

## 연약지반에 시공된 전주의 실물인장실험을 통한 수평변위분석

(Horizontal Displacement Analysis of Electric Pole from Full Scale Pull-Out Test in Softground)

안태봉\*

(Tae-Bong Ahn)

### 요 약

연약지반상에 시공하는 수많은 전주가 태풍 등의 외부하중으로 전도파괴가 발생한다. 본 연구에서는 근가위치, 근가깊이, 근가개수, 전주근입깊이 등을 달리하며 연약지반에 실물크기의 전주에 인장실험을 실시하여 전주의 수평변위분석을 실시하였다. 전주는 10개의 유형으로 나누어 실험한 결과 변위는 근가의 위치 및 수량, 전주기초의 근입깊이에 따라 뚜렷한 차이를 나타냈다. 초기하중 재하시 상부에서 굴절된 양상을 보이다 점중하중에 따라 전주의 중앙부로 굴절의 양상이 전이되었다. 근가위치는 G.L(-) 0.5[m]인 상태에서 전주기초 깊이 1.3[m]를 추가로 근입시 최대 수평변위는 약 1.6배의 감소를 보여 전주의 안정성이 증가하였다. 근가의 수는 근가 2개를 설치하는 것이 변위에 유리하나 큰 차이는 아니며 근가를 다수 설치하고 굴착면적이 커져 시공성이 떨어지는 단점이 있으므로 근가를 1개만 설치하여도 좋은 것으로 판단된다.

### Abstract

Many electric poles in the softground have been collapsed due to external load such as typhoon wind load. In this study, the location, numbers and depths of anchor blocks as well as depth of poles were varied to find horizontal displacement of poles through pull-out tests. The 10 types of tests were performed, and lateral displacements showed differences depending on location, numbers and depth of poles. The bending is generated in the upper part at the initial load, but it moved to central part as load increased. The maximum horizontal displacement decreased to 1/1.6 at -0.5[m] depth of anchor block and 1.3[m] additional laying depth of poles into ground. Two anchor blocks of poles are better than one anchor block system, but one anchor block system is recommended because difference of displacement is not too large, and constructibility is bad due to increase of excavation for anchor blocks.

Key Words : Electric Pole, Anchor Block, Pull-Out Test, Displacement

\* 주저자 : 우송대학교 철도건설환경공학과 교수

Tel : 042-629-6716, Fax : 042-629-6709

E-mail : tbahn@wsu.ac.kr

접수일자 : 2009년 7월 31일

1차심사 : 2009년 8월 3일, 2차심사 : 2009년 9월 9일

심사완료 : 2009년 9월 14일

## 1. 서론

전력수요가 지속적으로 증가함에 따라 전력공급에 필요한 전기를 공급하기 위하여 전주를 이용한 방법이 가장 널리 사용되고 있는데 국내의 전주 기시공 수량은 약 720만개(2004년 6월 기준)로 추정되고 있다. 세부적으로는 간척매립지반에 5만5천기가 사용되고 있으며 논 등 기타 연약지반으로 분류할 수 있는 지역까지 고려하면 상당히 많은 전주가 연약한 지반에 시공되고 있다. 현재까지 우리나라 간척매립지반, 농촌지역의 논 등 기타 연약지반으로 분류할 수 있는 지역까지 고려하면 상당히 많은 전주가 기초지반이 연약한 지반에 시공되고 있다. 최근에는 기상변화로 인한 태풍의 강도가 커지는 경향이 있어 전도파괴가 발생하는 사례가 크게 증가하고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다[1]. 연약지반은 일축압축강도가 작고 토립자가 느슨한 상태여서 기초로서 활용시 전주의 안정성 확보를 위하여 적절한 시공법이 필요하다. 이를 위하여 연약지반상의 전주에 작용하는 힘들과 전주시공조건, 지반특성에 대한 상세한 이해와 연구를 통하여 합리적인 전주기초시공을 할 수 있다[2]. 강우를 동반한 태풍의 풍하중이 작용시 기초지반의 연약화 및 전주노출부의 축력작용에 의해 많은 전도파괴가 발생하고 있다. 말뚝기초를 설계할 시에는 지반과 말뚝간의 상호작용을 고려한 해석이나 연구가 많지만 콘크리트전주 기초지반에 대하여는 지반공학적 응력-변형 거동 특성을 고려하지 않은 채로 시공된 사례가 많기도 하고 실무적으로 지반특성을 적용하기 위한 제반 규정이 미흡한 실정이다[3-5]. 이를 위하여 본 논문에서는 연약지반에 전주를 실물시험시공하고 계측기를 사용하여 수평방향 변위에 대한 분석을 실시하였는데 전주근입깊이, 근가의 위치 및 근가의 수를 변화시키면서 수평방향변위에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 실험방법

본 실험은 전주의 근입깊이, 근가의 위치 및 수량을 변수로 크레인을 이용하여 하중을 점증적으로 재

하하여 전주 및 기초지반의 변화를 측정하였다. 이때 하중재하 단계별로 자동계측 및 반자동계측을 실시하여 전주기초 안정성평가를 실시하였다.

전주 인장실험에 앞서 적용대상 토질특성을 파악하였다. 실험지반의 토질특성을 알기 위하여 단위중량시험(현장들밀도시험), 지층구성현황, 표준관입시험(N치), 입도분석을 실시하여 실험대상지 지반의 특성을 파악하였고 전주 인장실험 결과를 분석하였다.

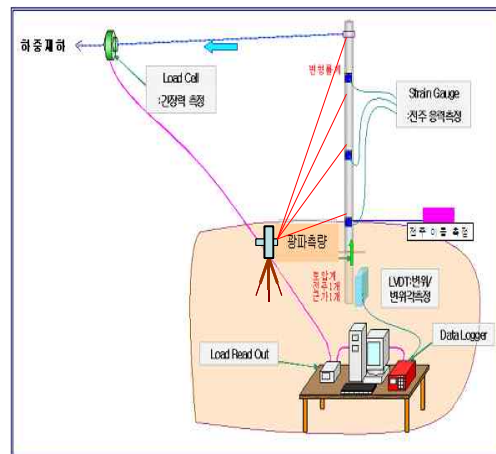


그림 1. 전주의 계측시스템  
Fig. 1. Measurement system of electric pole



그림 2. 전주 인장실험(TEST-6)  
Fig. 2. Tensile test of electric pole

본 실험은 연약지반에 시공되는 전주의 근입깊이, 근가의 위치 및 수량을 변수로 외부 하중을 통해 집중적으로 재하하여 전주 및 기초지반의 파괴점을 찾는 방법으로 이때 하중재하 단계별로 전주 및 지반 내 변형여부를 검토하는 계측을 실시하여 전주기초지반의 안정성평가를 실시하였다.

노출부전주의 경우 하중단계별 수평변위를 측정하고 변형률계는 전주가 상부로 갈수록 단면이 작아지는 변단면이므로 전주의 노출부 길이를 3등분하여 위치를 선정하였다.

토압계와 동일하게 기준을 정하는 것이 타당하여 인장방향의 전, 후면에 계측기를 부착하여 계측을 통한 기초지반의 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 전주 인장실험시 계측기 종류별 위치 및 수량을 나타냈다(그림 1).

그림 2는 현장실험을 실시하는 전경을 보여주는 모습이다. 전주시공조건(근가깊이, 근가수량증가, 전주근입깊이)에 따른 개념도는 그림 3, 4, 5와 같다. 본 연구에 필요한 실험 조건별 조건은 한국전력공사의 전주시공 조건과 같이 표 1과 같다[6]. 실험에서 사용한 콘크리트전주의 길이는 16[m]이고 설계하중은 700[kg], 밑지름은 404[mm], 끝지름은 190[mm]의 제원을 갖고 있다. 콘크리트는 240×1,200[mm]의 제원을 갖고 있는 제품을 사용하였다.

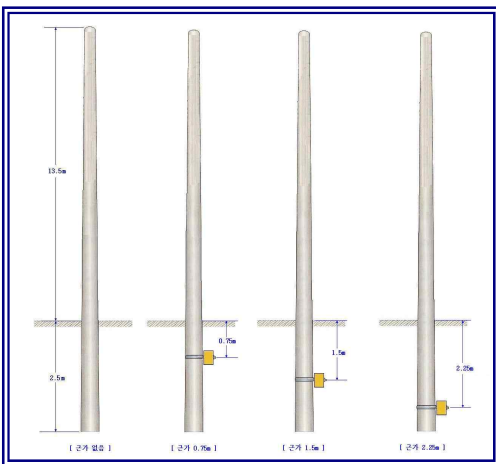


그림 3. 전주 시공 근가깊이별 실험 모식도  
Fig. 3. The schematic diagram of electric poles depending on depth of anchor block

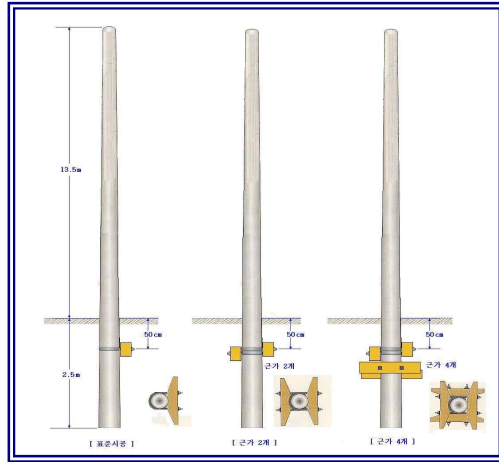


그림 4. 전주 시공 근가수량증가별 실험 모식도  
Fig. 4. The schematic diagram of electric poles depending on number of anchor block

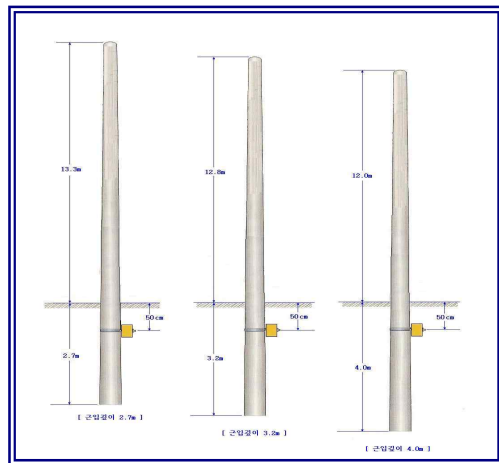


그림 5. 전주 시공 기초 근입깊이별 실험 모식도  
Fig. 5. The schematic diagram of electric poles depending on buried depth

표 1. 유형별 실험조건  
Table 1. Experimental condition types

실험유형	실험기준		
	근가깊이([m])	근가수량	전주근입([m])
TEST-1	없음	없음	2.5
TEST-2	0.75	1	2.5
TEST-3	1.5	1	2.5
TEST-4	2.25	1	2.5
TEST-5	0.75	1	2.5

연약지반에 시공된 전주의 실물인장실험을 통한 수평변위분석

실험유형	실험기준		
	근가깊이([m])	근가수량	전주근입([m])
TEST-6	0.75	2	2.5
TEST-7	0.75	4	2.5
TEST-8	0.75	1	2.7
TEST-9	0.75	1	3.2
TEST-10	0.75	1	4.0

### 3. 지반특성 및 현장실험계측기 설치

#### 3.1 지반특성

현장실험현장은 서해가 근접한 연약지반으로 공내지하수위의 경우, BH-1, 2에서 각각 G.L-0.7[m], 0.5[m]로 측정되었으며 지층구성 및 표준관입시험결과는 표 2와 같다.

표 2. 표준관입시험 결과  
Table 2. The results of SPT(Standard Penetration Test)

공변	지층	구성토질	심도(m)	N치(회/[cm])
BH-1	모래층	세립질의 모래/황갈색/보통조밀	0.0~11.0	20~22
		점토섞인 모래/황갈색/보통조밀	14.0~17.0	12~18
	점토층	실트섞인 점토/암회색/연약	1.2~ 8.0	2~4
	실트층	세립 모래섞인 실트/담회색/매우건고	11.0~14.0	15~18
	풍화토	실트섞인 모래/갈색/매우 조밀	17.0~20.0	50/17~50/12
BH-2	풍화암	실트섞인 모래/갈색	20.0~27.0	50/7~50/2
		일부구간 맥층(Core형성) 하부로 갈수록 매우조밀		
	모래층	세립질의 모래/황갈색/매우 느슨	0.0~3.2	2
		점토층	실트섞인 점토/암회색 연약~보통건고	3.2~20.0
BH-2	풍화토	실트섞인 모래/황갈색 조밀~매우조밀	20.0~26.0	42~50/17
		풍화암	실트섞인 모래/매우조밀 하부로 갈수록 매우조밀(실트질모래화)	26.0~32.0

실험대상지반의 물리적, 역학적 특성을 파악 및 통일분류법에 의한 토층분류를 실시하였으며 이에 따른 결과는 표 3과 같다.

### 표 3. 흙의 실내실험결과

Table 3. Laboratory experimental results of soils

Wn (%)	GS	Atterberg Limits		D 다짐		점착력 [kg/cm <sup>2</sup> ]	내부마찰각(°)	USCS
		LL (%)	PI (%)	Wopt (%)	vd,max			
10.6	2.62	NP	NP	13.2	1.772	0.27	26.3	SP

#### 3.2 현장실험 계측기 설치

계측 항목별 위치는 토압계의 경우에는 상부 수동영역에 3개소, 하부 수동영역에 2개소를 설치하여 토압의 크기와 주동, 수동의 영역을 구분하여야 하므로 근가 및 전주근입장의 변수와 무관하게 일관성 있도록 설치하였으며 변형률계의 경우 전주가 상부로 갈수록 단면이 작아지는 변단면이므로 전주의 노출부 길이를 3등분하여 위치를 선정하여 인장방향의 전, 후면에 계측기를 부착하였다. 전주 수평이동 측정은 지표부에 설치하여 하중에 의해 전주가 이동시 회전반경이 작은 지표부에 설치하고 광과측점의 경우 지표부를 포함하여 전주의 주철근배근에 따라 측정위치를 선정하였다.

##### 3.2.1 계측기기 항목별 수량

본 연구에서 계측수행시 사용한 계측기의 현황은 표 4와 같으며 데이터로거를 사용하여 측정하였다.

### 표 4. 계측기기별 설치 수량

Table 4. The number of measurement instruments

실험유형	측정기기 항목별 수량				
	토압계	변형률계	로드셀 (세트)	광과측량	수평이동 측정기
TEST-1	5	6	1	4	-
TEST-2	5	6	1	4	-
TEST-3	5	6	1	4	-
TEST-4	5	-	1	4	-
TEST-5	5	6	1	-	-
TEST-6	5	-	1	4	-
TEST-7	5	6	1	-	-
TEST-8	5	-	1	4	-
TEST-9	5	-	1	4	-
TEST-10	5	6	1	4	1

3.2.2 점증하중별 계측방법

단계별 점증하중에 따른 계측기별 측정방식은 표 5와 같다.

표 5. 단계하중에 따른 계측 방식  
Table 5. Measurement types of staged loading

구분	재하하중([kg])		계측기별 측정 방식	
	단순	누적	도압계 변형률계	광파측량,수평 이동측정
1단계	50	50	자동화 계측	반자동 계측
2단계	50	100		
3단계	100	200		
4단계	100	300		
5단계	100	400		
6단계	100	500		
7단계	100	600		
8단계	100	700		
9단계	50	750		
10단계	50	800		
11단계	50	850		
12단계	50	900		
13단계	50	950		
14단계	50	1,000		

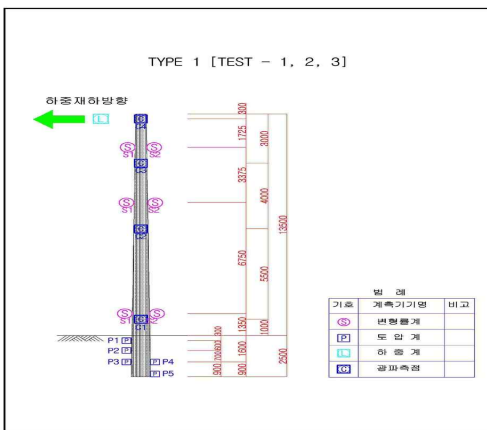


그림 6. 실험조건별 계측기 설치사례도(TEST-1, 2, 3)  
Fig. 6. Example of Measurement instrumentation (TEST-1, 2, 3)

TEST-5, 10번의 경우에는 전주의 절순시까지 점증하중을 재하하였으며 파괴하중은 약 1,400[kg]의

로 측정되었다. 한편 파괴지점은 각각 중앙부와 지표부근으로 나타났다. 실험 조건별 계측기기 설치는 그림 6에 나타난 바와 같이 설치하였다.

4. 실험결과 및 분석

하중재하 단계별 전주재료의 변형특성을 파악하기 위해 노출된 전주에 일정한 간격으로 광파목표점을 부착하여 광파측정기를 이용하여 하중의 재하단계별로 전주의 수평변위를 측정하였다. 그림 7은 하중이 증가함에 따라 전주의 수평변위를 나타낸다. 그림 7과 같이 최대하중 1,000[kg] 하중재하시 전주 최상부점의 수평변위 크기는 Test-4, 1, 3, 2, 8, 6, 9, 10번 순으로 나타났다. 따라서 점증하중별 전주기초에 미치는 영향과 전주 수평변위와의 상관관계가 성립됨을 파악할 수 있다.

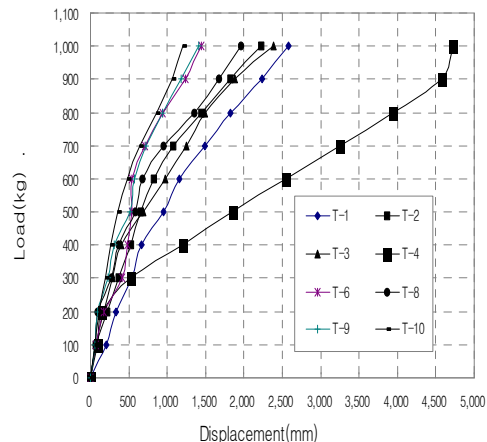


그림 7. 전주수평변위(전주 최상부)  
Fig. 7. Horizontal displacement of electric pole (at top)

수평재하중은 1,000[kg]까지 총 14단계로 분산하여 점증적으로 실시하였으며 그림 8은 설계하중 700[kg] 하중재하시 전주 각 위치별 수평변위를 나타냈으며 변위크기는 Test-4, 1, 3, 2, 8, 6, 9, 10번 순으로 크다.

그림 9의 전주의 하중-수평변위(P-D curve)는 지표부(G.L+1[m])의 점증하중 재하별 전주수평변위를 나타내는데 최대하중 1,000[kg] 재하중시 변위 크기

연약지반에 시공된 전주의 실물인장실험을 통한 수평변위분석

는 Test-4, 1, 3, 8, 2, 6, 9, 10번의 순으로 그림 7의 전주 최상부점의 수평변위 크기순과 동일하다.

전주의 절손점을 파악하기 위해 2개의 전주에 재하중을 점증시킨 결과 약 1,400[kg]에서 절손되었다. 실험 전주의 설계하중이 700[kg]인 것을 감안하면 설계하중의 약 200[%]를 발휘하는 것이나 실제 기시공된 전주의 경우 재료의 노후화, 크리프, 외기 노출로 대기 오염물로 인한 산화작용 등을 감안할 때 현 설계하중 700[kg]이 타당한 것으로 판단한다.

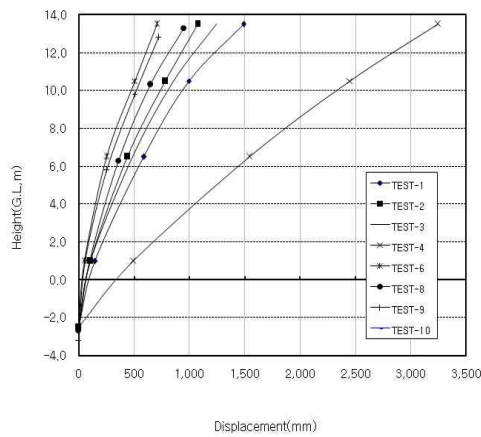


그림 8. 설계하중(700(kg)) 재하시 전주수평변위  
Fig. 8. Horizontal displacement of electric pole at design load(700(kg))

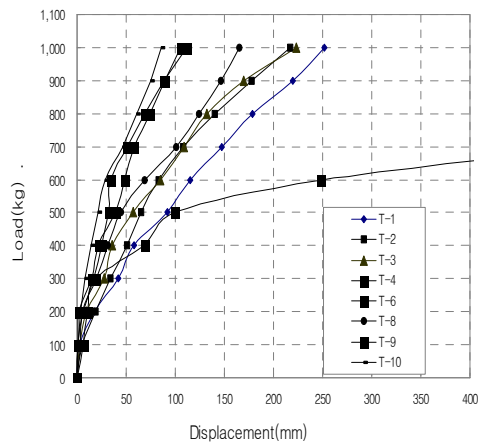


그림 9. 전주수평변위(지표부 상부 1(m))  
Fig. 9. Horizontal displacement of electric pole (at 1(m) above ground)

따라서 본 실험을 통한 분석은 상대적으로 외부조건에 기인하지 않고 계측에 대한 변수가 적은 전주 수평변위를 중심으로 설계하중 700[kg]을 기준으로 토압계, 변형률계를 상호 조합하여 분석하였다.

#### 4.1 근가위치에 따른 전주수평변위

근가 위치별 전주 인장실험은 전주기초 근입깊이를 G.L(-) 2.5[m]로 동일시하고 근가 위치를 변경시키는 방법으로 TEST-2의 경우 G.L(-) 0.75[m], TEST-3의 경우 G.L(-) 1.5[m] TEST-4의 경우 G.L(-) 2.25[m]에 위치하고 점증하중 단계별로 전주의 높이별 측점을 선정하여 전주의 이동량을 측정하였다. 전주 최대 수평변위는 TEST-2, 3, 4번의 경우 최상부에서 각각 222[cm], 239[cm], 472[cm]를 기록했고 지표부에서 각각 21.7[cm], 22.3[cm], 75.6[cm]로 측정되었다. TEST-4의 경우 TEST-2와 비교하여 변위가 상부에서 약 2.13배의 변위 증가를 보였고 지표부에서 3.48배의 증가를 보여 근가 위치는 하부로 갈수록 불리하게 나타났다. 전주 시공여건이 TEST-4의 경우 근가를 하부에 설치하기 위해 오거보링 후 장비를 동원한 굴착이 불가피하고 되메우기 실시로 원지반의 전단강도 저하에 따라 변위가 가중된 것으로 판단될 수 있다.

##### ① TEST-2(T-2)

그림 10은 점증하중대비 수평변위이며, TEST-2의 전주 위치별 계측기 지점별 수평변위를 나타냈다. 그림 11은 하중재하 단계별 전주(TEST-2) 수평방향변위이며 재하하중 400[kg]까지는 상부에서 굴절된 양상을 보이다 재하하중 500[kg] 이후 전주의 중앙부로 굴절의 양상이 전이되었다. 이는 재료자체의 상부로 작아지는 변단면의 특성과 하중전달 위치가 최상부로서 초기하중시 재료의 상부에서 하중을 분담하다 재하하중 응력이 점차적으로 재료 전체에 전이되는 양상으로 판단된다. 시공 조건은 전주근입깊이 2.5[m], 근가수량은 1개, 근가 위치는 G.L(-) 0.75[m]이다.

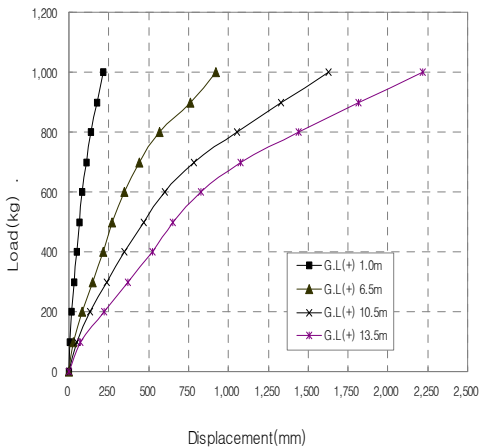


그림 10. 계측기위치에 따른 수평변위(TEST-2)  
Fig. 10. Horizontal displacement of electric pole depending on instrument location(TEST-2)

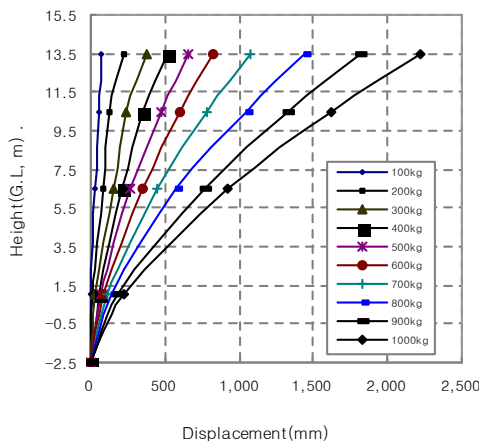


그림 11. 점중하중에 따른 전주 수평변위(TEST-2)  
Fig. 11. Horizontal displacement of electric pole depending on staged loading(TEST-2)

② TEST-3(T-3)

그림 12는 하중재하 단계별 전주(TEST-3)의 횡변위이며 초기에는 상부 6.5[m] 부근에서 굴절된 그래프를 보이고 있다. 시공사양은 전주근입 2.5[m], 근가 수량은 1개 위치는, G.L(-) 1.5[m]이다.

그림 13은 점중하중대비 수평변위이고 TEST-3의 전주 위치별 계측기 위치에 따른 수평변위를 나타낸 것으로 재하중 500[kg]시 상부변위에서 증가가 가속되는 것을 보이고 상대적으로 전주 저부는 변위가 둔화된 양상으로 볼 때 근가의 위치가 양호한 것

으로 판단된다.

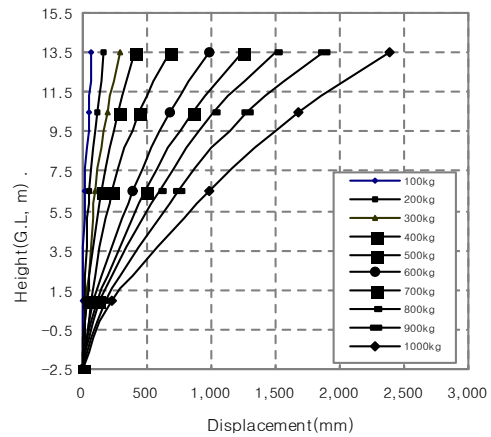


그림 12. 점중하중에 따른 전주 수평변위(TEST-3)  
Fig. 12. Horizontal displacement of electric pole depending on staged loading(TEST3)

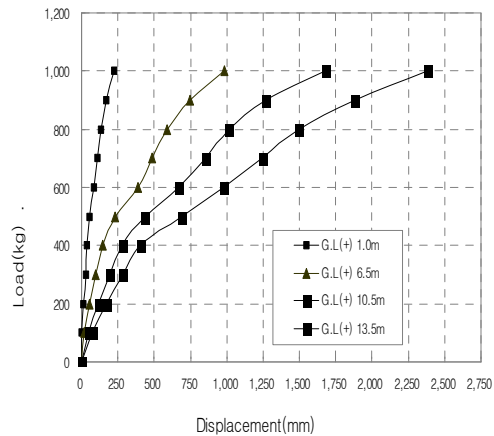


그림 13. 계측기위치에 따른 수평변위(TEST-3)  
Fig. 13. Horizontal displacement of electric pole depending on instrument location (TEST-3)

③ TEST-4(T-4)

그림 14는 전주의 위치에 따라서 점중하중대비 수평변위를 나타냈고, 그림 15는 하중재하단계별 전주 (TEST-4) 수평변위이다. 수평변위는 하중 500[kg] 이후 소성변형의 형태를 나타내고 있다. 전주시공은 전주근입 2.5[m], 근가 수량은 1개, 위치는 G.L(-) 2.25[m]이다.

연약지반에 시공된 전주의 실물인장실험을 통한 수평변위분석

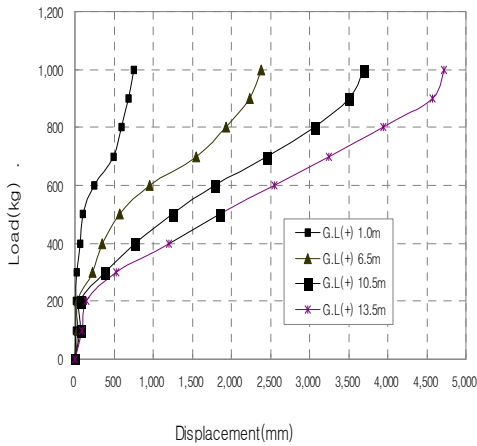


그림 14. 계측기 위치에 따른 수평변위(TEST-4)  
Fig. 14. Horizontal displacement of electric pole depending on instrument location (TEST-4)

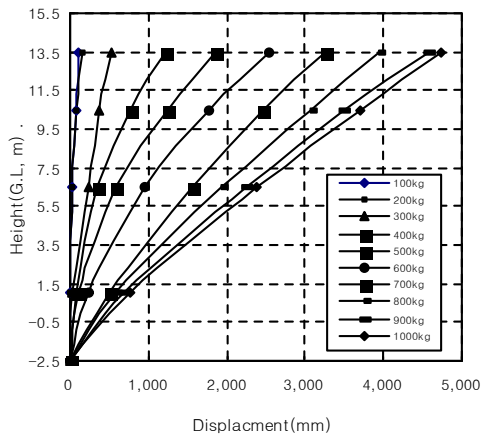


그림 15. 점증하중에 따른 전주 수평변위(TEST-4)  
Fig. 15. Horizontal displacement of electric pole depending on staged loading(TEST-4)

본 실험(TEST-4)의 경우 타 사양에 비교하여 근가설치를 위해 불가피하게 굴착 작업이 광범위하게 이뤄졌으며 근가 설치후 되메우기 및 다짐작업을 하여 점증하중별 전주실험이 이뤄졌다. 한편 점증하중 1,000[kg]시 전주 최상부점에서 전주수평변위는 약 4.7[m]로 가장 큰 값을 나타냈으며 근가 위치별 실험중변위가 작은 TEST-2의 수평변위는 최대 2.2[m]로 변위에 비하여 약 213%에 해당된다. 이는 상기와 같이 굴착으로 인한 되메우기로 주변지

반이 교란되어 흙의 전단강도 저하와 근가위치가 하부에 있어 지반내 상부층 수동저항력이 감소된 것으로 판단된다.

#### 4.2 근가수량에 따른 전주수평변위

##### ① TEST-1(T-1)

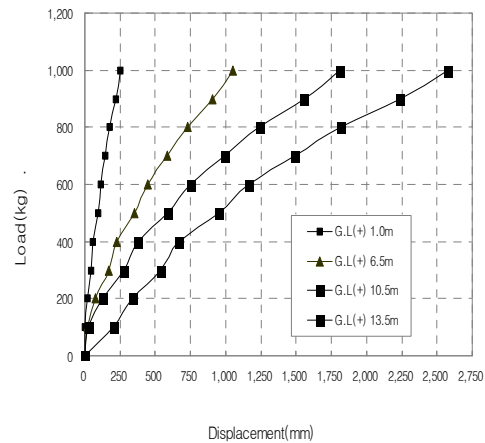


그림 16. 계측기 위치에 따른 수평변위(TEST-1)  
Fig. 16. Horizontal displacement of electric pole depending on instrument location (TEST-1)

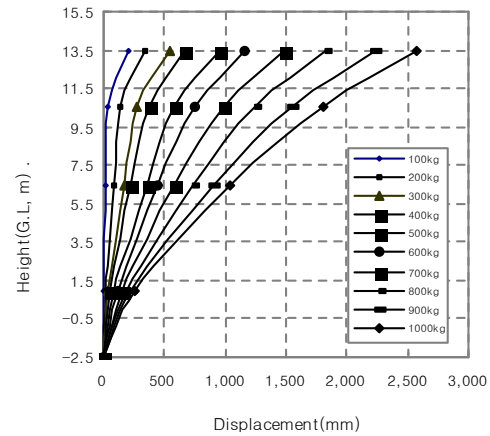


그림 17. 점증하중에 따른 전주 수평변위(TEST-1)  
Fig. 17. Horizontal displacement of electric pole depending on staged loading(TEST-1)

그림 16는 점증하중대비 수평변위이고 TEST-1의 전주 위치별 계측기 위치에 따른 수평변위를 나



타낸 것이다. 그림 17은 하중재하 단계별 전주 TEST-1의 수평변위이며 초기에는 상부(10.5[m] 부근)에서 굴절된 양상을 보이며 시공조건은 기초 근입 2.5[m], 근가는 없는 상태이다. T-1의 경우 근가 1개소, T-6의 경우 2개의 근가를 설치하였다. 근가 1개소와 2개소를 구분하여 최대변위로 보면 최상부에서 257.6[cm], 144.8[cm]를 기록해 56.2[%] 변위가 감소됨을 보였고 지표부는 252[cm], 112[cm]를 기록해 44.4[%] 수평변위의 감소효과가 있는 것으로 나타났다.

② TEST-6(T-6)

그림 18은 하중재하 단계별 전주(TEST-6) 수평 변위이다. 시공조건은 전주근입 G.L(-)2.5[m], 근가 수량은 2개, 위치는 G.L(-) 0.5[m]이다. 근가수량에 따라 실험중 가장 변위가 작게 나타났다. 변위는 재하중 700[kg]까지 전주높이 6.5[m]에서 굴절되었고 이후 점차적으로 하중분담이 전체적으로 전이되는 양상을 나타냈다.

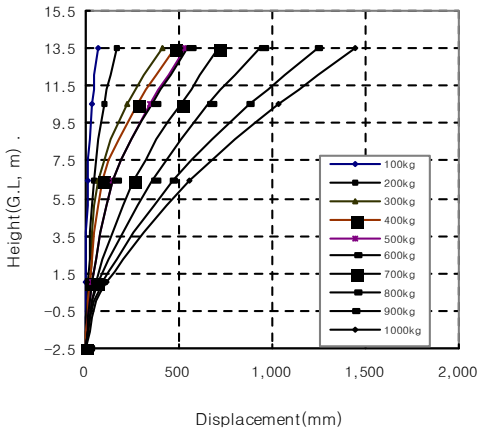


그림 18. 점중하중에 따른 전주 수평변위(TEST-6)  
Fig. 18. Horizontal displacement of electric pole depending on staged loading(TEST-6)

그림 19는 점중하중대비 수평변위이고 TEST-6의 전주에 설치된 계측기 우;c)에 따른 수평변위를 나타낸 것이며 G.L(+ ) 1[m] 부근에서 타 사양 대비 안정적인 수평변위를 나타내고 있으며 TEST-1의 경우 약 300[kg] 재하중시 변위속도가 가속화된 것

에 비해 본 사양은 600[kg] 이후 변위속도가 가속되고 있는 것을 보이고 있어 근가수량이 2개소로 증가 시 지반내 탄성한계는 약 2배로 발휘되는 것으로 판단된다.

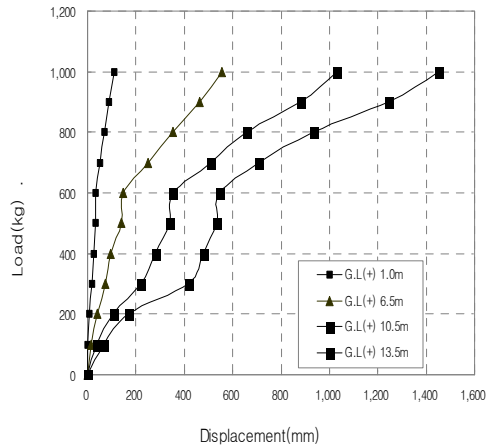


그림 19. 계측기위치에 따른 수평변위(TEST-6)  
Fig. 19. Horizontal displacement of electric pole depending on instrument location (TEST-6)

4.3 근입깊이에 따른 전주 수평변위

전주기초 근입깊이에 따른 수평변위실험 조건은 근가위치를 G.L(-) 0.5[m]로 동일시하고 기초 근입 길이를 G.L(-) 2.7[m](TEST-8), G.L(-) 3.[mm] (TEST-9), G.L(-) 4.0[m](TEST-10) 변화시켜 점중하중 각 단계별로 전주높이별 이동량을 측정하였다. 실험결과 근입깊이가 커질수록 수평변위감소를 나타냈고 근입장 1.3[m]를 추가로 근입시 최대 수평변위는 120.0[cm]로 약 1.6배의 감소효과를 나타냈다.

① TEST-8(T-8)

그림 20은 전주근입깊이를 변경하였고 근입깊이 G.L(-) 2.7[m], 근가수량은 1개 위치는 G.L(-) 0.5[m]인 상태의 실험결과이다. 그림 21은 전주지점별 점중하중대비 수평변위를 나타냈다. 전주실험조건은 TEST-2의 지표면 상부 1[m](G.L(+ ) 1[m])의 전주 수평변위 대비 뚜렷한 차이는 없었으나 토압분

연약지반에 시공된 전주의 실물인장실험을 통한 수평변위분석

포도로 하부 수동영역 구간이 커짐으로 볼 때 전주 근입깊이가 깊을수록 전주 기초 안정성에 효과가 있는 것으로 판단된다.

전주에 설치된 계측기위치에 따른 수평변위를 나타낸 것이다.

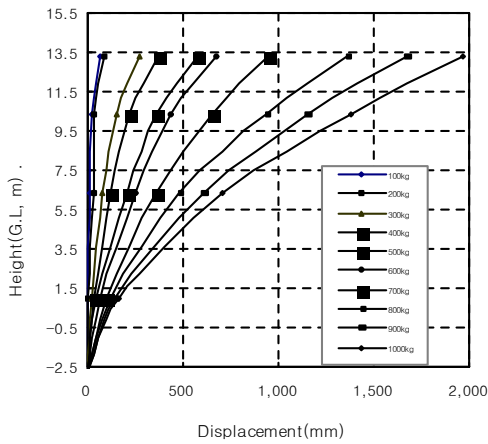


그림 20. 점증하중에 따른 전주 수평변위(TEST-8)  
Fig. 20. Horizontal displacement of electric pole depending on staged loading(TEST-8)

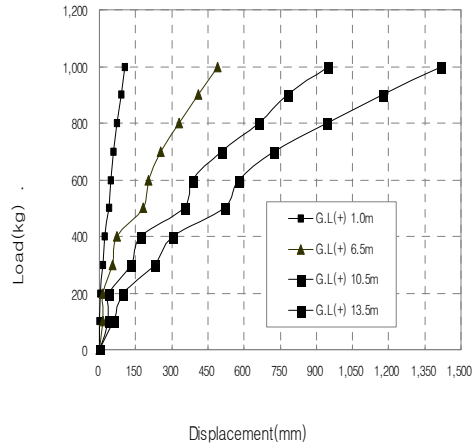


그림 22. 계측기위치에 따른 수평변위(TEST-9)  
Fig. 22. Horizontal displacement of electric pole depending on instrument location (TEST-9)

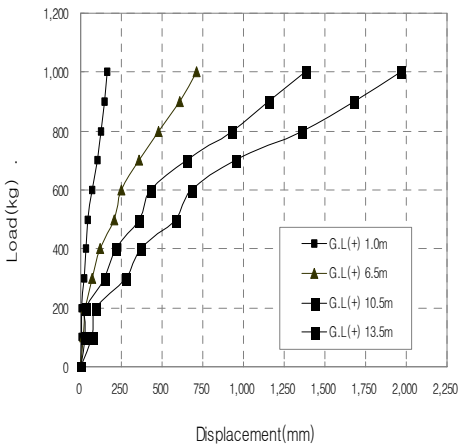


그림 21. 계측기위치에 따른 수평변위(TEST-8)  
Fig. 21. Horizontal displacement of electric pole depending on instrument location (TEST-8)

재하중 1,000[kg]시 최대 수평변위는 141.6[cm]를 나타냈다. TEST-8 대비하여 근입깊이 0.5[m] 깊게 설치한 상태에서 수평변위는 약 1.4배의 감소효과를 나타냈다.

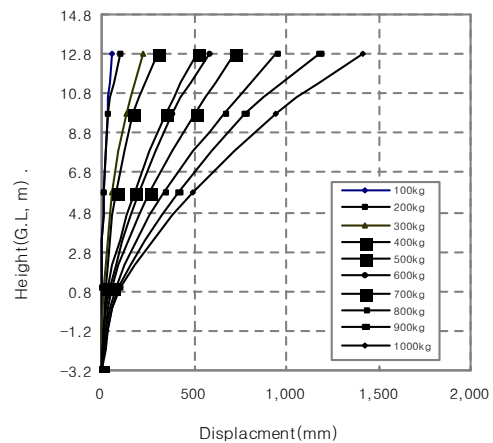


그림 23. 점증하중에 따른 전주 수평변위(TEST-9)  
Fig. 23. Horizontal displacement of electric pole depending on staged loading(TEST-9)

② TEST-9(T-9)

그림 22는 전주근입깊이를 3.2[m], 근가수량은 1개, 위치는 G.L(-) 0.5[m]인 상태이다. 전주 수평변위는 전주 근입깊이가 클수록 변위가 감소되고있다. 그림 23은 점증하중 대비 수평변위이고 TEST-9의

③ TEST-10(T-10)

그림 24는 점증하중에 따른 전주의 수평변위를 나타내고 그림 25는 전주 근입깊이 G.L(-) 4.0[m], 근가수량은 1개, 근가위치는 G.L(-) 0.5[m]인 전주 실험이다. 전주안정성 실험중 이 조건의 전주수평변위가 가장 작게 나타났으며 절손시험을 실시한 결과 1,398[kg]의 하중에서 파괴되었으며 절손된 위치는 지표부로 나타났다.

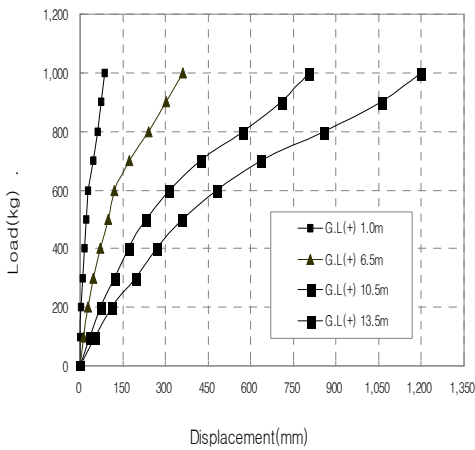


그림 24. 계측기위치에 따른 수평변위(TEST-10)  
Fig. 24. Horizontal displacement of electric pole depending on instrument location (TEST-10)

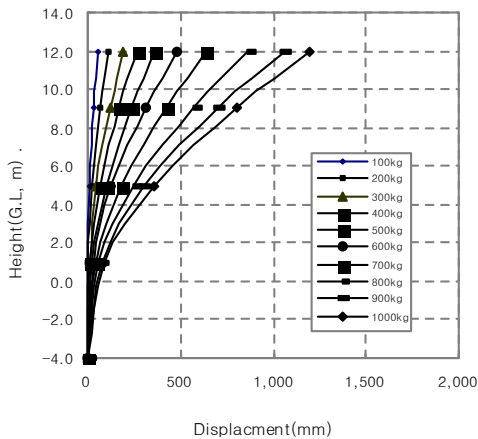


그림 25. 점증하중에 따른 전주 수평변위(TEST-10)  
Fig. 25. Horizontal displacement of electric pole depending on staged loading(TEST-10)

수평변위가 가장 작고 절손된 위치가 지표부인 것으로 볼 때 근가의 위치, 전주 기초 근입장의 시공 사양이 기초안정성에 효과가 큰 것으로 판단된다.

그러나 본 사양의 시공성에 대한 문제점은 연약지반에 오거보링시 공벽의 유지가 곤란한 문제점이 있다. 따라서 오거보링시 분리형 케이싱을 활용하여야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

연약지반에 실물크기의 전주를 시험시공하여 지중에 작용하는 토압, 전주의 변위, 전주에 작용하는 응력 등을 변형률계, 토압계, 광과측정기를 이용하여 실물계측을 실시하였다. 전주는 10개의 유형으로 시험시공하였는데 근가의 위치 및 수량을 변경하였고 전주의 근입깊이를 변경하며 수평변위를 중심으로 분석하였는데 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전주의 변위는 상부로 갈수록 수평변위가 크게 측정되었으며 근가의 위치 및 수량, 전주기초의 근입깊이별로 뚜렷한 차이를 나타냈다. 전주 전체 변위크기순은 Test-4, 1, 3, 2, 8, 6, 9, 10번 순이고 지표부의 변위크기순과 동일하다. 따라서 재하중별 전주기초에 미치는 영향과 전주수평변위와 비례관계가 성립한다.
- 2) 초기하중 재하시 상부에서 굴절된 양상을 보이다 점증하중에 따라 전주의 중상부로 굴절의 양상이 전이되었다. 이는 재료 자체의 상부로 작아지는 변단면의 특성과 하중전달 위치가 최상부로서 초기하중시 재료의 상부에서 하중을 분담하다 재하하중 응력이 점차적으로 재료 전체에 전이되는 양상으로 판단된다.
- 3) 근가위치는 G.L(-) 0.5[m]인 상태에서 전주 기초 깊이 1.3[m]를 추가로 근입시 최대 수평변위는 약 1.6배의 감소를 보여 전주 기초근입 깊이가 클수록 전주 기초 안정성이 증대되었다
- 4) TEST-4의 경우 재하하중 500[kg] 이후 수평변위가 가속화된 변위를 보였으며, 다른

## 연약지반에 시공된 전주의 실물인장실험을 통한 수평변위분석

유형보다 수평변위가 매우커서 근가를 깊이 설치하는 것은 바람직하지 않은 것으로 나타났다.

- 5) 근가의 수를 1, 2, 4개로 변화시켜 측정한 결과 1개와 2개의 경우에는 근가 2개를 설치하는 것이 변위에 유리하나 전체적으로 볼 때 큰 차이가 없었다. 근가를 다수설치하고 굴착면적이 커져 시공성이 떨어지는 단점이 있으므로 근가를 1개만 설치하여도 좋은 것으로 판단된다.

### References

- [1] 손명윤 임중석, 점성토에 설치된 콘크리트 전주지반의 수평방향지지력, 대한토목학회 학술발표회, 2004.
- [2] 안태봉, 배전용 콘크리트전주 기초지반의 횡방향변위 분석, 한국조명전기설비학회 논문집, Vol. 23, No.5 pp. 42~49, 2009.
- [3] White, D. J., Thompson, M. J., Suleiman, M.T and Schaefer, V. R. "Behavior of Slender Piles Subject to Free-Field Lateral Soil Movement", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 134, No. 4, pp. 428-436, April 2008.

- [4] Rajashree, S. S., Sitharam, T. G., "Nonlinear Finite-Element Modeling of Batter Piles under Lateral Load", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No. 7, pp. 604-612, 2001.
- [5] Chen, S. L. and Chen, L. Z. "Note on the Interaction Factor for Two Laterally Loaded Piles", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 134, No. 11, pp. 1685-1690, 2008.
- [6] 한국전력공사, "지반상태별 콘크리트전주 기초의 안전성 확보방안 최종보고서", 2004.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 안태봉 (安泰鋒)

1963년 2월 4일생. 1985년 한양대학교 토목공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(석사). 1991년 5월 미국 텍사스 오스틴 대학교 졸업(석사). 1995년 12월 미국 아리조나 대학교 졸업(박사). 1996년 한국건설기술연구원 재직. 1998년 5월 토질 및 기초기술사 취득. 1999년 9월~현재 우송대학교 교수.