

지선장력 및 수평지선주 강도시험

왕윤찬, 조시형, 김근환, 박중신*, 김대학**, 이시철**
한국전력공사, *위덕대학교, **유니콘 기술연구소

An Experiment on Guy Tensions and Stub Strengths

Yoon-Chan Wong, Si-Hyung Cho, Geun-Hwan Kim, Jung-Shin Park*, Dae-Hark Kim**, Si-Cheol Lee**
Korea Electric Power Corporation, *Uiduk University, **Unicon Technical Research Institute

Abstract - 본 시험의 목적은 수직주 및 80°경사주에 대한 강도시험을 통하여 보통지선이 없는 수평지선주의 시설가능 범위를 파악하고, 지선장력에 대한 지선장력과 전주저항모멘트간의 상관관계를 실증시험을 통하여 지선강도계산시 전주저항모멘트 적용의 타당성 여부를 조사하는 것이다. 시험결과 2°이상 휘어진 전주는 지선 보강이 필요하며, 설계시 하중 작용점에 따른 전주저항모멘트는 일정한 값을 적용하여도 됨을 확인하였다. 그리고 지선강도계산식에서 전주의 저항모멘트를 고려하지 않는 것이, Y지선보다는 각 하중 작용점에 해당 불평형장력에 견디는 1조 지선을 시설하는 것이 바람직하다. 또한 보통지선이 없는 수평지선주는 지선에 작용하는 하중, 전주의 설계하중, 전주길이 및 지선의 설치위치를 고려하여 선정하여야 하여야 함을 도출하였다.

1. 서 론

배전선로의 지선 및 지주는 재해(태풍 및 설해)에 대비하여 직선선로의 지지물 강도를 보강하고, 각도주 및 인류주의 불평형장력에 대한 평형을 유지하기 위하여 시설함으로써 전선로의 안전성을 증대시키는 역할을 한다. 그러므로 지선 및 지주는 배전선로가 설치되는 해당 지역의 최악조건에 견딜 수 있도록 기술적 검토를 거쳐 적절하게 설계 및 시공되어야 한다.

따라서 본 시험의 목적은 수직주 및 80°경사주에 대한 강도시험을 통하여 보통지선이 없는 수평지선주의 시설가능 범위를 파악하고, 지선장력에 대한 지선장력과 전주저항모멘트간의 상관관계를 실증시험을 통하여 지선강도계산시 전주저항모멘트 적용의 타당성 여부를 조사하고자 한다.

2. 시험의 필요성, 범위 및 방법

2.1 시험의 필요성

2.1.1 보통지선이 없는 수평지선주 강도시험 필요성

현재 보통지선이 없는 수직 및 80°경사 수평지선주에 대한 시설기준이 없는 상태이므로 콘크리트전주의 종류별로 저항모멘트를 확인하여 이에 대한 시설 가능범위를 확인할 필요가 있다.

2.1.2 지선장력과 전주저항모멘트 상관관계 시험 필요성

현재 일반적으로 적용하고 있는 지선 강도계산공식에서는 각도주 및 인류주에서 발생하는 전선의 불평형 장력을 지선과 지지물이 같이 분담하도록 전주의 저항모멘트를 적용하고 있다. 그러나 배전규정 제210절(지선의 시설)에서는 불평형장력을 지지물에 분담시키지 아니하고 지선에 부담시키도록 규정하고 있다.

따라서 지선장력에 대한 지선장력 및 전주저항모멘트간의 상관관계를 실증시험을 통하여 지선강도계산시 전주저항모멘트의 적용의 타당성 여부를 확인하고 지선강도계산식을 검증할 필요가 있다.

2.2 시험의 범위 및 방법

2.2.1 시험범위

콘크리트전주 강도시험은 수직주 8회, 80°경사주 3회를 실시하였다. 중하중용 전주의 경우 2주기시험 1회와 가력위치별 시험을 5회(전주 지표상 13.25m 3회, 9.00m 1회, 5.00m 1회)를 실시하였으며, 일반용과 고강도용 전주는 지표상 13.25m를 가력하여 각각 1회씩 시행하였고, 80°경사 수평지선주의 강도시험은 중하중용 전주에 대하여 3회를 실시하였다.

지선장력과 전주저항모멘트간의 시험을 위하여 보통지선 2회((아연도철크인선 및 아연도강연선 7/2.6mm 각 1회), Y지선 1회)의 시험을 실시하였으며, 일반용, 중하중용, 고강도용 콘크리트 수평지선주 16m에 대하여 각 1회씩 총 3회를 시행하였다.

2.3 시험방법

전주를 견주하여 시험을 시행할 경우에는 지반의 영향을 받을 우려가 있다. 따라서 본 시험에서는 지반의 영향을 받지 않도록 콘크리트바닥에 전주 고정장치 및 가력장치 등의 시험 장치를 앵커로 고정시켜 지반에 의한 변수를 완전히 제거하였다.

그리고 전주 가력시 전주의 휘는 정도를 측정하기 위하여 En-corder와 LVDT를 설치하였으며, 가력하중 및 지선장력을 측정하기 위하여 Load Cell을 이용하였다. 가력하중은 100kg씩 증가시키면서 전주 및 지선이 파괴될 때까지 시행하였으며, 각 하중단계별 관측시간은 5분간 시행하였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 전주 강도시험 결과

3.1.1 수직주 강도시험 결과

수직주 강도시험은 총 8회 실시하였으며, 아래 <표 1>과 같은 결과를 얻었다.

<표 1> 수직주 시험결과표

시험 구분	시험전주	설계 하중 (kg)	전주균열		전주파괴		작용점 (m)
			하중 (kg)	변위 (mm)	하중 (kg)	변위 (mm)	
Test 1	중하중 16m	700	800	871	1,300	2,017	13.25
Test 2	중하중 16m	700	800	758	1,840	3,082	13.25
Test 3	중하중 16m	700	700	633	1,600	2,409	13.25
Test 4	중하중 16m	700	800	773	1,700	2,638	13.25
Test 5	중하중 16m	700	900	281	2,500	2,117	9.00
Test 6	중하중 16m	700	900	80	4,300	1,450	5.00
Test 15	일반용 16m	500	700	806	1,400	2,850	13.25
Test 17	고강도 16m	1000	900	583	2,100	2,437	13.05

주1) Test 1의 경우 1주기 하중 800kg 인가 후 2주기하중을 인가한 경우임.

주2) Test 17의 경우 Test 16 시험 후 본주를 수직으로 가력하여 파단된 경우임.

수직주 종류별 강도시험 결과 모든 전주가 안전율 2이상은 확보하는 것으로 나타났다.

하중 가력에 따라 전주에 휨이 발생하였는데, 초기 균열 상태는 2.0°~3.8°에서 발생하였으며, 이 때의 가력하중은 일반용은 700kg, 중하중용은 700~800kg, 고강도용은 900kg을 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 지주 등의 보강이 반드시 필요하다고 사료된다.

중하중용 전주의 수평인장하중 작용점이 지지점 표시선에서 13.25m(전주끝에서 0.25m), 9.0m, 5.0m로 낮아짐에 따라 파단하중은 1,710kg, 2,500kg, 4,300kg으로 증가되는 것으로 나타났다. 그러나 각 작용점별 파단시의 모멘트는 22,658kg·m, 22,500kg·m, 21,500kg·m로 설치점이 낮을수록 약간씩 감소하였다. 하지만 그 차이가 크지 않으므로 설계시 하중 작용점에 따른 전주저항모멘트는 일정한 값(설계하중×지표면부터 전주끝 하방 25cm까지의 높이)를 적용하여도 무방할 것으로 사료된다.

중하중용 수직주 상단 끝 25cm지점에서 가력하여 파괴될 때의 유형은 2가지 형태로 나타났다. 4회 중 2회는 전주 지지점 표시선 부근에서 파단되었으며, 2회는 전주끝에서 6.6m 지점인 전주 중간에서 파단되었다. 전주 상부로부터 6.6m 지점은 중하중용 콘크리트 전주 16m내에 삽입되는 철근 중 보강근 4가닥이 끝나는 부분으로 접지선 입구가 설치되는 지점으로서 본 시험을 통하여 현장에서 하중이 초과된 전주의 절손시 전주 중간이 절손되는 사유가 밝혀졌다.

3.1.2 80°경사주 강도시험 결과

80°경사주 수평지선주의 강도시험결과는 아래 <표 2>와 같다.

<표 2> 수평지선주 시험결과표

시험 구분	시험전주	설계 하중 (kg)	전주균열		전주파괴		작용점 (m)
			하중 (kg)	변위 (mm)	하중 (kg)	변위 (mm)	
Test 7	중하중 16m	700	800	728	1,700	2,716	13.25
Test 8	중하중 16m	700	800	814	1,500	2,370	13.25
Test 9	중하중 16m	700	800	766	1,500	2,704	13.25

전주가 파단되는 하중 및 하중단계별 변위량은 수직주일 때와 80°경사주일 때가 비슷한 경향을 나타내고 있다. 이렇게 결과가 나타난 이유는 80°경사주를 지상에 견주하는 경우 중력의 영향을 받을 수 있었으나 본 시험에

서는 전주를 옆으로 설치하여 중력을 받지 못하는 이유로 해석된다. 따라서 80경사주에 대한 추가적인 시험 및 연구가 필요하다고 사료된다.

3.2 지선장력과 전주저항모멘트 상관관계 시험결과

3.2.1 보통지선 및 Y지선 장력시험 결과

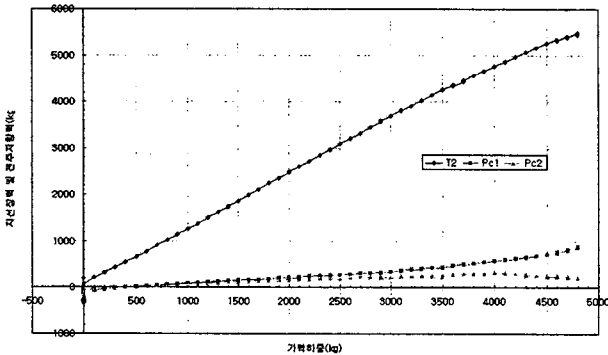
보통지선 및 Y지선에 대한 시험결과는 아래 <표 3>과 같다.

<표 3> 보통지선 및 Y지선 시험결과표

시험구분	시험전주	시험지선		지선과괴			작용점
		구분	인장하중 (kg)	가력하중 (kg)	지선장력 (kg)	상부변위 (mm)	
Test 10	중하중 16m	아연도철탄선 (7/2.6)	1,020	2,600	1,660	2,391	13.25
Test 11	중하중 16m	아연도강연선 (7/2.6)	4,290	4,800	5,440	1,380	13.25
Test 12	중하중 16m	아연도강연선 (7/2.6)Y지선	4,290	5,400	5,270 3,110	370	13.25 7.65

아연도철탄선 7/2.6mm는 가력하중 1,500kg(지선장력 1,430kg)에서 지선이 늘어나는 경향을 보이기 시작했고, 이후 가력하중 2,400kg부터는 지선의 장력이 1,640kg~1,660kg사이에서 변화 없이 철탄선이 계속 늘어나 가력을 중단하였다. 그리고 아연도강연선 7/2.6mm는 가력하중 4,800kg(지선장력 5,440kg)에서 완전히 끊어졌다. 아연도강연선 7/2.6mm Y지선 시험결과 가력하중 5,400kg(45지선장력 5,270kg, 60지선장력 3,110kg)에서 60지선 전주 고정부에서 시험전주가 파단 되었으며, 지선은 끊어지지 않았다.

아연도철탄선 및 아연도강연선 7/2.6mm의 안전율(파단하중/인장하중)은 각각 1.62 및 1.26로 나타나서 파단하중과 인장하중의 차이가 별로 없는 것으로 나타나서 설계시 지선의 안전율을 별도로 감안함이 타당할 것으로 사료된다.



<그림 1> 아연도강연선 보통지선의 중하중용전주 저항력 분석

상기 <그림 1>과 같이 중하중용전주 저항력을 분석한 결과 전주의 변위를 고려하지 않은 P_{c1} 의 경우에는 가력하중 4,000kg 이상에서 전주의 설계하중에 가까운 값을 나타내고 있으나, 전주의 변위를 고려한 P_{c2} 의 경우에는 가력하중 4,000kg 지선장력 4,750kg에서 최대 저항력 337.9kg이 작용한 것으로 나타났으며, 지선의 인장하중과 같은 지선장력에서는 단지 257kg의 저항력이 작용한 것으로 분석되어 중하중용 전주의 설계하중 700kg보다 매우 작은 저항력만이 작용한 것을 알 수 있다. 따라서 지선강도 설계시 보통지선에 대해서는 전주의 저항모멘트를 고려하지 않는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

<표 4> 보통지선 및 Y지선의 가력하중 이론치 및 시험치 비교

지선구분	가력하중 한계 (지선장력 4290kg시)		시험값/계산값
	이론값	시험값	
1단 보통지선	3,733kg	3,500kg	0.937
2단 Y 지선	5,878kg	3,800kg	0.646
2단/1단 비교	1.57	1.09	

<표 4>에서와 같이 1단 보통지선의 경우 시험값이 이론값의 93.7%에서 아연도강연선 장력이 인장하중 값에 도달하였으나, 2단 Y지선의 경우 시험값이 이론값의 64.6%에서 1단지선의 인장하중 값에 도달하였다. 가력하중 이론값의 경우 2단 Y지선이 1단 보통지선보다 1.57배 크지만, 시험값의 경우는 단지 1.09배 큰 것으로 나타났다.

그 이유는 전주끝부분을 가력 하였을 때 2단 Y지선 설치주의 하단지선보다 상단지선에 장력이 집중되며 이로 인하여 상단지선이 늘어나고 전주가 휨으로써 더욱 더 상단지선에 장력이 집중되기 때문인 것으로 분석된다. 따라서 2단 Y지선은 상·하단 지선설치점의 간격이 클수록 그 효과가 이론값보다 매우 작으므로 지선설치점 간격이 가능한 가깝도록 시설하여야 한다. 그러나 이 때 지선의 장력이 동일하도록 조정하여야 하나 현실적으로 시공이 매우 어렵다. 그러므로 지선은 각 하중 작용점에 해당 불평균펙장력에 견디는 1조의 지선을 시설하는 것이 바람직하다.

3.2.2 본주와 수평지선주간의 상관관계 시험결과

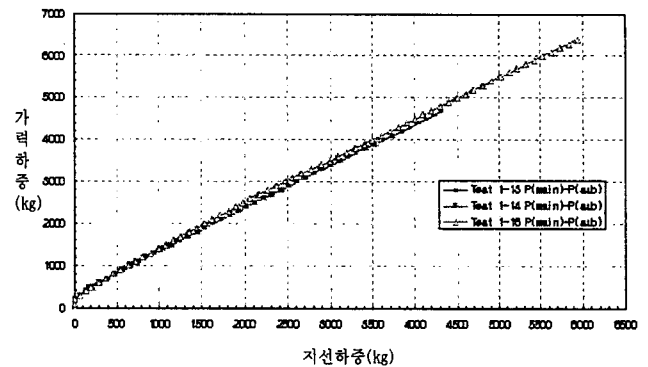
본주와 수평지선주간의 상관관계 시험결과는 아래 <표 5>와 같다. 본 시험에서는 지선의 영향을 배제하기 위하여 파단강도 10ton 이상의 강연선을 사용하였다.

<표 5> 본주와 수평지선주간의 상관관계 시험 결과표

시험전주	사용 지선	Brocken				작용점	시험구분
		하중 (kg)	지선장력 (kg)	파괴부위	변위(Top) 주전주 지선주		
일반용 16m 2본	Wire 14mm	4,000	3,630	지선주	669, 1,199	13.25	Test 14
중하중 16m 2본	Wire 14mm	4,700	4,310	지선주	825, 1,109	13.25	Test 13
고강도 16m 2본	Wire 14mm	6,400	5,940	지선주	814, 1,075	13.25	Test 16

시험 초기에는 지선주의 변위에 비하여 본주의 변위가 크나 하중이 증대됨에 따라 지선주의 휨 정도가 더 심하여지고 지선주의 균열이 발생하고, 지선주가 파단 되기 직전에 본주의 균열이 부분적으로 발생하고 곧바로 지선주가 파단 되었다.

<그림 2>에서와 같이 전주의 종류에 관계없이 본주의 가력하중과 지선의 인장력이 선형적으로 비례함을 알 수 있다.



<그림 2> 가력하중과 지선하중 비교

보통지선이 없는 수평지선주의 저항모멘트를 <표 6>과 같이 분석한 결과 지선주 파괴시 저항모멘트는 전주 저항모멘트의 2.24~2.74배의 안전율을 나타내고 있다.

<표 6> 보통지선이 없는 수평지선주의 저항모멘트

전주 종류	설계 하중 (kg)	이론값		시험결과			
		하중점 높이 (m)	전주 저항모멘트 (kg·m)	지선 높이 (m)	파괴시 지선장력 (kg)	파괴시 전주 저항모멘트 (kg·m)	안전율
일반용	500	13.25	6625	5	3630	18,150	2.74
중하중	700	13.25	9275	5	4310	21,550	2.32
고강도	1,000	13.25	13250	5	5940	29,700	2.24

시험결과 지선의 설치위치에 관계없이 전주의 저항모멘트는 거의 일정하게 작용하므로, 전주에 가력할 수 있는 하중의 크기는 하중점의 높이에 반 비례한다. 따라서 보통지선이 없는 수평지선주는 지선에 작용하는 하중, 전주의 설계하중, 전주길이 및 지선의 설치위치를 고려하여 선정하여야 한다.

4. 결 론

본 시험에서는 수직주 및 80° 경사주에 대한 강도시험과 지선장력 및 전주저항모멘트 상관관계 시험을 시행하였다. 시험결과 2°이상 휘어진 전주는 지선 보강이 필요하며, 설계시 하중 작용점에 따른 전주저항모멘트는 일정한 값을 적용하여도 됨을 확인하였다. 그리고 지선강도계산식에서 전주의 저항모멘트를 고려하지 않는 것이, Y지선보다는 각 하중 작용점에 해당 불평균펙장력에 견디는 1조 지선을 시설하는 것이 바람직하다. 또한 보통지선이 없는 수평지선주는 지선에 작용하는 하중, 전주의 설계하중, 전주길이 및 지선의 설치위치를 고려하여 선정하여야 하여야 함을 도출하였다.

본 시험결과를 활용하여 향후 설계시 적용할 보통지선 및 수평지선주 강도계산식을 연구하여 가공배전선로의 안전성을 확보하고 설비피해 예방 및 전기품질의 향상에 기여할 수 있게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 중앙교육원 배전교육팀, "지선장력 및 수평지선주 강도특성 평가를 위한 재하시험", 2005.8