

수직 및 경사 건주된 콘크리트 전주의 강도특성

(Strength Characteristics of the Vertical and Inclined Concrete Pole)

왕윤찬* · 김대학 · 박종신 · 이동영**

(Yun-Chan Wang · Dae-Hak Kim · Joong-Sin Park · Dong-Young Yi)

요 약

본 연구에서는 콘크리트전주가 수직 및 80[°] 경사 건주된 경우에 대한 강도시험을 통하여 보통지선이 없는 수평 지선의 시설 가능범위를 파악하기 위한 콘크리트전주의 강도특성시험을 수행하였다. 수직으로 건주된 전주에 대한 1주기 강도시험 결과 일반용, 중하중용, 고강도용 콘크리트전주의 안전율은 각각 2.8, 2.5, 2.1로서 모든 전주가 안전율 2.0이상은 확보하는 것으로 나타났다. 그러나 수직으로 건주된 전주 상부의 휨 정도가 2[°]이상일 때 전주에 균열이 발생하며, 이 때에 작용하는 하중은 전주의 설계하중과 유사한 값을 나타내었다. 따라서 현장에 시설된 전주가 견고한 지반에 2[°]이상 휘어져 있는 전주라면 설계하중에 근접한 하중이 상시 작용하고 있는 상태이기 때문에 지선 및 지주 등을 시설하여 보강이 반드시 필요함을 알았다.

Abstract

In order to know the range of install possibles of the horizontal stay without general stay, strength characteristic tests were performed for the Vertical and 80[°] inclined concrete poles. From the results of one cycle strength tests, the safety factors were 2.8, 2.5 and 2.1 for the poles of general load, heavy load and high strength load, respectively. However, the crack was occurred when the bending bounds of upper part of pole was above 2[°], and working load was similar to the rated load of pole at this time. Therefore, it could be concluded that the reinforcement by the installation of the stay and the support was necessary certainly, if the bending bounds of pole, which was installed on a solid foundation, are above 2[°].

Key Words : Strength Characteristics, Vertical Pole, Inclined Pole, Stay

1. 서 론

배전선로의 지선 및 지주의 설치 목적은 태풍 및 설해와 같은 자연재해에 대비한 직선선로의 지지물 강도 보강, 각도주 및 인류주의 불평형장력에 대한 평형유지로 전선로의 안전성 증대 등에 있다[1-6]. 따라서 지선 및 지주는 배전선로가 설치되는 해당 지역의 최악조건에 견딜 수 있도록 충분한 기술적

* 주저자 : KEPCO Academy 교수
 ** 교신저자 : 위덕대학교 에너지전기공학부 부교수
 Tel : 054-760-1661, Fax : 054-760-1669
 E-mail : dyyi@uu.ac.kr
 접수일자 : 2009년 5월 20일
 1차심사 : 2009년 5월 26일
 심사완료 : 2009년 6월 2일

검토를 거쳐 적절하게 설계 및 시공되어야 한다 [7-8]. 한국전력공사의 배전설계기준 3250(지선과 지주) 11.나항에 따르면 지선주는 본주가 받는 장력의 반대방향으로 80°경사시켜 견주하고 지선용 전주 13.25[m](지표면 기준 작용점) 지점 부근에 본주와 연결되어 있는 수평지선 장력의 반대측 방향으로 보통지선을 시설함이 원칙이지만, 굵기가 4.0[mm]인 아연도철선을 5조 이하로 보통지선을 시설하기 곤란한 경우에는 보통지선을 생략할 수 있도록 명시되어있다[7-8]. 그러나 상기에 언급된 보통지선 생략조건에서 지선의 굵기에 대한 근거가 불분명할 뿐만 아니라, 최근에는 선로의 현장 여건에 따라 설계하중의 크기가 다른 일반용전주, 중하중용전주, 고강도용전주 등이 다양하게 사용되고 있기 때문에 전주의 종류별, 전주의 견주상태(수직 견주, 80. 경사 견주) 등에 따른 저항모멘트를 확인하여 지선주에서의 보통지선 생략 유무가 결정되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 각종 콘크리트 전주에 대하여 지선주로 사용된 경우 지선주의 수직 및 80°경사 견주에 대한 강도시험을 통하여 보통지선이 없는 수평지선만의 시설 가능 범위를 파악하고자 하였다.

2. 시 험

2.1 강도시험 범위 및 시험 방법

시험방법은 지선주로 사용된 콘크리트 전주가 수직 견주될 때 강도시험은 일반용 1본, 중하중용 6본, 고강도용 1본을 대상으로 아래와 같은 순서로 시험을 실시하고 수직 견주 강도시험의 개략도는 그림 1에 나타나있다. 수직 견주된 콘크리트전주의 강도시험은 총 8[회] 실시하였다. 중하중용 전주의 경우 2주기시험 1회(Test1)와 가력위치별 시험 5회(전주 지표상 13.25[m] 3회(Test2~4), 9.00[m] 1회(Test5), 5.00[m] 1회(Test6))를 실시하였으며, 일반용과 고강도용 전주는 지표상 13.25[m]를 가력하여 각각 1회씩(Test15, Test17) 시행하였다. 80°경사견주 지선주의 강도시험은 중하중용 전주에 대하여 3회(Test7~9)를 실시하였으며 시험범위 및 조건은 표 1과 같다. 지선장력시험(Test10~14, 16)은 추가 시험후 보고

할 예정이다. 한편, 콘크리트 전주가 수평지선주(80°경사 견주)로 사용되어 80° 경사 견주될 때 강도시험의 경우에는 중하중용 전주에 대해 3회 실시하고 시험방법은 수직 견주일 때와 동일하게 하고, 전주의 경사를 80°로 설치하여 가력한다.

표 1. 강도시험 범위 및 조건

Table 1. Range and conditions of strength test

전주	전주 규격 [m]	전주상태	지선설치위치 (하중작용점) [m]	시험 횟수 [회]
중하중용	16	수직견주	지표상 13.25	4
			지표상 5	1
			지표상 9	1
		80° 경사견주	지표상 13.25	3
일반용	16	수직견주	지표상 13.25	1
고강도용	16	수직견주	지표상 13.25	1

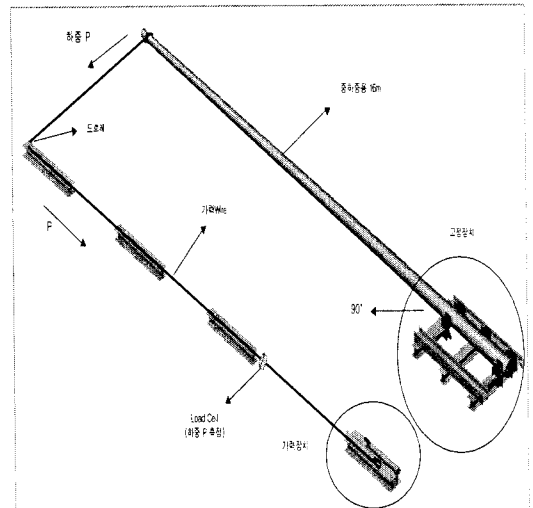


그림 1. 수직견주 콘크리트전주의 강도시험 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of the strength test for vertical concrete pole

- 중하중용 16[m] 전주를 전주Holder 장치에 고정하고 전주의 휨 및 변형을 방지하고 전주 가력을 용이하게 하기 위하여 전주 받침대를 상하 2개소에 설치

수직 및 경사 건주된 콘크리트 전주의 강도특성

- 전주 가력위치에 전주가력부 Holder 설치
- 가력장치와 전주가력부Holder를 가력Wire로 연결
- Load cell을 설치
- 전주의 변위를 측정하기 위하여 변위측정장치 (엔코더, Linear Variable Differential Transformer(LVDT))를 설치
- 자동 및 수동 유압펌프를 설치하고 가력장치와 고정장치에 유압호스를 연결
- 전주 가력부의 변위를 측정하면서 하중을 단계 별(100[kg])로 가하며 각 단계별 관측시간은 5분으로 하고 시험전주의 파괴시까지 가력

2.2 시험장치

수직 건주 및 지선주(80°경사주)를 고정하기 위한 전주고정장치는 그림 2와 같다. Base beam의 경우 250(H)×250(B)×2,000(L)×9(t₁)×14(t₂)[mm] 규격의 H-beam을 3단으로 바닥에 앵커를 이용하여 고정시킨 후, 250(H)×250(B)×2,500(L)×9(t₁)×14(t₂)[mm] 규격의 H-beam을 격자 모양으로 용접하여 고정시켰다. 이때 H, B는 H-beam 단면의 가로, 세로 규격이며 L은 길이, t₁, t₂는 각각 종축, 횡축의 두께이다.

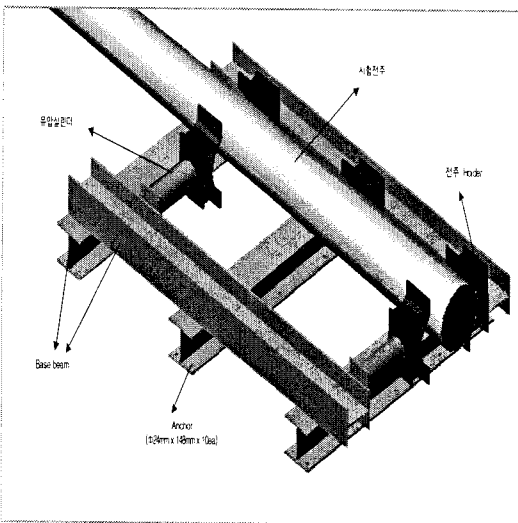


그림 2. 전주 고정장치 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of the pole fixing apparatus

유압실린더는 최대Stroke 350[mm], 작용력 15[ton]의 실린더를 2,500[mm] 간격으로 2개 설치하였다. 전주Holder는 Round모양의 Holder를 유압실린더 끝단과 맞은편에 각각 설치하고, 유압실린더 사이 중간지점에 전주 Holder를 설치하여 전주의 휨을 방지하였다.

그림 3은 전주가력부의 개략도이다. 가력장치는 H-beam(250×250×9×14×2,000[mm])을 평행하게 2개를 앵커를 이용하여 바닥에 고정시켰다. 다음으로 유압실린더(작용력 : 10[ton], 행정거리 : 1,000[mm]) 2개를 방향이 반대가 되도록 설치한 후 Pulley을 설치하여 전주 가력시 최대 변형 길이가 4,000[mm]까지 가능하도록 하였다. 변위측정장치는 Encoder를 이용하여 전주 가력시의 전주의 휨는 정도를 측정하기 위하여 변위를 측정하였다. LVDT는 그림 2에서 상부 전주Holder에서부터 15~30[mm] 즉, 전주의 바닥면(지면)에서 15[mm]와 30[mm]에 해당하는 지점에 각각 설치하여 가력 하중별로 설치 지점의 변위를 측정하였다.

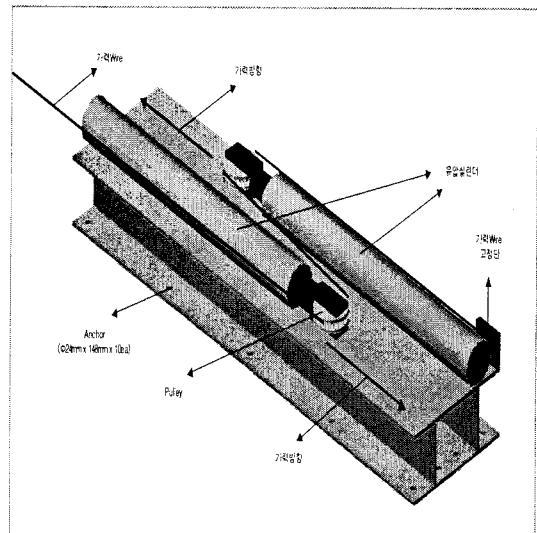


그림 3. 전주 가력부 개략도
Fig. 3. Schematic diagram of the force applying apparatus for poles

3. 시험 결과

3.1 수직 건주된 콘크리트전주의 강도시험

수직 건주된 콘크리트전주의 강도시험은 총 8회 실시하였다. 중하중용 전주의 경우 2주기시험 1회와 가력위치별 시험 5회를 실시하였으며, 일반용과 고강도용 전주는 지표상 각각 1회씩 시행하였고, 아래 표 2와 같은 결과를 얻었다.

표 2. 중하중용 수직 건주 전주의 강도시험 결과
Table 2. Strength test results of heavy load vertical poles

시 험	설계 하중 [kg/본]	균열		파단		작용점 [m]
		하중 [kg]	변위 [mm]	하중 [kg]	변위 [mm]	
Test 1	700	800	871	1,300	2,017	13.25
Test 2	700	800	758	1,840	3,082	13.25
Test 3	700	700	633	1,600	2,409	13.25
Test 4	700	800	773	1,700	2,638	13.25
Test 5	700	900	281	2,500	2,117	9.00
Test 6	700	900	80	4,300	1,450	5.00
Test 15	500	700	806	1,400	2,850	13.25
Test 17	1000	900	583	2,100	2,437	13.05

주) 1. Test 1의 경우 1주기 하중 800(kg) 인가 후 2주기 하중을 인가한 경우임.

수직주 종류별 강도시험 결과 중하중용(Test 2~4), 일반용(Test 15), 고강도용(Test 17)의 전주 파단 강도는 각각 1,600~1,840[kg], 1,400[kg], 2,100[kg]으로 나타났으며, 안전율(=파단 강도/설계 강도)은 중하중용, 일반용, 고강도용이 각각 2.45, 2.8, 2.1로 나타나서 모든 전주가 안전율 2 이상은 확보하는 것으로 나타났다.

현장에서는 전주에 가하여지는 하중의 증감이 지속적으로 발생하므로 중하중용 콘크리트전주 1본에 대해 2주기 반복하중 시험(Test1)을 실시하였다. 시험결과 반복하중(2주기)의 경우 최초 균열이 발생은 1주기 시험과 비슷한 하중에서 나타나나, 파단하중은 1주기 시험에 비하여 약 24[%] 감소되는 양상을 나타낸다.

수직 건주된 전주에 하중을 가력함에 따라 변위 및 변위각이 나타나고 결국 전주에 휨이 발생하였다. 수직 건주된 전주의 파단 시 전주 상부의 변위는 2,400~3,000[mm]정도로 나타났으며, 하중에 따른 전주의 변위는 그림 4와 같다.

전주 파단 시 전주 상단을 기준으로 각 변위는 그림 5와 같이 10.6~13.5[°]를 나타내었다. 따라서 10[°] 이상에서 전주의 파단이 발생됨을 알 수 있었다. 한편 초기 균열 상태는 2.0~3.8[°]에서 발생하였으며, 이때 전주하부각도는 0.3~0.6[°]로 나타났다.

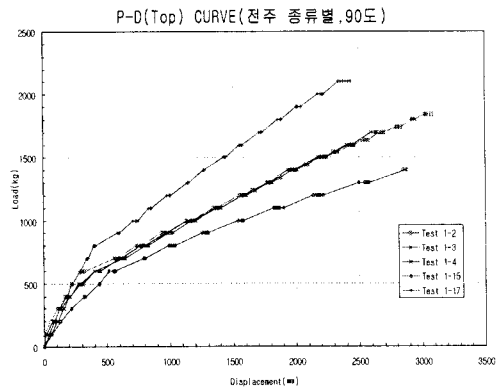


그림 4. 전주종류별 수직건주 전주의 하중-변위곡선 (전주상부)

Fig. 4. Power vs. displacement(P-D) curve for vertical poles(top)

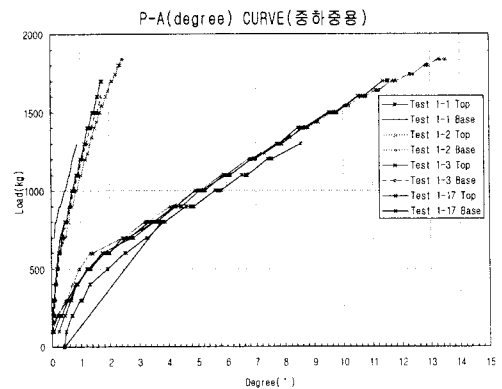


그림 5. 전주종류별 수직건주 전주의 하중-변위각 (전주상부&전주하부)

Fig. 5. Load vs. displacement angle(P-A) curve for vertical poles(Top&Base)

수직 및 경사 건주된 콘크리트 전주의 강도특성

초기 균열이 발생하였을 때의 가력하중은 일반용은 700[kg], 중하중용은 700~800[kg], 고강도용은 900[kg]을 나타내었으며, 이는 각 전주의 설계하중 값과 유사한 값이다. 따라서 현장에서 지선이 없는 전주의 상부가 2.0[°] 이상 휘어진 전주는 평상시 전주에 작용하는 하중이 설계하중에 근접하여 작용하고 있어 피로하중 및 열화가 촉진됨은 물론 태풍 및 착빙시 작용하중의 초과로 인하여 전주가 절손될 가능성이 높으므로 이를 방지하기 위하여 지선 및 지

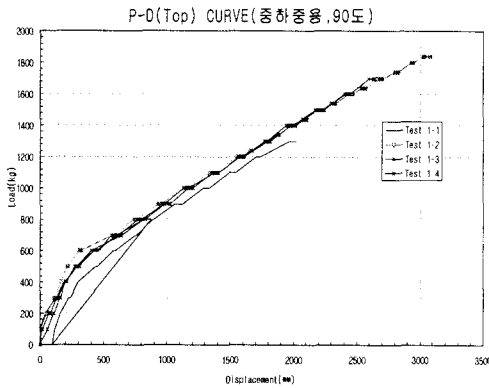


그림 6. 수직건주 중하중용전주의 하중-변위 곡선 (전주상부)
Fig. 6. Load vs. displacement curve(P-D) for heavy load vertical poles(Top)

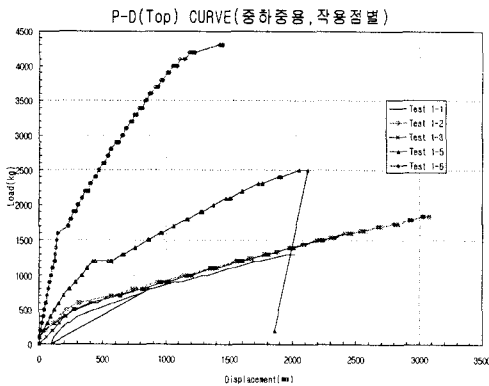


그림 7. 수직건주 중하중용 전주의 작용점별 하중-변위 곡선 (전주상부)곡선
Fig. 7. Load vs. displacement(P-D) curve for heavy load vertical poles at working points(Top)

주 등의 보강이 반드시 필요하다고 사료된다.

중하중용 전주의 13.25[m](지표면 기준 작용점) 지점에 하중을 가한 경우 그림 6과 같이 하중 변위 곡선은 동일한 기울기를 나타내나 최종 파단 하중이 약간의 편차를 나타낸다.

수직 건주된 전주의 작용점별 파단시 하중 및 모멘트는 중하중용 전주의 수평인장하중 작용점이 전주에 표시된 지지점 표시선에서 13.25[m](지표면 기준 작용점), 9.0[m], 5.0[m]로 낮아짐에 따라 파단하중은 그림 7과 같이 1,710[kg], 2,500[kg], 4,300[kg]으로 증가되는 것으로 나타났다. 그러나 각 작용점별 파단시의 모멘트는 그림 8과 같이 22,658[kg·m], 22,500[kg·m], 21,500[kg·m]로 설치점이 낮아수록 약간씩 감소하였다. 하지만 그 차이가 크지 않으므로 설계시 하중 작용점에 따른 전주저항모멘트는 일정한 값(설계하중×지표면부터 전주끝 하방 25[cm]까지의 높이)를 적용하여도 무방할 것으로 사료된다.

전주 파단 유형을 보면 중하중용 수직 건주된 전주의 13.25[m](지표면 기준 작용점) 지점에서 가력하여 파괴될 때의 유형은 2가지 형태로 나타났다. 4회 중 2회는 전주 지지점 표시선 부근에서 파단 되었으며, 2회는 전주끝에서 6.6[m] 지점인 전주 중간에서 파단 되었다.

지지점 파단의 경우 전주 인장부분(인장 뒤쪽)의 균열이 전주 하부에서 발생 후 전주 상부까지 고르게 분포 되었다가 압축부분(인장 앞쪽)의 작은 소음과 함께 부분 파열에 평음과 함께 전주 하단 지지점 부위가 파괴되었으며 전주 중간 파단의 경우 전주의 파단 양상은 지지점 부위의 파단시와 비슷하나 부러지는 위치가 전주 중간부분(상부로부터 6.6[m] 지점)으로 지지점 부분이 파괴될 때 보다 100~250[kg] 낮은 하중에서 부러졌으며, 이 양상은 80[°] 경사로 건주된 전주에서도 비슷한 경향을 보였다.

전주 상부로부터 6.6[m] 지점은 중하중용 콘크리트 전주 16[m] 내에 삽입되는 철근 중 보강근 4가닥이 끝나는 부분으로 접지선 입구가 설치되는 지점이다.

따라서 본 시험을 통하여 현장에서 하중이 초과된 전주의 절손시 전주 중간이 절손되는 사유가 밝혀졌다.

3.2 경사 건주된 전주의 강도시험

80[°] 경사진 수평지선주의 강도시험은 중하중용 전주에 대하여 3회 실시하였으며, 그 결과는 아래 표 3과 같다.

전주가 파단 되는 하중은 1,500[kg]~1,700[kg]으로 나타났으며, 파단시 전주 상단의 변위는 2,370~2,700[mm]정도이며, 하중단계별 변위량은 비슷한 경향을 나타내고 있다. 그림 9는 수평 건주된 중하중용 전주(지선주로 사용)의 하중-변위 그래프이다.

표 3. 중하중용 경사 건주 전주(지선주용)의 강도 시험결과

Table 3. Strength test results of heavy load inclined poles for stay

시험	설계			균열		파단		작용점 [m]
	하중 [kg]	하중 [kg]	변위 [mm]	하중 [kg]	변위 [mm]	하중 [kg]	변위 [mm]	
Test 7	700	800	728	1,700	2,716			13.25
Test 8	700	800	814	1,500	2,370			13.25
Test 9	700	800	766	1,500	2,704			13.25

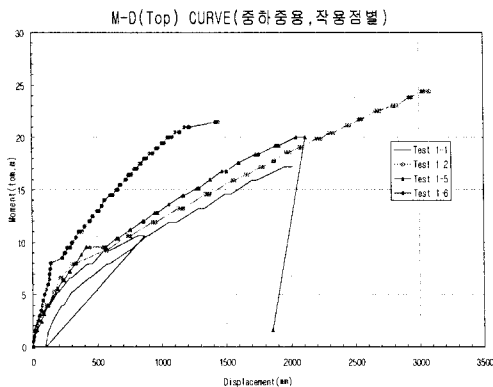


그림 8. 수직건주 중하중용 전주의 작용점별 모멘트-변위(전주상부)곡선

Fig. 8. Moment vs. displacement(M-D) curve for heavy load vertical poles at working points(Top)

그림 10에서 나타난 결과와 같이 하중단계별 변위량은 수직 건주된 전주일 때와 80[°]경사 건주된 전주일 때가 비슷한 경향을 나타내고 있다. 상기와 같

이 파단하중 및 변위량이 수직 건주된 전주와 비슷하게 결과가 나타난 이유는 80[°]경사 건주된 전주를 지상에 건주하는 경우 중력의 영향을 받을 수 있었으나 본 시험에서는 전주를 옆으로 설치하여 중력을 받지 못하는 이유로 해석된다. 따라서 80[°]경사 건주된 전주에 대한 추가적인 시험 및 연구가 필요하다고 사료된다.

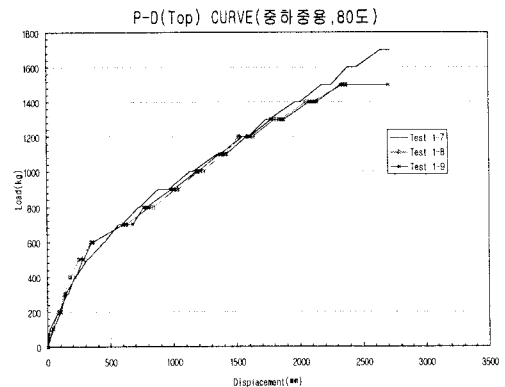


그림 9. 경사 건주된 중하중용 전주(지선주용)의 하중-변위(전주상부)곡선

Fig. 9. Load vs. displacement(P-D) curve for heavy load inclined poles(for stay, Top)

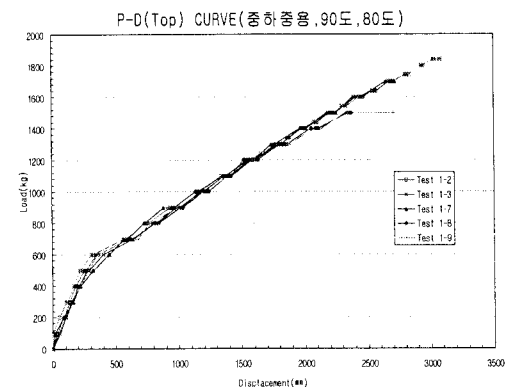


그림 10. 중하중용 수직 및 경사 건주 전주의(지선주용) 하중-변위(전주상부) 비교

Fig. 10. Comparison of Load-displacement curve between heavy load vertical and inclined poles for stay(Top)

4. 결 론

수직 건주 전주에 대한 1주기 강도시험 결과 일반용, 중하중용, 고강도용 콘크리트전주의 안전율(파괴하중/설계하중)은 각기 2.8, 2.5, 2.1로 나타나서 모든 전주가 안전율 2.0이상은 확보하는 것으로 나타났다. 중하중용 수직 건주 전주의 파단유형은 지지점 부분이 파단 되는 경우와 전주 중간(콘크리트 전주 내부에 있는 보강철근이 끝나는 상부로부터 6.6[m] 지점)부분이 파단 되는 경우가 각기 반반정도 발생하는 것으로 나타났다.

현장 설치되어 사용 중에 있는 전주에는 여러 가지 환경에 의해 하중이 작용하여 그 크기의 증감이 지속적으로 발생한다. 그런데 중하중용 콘크리트전주에 대하여 시행한 2주기 반복하중 시험에서는 1주기 시험에 비하여 파단하중이 24[%] 감소되는 것으로 나타났으므로 이에 대한 추가적인 시험이 필요하다고 사료된다.

수직 건주된 전주 상부의 휨 정도가 2[°]이상일 때 전주에 균열이 발생하며, 이때 작용하는 하중이 전주의 설계하중과 유사한 값을 나타내었다. 따라서 현장에서 지반이 견고한 상태에서 지선이 없이 2[°] 이상 휘어진 전주는 상시 전주에 작용하는 하중이 설계하중에 근접하여 작용하므로 지선 및 지주 등의 보강이 반드시 필요함을 알았다.

References

- (1) 한국전력공사 배전처 배전계획팀, 문서번호 84303-20030001-2536 “태풍대비 시설기준 강화내용 알림”, 2002.10.
- (2) 한국전력공사 배전처 배전계획팀, “태풍대비 배전설비 운영기준(잠정)”, 2003.1.
- (3) 한국전력공사 배전처 배전계획팀, 문서번호 배전(계)84302-1627 “태풍대비 배전설비 운영기준(잠정) 개정 알림”, 2004.07.
- (4) 한국전력공사 배전처 배전계획팀, 문서번호 배전(계)84303-2101 “지지물·지선 강도계산 기준(안) 알림”, 2004.08.
- (5) 한국전력공사 배전처 배전운영팀, 태풍대비 배전설비 시공방안, 2004.7.
- (6) 한국전력공사 배전처 배전계획팀, 태풍대비 배전설비 운영기준(잠정), 2004.7.
- (7) 한국전력공사, 경영정보처, 설계기준 (배전분야), 2003
- (8) 한국전력공사, 중앙교육원 배전실무반 교육교재, 2003.

◇ 저자소개 ◇

왕윤찬 (王 駟 燦)

1967년 11월 14일생. 1996년 울산대학교 전기공학과 졸업. 2000년 헬싱키 경제·경영대학원 경영학과 졸업(석사). 1986~1999년 한국전력공사 부산지사. 2000~2001년 한전 본사 판매SI팀 신배전정보시스템(NDIS) 개발 담당과장. 2002년~현재 KEPCO Academy 배전교육팀 교수. 2005년~현재 서울산업대학교 전기공학과 겸임교수.

김대학 (金 大 鶴)

1963년 9월 22일생. 1986년 경희대학교 물리학과 대학 졸업. 1987~1995년 경인상사(주) 연구소 선임연구원. 1996~2003년 백경이앤씨 부사장 대표이사. 2003년~현재 유니콘기술연구소 소장. 현재 지방공회회 기초기술위원회 및 에너지생산플랜트 기술위원회 운영위원. 철강협회 강관협의회 기술자문위원. 산업기술개발사업 기술개발기획평가단 정회원.

박중신 (朴 重 信)

1956년 3월 3일생. 1980년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1982년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1990년 한국전력공사 북부지점. 1990~1992년 한국전력공사 전력연구원 선임연구원. 1992~2002년 한국전력공사 중앙교육원 배전교육팀 교수. 2002~2005년 동해대학교 전기공학과 교수. 2005년~현재 위덕대학교 에너지전기공학부 교수.

이동영 (李 東 映)

1962년 7월 19일생. 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1990년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995~1996년 기초전력공학공동연구소 선임연구원. 1996~1997년 한전 전력연구원 선임연구원. 1997년~현재 위덕대학교 에너지전기공학부 부교수.