

배전전주의 응력분포 및 하중에 관한 연구

김동명, 권태호, 송일근, 이병성
한전 전력연구원

Research of stresses distribution and loading weight on concrete electric pole

Dong-Myung Kim, Tae-Ho Kwon, IL-Kweon Song, Byeong-Sung Lee
KEPRI

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.

Key Words : electric pole, double-pole, tensile force

1. 서 론

국내 22.9kV-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].

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 정전이 발생되어 국가산업에 큰 피해를 일으키고 있어 이러한 지지물의 파손 또는 도괴는 고객의 정전발생과 함께 산업재해를 유발할 수 있으므로 재해대비 설비 안정성 확보가 필요하다. 특히 태풍 내습 지역의 설비는 일반기차재보다 강도가 높은 기차재의 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 건주한 상태에서의 인장시험이 필요하다.

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

2. 실험 방법

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

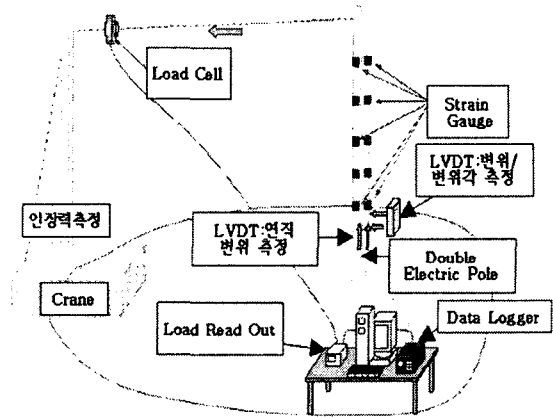


그림 1. 시험장치 구성도

2.1 겹전주

시험에 사용된 전주는 한국산업규격[4] 및 한전 표준 구매시방서에 준해 제작된 콘크리트전주를 사용하였으며, 한국전력공사 배전설계기준(설계기준-3100, 건주)을 적용하여 한전 중앙교육원의 실증시험장에 전주를 설치하였다.

겹전주의 시공은 그림 2와 같이 주전주와 보강전주를 지선밴드와 암타이를 이용하여 지상의 3부분을 고정하였으며, 아연도철선을 이용하여 지표면 하 한 부분을 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 아연도철선을 이용하여 주전주와 보강전주의 주위를 5회 감아 고정하였다.

전주가 설치된 지반은 콘크리트지반이다. 콘크리트지반 기초체 크기를 가로×세로×깊이 2.75×2.56×1.25 [m³]로 하였으며 가력하중에 영향을 받지 않는 고정체 역할을 한다.

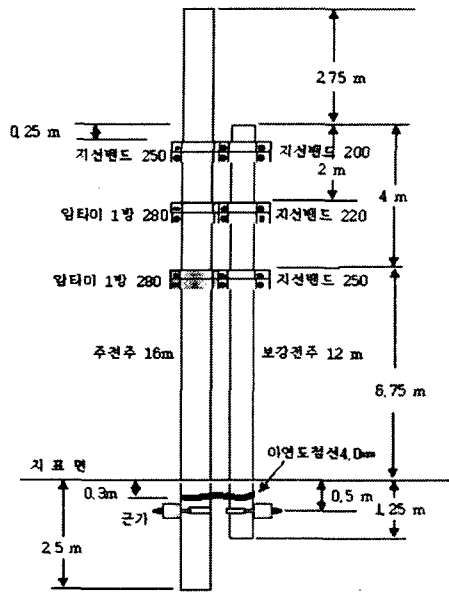


그림 2. 겹전주 설치도

2.2 수평재하시험

수평재하시험은 시험전주의 두부에 pulling plate(type: SS450)을 설치하고 크레인을 이용하여 인장선을 수평으로 끌어 당겨 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].

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

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 / PMHA 0700 KAAA)'를 이용하여 측정하였다.

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.

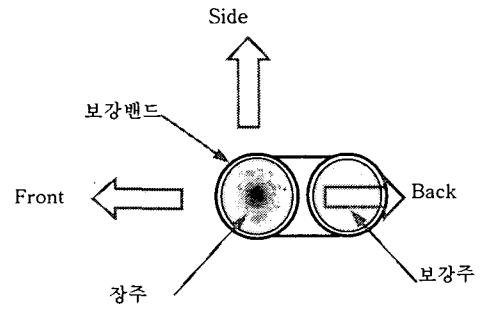


그림 3. 인장력 가력 방향

표 1. 4주기의 인가하중.

| 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-in | 0.0 | 0 | | | | | | |
| | 0.2 | 5 | | | | | | |
| | 0.4 | 5 | 0.4 | 5 | | | | |
| | 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 |
| Rebounding | | | | | | | 2.0 | 15 |
| | | | | | | | 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 |

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.

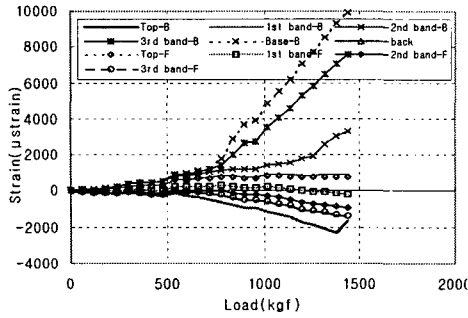
3. 결과 및 고찰

3.1 응력특성

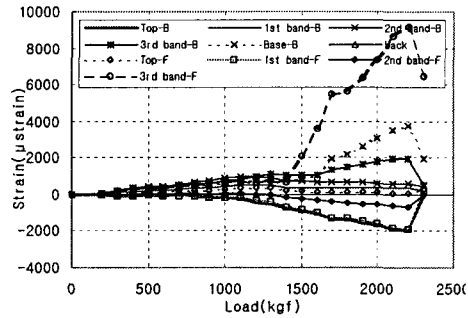
그림 4는 콘크리트 지반에 설치된 단전주 및 겹전주에 인장력을 가하였을 경우 주전주 표면에 부착된 센서에서 측정된 응력특성을 보여주고 있다.

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.

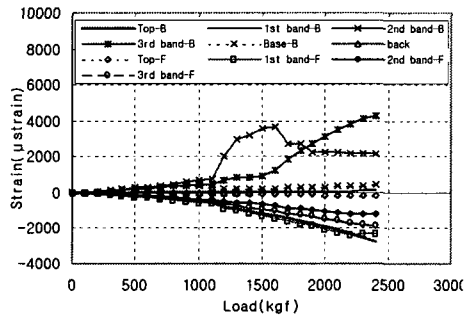
$$\Delta l / l \times 10^6 \text{ [}\mu\text{strain]}$$



a) Single pole



b) Double pole - front direction



c) Double-pole - back direction

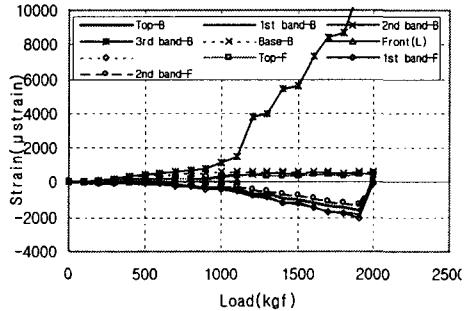


그림 4. 콘크리트 지반의 응력 특성

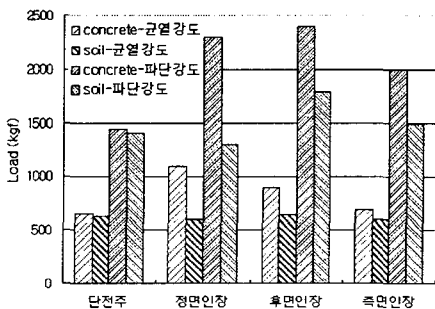


그림 5. 균열강도 및 파단강도 비교

단, l : 인장력이 가해지기 전의 길이, Δl : 인장력에 의해서 늘어난 길이를 말한다.

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

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

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

그림 4 b)는 콘크리트 지반에 설치된 겹전주의 정면에서 인장력을 인가했을 경우 응력 특성을 나타내며 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 4은 콘크리트 및 토사지반에 대한 주전주의 균열강도 및 파단강도를 비교하여 나타내었다. 토사지반일 경우는 겹전주 시공에 따른 균열 및 파단 강도의 변동이 크지 않으나 콘크리트 지반일 경우는 정면인장의 경우 1.3~1.7배 증가하였다.

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.
- [2] 겹전주의 기계적 강도는 단전주보다 최대 1.7배로 증가 되었으며 하중인가 방향에 따라 최초 균열하중은 700~1,100 [kgf], 파괴하중은 2,000~2,400 [kgf]로 측정되었다.

참고 문헌

- [1] 한국전력공사, "배전설비교육교재", 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)