[m] 전신주의 파괴 하중 결과  
Fig. 4. Result of Breakdown Load for 16m Electric Pole

결과 6.5[m] 지점에서는 2,880[kgf], 6.8[m] 지점에서는 2,700[kgf]의 하중값을 얻을 수 있었고, 결과는 그림 5에 나타내었다.

굽힘 모멘트 계산과 해석 결과를 통해 구한 파괴 하중의 값을 비교하면 오차가 1[%]내외로서 매우 유사한 것을 확인할 수 있다.

위와 같은 방식으로 14[m]와 16[m] 전주의 케이블 부착 지점(6.8[m])에서의 파괴 하중을 살펴보면 각각 1,669[kgf]와 2,730[kgf]로 나타났고, 이상 하중 기준은 하중 값이 작은 14[m]의 파괴하중에 안전율 1.2를 적용한 값인 1,391[kgf]로 설정하였다.

3.4 전주 보호용 기구 설계

산출된 이상 하중을 바탕으로 전주 보호용 기구를 설계하고 개략도는 그림 6에 나타내었다.

그림 6에 대한 유한 요소 해석을 실시하였고, 그 결과는 그림 7에 나타내었다. 이때 사용한 유한 요소 해석 모델의 요소 개수는 33,688개이고, 사용 요소는 3D solid model에 일반적으로 사용되는 solid 45 요소이다.

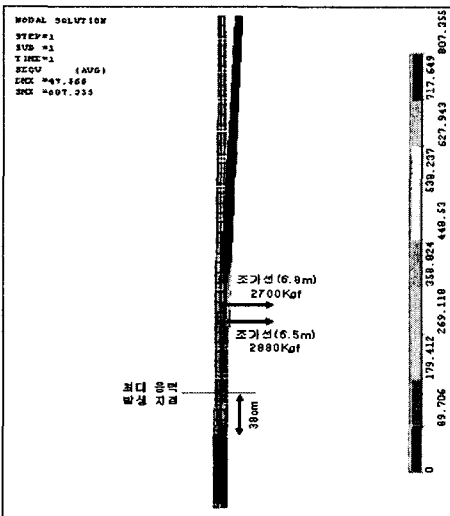


그림 5. 반복 해석을 통한 이상 하중 결과  
Fig. 5. Result of Abnormal Load by Repeat Analysis

다음 과정으로 케이블 설치 부위에 임의의 하중을 부여하여 파괴 하중 작용 시 나타난 압축 응력과 같은 값이 나올 때 까지 반복 해석을 수행하였다. 그

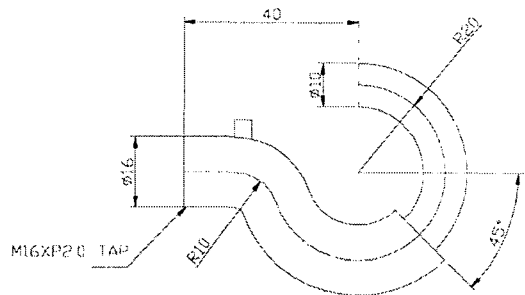


그림 6. 전주 보호용 기구 개략도  
Fig. 6. Outline of Tool for Protection of Electric Pole

그림 7에서 나타나듯이 1,391[kgf]의 이상 장력이 작용시 굽기가 줄어들어 부분에서 응력이 가장 집중되는 현상이 나타나고 있다.

이러한 결과를 기초로 하여 제품은 열간 단조 방식으로 제작하였고, 하중시험은 UTM 시험기를 통하여 실시하였고, 그 데이터는 표 3에 나타내었다.

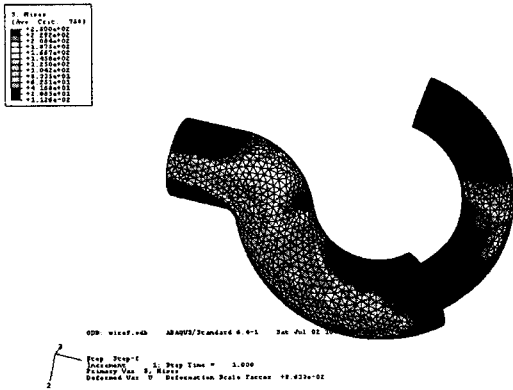


그림 7. 유한 요소 해석  
Fig. 7. Analysis of Finite Element Method

표 3. 하중 시험 데이터  
Table 3. Data of load test

	시료1	시료2	시료3	시료4	시료5
시험 결과[kgf]	1,395	1,389	1,385	1,400	1,392

하중 시험 장면은 사진 1에 나타내었다. 제작된 모형과 조가선을 전주에 실사용 상태로 가설하고, 전주 경간의 중간부분에서 조가선에 하중을 가했을 때 그림 7의 유한 요소 해석 모델에서 취약 부분으로 나왔던 부분이 벌어지는 형태로 파괴되어 졌으며 이러한 현상은 사진 2에서 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 배전용 전주에 일반하중 또는 풍압과 일반적인 불평형 하중조건에서는 조가선이 탈락되지 않고 이상하중시 조가선이 자동 탈락되어 전주의 절손 방지에 적합한 기구를 유한요소해석 및 현장시험을 통하여 개발하였다.

이상 하중 최소값은 케이블 장력과 이도를 고려하여 계산한 결과 500[kgf]로 나타났고, 최대값은 표 2에 나타나듯이 16[m]전주 5.5[m] 부착지점에서 3,373[kgf]로 나타나고 있다. 이러한 결과를 기초로 하여 기준은 이상 하중값이 작은 14[m]의 이상 하중에 안전을 1.2를 적용한 값인 1,391[kgf]로 설정하였다.

이와 같은 기준을 바탕으로 하여 제품에 대한 유한 요소 해석을 실시하여 제품의 형상을 구체화하고,

실제 제품을 제작하여 시험 한 결과 유한 요소 해석과 같은 결과를 나타낸 것으로 보아 현재 14와 16[m] 전주 안전 보호 기구로 적용이 가능하리라 예상된다.

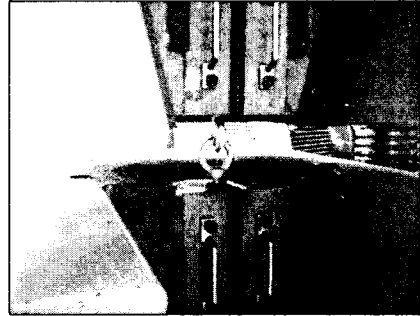


사진 1. 인장강도 시험  
Photo 1. Tensile Strength Test

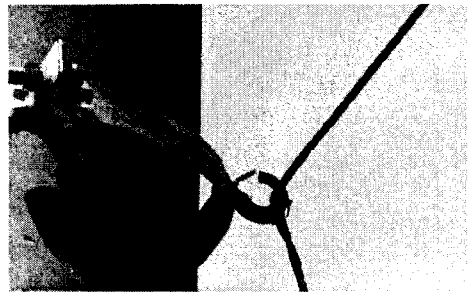


사진 2. 현장 시험  
Photo 2. Field Test

References

- (1) 한국전력공사, “배전설비 공가업무 처리지침”, 2000.
- (2) Dary L. Logan, “유한요소법 첫걸음”, 시그마프레스, 1998.
- (3) S.Timoshenko, “Strength of Materials, Part 1, Elementary Theory and Problems”, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1958.
- (4) S.Timoshenko, “Strength of Materials, Part 2, Advanced Theory and Problems”, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1958.

◇ 저자소개 ◇

오 훈 (吳勳)  
1967년 9월 8일생. 1991년 원광대학교 전기공학과 졸업.  
1993년 동대학원 졸업(석사). 1997년 동대학원 졸업(박사). 현재 원광대학교 전기전자및정보공학부 강사.