지하굴착시 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압

Lateral Earth Pressures Acting on
Anchored Retention Walls for Underground Excavation

홍 원 표*1
Hong, Won-Pyo
윤 중 만*2
Yun, Jung-Mann

Abstract

Recently, in order to utilize more effectively underground space, deep excavations have been performed on building or subway construction in urban areas. In such excavations, anchors have been used to support the excavation retaining walls because the anchored excavation could provide wide working space for underground construction.

The purpose of this paper is to establish empirical equations to be able to estimate the earth pressures acting on anchored excavation retention walls, based on the investigation of field measuring results, which were obtained from twenty seven building construction sites.

The prestressed anchor force was measured by load cells which were attached to the anchor head, while the horizontal displacement of excavation walls were measured by inclinometers which were installed right behind the retention walls.

The lateral earth pressures acting on the anchored retention walls, which were estimated from both the measured anchor forces and the horizontal displacement of the walls, showed a trapezoidal distribution. There was some difference between the measured earth pressures acting on the anchored retention walls and the empirical earth pressures given by several empirical equations. Thus, the lateral earth pressures acting on anchored retention walls would be estimated by these empirical equations with some modifications.

요 지

최근 도심지에서 건물 및 지하철 건설시 보다 효율적인 지하공간을 활용하기 위하여 깊은 굴착이 많이 실시되고 있다. 이와 같은 지하굴착공사에 있어서 앵커지지 굴착공법은 넓은 작업공

*1정회원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 교수
*2정회원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정

간을 확보할 수 있는 이점이 있으므로 많이 사용되고 있다.

본 논문의 목적은 27개 사례현장으로부터 얻은 현장계측결과를 토대로 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압산정식을 마련하는데 있다.

앵커축력은 흙막이벽을 지지하기 위해 앵커두부에 부착된 하중계로 측정하였으며 흙막이벽의 수평변위는 흙막이벽 배면에 설치된 경사계로 측정하였다.

앵커축력 및 흙막이벽 수평변위로 부터 산정된 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압은 사다리꼴 분포를 나타내고 있었다. 이와 같은 측정토압과 여러 경험식으로 주어진 경험토압사이에는 약간의 차이가 있었다. 따라서 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압은 종래 사용되고 있는 경험식에 약간의 수정을 가한 후 사용함이 바람직하다.

1. 서 론

최근 고도의 산업발전과 도심지의 인구집중으로 인하여 지하공간을 최대로 활용하기 위한 대형건축공사, 도심지 교통난을 해소하기 위한 지하철 공사등 대규모 지하굴착작업이 수반되는 공사가 급증하고 있다. 이와 같이 지하굴착공사를 실시할 때 주변지반의 붕괴를 방지하거나 주변지반의 변형을 억제하기 위하여 설치하는 가설흙막이벽은 연성벽체가 대부분이다.

가설흙막이구조물 설계시 가장 중요한 요소중의 하나가 흙막이벽체 및 지지구조물에 작용하는 측방토압이다. 그러나 측방토압은 지반조건, 굴착깊이, 시공방법, 벽체의 지지구조등과 같은 여러가지 요인에 영향을 받으므로 정확히 산정하기가 매우 어렵다. 이러한 어려움을 해결하기위한 방법으로 Terzaghi－Peck[9,10], Tschebotarioff[11,12]등은 버팀보로 지지되는 흙막이벽을 대상으로 경험적으로 얻어진 토압분포를 제안하였으며 이들 경험식이 많은 굴착현장에서 사용되어 왔다.[6,7,8]. 그러나 최근에는 흙막이벽의 지지구조로 앵커지지방식이 많이 채택되고 있어 버팀보지지방식 흙막이벽에 적용된 경험식이 앵커지지방식 흙막이벽에도 적용 가능한지의 여부를 밝히기 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다.[2,13] 홍원표·이기준은 1992년 앵커두부에 설치된 하중계로부터 측정한 앵커축력을 이용하여 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포를 제안한 바 있다[4].

본 연구는 이러한 연구의 후속연구로 앵커두부에 설치된 하중계로 부터 측정된 앵커축력과 흙막이벽체의 배면 지반속에 설치된 경사계로 부터 측정된 벽체의 수평변위등 보다 많은 현장계측자료[1,3]를 분석정리하여 홍원표·이기준이 제안한 토압분포[4]를 재검증하고자 한다. 특히, 본 연구에서는 굴착저부의 토압분포를 보완하는데 중점을 두고자 한다. 또한 각 현장의 지층을 지층구성에 따라 토사지반현장과 암반지반현장으로 구분하여 각각의 지반조건에 따라 설계토압분포를 제안하여 금후 앵커지지 흙막이구조물 설계시 우리나라의 지반특성에 적합한 측방토압분포로서 활용하고자 한다.

2. 사례현장 개황[1,3,4]

2.1 현장주변현황

본 연구의 사례현장은 모두 27개 현장으로 도심지에서 시공된 굴착공사로서 대규모 아파트단지, 고층빌딩, 인접공사현장, 상가 및 주택지가 밀집되어 있다. 또한 인접도로 지하에는 지하철이 통과하고 있거나 각종 지하매설물이 묻혀 있다. 따라서 주변지반의 침하로 인하여 인접건물이나 지하구조물에 피해를 줄 수 있어 근접시공에 대한 중요성이 매우 큰 현장들이다.

2.2 지반특성

사례현장의 지반조건은 우리나라 내륙지방

의 전형적인 지층구조인 표토층, 풍화대층, 기반암층으로 구성된 다층지반이다. 표토층은 대부분 실트질 모래, 모래질 실트, 자갈등이 혼재되어 있는 매립토와 퇴적토로 이루어져 있다. 이 표토층은 사질토의 성분이 많은 관계로 단순화를 위하여 내부마찰각만 가지는 토층으로 취급하기로 한다. 풍화대층은 모든 현장에 분포되어 있으며 풍화도가 매우 심한 풍화잔류토층과 모암조직이 존재하며 비교적 단단한 풍화암층으로 구분되어 있다. 풍화대 하부에는 기반암인 연암 및 경암으로 구분되는 암층이 분포하고 있으며 대부분 현장의 연암층과 경암층은 균열과 절리가 발달되어 있다.

사례현장은 지반조건에 따라 표 1과 같이 토사지반현장과 암반지반현장으로 구분하였다. 여기서, 토사지반 및 암반지반의 구분 기준으로는 풍화암 이하의 암반층의 두께가 전체 굴착깊이의 50% 이상이거나 연암 이하의 암반층이 전체굴착깊이의 30% 이상이 되면 암반지반으로 분류하였다. 그 밖의 지반은 토사지반현장으로 한다.

2.3 흙막이구조물

사례현장의 흙막이공은 엄지말뚝과 나무널판을 사용한 연성벽체의 흙막이벽과 앵커지지방식으로 이루어졌다. 인접구조물이 굴착현장에 바로 인접해 있어 앵커시공이 곤란한 현장의 일부 단면은 경사버팀대(Raker)로 지지하였다(제1현장). 한편, 굴착중간 구간에 소단을 두고 Rail-Pile(Shear Pin)로 시공하였거나(제8,10,11,16현장) H-말뚝을 중간지점까지 근입시킨후 그 이하깊이부터는 지중연속벽으로 시공한 단면도 있다(제13현장). 그러나 전반적으로는 엄지말뚝 흙막이공으로 구성되어 있는 현장들이다.

한편 대부분의 현장 흙막이벽 배면에는 차수 및 지반보강효과를 목적으로 L/W 그라우팅 및 S.C.W(Soil Cement Wall)를 시공하였으며 벽체의 강성을 높이기 위해 풍화암층과 연암층 상단까지 H-말뚝 사이에 CIP 공법을 시공하였다(제4,9,14,22,23,27현장).

3. 실측결과

3.1 앵커축력

그림 1은 굴착단계별 앵커두부에 설치된 하중계로부터 앵커축력의 변화를 측정한 결과이다. 그림에서 횡축을 측정일자, 종축을 앵커축력(ton)으로 표시하였으며 우측의 표식과 수자는 하중계가 설치된 띠장의 번호를 표시하였다.

그림 1(a), (b)에 나타난 바와 같이 토사지반의 앵커축력은 10~40t 범위내에서 작용하고 있으며 암반지반의 앵커축력은 20~50t 범위내에서 작용하고 있다. 암반지반의 앵커축력이 토사지반의 앵커축력보다 크게 나타나는 것은 암반지반에 시공된 앵커의 정착장이 대부분 연암 및 경암층에 형성되어 있어 앵커의 정착상태가 양호하여 선행긴장력을 크게 가하였기 때문이라 생각된다. 한편, 대부분의 앵커축력은 지반조건에 관계없이 정착 후에 나타난 초기의 선행긴장력이 굴착완료시점까지 큰 변화 없이 비교적 안정된 상태를 보이고 있다. 지반굴착이 진행되는 동안 각단의 앵커축력은 일정한 값을 유지하거나 약간 감소 혹은 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 굴착이 진행됨에 따라 연성벽체의 변형에 따른 흙막이벽 배면 흙입자의 배열이 재배치 되어 응력의 재분배 현상이 발생되었음을 의미한다.

그러나 제 1현장의 경우는 상부토사층의 지반이 매우 느슨하여 상재하중으로 인해 지반침하가 발생하여 2, 3단에 설치된 앵커의 P.C strand 일부가 절단되어 앵커의 지지기능이 충분히 수행되지 못하여 2, 3단의 앵커축력이 어느시점에서 감소한 반면에 4단에 설치된 앵커가 부담하는 하중이 증가하여 앵커축력은 급격한 증가현상을 보이고 있다.

3.2 수평변위

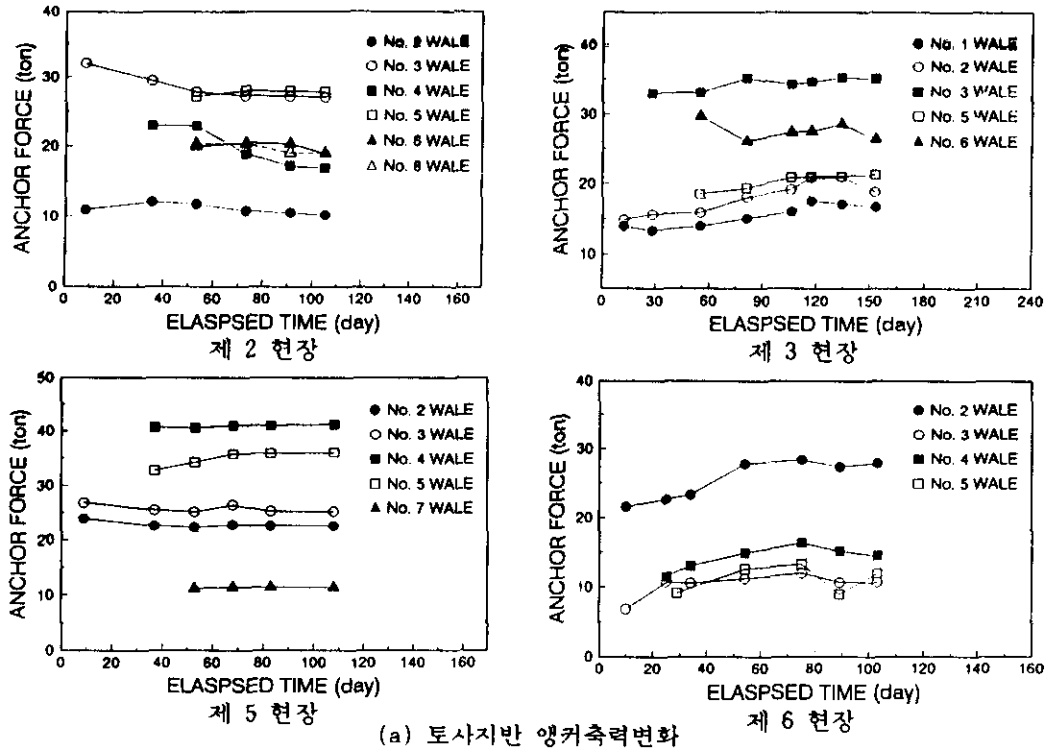
그림 2는 굴착단계별 흙막이벽체에 발생하

표 1. 전체굴착깊이와 암반심도 (단위/m)

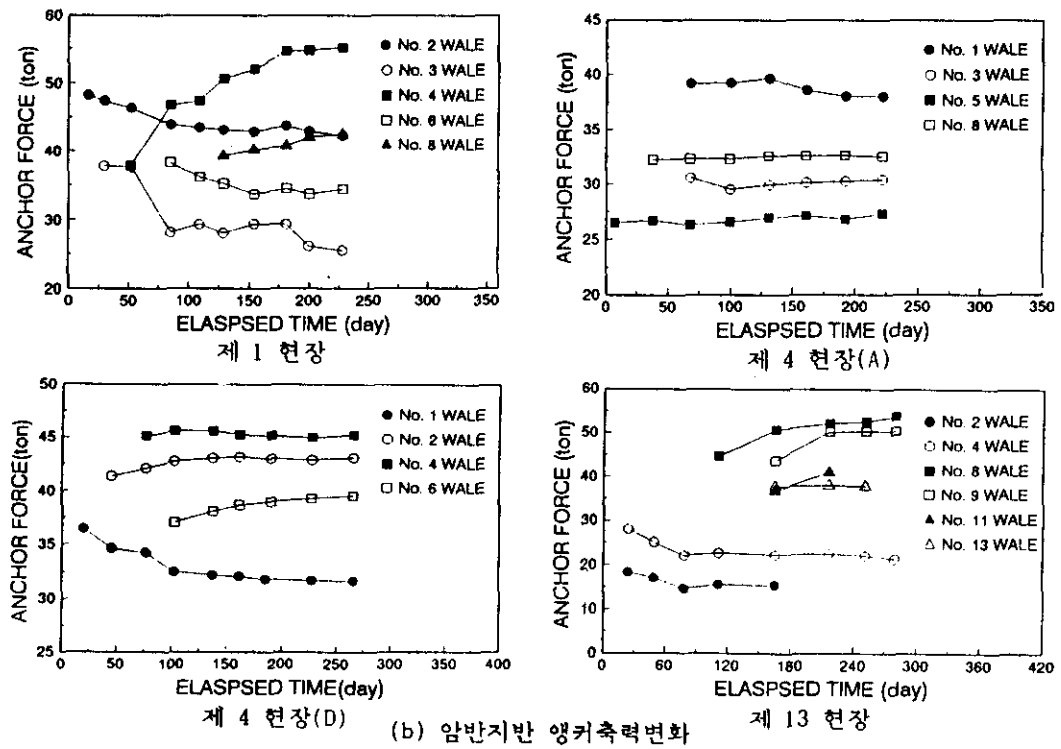
현 장		전체굴착 깊이(H)	풍화암 이하 암층 두께 (H_w)	연암 이하 암층 두께 (H_R)	H_w/H (%)	H_R/H (%)	지 반 분 류
제 1 현장		37.0	21.0	14.5	57	39	암반지반
제 2 현장		21.0	4.50	1.0	21	5	토사지반
제 3 현장		27.0	11.0	0.0	41	20	토사지반
제 4 현장	A	32.0	32.0	24.5	100	82	암반지반
	B	32.8	32.8	17.0	100	52	암반지반
	C	28.6	14.0	3.8	49	13	토사지반
	D	28.6	28.6	17.0	100	59	암반지반
제 5 현장		24.0	10.0	3.0	42	13	토사지반
제 6 현장		18.0	3.50	0.0	19	0	토사지반
제 7 현장		24.2	10.7	2.7	44	11	토사지반
제 8 현장		23.5	11.0	3.5	47	15	토사지반
제 9 현장		15.5	7.50	0.0	48	0	토사지반
제 10 현장		26.3	15.8	14.8	60	56	암반지반
제 11 현장		20.3	15.0	13.0	74	64	암반지반
제 12 현장		20.5	14.0	6.5	68	32	암반지반
제 13 현장		32.8	20.3	0.0	62	0	암반지반
제 14 현장		23.4	10.9	5.4	46	23	토사지반
제 15 현장		16.8	7.9	0.0	47	0	토사지반
제 16 현장		21.2	8.0	0.0	38	0	토사지반
제 17 현장		29.6	17.0	12.8	57	43	암반지반
제 18 현장		21.2	18.2	18.2	86	86	암반지반
제 19 현장		32.7	30.7	30.7	97	97	암반지반
제 20 현장		20.4	12.4	5.9	61	23	토사지반
제 21 현장		9.9	7.6	6.4	77	65	암반지반
제 22 현장		28.6	15.6	15.6	84	84	암반지반
제 23 현장		21.5	3.3	0.0	15	0	토사지반
제 24 현장		24.0	10.8	6.0	45	25	토사지반
제 25 현장		20.6	9.2	0.0	45	0	토사지반
제 26 현장		27.2	15.4	13.7	57	50	암반지반
제 27 현장		19.2	13.2	0.0	67	0	토사지반

는 수평변위의 변화상태를 측정한 결과이다. 그림에서 횡축을 벽체의 수평변위량(mm), 종축을 굴착깊이로 표시하였으며 우측의 표식과 수자는 각 단계별 굴착깊이를 표시하였다.

그림 2(a)에서 보는 바와 같이 토사지반에 설치된 흙막이벽체의 수평변위는 굴착이 진행되는 동안 벽체의 수평변위량은 굴착깊이에 비례하여 점진적으로 증가하고 있으며 굴착저부

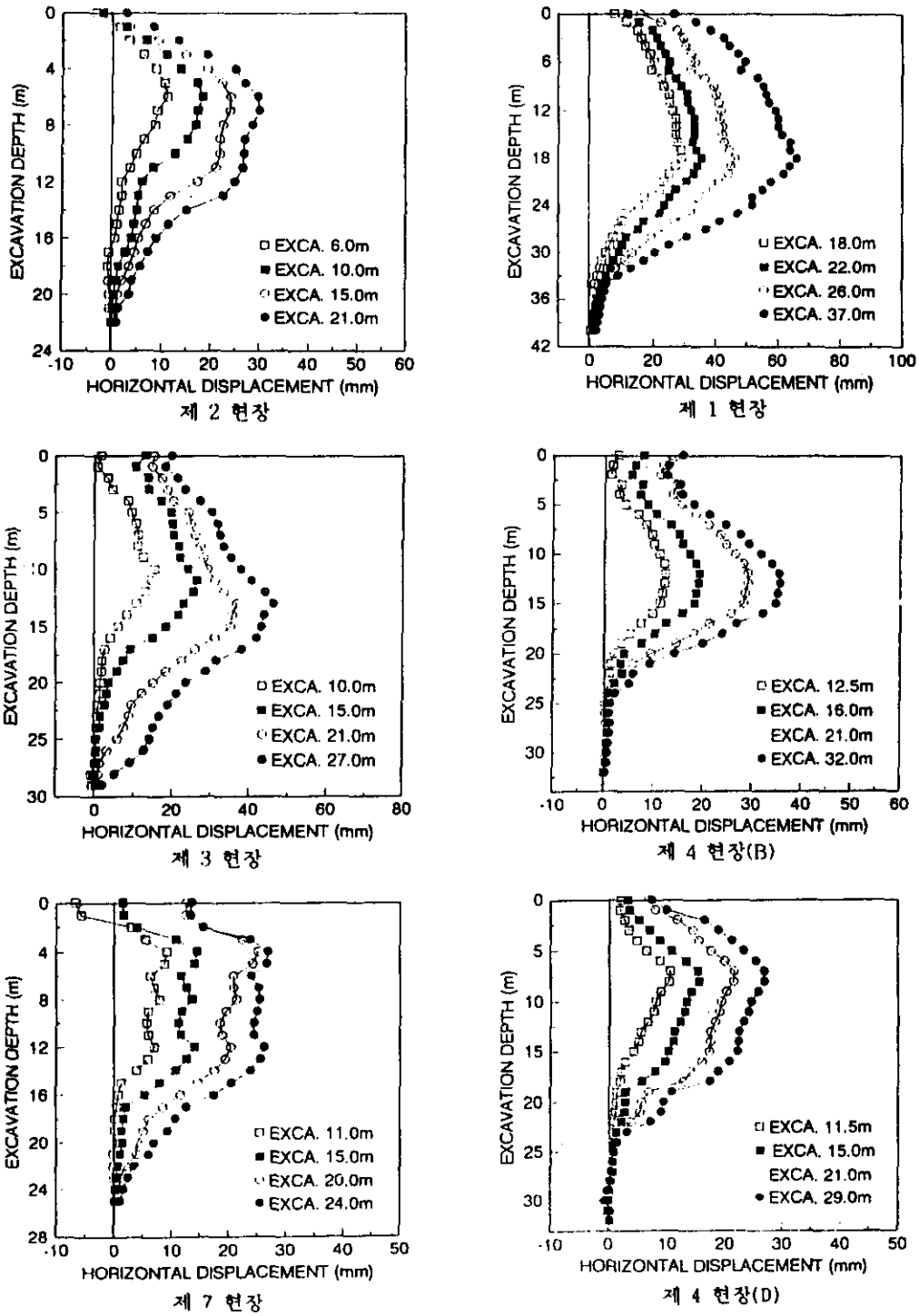


(a) 토사지반 앵커축력변화



(b) 암반지반 앵커축력변화

그림 1. 단계별 굴착에 따른 앵커축력변화



(a) 토사지반 흙막이벽의 수평변위변화 (b) 암반지반 흙막이벽의 수평변위변화

그림 2. 단계별굴착에 따른 흙막이벽의 수평변위변화

에서도 수평변위는 어느정도 발생하고 있다. 그러나 그림 2(b)의 암반지반에 설치된 흙막이 벽체의 수평변위량은 굴착이 진행되는 동안 상부지층에서 점진적으로 증가하고 있으나 연암 및 경암층으로 이루어진 굴착하단부 암반층에서 벽체의 변위는 거의 발생되지 않고 있다.

제 1현장 및 제 3현장의 벽체변위는 상부 지반앵커의 시공상태 및 정착상태가 불량하여 벽체의 지지기능이 충분히 발휘되지 못하여 벽체의 변위가 굴착이 진행됨에 따라 다소 크게 나타나고 있다. 나머지 현장의 벽체의 수평변위는 벽체의 시공상태 및 앵커의 정착상태가 양호하여 굴착이 진행됨에 따라 벽체의 변위는 점진적으로 증가하고 있으나 최종굴착단계까지 벽체의 변위는 안정된 상태를 보이고 있다.

3.3 지하수위

본 연구의 사례현장은 흙막이벽 배면에 지하수위 저하를 방지하기 위하여 차수공법으로 L/W, S.C.W, C.I.P공 등을 시공하였다. 그러나 흙막이벽 배면에 지하수위계를 설치하여 지하수위를 측정한 결과 완벽한 치수효과를 얻지 못하여 굴착깊이가 깊어짐에 따라 굴착현장내로의 누수에 의해 지하수위는 완만한 수위하강곡선을 그리며 점진적으로 낮아지는 것으로 나타났으나 굴착완료시점에 이르러서 일정한 수위를 유지하는 것으로 나타났다. 따라서 지하수에 의한 수압 영향은 비교적 적었을 것으로 추측된다[14].

4. 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압

4.1 측방토압산정방법

앵커축력의 변화는 앵커두부에 부착된 하중계에 의하여 측정하였다. 측정된 앵커축력에 의한 굴착단계별 환산측방토압은 각 단에 설치된 앵커가 분담하는 방법으로 중점분할법을 이용하여 산정하였다[14]. 각 단의 앵커가 부담하는 토압산정식은 식 (1)과 같다.

$$p = \frac{P \cdot \cos\beta}{B \cdot L} \tag{1}$$

여기서 p는 측방토압(t/m²), P는 하중계에 의해 실측된 앵커축력(ton), β는 수평축을 기준으로 한 앵커 타설각도(°), B는 앵커의 수평설치간격(m), L는 중점분할법에 의한 엄지말뚝의 분담길이(m)이다.

한편, 흙막이벽체 배면에 설치된 경사계로부터 실측된 벽체의 수평변위에 의하여 산정된 각 굴착단계별 측방토압 산정은 흙막이벽 배면에 단위하중(t/m²)을 작용시켰을 때 발생된 벽체의 수평변위와 흙막이벽체의 실측변위는 탄성영역내에서 비례한다는 조건하에서 식(2)와 같이 산정하였다.

$$p = \frac{\delta_2 \cdot W}{\delta_1} \tag{2}$$

여기서 p는 수평변위에 의한 측방토압(t/m²), δ_1는 벽체의 가상변위(m), δ_2는 벽체의 실측변위(m), W는 가상단위하중(t/m²)이다.

앵커지지 흙막이벽과 같은 연성벽체에서 앵커로 지지하고 있는 각 절점의 스프링 계수 K는 식(3)과 같이 Bowels 식을 이용하여 산정하였다[5].

$$K = \frac{A \cdot E \cdot \cos\beta}{L_s \cdot S} \tag{3}$$

여기서 A는 앵커의 총단면적(m²), E는 앵커의 탄성계수(t/m²), S는 앵커의 수평설치간격(m), L_s는 앵커 자유장(m), β는 앵커 타설각도(°) 이다.

각 단계별 굴착에 따른 환산측방토압을 산정하는 과정에서 서로 다른 지층의 토질정수를 구하기 위해 최종굴착심도 "H"에 대한 평균 내부마찰각 및 단위체적중량 ϕ_{AVG}및 γ_{AVG}은 각 지층별 ϕ_i, γ_i을 이용하여 식(4) 및 식(5)와 같이 산정한다.

$$\phi_{AVG} = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_i \cdot \phi_i}{\sum_{i=1}^{n} \cdot H_i} \tag{4}$$

$$\gamma_{AVG}=\frac{\sum_{i=1}^{n} H_i \cdot \gamma_i}{\sum_{i=1}^{n} \cdot H_i} \quad (5)$$

여기서 H_i는 각 지층별 지층두께(m), γ_i는 지층두께가 H_i인 흙의 단위중량(t/m^2) ϕ_i는 지층두께가 H_i인 흙의 내부마찰각 이다.

4.2 측방토압분포

그림 3은 흙막이벽체의 앵커두부에서 측정된 앵커축력에 의하여 산정된 환산측방토압분포이며, 그림 4는 흙막이벽체 배면에 설치한 경사계로부터 측정된 벽체의 수평변위에 의하여 산정된 환산측방토압분포이다. 이들 그림은 표 1의 지반조건에 따라 구분하여 나타낸 것으로 각 굴착단계별 최대토압을 연결하면 사다리꼴 형태로 나타낼 수 있다. 그림 3에서 점선으로 표시한 부분은 굴착저부의 앵커단에 하중계를 설치하지 않아 앵커축력의 계측자료가 없는 관계로 명확한 측방토압분포를 알 수 없는 부분이다. 이 부분의 측방토압분포를 결정하기 위하여는 흙막이벽의 수평변위로부터 환산된 측방토압분포를 활용하는 것이 좋을 것이다.

그림 3과 그림 4에서 나타난 바와 같이 현장계측(앵커축력, 벽체의 수평변위)으로부터 산정된 흙막이벽에 작용하는 환산측방토압분포는 다음과 같은 경향을 보이고 있다.

(1) 굴착단계별 환산측방토압분포는 굴착면 상부에서 굴착깊이에 비례하여 일정깊이까지는 선형적으로 증가하고 있다.

(2) 굴착단계별 환산토압분포의 변화를 보면 앵커축력에 의한 환산측방토압분포는 일정깊이 이하에서는 불규칙한 분포를 보이고 있으나 수평변위에 의한 환산측방토분포는 굴착깊이에 비례하여 증가하며 최대토압 발생위치는 변하지 않고 있다.

(3) 앵커축력에 의한 환산측방토압분포에서는 굴착하단부의 토압분포형태를 명확히 알 수 없으나 수평변위에 의한 환산측방토압분포에서는 굴착하단부의 일정깊이부터 토압이 선형적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

이와 같은 환산측방토압분포를 토대로 하여 굴착상부에서 선형적으로 증가하는 일정깊이를 H_1로, 굴착하단부에서 선형적으로 감소하는 일정깊이를 H_2로 표시하면, 다층지반에 설치된 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포는 그림 5와 같이 도시 할 수 있다.

이러한 측방토압분포는 굴착면 저부의 측방토압분포가 일부 수정된 사항 이외에는 홍원표·이기준이 이전 연구에서 제시된 안과 유사하다. 이는 이전 연구에서 불분명하였던 사항을 본 연구에서 보완하여 수정하게 된 부분이다.

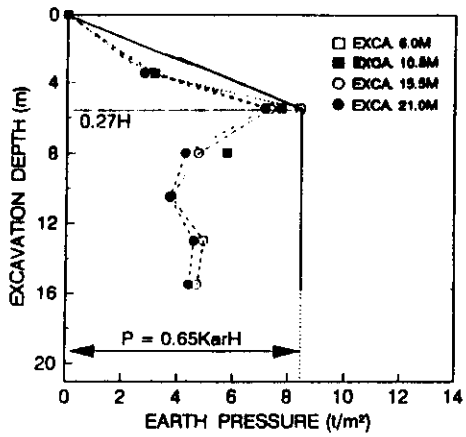
한편, 그림 6과 그림 7은 앵커축력과 벽체의 수평변위 측정에 의해 산정된 환산측방토압분포를 토대로 하여 선형적으로 증가하는 한계깊이를 H_1(그림 5 참조), 선형적으로 감소하는 한계깊이를 H_2(그림 5 참조)로 구분하여 지반조건에 따라 나타낸 것이다.

그림 6(a), (b)에서 보는 바와 같이 토사지반의 H_1 값은 0.20~0.43H 범위내에 분포되어 있으며 평균적으로 0.29H 정도로 생각할 수 있다. 암반지반의 H_1 값은 0.15~0.35H 범위내에 분포하고 있으며 평균적으로 0.24H 정도로 생각할 수 있다.

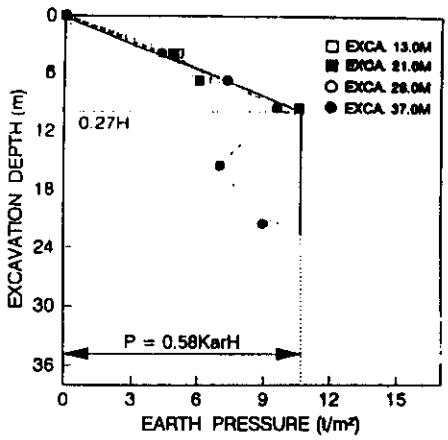
한편 그림 7 (a), (b)에서 보는 바와 같이 토사지반의 H_2 값은 0.20~0.45H 범위내에서 분포되어 있으며 평균적으로 0.29H 정도로 생각할 수 있으며 암반지반의 H_2 값은 0.25~0.57H 범위에 분포하고 있으며 평균 0.39H 정도로 생각할 수 있다. 따라서 측방토압분포 형태는 토사지반과 암반지반에서 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

그림 8은 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 실측최대측방토압을 지반조건에 따라 구분하여 Rankine의 주동토압 $P_a(=K_a\gamma_{AVG}H)$와 비교분석한 결과이다.

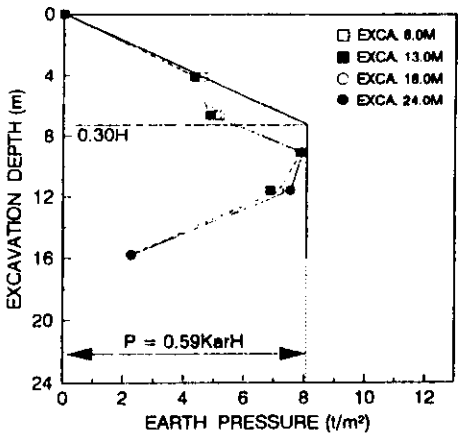
그림 8(a), (b)에서 보는 바와 같이 실측최대측방토압은 지반조건에 관계없이 Rankine의 주동토압보다 작게 나타나고 있다. 즉, 토사지



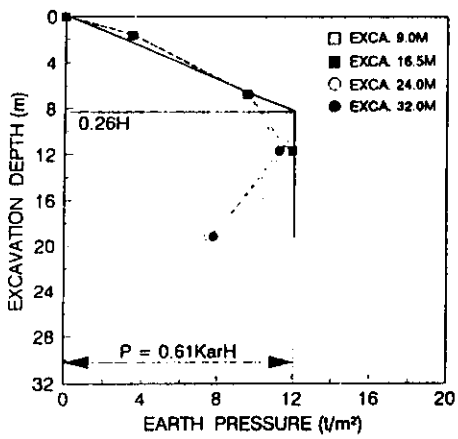
제 2 현장



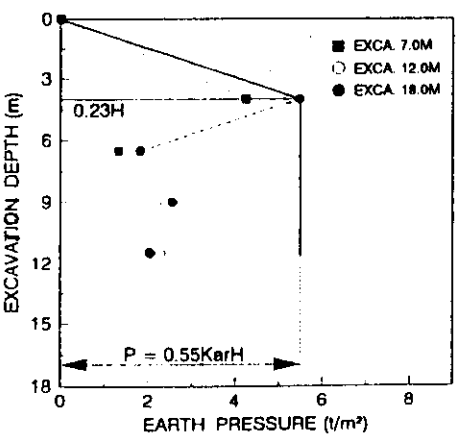
제 1 현장



제 5 현장

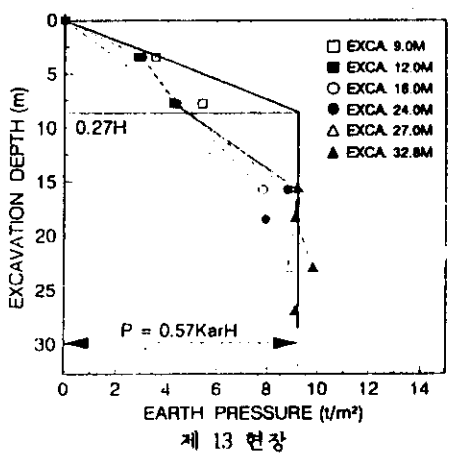


제 4 현장(A)



제 6 현장

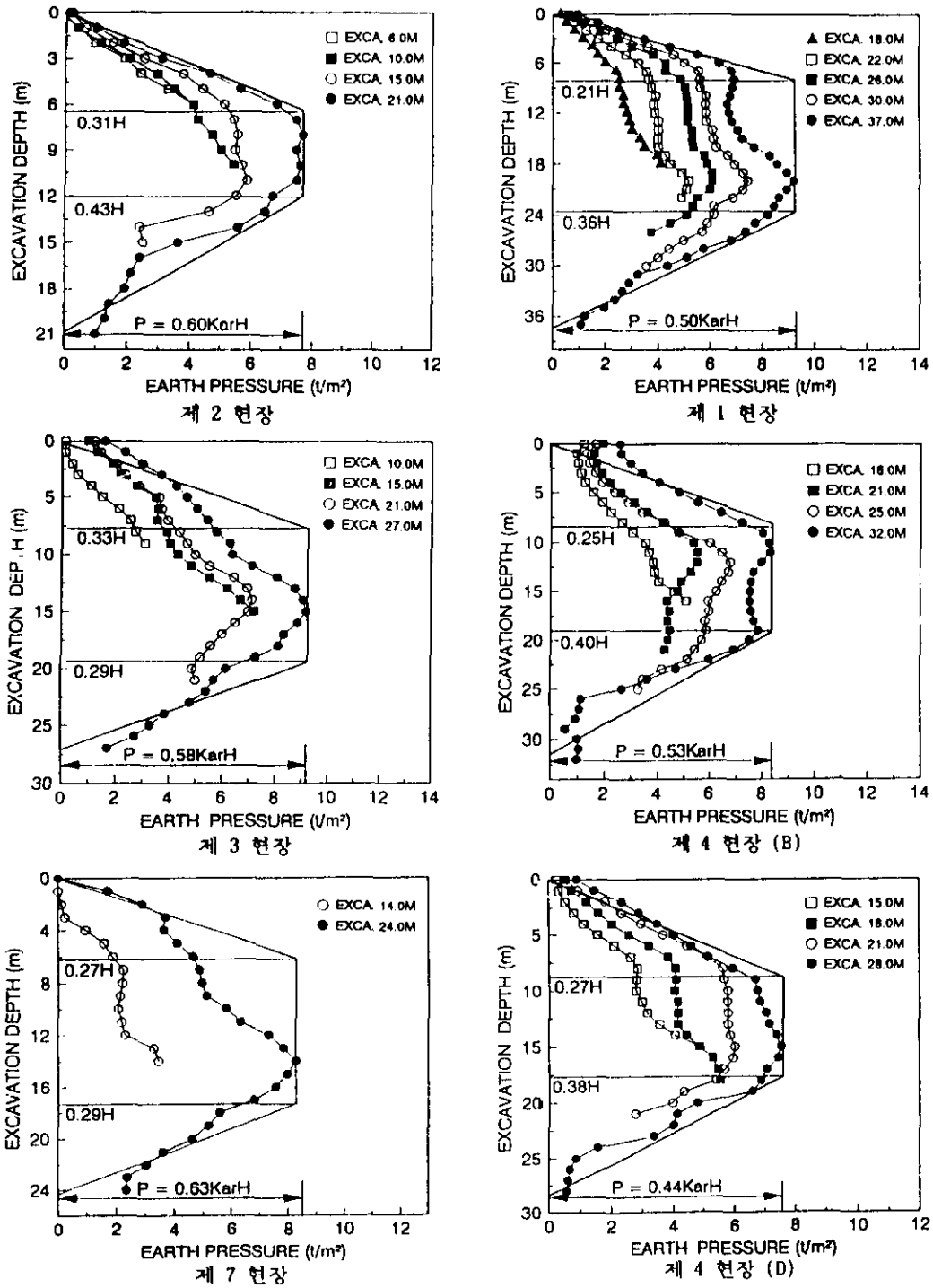
(a) 토사지반의 측방토압분포



제 13 현장

(b) 암반지반의 측방토압분포

그림 3. 앵커축력에 의한 굴착단계별 측방토압분포



(a) 토사지반의 측방토압분포　　(b) 암반지반의 측방토압분포

그림 4. 수평변위에 의한 굴착단계별 측방토압분포

반에 작용하는 실측최대측방토압은 주동토압의 0.50~0.84배 사이에 분포하고 있으며 평균적으로 0.62배로 나타났다. 또한, 암반지반에 작용하는 실측최대측방토압은 주동토압의 0.38~0.73배 사이에 분포하고 있으며 평균적으로 0.53배로 토사지반보다 작게 나타나고 있다.

그림 9는 실측최대측방토압과 최종굴착깊이에서의 연직상재압 $\sigma_v(=\gamma_{AVG}H)$와 비교분석한 결과이다. Tschebotarioff가 제시한 모래지반의 최대측방토압의 크기는 연직상재압의 0.25배로 제시한 바 있다. 그러나 그림 9(a), (b)에서 보는 바와 같이 토사지반 및 암반지반에 설치된 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 실측최대측방토압은 Tschebotarioff가 제시한 토압보다 모두 작게 발생함을 알 수 있다. 즉, 토사지반에서는 연직상재압의 0.13~0.26배 사이에 분포하고 있으며 평균적으로 0.18배 정도로 나타났으며, 암반지반에서는 0.08~0.19배 사이에 분포하고 있으며 평균적으로 0.14배로 나타났다.

한편 그림 10은 실측최대토압과 정지토압 $P_0(=K_0\gamma_{AVG}H)$와 비교분석한 결과이다. 그림 10(a), (b)에 나타난 바와 같이 토사지반은 정지토압의 0.30~0.55배 범위에 분포하고 있으며 평균 0.39배 정도로 나타났으며 암반지반에서

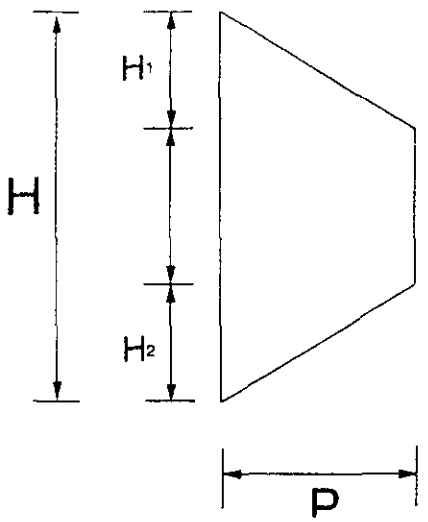


그림 5. 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포 개략도

는 0.23~0.7 배 범위에 분포하고 있으며 평균 0.34배 정도로 나타났다. NAVFAC은 단단한 모래지반에 설치된 앵커지지벽에 작용하는 토압분포를 정지토압의 0.4배로, 느슨한 모래지반에서는 0.5배로 제시하고 있다[7]. 그러나 본 연구에서 산정된 토사지반의 측방토압의 크기는 NAVFAC의 경험토압 가운데 단단한 모래

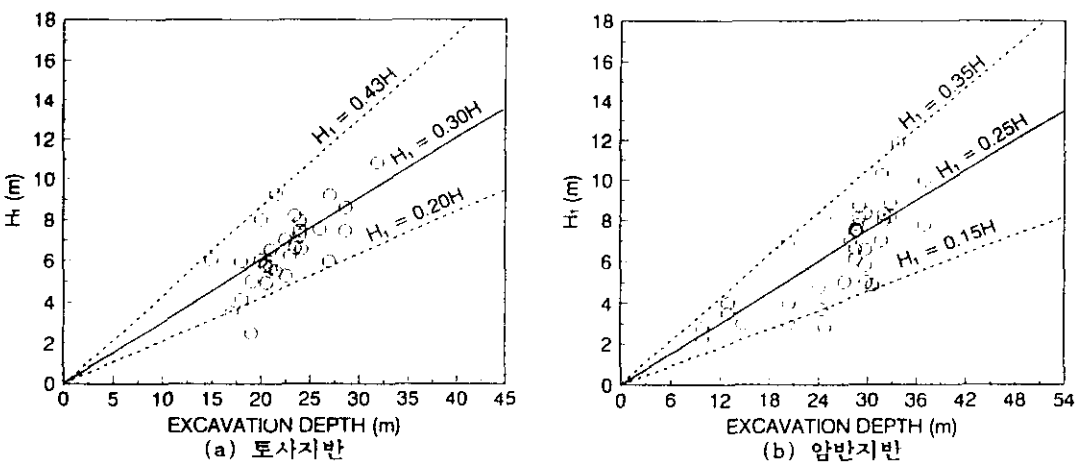


그림 6. 굴착깊이와 H_1과의 관계

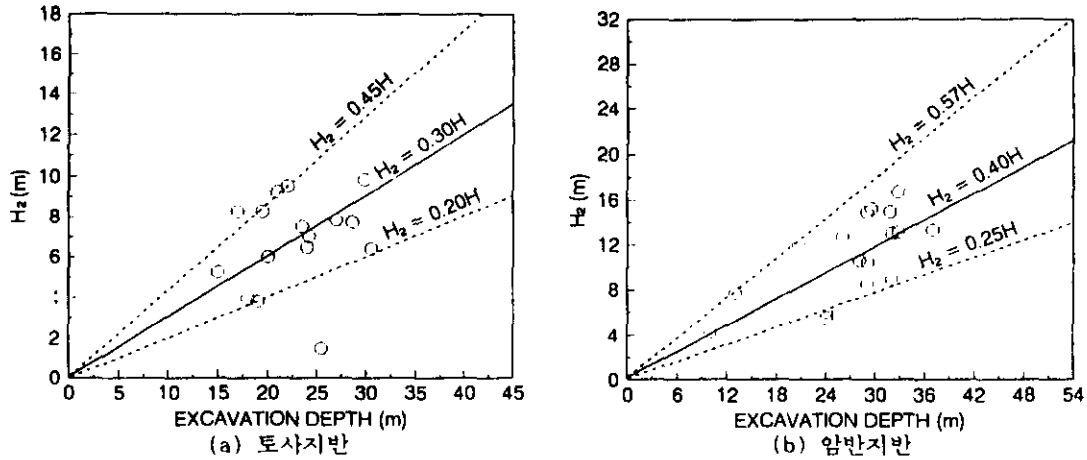


그림 7. 굴착깊이와 H_2와의 관계

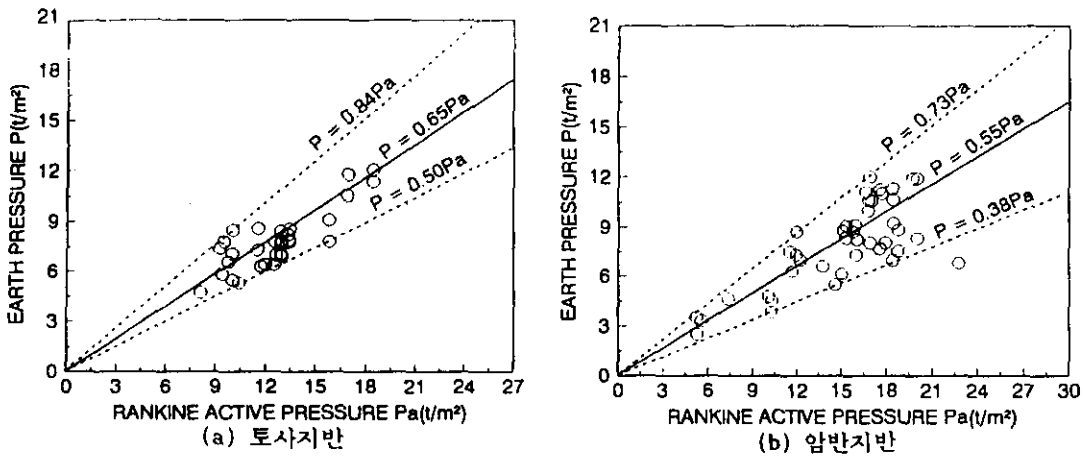


그림 8. 실측최대측방토압과 주동토압과의 관계

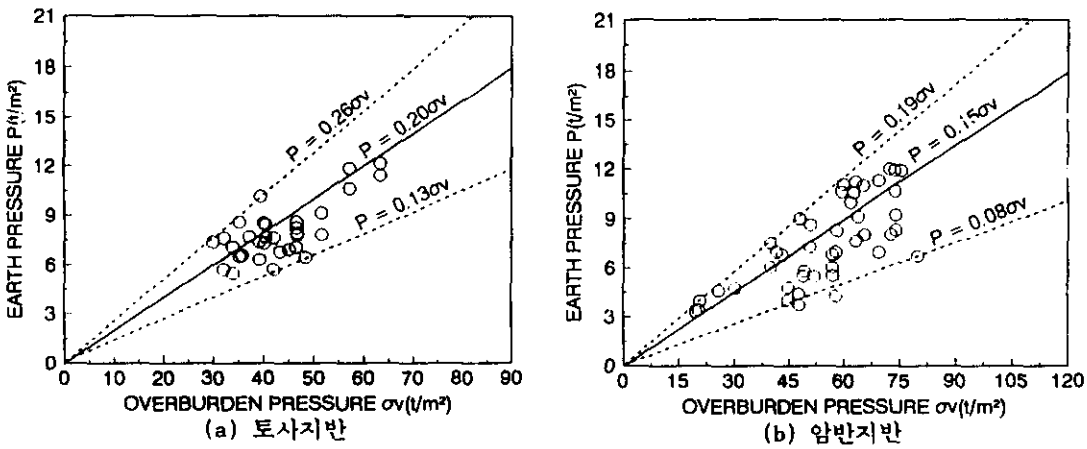


그림 9. 실측최대측방토압과 연직상재압과의 관계

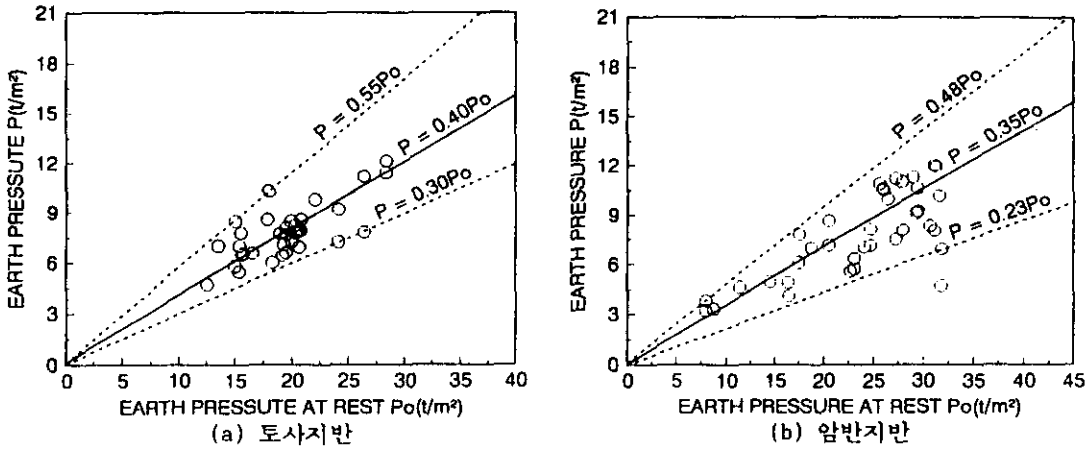


그림 10. 실측최대측방토압과 정지토압과의 관계

지반과 매우 비슷하게 나타났지만 암반지반에서는 이것 보다 약간 작게 산정되고 있다.

4.3 기존의 경험토압과의 비교

그림 6~그림 10의 분석결과를 토대로 하여 우리나라와 같이 암반층이 포함된 다층지반의 지하굴착시 현장계측에 의해 산정된 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포를 Terzaghi-Peck의 수정토압분포, NAVFAC의 토압분포, Tschebotarioff의 토압분포, 및 홍원표·이기준의 토압분포와 비교검토한 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

(1) 측방토압분포형태는 Terzaghi-Peck의 수정토압분포 및 NAVFAC의 버팀보 지지벽 토압분포 가운데 견고한 점토지반의 경우와 비슷하지만 토사지반의 굴착상부 변곡점 위치는 Terzaghi-Peck 및 NAVFAC의 0.25H보다 약간 큰 0.29H로 나타난 반면, 암반지반은 0.24H로 매우 비슷하게 나타났다. 한편, 경사계에 의해 산정된 굴착저부의 변곡점 위치는 각각 0.3H와 0.4H로 다소 크게 나타났다. 토사지반의 실측최대측방토압 크기는 Terzaghi-Peck의 토압분포 가운데 모래지반의 경우와 매우 비슷한 $0.62K_a\gamma H$ 및 NAVFAC의 앵커지지벽의 토압분포 가운데 단단한 모래지반과 비슷한 $0.39K_0\gamma H$로 나타났으며, 암반지반의 실측최대측방토압 크기는 $0.53K_a\gamma H$, $0.34K_0\gamma H$로 다소 작게 나타났다.

(2) 측방토압분포형태는 Tschebotarioff의 토압분포 가운데 모래지반의 경우와 비슷하나 상, 하단부의 변곡점의 위치는 Tschebotarioff의 0.1H, 0.2H보다 다소 크게 나타났다. 최대측방토압의 크기는 토사지반에서 $0.18\gamma H$, 암반지반에서 $0.14\gamma H$로 Tschebotarioff의 0.25H보다 작게 나타났다.

(3) 본 연구 사례현장의 계측자료(하중계, 경사계)에 의해 산정된 측방토압분포는 토사지반의 경우 굴착면 상부 변곡점의 위치가 0.29H, 암반지반의 경우 0.24H 깊이까지 선형적으로 증가하고 있어 홍원표·이기준이 제안한 토압분포와 매우 비슷하지만, 굴착면 저부의 토압분포는 토사지반에서는 0.29H, 암반지반에서는 0.39H깊이부터 선형적으로 감소하는 분포형태를 취하고 있다. 한편, 최대측방토압은 토사지반의 경우 이들이 제시한 최대측방토압과 매우 비슷하지만 암반지반에서는 약간 작게 작용하는 것으로 나타났다.

앵커지지 흙막이벽체와 같은 연성벽체의 경우, 흙막이벽 배면의 지하수위를 계측한 결과 굴착이 진행되는 동안 지하수위는 대부분 감소

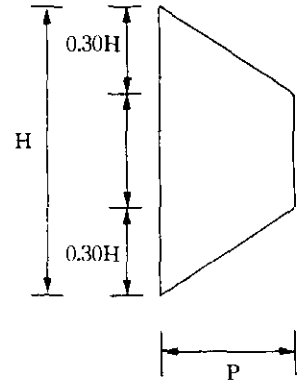
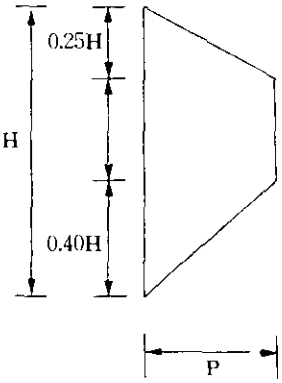
구 분		토사지반현장	암반지반현장
측방토압분포			
최대측방토압(P)	주동토압과의 관계	$P = 0.65K_a\gamma H$	$P = 0.55K_a\gamma H$
	연직상재압과의 관계	$P = 0.20\gamma H$	$P = 0.15\gamma H$
	정지토압과의 관계	$P = 0.40K_o\gamma H$	$P = 0.35K_o\gamma H$

그림 11. 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포

하므로 수압을 고려하지 않는다면 토사지반에 설치된 흙막이벽에 작용하는 최대설계측방토압은 Terzahghi－Peck의 $0.65K_a\gamma H$, Tschebotarioff의 $0.25\gamma H$보다 약간 작은 $0.20\gamma H$, NAVFAC의 단단한 모래지반의 토압분포인 $0.4K_o\gamma H$를 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다. 그러나 암반지반에서는 토압감소율을 고려하여 이들 경험식에 의해 제시된 최대측방토압에 60～85% 정도만 고려하여 사용하는 것이 보다 경제적이고 합리적이라 생각된다.

따라서 우리나라와 같이 암층이 포함된 다층지반에 설치된 앵커지지 흙막이벽체에 작용하는 측방토압분포를 그림 11과 같이 제시할 수 있다. 단, 암반층 굴착시 흙막이벽 하부 최하단 지지공 설치위치에서 근입심도의 설계시 근입심도가 과다하게 산정되거나 fault, 파쇄대, 바람직하지 않는 절리가 발달된 경우에는 하단에 지지공을 추가로 설치함이 바람직하다.

5. 결 론

본 연구에 사용된 국내 27개 굴착현장의 현장계측(하중계와 경사계)의 실측치를 토대로 앵커지지 흙막이구조물에 작용하는 토압분포와 각종 경험토압과 비교검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 앵커축력에 의해 산정된 환산측방토압분포로는 흙막이벽 굴착저부의 토압분포형태 및 토압의 크기를 명확히 알 수 없었으나 벽체의 수평변위에 의해 산정된 측방토압분포에 의해 흙막이벽 굴착저부에 작용하는 토압분포형태 및 토압의 크기를 알 수 있었다.

2) 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포는 이미 제안된 홍원표·이기준의 토압분포와 매우 비슷한 분포형태를 보이고 있으나 굴착면 저부에서는 토압이 일정깊이부터 선형적으로 감소하는 형태로 나타났다.

3) 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 최대측방토압의 크기는 토사지반의 경우, 주동토압 P_a ($=K_a\gamma_{AVG}H$)의 0.62배, 연직상재압 σ_v($=\gamma_{AVG}H$)의 0.18배, 정지토압 P_o($=K_o\gamma_{AVG}H$)의 0.39배로 나타났으며 암반지반의 경우는 각각 0.53

배, 0.14배, 0.34배로 작게 나타났다.

4) 우리나라와 같이 암반층이 두텁게 분포하고 있는 다층지반에 설치된 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 최대측방토압의 크기는 주동토압에 대하여 $P=0.65K_a\gamma H$, 연직상재압에 대하여 $P=0.20\gamma H$, 정지토압에 대하여 $P=0.40K_0\gamma H$를 사용하는 것이 바람직하다. 단 암반층이 매우 두텁게 분포되어 있는 경우 이들 값의 80~85%만 고려하는 것이 바람직하다.

감사의 말

본 연구에 많은 도움을 준 세방기술단의 강인섭 상무와 은진지오테크의 신도순 부장에게 감사드리는 바 이다.

참 고 문 헌

1. 강인섭(1994), "현장계측을 통한 흙막이구조물의 안정성 검토에 관한 연구", 중앙대학교, 건설대학원, 석사학위논문.
2. 이종규, 전성곤(1993), "다층지반 굴착시 토류벽에 작용하는 토압분포", 한국지반공학회지, 제9권, 제1호, pp. 59~68.
3. 윤중만(1993), "앵커지지 흙막이벽체에 작용하는 측방토압과 수평변위", 중앙대학교, 대학원, 석사학위논문.
4. 홍원표, 이기준(1992), "앵커지지 굴착흙막이벽에 작용하는 측방토압", 한국지반공학회지, 제8권, 제4호, pp. 87~95.
5. Bowles, J. E.(1982), "Foundation Analysis and Design", McGraw~Hill, Tokyo, pp. 519~522.
6. Hunt, R. E.(1986), "Geotechnical Engineering Techniques and Practices", McGraw-Hill, pp. 598~612.
7. NAVFAC DESIGN MANUAL(1982), 7.2, pp. 7.2-85~7. 2-116.
8. Peck, R. B.(1969). "Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground", State of The Art. Volume, Proc., 7th ICSMFE, Mexico, pp. 225~290.
9. Terzaghi, K. and Peck, R. B.(1948), "Soil Mechanics in Engineering practice", 1st ed., John Wiley and Sons, New York.
10. Terzaghi, K. and Peck, R. B.(1967), "Soil Mechanics in Engineering practice", 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, pp. 394~413.
11. Tschebotarioff, G. P.(1951), "Soil Mechanics, Foundations and Earth Structure", McGraw-Hill, New York.
12. Tschebotarioff, G. P.(1973), "Foundations, Retaining and Earth Structure", McGraw-Hill, New York, pp. 415~457.
13. Xanthakos, P. P. (1991), "Gound Anchors and Anchored Structures", John Wile and Sons, Inc. pp. 552~553.
14. 福岡正巳, "新しい土壓入門-土壓の考え方と實際", pp. 3-1~3-14.

(접수일자 1994. 11. 2)