

## 전주의 실물인장시험시 토압계를 이용한 수평토압분석

(Horizontal Stress Analysis of Electric Pole using Earth Pressure Cell from Mock-Up Tension Test)

안태봉\*

(Tae-Bong Ahn)

### 요 약

연약지반에 시공하는 많은 콘크리트전주가 외부하중으로 전도파괴가 발생하는데 본 연구에서는 실물인장시험을 실시하고 근가위치, 근가깊이, 근가개수, 전주근입깊이를 달리하면서 전주에 작용하는 수평토압을 분석하였다. 실물시험은 10가지 종류로 나누어 시험한 결과 수평토압은 전주 근입깊이가 클수록 커지고 하부수동영역이 길어지는 것으로 나타났다. 근가 설치위치가 깊을수록 하부수동영역 토압이 감소된다. 근가의 수를 4개 설치한 것이 G.L.-0.9[m] 위치에서의 토압을 크게 줄였는데 이는 수직으로 80[cm]정도에 걸쳐 설치된 근가의 영향으로 판단되나 전체적으로 볼 때 근가의 수는 큰 차이가 없으며 근가를 다수 설치하면 굴착면적이 커져 되메우기 등 시공성이 떨어지는 단점이 있으므로 근가를 1개만 설치하여도 좋은 것으로 판단된다.

### Abstract

Many electric poles in the softground have been collapsed due to external load. In this study, 10 types of tests were performed with variation of location, numbers and depths of anchor blocks as well as depth of poles to find horizontal earth pressure through full scale pull-out tests. The horizontal earth pressure increased with embedded depth of electric pole, and earth pressure of lower passive zone decreased. The deeper of anchor block, earth pressure of passive zone becomes less. 4 anchor blocks decreased earth pressure at G.L.-0.9[m]. It is considered that 4 anchor blocks installed along 80[cm] vertically are main reason. Overall, when more anchor blocks are constructed, excavation area is large, and constructivity such as backfill is bad, therefore one anchor block would be preferred.

Key Words : Electric Pole, Anchor Block, Pull-Out Test, Horizontal Earth Pressure

\* 주저자 : 우송대학교 철도건설환경공학과 교수  
Tel : 042-629-6716, Fax : 042-629-6709  
E-mail : tbahn@wsu.ac.kr  
접수일자 : 2010년 3월 25일  
1차심사 : 2010년 3월 27일  
심사완료 : 2010년 4월 22일

## 1. 서 론

전력수요가 지속적으로 증가함에 따라 전력공급에 필요한 전기를 공급하기 위하여 전주를 많이 사용하고 있다. 전주를 시공할 시에는 일본전기협회의 수평 지지력공식을 이용하여 규정대로 시공하고 있지만 강우를 동반한 태풍에 의한 풍하중이 작용시 기초지반의 연약화 및 전주노출부의 축력작용에 의해 많은 전도파괴가 발생하고 있다[1]. 말뚝기초를 설계할 시에는 지반과 말뚝간의 상호작용을 고려한 해석이나 연구가 많다[2-4]. 콘크리트전주기초지반에 대하여는 지반공학적 응력-변형 거동 특성을 고려하지 않은 채로 시공된 사례가 많기도 하고 실무적으로 지반특성을 적용하기 위한 제반 규정이 미흡한 실정이다[1,5-7]. 이를 위하여 본 논문에서는 연약지반에 전주를 실물 시험시공하고 계측기를 사용하여 수평방향으로 작용하는 토압에 대하여 전주근입깊이, 근가의 위치 및 근가의 수를 변화시키면서 수평토압에 미치는 영향을 분석하였다. 전주기초지반에 작용하는 수평토압을 분석하면 연약지반상의 전주에 작용하는 힘들과 전주시공조건, 지반특성에 대한 상세한 이해와 연구를 통하여 합리적인 전주기초시공을 할 수 있을 것으로 사료된다[2-3]. 즉 지반내에 작용하는 토압을 분석하여 지반내에서 전주의 전도나 전주지반기초의 파괴로 인한 전주의 붕괴를 방지하기 위한 설계의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 연구방법

본 실험은 전주의 근입깊이, 근가의 위치 및 수량을 변화시키면서 전주에 인장하중을 점증적으로 재하하여 전주 및 기초지반의 응력의 변화를 측정하였다.

전주 인장시험에 앞서 시험지반의 토질특성을 알기 위하여 현장들밀도시험, 지층구성현황, 표준관입시험(N치), 입도분석을 실시하여 지반의 특성을 분석하였다. 토압계의 위치는 주동영역과 수동영역에 설치하여 토압의 크기를 측정하였으며 주동, 수동의 영역을 구분하여 설치하였다. 여기서 주동은 횡토압으로 정지상태에서 토압이 감소되는 영역이고 수동은 토압이

증가하는 영역을 나타낸다.

토압계의 총수량은 50개를 사용하였고 전주지반의 하중재하별 거동특성을 분석하기 위하여 본당 5개소를 설치하였다. 이 때 주동영역과 수동영역을 구분하기 위해 하중재하방향으로 3개소, 배면방향으로 2개소를 설치하여 재하중별 전주지반내 토압을 산정하였다. 전주근입장이 다른 경우들에도 주동영역과 수동영역의 합리적인 비교를 위하여 근가 및 전주근입장의 변수와 무관하게 계측기의 설치위치는 전주의 일정한 위치에 설치하여 시험하였다.

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	0.50	1	2.5
TEST-6	0.50	2	2.5
TEST-7	0.50	4	2.5
TEST-8	0.50	1	2.7
TEST-9	0.50	1	3.2
TEST-10	0.50	1	4.0



그림 1. 전주 인장시험  
Fig. 1. Tensile test of electric pole

실험에서 사용한 콘크리트전주의 길이는 16[m]이고 설계하중은 700[kg], 밑지름은 404[mm], 끝지름은 190[mm]으로 상부로 갈수록 단면이 작아지는 변단면이다. 콘크리트근가는 240[mm]× 1,200[mm]의 제품을 사용하였다[6].

본 연구에서 수행한 시험 조건별 전주시공 조건은 표 1과 같고 같이 전주근입깊이, 근가위치 등을 변화시키며 전주인장실험을 실시하였다(그림 1).

### 3. 지반특성 및 시험 계측기 설치

#### 3.1 지반특성

실험현장의 공내지하수위 측정공 2곳의 지하수위는 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)

공번	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	모래층	세립질의 모래/황갈색/매우 느슨	0.0~3.2	2
		실트섞인 점토/암회색 연약~보통건고	3.2~20.0	2~8
	풍화토	실트섞인 모래/황갈색 조밀~매우조밀	20.0~26.0	42~50/17
	풍화암	실트섞인 모래/매우조밀	26.0~32.0	50/6~50/2
		하부로 갈수록 매우조밀(실트질모래화)		

실험대상지반의 물리적, 역학적 특성과 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> )	내부마찰 각(0)	USCS
		LL (%)	PI (%)	Wopt (%)	yd,max			
10.6	2.62	NP	NP	13.2	1.772	0.27	26.3	SP

#### 3.2 현장시험 계측기 설치

토압계의 위치는 토압계의 경우에는 상부수동영역에 3개소, 하부수동영역에 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.

하중재하 단계별 전주기초에 미치는 토압을 산정하여 최적의 시공조건을 구하기 위해 전주 기초부에 토압계 5개소에 설치하였다. 토압계 설치위치는 수동영역인 하중재하방향으로 G.L(-)0.3[m], G.L(-)0.9[m], G.L(-)1.6[m]에 각 1개소를 설치하였고 주동영역인 하중재하 방향 배면측으로 G.L(-)1.6[m], G.L(-)2.5[m]에 각 1개소를 설치하였다. 이들 5개의 토압계를 각각 기호 P1, P2, P3, P4, P5로 정하였다. 또한 전주근입깊이에 따라 TEST-8, 9, 10번의 경우 재하방향측의 토압계 설치위치는 상기와 동일하고 재하방향 배면측에 설치한 토압계 위치는 TEST-8의 경우 G.L(-)1.8[m], G.L(-)2.7[m]에 각 1개소를 설치하였고 TEST-9는 G.L(-)2.3[m], G.L(-)3.2[m], TEST-10의 경우 G.L(-)3.1[m], G.L(-)4.0[m]에 각각 1개소를 설치하였다. 전주기초 깊이별, 근가 위치 및 수량을 변경하면서 전주시공을 하였다.

실험유형별 조건중 TEST-2와 TEST-5는 현재 실

무에서 적용하는 조건으로 같은 실험을 두 번 반복하여 정확성을 얻고자 하였다.

#### 4. 실험결과 및 분석

TEST-6의 경우 재하하중 700[kg]일 때 상부수동영역에서 1.58[kg/cm<sup>2</sup>]을 나타내었고 지반내 하부수동영역에서는 1.35[kg/cm<sup>2</sup>]을 나타냈다(그림 2). 전주 전체 토압의 크기 순서는 재하방향측 수동영역에서 TEST-4, 5, 2, 6, 3, 8, 9, 10, 7순이고 재하방향 배면측 수동영역은 TEST-7, 6, 10, 3, 9, 5, 2, 1, 4번 순으로 나타났다.

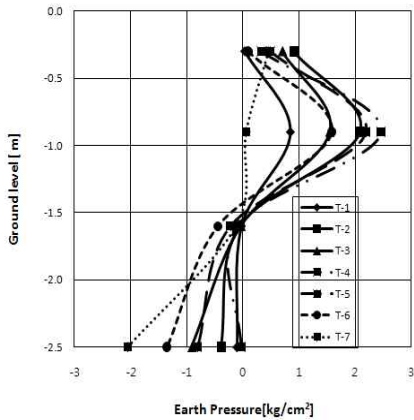


그림 2. 시험유형별 전주지반에 발생하는 토압분포  
Fig. 2. Horizontal earth pressure of various types of tests

#### 4.1 전주근입깊이별 발생하는 토압분포

그림 3은 시험유형별 전주지반에 발생하는 토압분포(재하하중 700[kg] 기준)를 나타낸 것으로 TEST-8, 9의 경우 TEST-10보다 상대적으로 토압이 크게 측정되었다. TEST-8의 경우 주동토압이 가장 크게 측정되었고 TEST-10이 수동토압이 큰 것은 전주의 근입깊이가 깊은 것이 영향을 주어서 변위에 저항하려는 경향이 가장 강하기 때문인 것으로 보인다.

그림 3과 같이 전주 근입깊이가 클수록 토압의 양상이 비례함과 하부 수동영역이 길어짐을 보이고 있다[3].

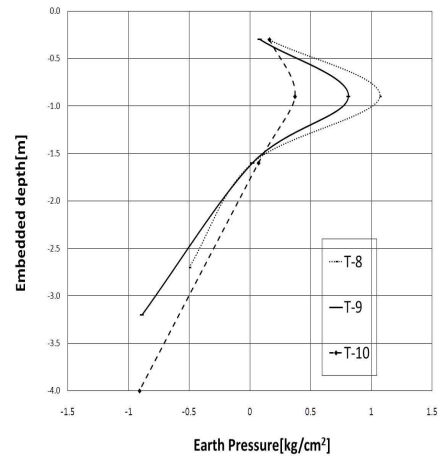


그림 3. 전주 근입깊이별 토압분포(700[kg]하중 기준)  
Fig. 3. Horizontal earth pressure with embedded depth of electric pole(700[kg] load)

#### 4.2 시험유형별 하중재하단계에 따른 토압분포

##### 4.2.1 TEST-1의 토압분포

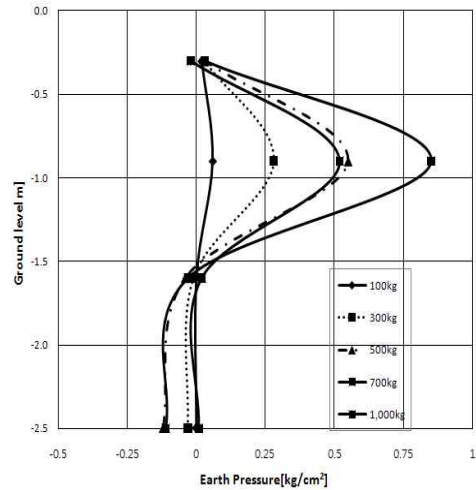


그림 4. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-1)  
Fig. 4. Horizontal earth pressure with loads of TEST-1

Test-1의 경우에는 그림 4의 주동영역에서 보는바와 같이 재하중이 증가함에 따라 700[kg] 이후 토압은 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다. 근가가 없는 경우의 시험인 Test-1의 경우에는 재하하중 1,000[kg]

에서는 변위가 발생하여 수평토압은 감소하는 것으로 판단된다.

#### 4.2.2 TEST-2의 토압분포

TEST-2의 경우에 그림 5의 수동영역에서 보는바와 같이 재하중이 증가할수록 토압이 증가하는 것으로 나타났으며 아래부분의 수동영역과 P2의 위치에서는 재하중이 증가할수록 토압이 크게 측정되었다. Test-1과는 다르게 재하중 1,000[kg]에서 토압이 계속 증가하는데 근가가 변형에 저항하여 토압이 증가하는 것으로 판단된다.

시험유형별 하중단계의 분포에 관한 실험결과에서는 TEST-5의 조건은 TEST-2와 같은 조건이므로 별도로 표현하지 않는다.

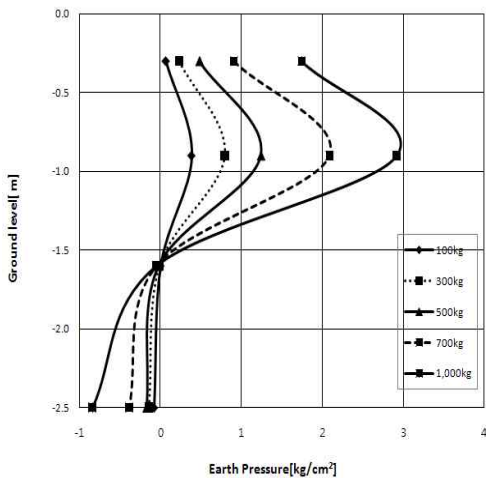


그림 5. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-2)  
Fig. 5. Horizontal earth pressure with loads of TEST-2

#### 4.2.3 TEST-3의 토압분포

그림 6의 경우에도 수동영역으로 판단되는 지역에서 재하중이 증가할수록 토압이 증가하였다.

TEST-2의 경우와 비교하면 지반내 재하중 배면 방향으로 P5의 위치에서 토압이 증가하였는데 이는 근가가 깊이가 G.L(-) 0.75[m]에서 G.L(-) 1.5[m]로 깊어져서 P5의 위치의 토압이 수동방향으로 증가한 것으로 판단된다.

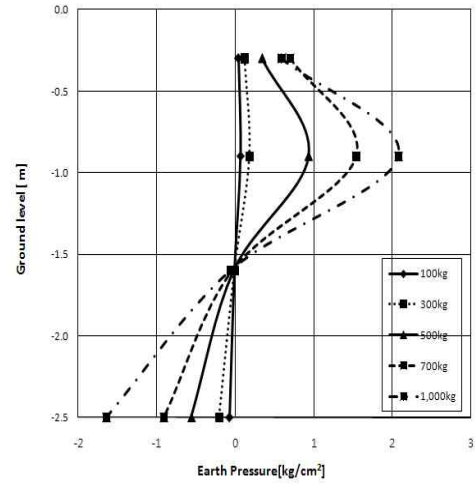


그림 6. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-3)  
Fig. 6. Horizontal earth pressure with loads of TEST-3

#### 4.2.4 TEST-4의 토압분포

그림 7에서는 근가가 깊이가 G.L(-) 2.25[m]일 때를 나타냈는데 토압분포는 재하중의 크기에 따라 각각 측정위치에서 증가하였다. P2(G.L(-) 0.9[m])의 위치에서 TEST-2, 3 근가 위치보다 토압의 크기가 증가하였고 하단부에서는 근가의 영향으로 토압이 측정되지 않은 것으로 판단된다.

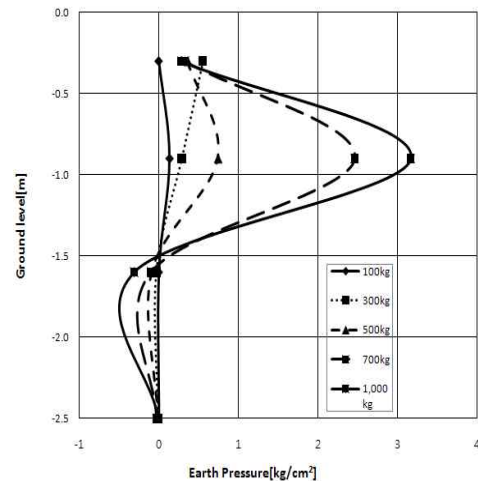


그림 7. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-4)  
Fig. 7. Horizontal earth pressure with loads of TEST-4

4.2.5 TEST-6의 토압분포

그림 8은 근가를 2개 표준깊이에 설치한 것으로 재하중이 증가할수록 토압이 증가하는 추이를 보이며 상부 수동영역에서 토압과 같이 선단부 토압이 비례하는 양상을 나타냈다.

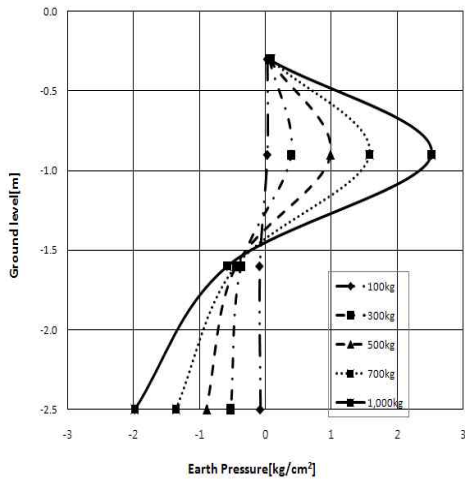


그림 8. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-6)  
Fig. 8. Horizontal earth pressure with loads of TEST-6

4.2.6 TEST-7의 토압분포

그림 9는 근가를 4개 설치한 경우의 토압분포로서 상부에서 토압이 크게 감소한 것으로 나타났고 하단부에서는 수동토압이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 근가를 같은 깊이에 설치한 것이 아니라 연속적인 깊이에 걸쳐 약 80[cm]에 걸쳐 진행하였기 때문에 토압감소에 큰 영향을 준 것으로 판단된다. 시공여건을 보면 근가 4개를 설치하기 위해 불가피한 굴착과 되메우기 작업으로 인한 흙의 전단강도 저하에 따라 상부층에서 토압이 거의 발생하지 않았으나 차후 수개월 내 흙의 전단강도 회복시 상부에서 작용하는 토압도 현재보다는 큰 폭으로 증가할 수 있고 수평변위량 감소에도 효과가 있을 것으로 판단된다.

4.2.7 TEST-8의 토압분포

그림 10은 토압의 크기가 크게 감소하였는데 이는 전주의 근입깊이가 길어짐으로서 발생한 현상으로 전

주의 근입깊이를 증가하면 토압감소를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

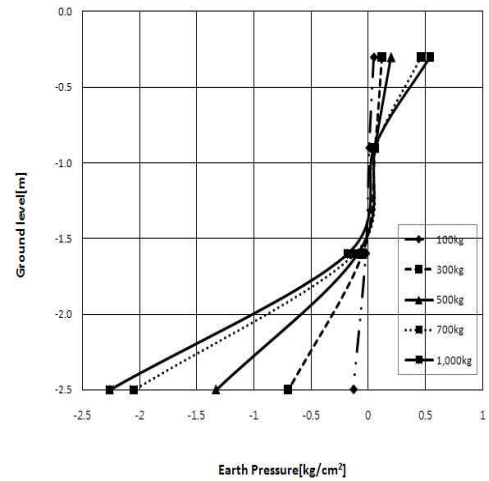


그림 9. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-7)  
Fig. 9. Horizontal earth pressure with loads of TEST-7

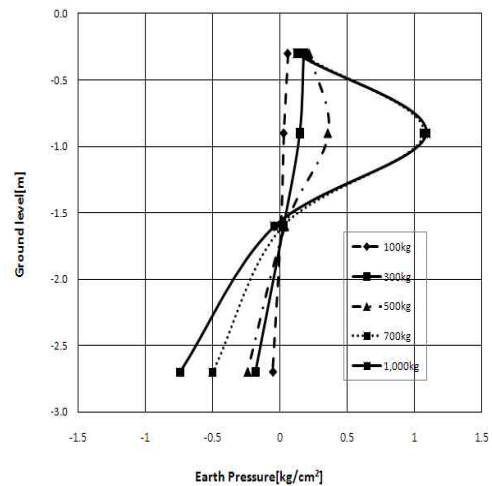


그림 10. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-8)  
Fig. 10. Horizontal earth pressure with loads of TEST-8

4.2.8 TEST-9의 토압분포

그림 11은 전주의 근입깊이가 3.2[m]로서 근입깊이 2.7[m]와 비슷한 결과이지만 근입깊이가 길어짐으로써 선단부에 작용하는 토압이 다소 증가하여 결과적으로 전주 수평변위량 감소에 효과가 있는 것으로 나타났다.

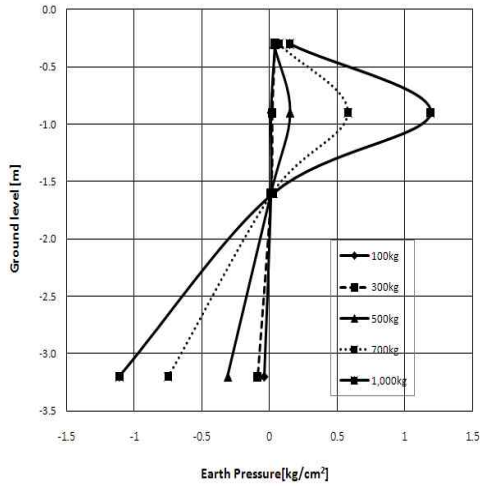


그림 11. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-9)  
Fig. 11. Horizontal earth pressure with loads of TEST-9

#### 4.2.9 TEST-10의 토압분포

TEST-10의 경우는 전주의 근입깊이를 4.0[m]로 하였을 경우의 토압분포를 나타내었으며 TEST-8 및 TEST-9와 마찬가지로 토압이 감소한 것을 알 수 있다. 하중재하 방향 배면측 선단부 토압의 경우 TEST-9와 비교하여 하부수동영역이 커짐을 나타냈다(그림 12).

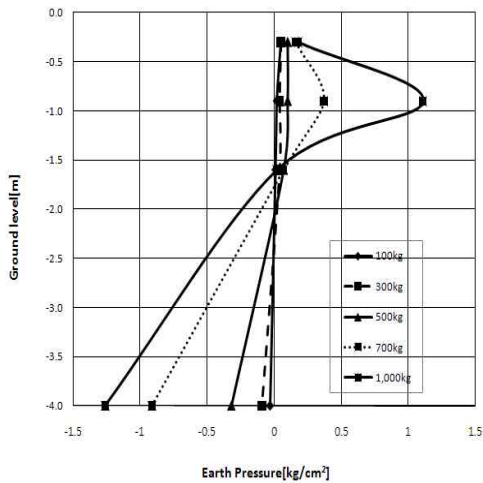


그림 12. 하중재하단계별 수평토압분포(TEST-10)  
Fig. 12. Horizontal earth pressure with loads of TEST-10

#### 4.3 근가 위치별 토압분포

토압계를 이용하여 근가깊이에 따라 토압분포를 분석한 결과를 그림 13에 나타난 바와 같이 근가깊이가 클 때에 수동영역에서 토압의 크기가 크게 나타났다. 이는 T-4의 근가위치가 2.25[m]로서 P2의 토압측정값이 큰 것으로 판단된다.

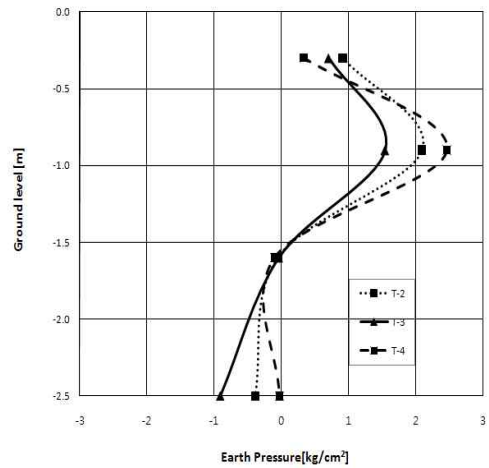


그림 13. 근가 근입깊이별 수평토압분포  
Fig. 13. Horizontal earth pressure with depth of anchor block

#### 4.4 근가 수량증가별 토압분포

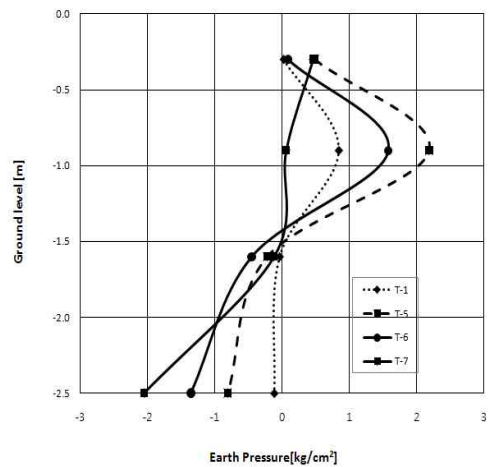


그림 14. 근가 수량별 수평토압분포  
Fig. 14. Horizontal earth pressure with number of anchor block



근가의 개수가 TEST-1(무근가), TEST-5(1개), TEST-6(2개), TEST-7(4개)의 숫자로 변화하며 토압을 나타내었는데 근가는 전주에 수직으로 일렬로 설치하여 지반을 굴착하고 전주시공을 한 것이다. 근가를 4개 설치한 것이 G.L-0.9[m]에서 토압을 크게 줄였는데 이는 수직으로 80[cm]정도에 걸쳐 설치된 근가의 영향으로 판단되지만 근가를 다수설치하고 굴착면적이 커지는 시공성이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 교란된 지반이 차후 흠의 전단강도를 회복할시 보다 안정적인 변위를 나타낼 것으로 판단된다(그림 14).

### 5. 결 론

연약지반에 실물크기의 전주를 시험시공하여 지중에 작용하는 토압을 토압계를 이용하여 실물계측을 실시하였다. 전주는 10개의 유형으로 시험시공하였는데 근가의 위치 및 수량을 변경하였고 전주의 근입깊이를 변경하며 각 경우에 응력을 측정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전주 근입깊이가 클수록 토압의 양상이 비례함과 하부수동영역이 길어짐을 보이고 있다
- 2) 토압계를 이용하여 시험유형별로 근가깊이에 따라 토압분포를 분석한 결과 상부수동영역 G.L(-) 0.9[m]지점에서 토압이 크게 나타났다. TEST-10의 경우 다른 시험조건보다 비교적 안정적인 토압양상을 보였으며 기초 근입 깊이와 하부수동영역의 크기는 비례함을 보였다. 근가 설치위치가 하부로 갈수록 하부수동영역 저항력이 감소된 것으로 볼 때 전주 기초 안정성 증대를 위해서는 근가를 비교적 깊은 깊이에 설치하는 것이 유리하게 나타났다.
- 3) 전주의 근입 깊이가 증가한 TEST-10의 경우 하부 수동토압이 큰 특성을 보였다. 그러나 압축응력과 인장응력 값이 상대적으로 크게 측정되어 전주시공 안정성과 전주 재료에 대한 상관관계에 있어 서로 반비례함을 나타냈다. 근가깊이가 클 때에 수동영역에서 토압의 크기가 크게 나타났다. 이는 TEST-4의 근가위치가 2.25[m]로서 수

동영역에서 토압측정값이 큰 것으로 판단된다.

- 4) 근가의 수를 1, 2, 4개로 변화시켜 토압의 변화를 측정한 결과 4개 설치한 것이 G.L-0.9[m] 위치에서의 토압을 크게 줄였는데 이는 수직으로 80[cm]정도에 걸쳐 설치된 근가의 영향으로 판단되고 근가를 다수 설치하면 굴착면적이 커져 시공성이 떨어지는 단점이 있으므로 근가를 1개만 설치하여도 좋은 것으로 판단된다.

### References

- [1] 손명윤 임종석, 점성토에 설치된 콘크리트 전주지반의 수평방향지지력, 대한토목학회 학술발표회, 2004.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 안태봉, 배전용 콘크리트전주 기초지반의 횡방향변위 분석, 한국조명전기설비학회 논문집, Vol. 23, No.5 pp. 42~49, 2009.
- [6] 안태봉, 연약지반에 시공된 전주의 실물인장실험을 통한 수평변위분석, 한국조명전기설비학회 논문집, Vol. 23, No.12 pp. 115~126, 2009.
- [7] 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 아리조나대학교 졸업(박사). 1996년 한국건설기술연구원 재직. 1998년 5월 토질 및 기초기술사 취득. 1999년 9월~현재 우송대학교 교수 근무.