

# 설치조건을 고려한 배전용 콘크리트전주의 응력분포 및 하중에 관한 연구

(Research of Stresses Distribution and Loading Weight on Concrete Electric Pole Considering Field Condition)

김동명\*  
(Dong-Myung Kim)

## 요 약

본 논문은 강도부족 전주의 경제적 보강방안으로 추진 중인 겹전주 공법개발과 관련하여 기계적 강도평가를 위해 배전용 콘크리트전주의 수평 재하시험을 수행한 것으로, 현장특성을 최대한 고려하여 전주를 건주한 상태에서 전주의 응력분포 및 피로하중을 검토하였다. 실험결과, 지반이 콘크리트인 경우 단전주보다 강도증가 효과는 최대 1.7배로 증가되었으며 일반 토사지반의 경우 겹전주의 보강효과를 확보하기 위해서는 지반의 콘크리트 보강이 필요한 것으로 분석되었다.

## Abstract

A method of double-pole construction is developing to strengthen the mechanical intensity of the electric poles. Therefore the mechanical properties of the double-pole were researched in this paper. First, considering field special quality electric poles were established. In the next tensile force was applied and stress distribution and fatigue load were examined. When a base of the pole is concrete, mechanical intensity of the double-pole increased about 1.7 times compared a single pole. In the case of general soil base, the concrete base should be needed to expect the reinforcement effect of the double-pole.

Key Words : Concrete pole, tensile force, mechanical intensity, double-pole

## 1. 서 론

국내 22.9[kV-Y]가공배전선로의 주 지지물로는

콘크리트주를 사용하고 있으며 2003. 12월 현재 배전선로의 지지물은 콘크리트주가 전체 지지물의 98.5[%]인 7,064천기가 전국에 설치되어 있으며, 그 외 강관주, 철탑, 목주 등을 사용하고 있다[1].

\* 주저자 : 전력연구원 배전연구센터 선임연구원  
Tel : 042-865-5922, Fax : 042-865-5804  
E-mail : kimdmng@kepri.re.kr  
접수일자 : 2004년 7월 7일  
1차심사 : 2004년 7월 9일  
심사완료 : 2004년 7월 21일

그러나 배전설비는 전국적으로 산재되어 있으며 지지물 또한 설치대수가 많아 자연재해에 영향을 받기 쉽다. 특히 태풍과 같이 풍속이 매우 큰 바람이 통과하면, 배전설비에 피해를 주게 되고, 결국 정전

## 설치조건을 고려한 배전용 콘크리트전주의 응력분포 및 하중에 관한 연구

이 발생되어 국가산업에 큰 피해를 일으키고 있어 이러한 지지물의 파손 또는 도파는 고객의 정전발생과 함께 산업재해를 유발할 수 있으므로 재해대비설비 안정성 확보가 필요하다. 특히 태풍 내습 지역의 설비는 일반기자재보다 강도가 높은 기자재의 활용 및 설비보강 등 전력설비를 효율적으로 운영함으로써, 자연재해를 최소화시킬 필요가 있다.

현재 배전 콘크리트주의 강도특성은 한전표준구매시방서[2]를 적용하며 시험방법은 한국산업규격[3]이 적용되고 있지만 실제 현장에서 발생하는 균열 및 전도특성을 평가하기에는 극히 제한적이므로, 실제통에 적용하기 위해서는 견주한 상태에서의 인장시험이 필요하다.

본 논문은 강도부족 전주의 경제적 보강으로 추진 중인 겹전주(double-pole, 주전주+보강전주) 공법개발과 관련하여 기계적 강도평가를 위해 배전용 콘크리트전주의 수평 재하시험(在荷試驗)을 수행한 것으로 콘크리트전주의 응력 및 전주의 수평 변위를 측정하였다. 또한 현장특성을 최대한 고려하여 전주를 견주한 상태에서 전주의 응력분포 및 피로하중을 검토하여 겹전주의 현장적용 가능성 평가 및 적용범위를 논하였다.

## 2. 실험방법

그림 1은 시험장치 구성의 개략도를 나타낸다. 시험장치는 겹전주와 수평하중 인가장치 그리고 측정장치로 구성된다.

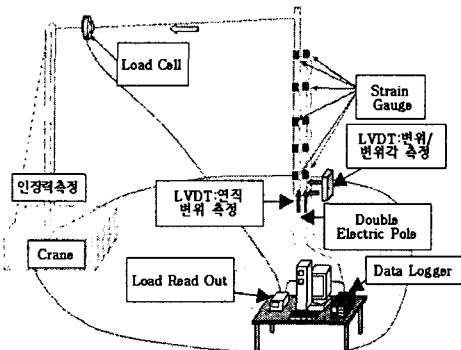


그림 1. 시험장치 구성도  
Fig. 1. Layout of experimental equipments

### 2.1 겹전주

시험에 사용된 전주는 한국산업규격[4] 및 한전표준 구매 시방서[2]에 준해 제작된 콘크리트전주를 사용하였으며, 한국전력공사 배전설계기준(설계기준-3100, 견주)을 적용하여 한전 중앙교육원의 실증시험장에 전주를 설치하였다.

겹전주의 시공은 그림 2와 같이 주전주와 보강전주를 지선밴드와 암타이를 이용하여 지상의 3부분을 고정하였으며, 아연도철선을 이용하여 지표면 하 한부분을 고정하였다. 주전주 및 보강전주의 매설깊이는 각각 지표면 하 2.5, 1.25[m]로 하였다. 보강전주의 끝단(두부)에서부터 각각 0.25, 2, 4[m] 지점에 지선밴드 및 암타이를 부착하였으며, 지표면 하 0.3[m]에서 지름 4[mm]의 아연도철연선을 이용하여 주전주와 보강전주의 주위를 5회 감아 고정하였다.

전주가 설치된 지반은 토사지반과 콘크리트지반 두 가지 경우를 비교 하였다. 콘크리트지반의 경우에는 기초체 크기를 가로×세로×깊이(2.75×2.56×1.25)[m]로 하였으며 가력하중에 영향을 받지 않는 고정체 역할을 한다.

### 2.2 수평재하시험

수평재하시험은 시험전주의 두부에 pulling plate(type : SS450)을 설치하고 크레인을 이용하여 인장선을 수평으로 끌어당겨 전주가 경험하는 응력과 변위를 측정하는 시험이다. 'ASTM D-3966-90 Standard test method for piles under lateral loads'의 재하시험방법을 준용하여, 케이블(인장선)을 이용한 인장시험을 기본 개념으로 하였다. 시험의 대상이 일반적인 말뚝이 아닌 전주로서 전주의 높이에서 실시되므로 이를 고려하여 시행하였다[5-7].

크레인의 용량은 50[ton]이며, 인장선의 길이는 13.2[m]이다.

크레인을 이용하여 겹전주에 하중을 인가하는 방향은 그림 3과 같이 평면도로 나타내었을 경우 주전주를 정면(front)로 하고 보강전주를 후면(back)으로 했을 시 정면, 후면, 측면(side) 세 방향으로 하였다.

인장시험은 4주기의 반복하중 시험(cyclic load-extension test)으로 인가하중은 표 1과 같다. 예로 1st cycle의 경우는 먼저 0.2[ton]의 하중을 5분

간 인가한 후 계속해서 0.4, 0.6[ton]을 각각 5, 15분 인가한다.

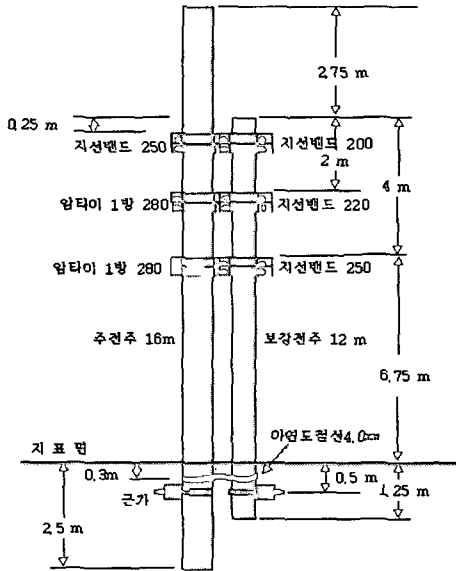


그림 2. 겹전주 설치도  
Fig. 2. Construction drawing of the double-pole

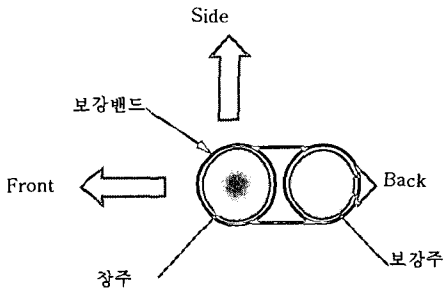


그림 3. 인장력 가력 방향  
Fig. 3. Loading direction

표 1. 4주기의 인가하중  
Table 1. Loading weight each 4 cycles

주기	1st cycle		2nd cycle		3rd cycle		4th cycle	
	Load (ton)	Time (min)	Load (ton)	Time (min)	Load (ton)	Time (min)	Load (ton)	Time (min)
Load- ing	0.0	0						
	0.2	5						
	0.4	5	0.4	5				

주기	1st cycle		2nd cycle		3rd cycle		4th cycle		
	Load (ton)	Time (min)	Load (ton)	Time (min)	Load (ton)	Time (min)	Load (ton)	Time (min)	
Load- ing	0.6	15	0.6	5	0.6	5	0.6	5	
			0.8	15					
			1.0	15					
			1.2	15	1.2	5	1.2	5	
					1.4	15			
					1.6	15			
					1.8	15	1.8	5	
							2.0	15	
Rebou- nding							2.2	15	
							2.4	15	
							1.8	5	
					1.2	5	1.2	5	
			0.6	5	0.6	5	0.6	5	
		0.3	5	0.3	5				
		0.0	5	0.0	5	0.0	5	0.0	5

겹전주의 목표 최대하중은 단전주 하중의 4배로 하였다[8].

### 2.3 측정장치

재하하중에 의한 전주의 피로응력과 변위를 측정하였다.

전주의 피로응력은 전주 표면과 부착밴드에 변형계이지(strain gauge)를 주전주에 10개소, 보강전주에 2개소, 부착밴드에 3개소 설치하고, 측정기 'Pressure Transmitter(SENSYS/PMHA0700 KAAA)'를 이용하여 측정하였다.

표 2에 strain gauge의 부착위치를 정리하였다. 그림 3에서와 같이 정면, 후면 그리고 측면으로 구분하였을 경우 주전주의 지표면상 15[cm] 지점과 부착밴드가 체결된 세 곳의 각 하부 그리고 두부 인장력이 작용하는 곳의 정면과 후면에 설치하였다.

재하하중에 의한 전주의 변위량은 연직변위 측정장치(LVDT : Level and Vertical Displacement Test, LTM150S)를 이용하여 측정하였다. 전주 본체에 부착된 plate에 대칭으로 설치된 마그네틱 홀더를 사용하였으며 2개의 LVDT를 부착하였다. LVDT의 감도는 0.01[mm], 최대 측정범위는 100[mm]이다.

표 2. Strain 게이지 부착위치  
Table 2. Positions the strain gauges placed

No.	위 치	Index	비고
1	지표면상 15[cm]	Base-F	정면
2		Base-B	후면
3	두부 인장력 작용점	Top-F	정면
4		Top-B	후면
5	부착밴드 결속점	1st band-F	상부정면
6		1st band-B	상부후면
7		2nd band-F	중간정면
8		2nd band-B	중간후면
9		3rd band-F	하부정면
10		3rd band-B	하부후면

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 응력특성

그림 4와 5는 콘크리트 지반 그리고 토사지반에 각각 설치된 단전주 및 겹전주에 인장력을 가하였을 경우 주전주 표면에 부착된 센서에서 측정된 응력특성을 보여주고 있다.

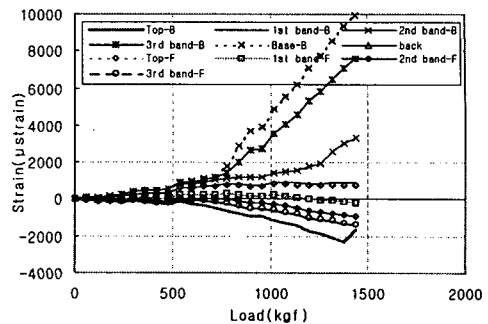
그림 4의 (a)는 단전주에 인장력을 가했을 경우이고 (b)와 (c), (d)는 겹전주일 경우이며 (b)는 정면, (c)는 후면, (d)는 측면에서 각각 인장력을 가했을 시 응력 특성이다. 이때 응력 특성은 strain(변형률)으로 나타내었으며, strain은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta l / l \times 10^6 [\mu\text{strain}]$$

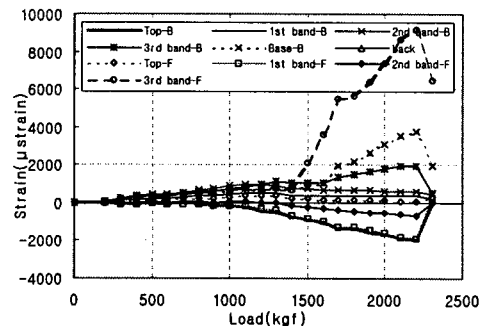
단,  $l$  : 인장력이 가해지기 전의 길이,  $\Delta l$  : 인장력에 의해서 늘어난 길이를 말한다.

그림 4 (a)를 살펴보면 콘크리트 기초의 단전주에 인장력을 가하는 경우 인장이 가해지는 쪽의 압축응력과 배면 쪽의 인장응력의 분포가 명확하게 나타나고 있다.

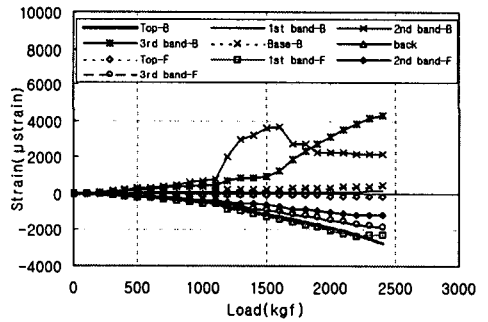
인장이 가해짐에 따라 인장응력과 압축응력이 증가하게 되고 인장력(균열하중) 660[kgf]에서 strain이 크게 증가하고 있다. 이는 철근콘크리트의 경우 압축강도에 비해 인장강도가 작아 전주 배후면의 콘크리트에 균열이 생기고, 전주 내부의 철근에 의한 strain이 주로 나타나기 때문이다.



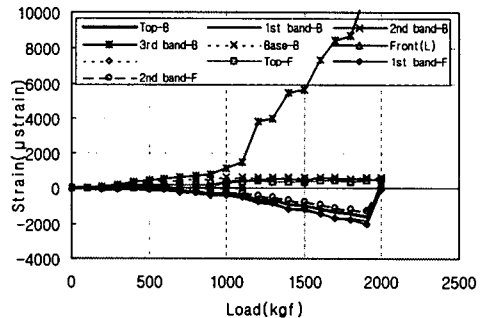
(a) Single pole



(b) Double pole - front direction



(c) Double-pole - back direction



(d) Double-pole - side direction

그림 4. 콘크리트 지반일 경우의 응력 특성  
Fig. 4. Strain curves in the case of the concrete base

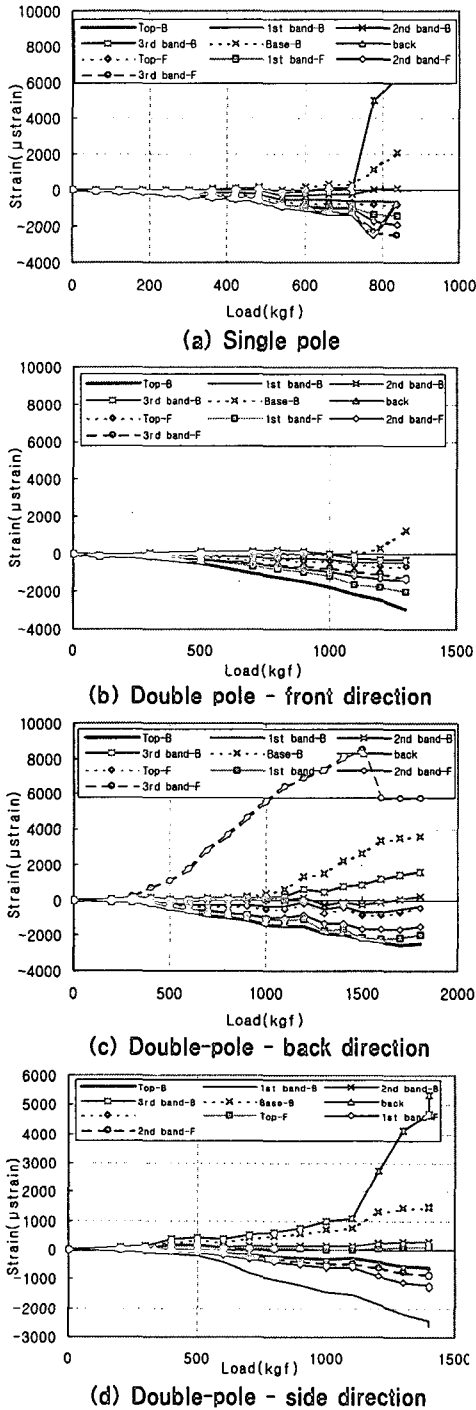


그림 5. 토사 지반일 경우의 응력다성  
Fig. 5. Strain curves in the case of the soil base

더욱더 인장력을 증가시키면 압축강도가 낮은 부위에서 콘크리트가 부서지게 되고 결국 전주는 완전 파단에 이르게 된다. 인장력(파괴하중) 1440[kgf]에서 압축파괴 되었다.

이와 같은 전주의 파단 메카니즘은 그림 4와 5의 모든 경우에서 동일하게 관찰할 수 있다.

그림 4 (b)는 콘크리트 지반에 설치된 겹전주의 정면에서 인장력을 인가했을 경우 응력 특성을 나타 내며 균열하중은 1,100[kgf], 파단하중은 2,300[kgf]이다. 그림 4 (c)와 (d)에 대한 균열하중은 각각 900, 700[kgf]이며, 파단하중은 각각 2400, 2000[kgf]이다.

그림 5 (a)는 토사 지반에 설치된 단전주의 응력 특성을 낸다. 그림을 살펴보면 인장력에 따른 strain의 증가율이 콘크리트 지반에 비해 낮게 나타난다. 이는 토사지반이 콘크리트 지반에 비해 전주의 고정력이 약하기 때문에 보조전주가 쉽게 인발되기 때문이다. 토사지반에 대한 응력 특성인 그림 5 (b), (c), (d)에서도 같은 경향을 관찰 할 수 있다. 이것은 보강주의 근입심도가 1.2[m]로 인가하중에 따른 변위가 지표면하 1[m]에서 발생한 것을 고려하면 근입심도가 부족한 것으로 판단된다.

그림 5 (a), (b), (c), (d) 균열하중은 각각 640, 600, 650, 600[kgf]이며, 파괴하중은 각각 1400, 1300, 1790, 1500[kgf]이다.

그림 6은 콘크리트 및 토사지반에 대한 주전주의 균열강도 및 파단강도를 비교하여 나타내었다. 토사 지반일 경우는 겹전주 시공에 따른 균열 및 파단 강도의 변동이 크지 않으나 콘크리트지반일 경우는 정면인장의 경우 1.3~1.7배 증가하였다.

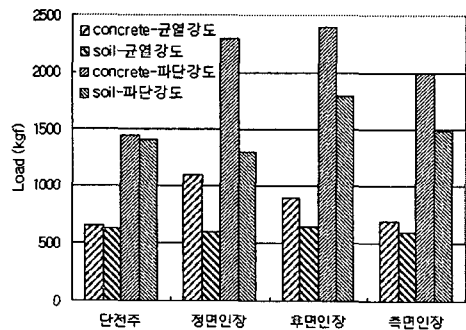


그림 6. 균열강도 및 파단강도의 비교  
Fig. 6. Crack and fracture intensity comparison

### 3.2 변위특성

그림 7은 주전주 하부에서 LVDT로 변위량을 각 인장 조건에 따라 측정된 결과이다. 콘크리트 기초에서의 변위는 0.3~1.5[mm]로 미소하게 나타났고, 토사부분에서는 27~41[mm]로 큰 값을 나타내었다. 지반이 견고하지 못할 경우 하중 가력에 의해 변위가 크게 되어 보강전주의 지지 역할이 미흡함을 알 수 있다. 따라서 일반 토사지반의 경우 겹전주의 보강효과를 확보하기 위해서는 지반의 콘크리트 보강이 필요할 것으로 사료된다.

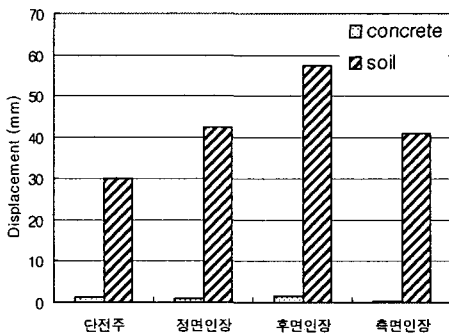


그림 7. 주전주 하부에서의 변위량  
Fig. 7. Displacement amount comparison at lower part of the main pole

## 4. 결 론

가공배전선로의 지지물로 사용되는 콘크리트 전주를 견주한 상태에서 수평하중의 응력 및 변위를 측정하였다. 설비보강을 위해 제안된 겹전주의 특성을 단주와 비교 평가하고 실제 적용가능성을 검토하였다. 콘크리트 전주의 수평재하시험 결과를 요약하면 다음과 같다.

[1] 단전주의 경우 600[kgf] 정도의 하중에서 최초 균열이 발생하고 1400[kgf] 정도의 파괴강도를 가졌다. 균열 및 파괴강도는 토사 및 콘크리트 지반에서 비슷한 값을 나타내었다.

[2] 지반이 콘크리트인 경우 겹전주의 기계적 강도는 단전주보다 최대 1.7배로 증가되었으며 하중인가 방향에 따라 최초 균열하중은 700~1,100[kgf], 파괴하중은 2,000~2,400[kgf]로 측정되었다.

[3] 지반이 토사인 경우 겹전주의 최초균열은 단

전주와 비슷한 하중에서 발생하였으며, 파괴하중은 최대 390[kgf] 정도 증가한 것으로 측정되었으나 보강효과를 발견할 수 없었다. 이것은 보강주의 근입 심도가 1.2[m] 하중인가에 따른 변위가 지표면하 1[m]에서 발생한 것을 고려하면 근입 심도 부족으로 판단된다.

[4] 일반 토사지반의 경우 겹전주의 보강효과를 확보하기 위해서는 지반의 콘크리트 보강이 필요하며 보강주의 근입 심도는 깊을수록 효과가 클 것으로 사료된다.

## References

- (1) 한국전력공사, "배전실무교육교재", p.4, 2004.
- (2) ES 102-128~617.
- (3) KS F 2454.
- (4) KS F 4304.
- (5) Annual Book of ASTM Standards, Vol.01.04.
- (6) Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.08.
- (7) Reece, L. C., "Design and Evaluation of Load Tests on Deep Foundations", Behavior of Deep Foundations, ASTM STP 670, Am. Soc. Testing Mats., 1979.
- (8) 臺灣電力, "設計基準", 第2章 架空電線路 第205節 支持物(雙抱電桿強度計算).

## ◇ 저자소개 ◇

### 김동명 (金東明)

1960년 2월 26일 생. 1986년 홍익대 전기공학과 졸업. 1999년 고려대 산업대학원 졸업(석사). 2004년 현재 대학원 박사수료. 1994년 한국전력공사 과장. 현재 전력연구원 배전연구센터 선임연구원.