

모형실험을 통한 굴착시 인접 구조물의 침하량 평가

A Model Test on the Settlements of Adjacent Structures by Excavation

석 정 우*¹ 최 광 철*²
Seok, Jeong-Woo Choi, Kwang-Chul
김 운 영*³ 김 명 모*⁴
Kim, Oon-Young Kim, Myoung-Mo

Abstract

It comes to be an important point to judge precisely the effects of excavation on adjacent ground and structures. It is incorrect to evaluate the ground settlement by excavation without considering the adjacent structure. In this study, laboratory scale tests were carried out by varying the position of structure under the condition of different system stiffness and wall friction to evaluate the behavior of adjacent structures and ground by excavation. When the distance between the structures and the wall was less than 0.3 times of the excavation depth, the ground settlement increased by 181%. No additional effect was observed when the distance was more than 1.0H. As the embedded depth was deeper, the influence zone was smaller, and few additional settlements and angular displacement were observed when the embedded depth was more than 0.75H.

요 지

도심지에서의 대규모, 대심도 굴착공사가 빈번해짐에 따라서 굴착이 배면지반은 물론, 인접 구조물에 미치는 영향을 정확히 평가하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 그러나, 일상적으로 굴착의 영향을 평가할 때 구조물의 존재 유무에 관계없이 주위 지반 침하량을 산정하고 있는데 이는 옳지 않다고 판단된다. 본 연구에서는 굴착시 구조물이 토류벽체에 인접하여 놓여있는 경우에 각기 다른 지보강성과 벽면마찰각을 갖는 다양한 조건하에서 굴착으로 인한 주위 지반 및 구조물의 거동을 평가하기 위하여 구조물의 평면 및 단면상에서의 위치를 변화시켜가면서 모형실험을 실시하였다. 그 결과로부터 인접 구조물이 지표면에 위치할 경우에 이격거리가 굴착깊이의 0.3배 이내이면 구조물이 없을 때와 비교하여 최대 181%의 추가 침하가 발생하며, 1.0배 이상 떨어지면 구조물에 의한 추가적인 영향은 없다는 결론을 얻었다. 그리고, 구조물 기초의 근입깊이가 깊어질수록 추가로 영향받는 영

*1 정회원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

*2 정회원, 한국통신 가입자망연구소 전임연구원

*3 정회원, 육군사관학교 토목공학과 부교수

*4 정회원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

역이 줄어들고 기초의 근입깊이가 굴착깊이의 0.75배 이상이면 추가 침하는 거의 발생하지 않았다.

Keyword : Adjacent excavation, Ground settlements, Additional settlements, Angular displacements

1. 서론

굴착시 배면 지반에서 발생하는 침하와 그 분포는 인접 구조물의 거동에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 그러므로, 인접 구조물의 안정성 및 사용성을 고려하는 데 있어서, 토류벽으로부터의 이격거리에 따른 주변지반 침하량의 크기와 분포를 정확히 파악하는 것은 상당히 중요한 문제이다. 그러나, 이 때 구조물이 침하영향권에 있을 때와 없을 때의 지반 거동은 반드시 일치하지 않을 것으로 예상되는데 일상적으로 이를 무시하고 있다. 지반 침하가 일치할 수 없다고 판단하는 이유는 굴착에 의하여 지반의 횡방향 응력이 이완될 때에 구조물 기초 주변의 구속압력이 줄어들면서 구조물 기초의 추가 침하가 일어날 것이기 때문이다.

위의 예상을 확인하기 위해 본 연구에서는 모래지반에서 모형실험을 수행하여 인접 구조물의 이격거리와 근입깊이 변화에 따른 침하 거동을 분석하고, 인접 구조물이 없을 때 발생한 침하량과 비교하여 추가적으로 발생한 침하량을 산정하였다. 또한, 지보 강성과 벽면 마찰각의 변화에 따른 침하 양상을 비교함으로써 다양한 환경하에서 인접 구조물에 미치는 굴착의 영향을 정량적으로 평가하고자 하였다.

2. 모형실험

2.1 실험전 고려사항

2.1.1 벽체 변형

그림 1은 스트럿(strut) 및 어스앵커(earth anchor) 지보를 갖는 토류벽체의 전형적인 변형 형태를 나타내고 있다(Goldberg et al., 1976). 선행하중이 가해졌거나 지표면과 가까운 곳에 설

치된 스트럿의 경우에는 벽체 상부에서의 변위가 구속되기 때문에 그림 1(b)와 같이 벽체 상단을 중심으로 회전하는 형태를 보일 수 있다. 그리고, 어스앵커가 사용된 경우에는 토류벽체의 침하, 어스앵커의 부분적 항복, 토피의 전체적 이동이나 전단 변형 등으로 인하여 그림 1(c)와 같이 벽체 하단을 중심으로 하여 회전이 발생할 수 있다. 벽체 변형의 형태 및 크기는 벽체와 지보재의 강성·설치 간격 등으로 결정되는 지보시스템의 강성에 따라 그 양상을 달리하나, 벽체 변위가 과도하게 발생하지 않는 일반적인 경우에 대해서는 지보 형식에 따른 차이가 거의 없다고 알려져 있다. 벽체 하단이 암반(풍화암)에 근입된 국내 굴착현장의 계측 결과에서 일반적으로 나타나는 변형 양상이 그림 1(c)와 유사하므로, 본 실험에서는 벽체 지지 조건을 하단 힌지로 선택하였다.

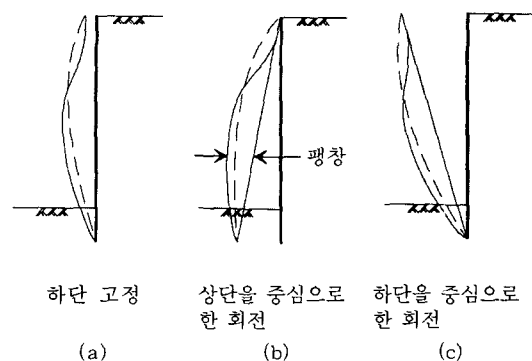


그림 1. 버팀굴착시 지보형식에 따른 토류벽체의 변형 (Goldberg et al., 1976)

표 1. 사질토 지반에서의 현장계측 결과요약(Goldberg et al., 1976)

제안자	벽체 형식	지보 형식	지반조건	굴착깊이 (m)	$\delta_{v,max}(cm)$ (%)	$\delta_{v,max}(cm)$ (%)
Goettle 등(1974)	엄지말뚝	어스앵커	조밀한 모래 · 자갈	7.0	0.64 (0.09)	0.64 (0.09)
Stigourney(1971)	엄지말뚝	어스앵커	매우 조밀한	10.7~13.2	-	0.25 (0.02)
Liu 등(1972)	엄지말뚝	어스앵커	조밀한 모래 · 자갈 · 매우 단단한 점토	16.8	2.0 (0.12)	2.5 (0.15)
Larson 등(1972)	엄지말뚝	어스앵커	조밀한 모래	15.2	2.5 (0.16)	2.5 (0.16)
Dietrich 등(1971)	엄지말뚝	어스앵커	실트질 모래	16.5	6.3 (0.38)	4.0 (0.24)
Heeb 등(1966)	엄지말뚝	스트럿	모래	12.2	-	2.0 (0.16)
Corbett 등(1974)	엄지말뚝	어스앵커	매립층 · 모래 · Marl	15.6	-	2.0 (0.13)
Goldberg 등(1976)	엄지말뚝	어스앵커	매립층 · 유기질모래 · 단단한 점토 · till	13.8	3.8	2.5 (0.18)
Scott 등(1972)	강널말뚝	스트럿	조밀한 세립의 모래	15.3	-	20.3 (1.33)
Chapman 등(1972)	엄지말뚝	스트럿 · 레이커 (선행재하)	모래 · 자갈 · 단단한 점토	13.8	0.64 (0.05)	2.5 (0.18)
O' Rourke 등(1974)	엄지말뚝	스트럿 (선행재하)	조밀한 모래 · 자갈 · 단단한 점토	18.3	3.8 (0.21)	2.3 (0.13)
O' Rourke 등(1974)	엄지말뚝	스트럿 (선행재하)	조밀한 모래 · 자갈 · 단단한 점토	25.0	3.8 (0.15)	3.2 (0.13)
O' Rourke 등(1974)	엄지말뚝	어스앵커	조밀한 모래 · 자갈 · 단단한 점토	12.2	1.8 (0.15)	5.1 (0.42)

표 1과 같이 연성 벽체를 사용한 사질토 지반의 버팀굴착 현장에서 수집한 계측결과를 벽체 및 지보의 형식, 지반조건, 굴착깊이 등으로 정리하면, 벽체의 최대수평변위($\delta_{h,max}$)와 최대연직변위($\delta_{v,max}$)는 특별한 경우를 제외하고는 굴착깊이의 0.2% 내외에 분포하고 있다(Goldberg et al., 1976; Ou, 1993). 본 실험에서는 연성 벽체를 모사하기 위하여 아크릴판을 사용하였으며, 굴착깊이에 대한 최대 수평변위량의 비율($\delta_{h,max}/H$)이 0.3%가 되는 벽체 두께, 1차 및 최종 굴착깊이, 그리고 스트럿 설치 위치 등을 찾기 위하여 여러 번의 예비실험을 실시하였다.

2.1.2 벽면 마찰의 영향

평면 변형율 조건을 가정하고 수행하는 모형토조실험에서 가장 흔하게 지적되는 문제점 중의 하나가 토조와 모형지반간에 발생하는 벽면 마찰이다. 모래와 벽면사이의 마찰은 벽체의 폭(W)과 높이(H)의 비가 작을수록 증가하는데, Rowe는 토조 벽면이 나무로 이루어진 연성 벽체에 대한 모형실험에서 상재하중이 없는 경우에는 벽체의 폭과 높이의 비인 W/H가 1.5~2.0. 상재하중에 있는 경우에는 3.0 정도가 되어야만 마찰의 영향을 무시할 수 있다고 하였다. Terzaghi는 주동상태에서 시행되는 실험일 경우에는 W/H로 2.0을 추천하였고, Tchbotarioff는 벽면이 콘크리트인 토조에 대하여 1.6을 제안하

였다(Milligan, 1974). 이번 실험에 사용한 벽체의 폭과 높이의 비는 1.25로써 벽면마찰을 무시할 수 있는 범위를 벗어나는 기하학적 형상을 갖고 있다. 다만, 토조 벽면이 나무나 콘크리트보다 마찰계수가 작은 알루미늄으로 이루어져 다소 유리한 면이 있는 반면에, 상재하중이 있기 때문에 추가로 벽면 마찰이 발생할 요인이 있다. 따라서, 벽면 마찰을 무시할 수 없는 상황인데, 이번 실험에서는 저마찰테이프나 그리스 사용 등, 마찰을 줄이기 위한 방법을 사용하지 않고 벽면 마찰의 효과가 미치지 않는 토조 폭의 중앙부에서 모든 계측을 실시함으로써 벽면 마찰의 영향을 배제하고자 하였다(Rowe and Peaker, 1965; Anderson et al., 1982). 토조 벽면에서 15cm 이상 떨어진 지점부터는 측면마찰의 영향이 나타나지 않는 것을 예비실험을 통해 확인하였으며, 이러한 사실로부터 구조물 모형의 폭을 토조 폭보다 34cm 작은 41cm로 결정하였다. 또한, 구조물 모형의 길이가 작은 경우에는 굴착에 의한 구조물의 부등침하가 매우 크게 발생하여 구조물 자체가 전도될 수 있기 때문에, 실험중 구조물 모형의 안정성을 유지시키기 위하여 구조물 모형의 길이는 21cm로 결정하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 실험장치의 구성

모형실험에 사용한 토조와 실험장치의 구성은 그림 2와 같다. 토조는 두께 20mm의 알루미늄 판을 사용하여 1800mm×750mm×600mm의 크기로 제작하였으며, 한쪽 측면은 지반의 거동을 관찰하기 위하여 20mm 두께의 강화유리로 제작하였다. 모형 벽체는 굴토깊이에 대한 최대 수평변위량의 비율(δ_h/H)이 0.3% 내외의 값을 갖도록 예비실험을 통하여 결정된 두께 3mm, 748mm×600mm 크기의 아크릴 판을 사용하였으며, 모형벽체의 휨강성(EI)은 $3.02 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ 이었다. 모형 벽체는 토조 바닥면에 설치된 경첩에 고정시켜 벽체의 하단이 힌지(hinge)로 거동하도록 하였다. 벽체와 토조 측면

과의 마찰 영향을 줄이기 위하여 벽체와 토조 벽면사이에는 약 1mm 가량의 틈이 존재하도록 벽체 폭을 조절하였고(Milligan, 1974). OHP 필름을 이용하여 이 틈새로 배면 지반의 모래가 유출되지 않도록 하였다. 스트럿으로는 $6.60 \times 10^3 \text{ t}$ 의 축강성(EA)을 갖는 유압잭을 사용하였다. 실험에 사용된 인접 구조물 모형은 강성 기초로 거동하도록 두께 8mm의 합판을 이용하여 410mm×210mm×400mm의 직육면체 형태로 제작하였다. 인접굴착에 의한 영향은 깊은 기초로 이루어진 대형 구조물보다는 얕은 기초의 형식을 갖는 소형 구조물의 경우가 훨씬 클 것으로 예상되기 때문에 5층 이하의 소형 구조물을 모형화하여 실험하고자 하였으며, 벽체에 작용하는 토압과 건물 크기 및 벽체의 휨강성 등을 고려하여 구조물 모형의 하중은 0.7 t/m^2 으로 결정하였다.

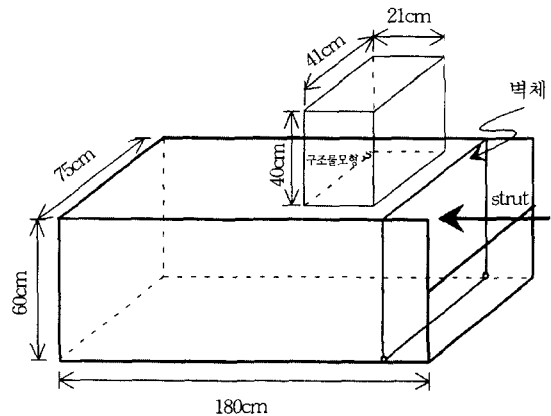


그림 2. 모형 토조의 규격과 실험 장치의 구성

2.2.2 계측

계측장치의 구성은 그림 3과 같다. 지표 및 지중침하의 측정은 온도에 따른 신축이 거의 없는 재질의 줄자가 부착된 측점에 대한 레벨 측량을 통하여 이루어졌다. 인접 구조물의 부등침하는 굴착측과 배면측에 각각 줄자를 부착하여 지반침하와 마찬가지로 레벨을 이용하여 계측하였다. 구조물 모형을 지반에 설치한 후 측

정된 값을 초기치로 사용하여 구조물 자중에 의한 탄성 침하가 제외된, 굴착으로 인한 구조물의 침하량을 계측하였다. 벽체의 횡방향 변위는 벽체의 상단과 중앙부에 각각 LVDT를 설치하여 측정하였다. 또한, 유리판으로 된 토조의 측면을 통해 벽체의 전체 변형 양상을 관찰하였다.

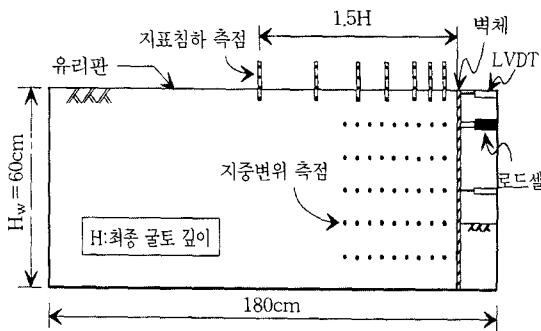


그림 3. 계측 장치의 구성 (구조물이 없는 경우)

2.2.3 실험절차

상대밀도에 가장 큰 영향을 미치는 요소로는 단위시간당 단위면적에 떨어지는 사질토의 무게와 낙하높이를 들 수 있다(Walker and Whitaker, 1967). 그러므로, 이번 실험에서는 낙하량과 낙하고를 일정하게 조절할 수 있는 강사 장치(raining box)를 이용하여 매 실험마다 같은 상대밀도를 갖는 모형 지반을 조성하였다. 지반 조성시에 일정 깊이마다 설치한 캔을 실험이 끝난 후 회수하여 모형지반의 건조단위중량을 측정함으로써 실험 조건의 균등성을 확인하였다. 모형 지반은 주문진 표준사를 사용하였으며, 이에 대한 기본 물성치는 표 2와 같다. 실험에 사용된 모형지반의 평균 건조단위중량은 $1.6t/m^3$ 이며, 상대밀도는 78.2%이다.

표 2. 주문진 표준사의 기본 물성치

최소 건조단위 중량 (t/m^3)	최대 건조단위 중량 (t/m^3)	내부마찰각(degree)		
		$D_r = 43\%$	$D_r = 70\%$	$D_r = 87\%$
1.39	1.67	32.4	39.8	43.5

모형지반의 조성이 완료된 후, LVDT와 레벨을 이용하여 벽체의 수평방향 변위와 배면지반의 지표침하 및 인접 구조물의 침하에 대한 초기값을 읽고, 진공 펌프를 이용하여 그림 4와 같이 스트럿 설치 위치에서 6cm 아래까지 모형 지반을 제거하였다. 1차 굴토가 완료된 후, 벽체와 지표면에 발생한 변위량을 측정하였다. 스트럿의 역할을 하는 유압잭을 벽체와 밀착시킨 후, 진공 펌프를 이용하여 최종 굴토깊이까지 모형 지반을 제거하였다. 최종 굴토깊이까지의 굴토가 끝나면 추가 발생한 벽체의 횡방향 변위와 스트럿의 축력을 측정하고 지표 침하 및 인접 구조물의 침하를 계측하였다.

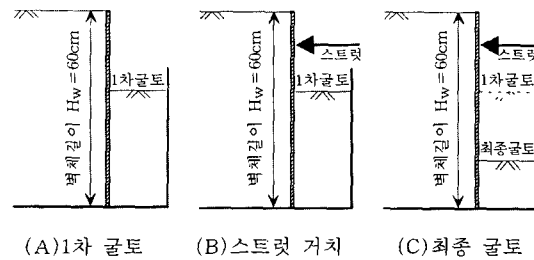


그림 4. 1차 굴토 및 최종 굴토

2.3 실험계획

본 논문에서는 그림 5에 나타낸 바와 같이 세가지 조건하에서 실험을 실시하였다. 이는 지보 강성(system stiffness)의 차이로 인한 벽체 변형 양상의 변화와 벽면 마찰각의 변화가 지표 및 인접 구조물의 침하에 미치는 영향을 관찰하는 데에 그 목적이 있다. CASE A와 CASE B에서는 벽체 상부에서 최대 변위가 발생하는 외팔보 변위 형태(cantilever type)와 굴착면 부근의 벽체가 안쪽으로 변위를 일으키는 형태(inward movement type)로 대별되는 벽체 변형 양상에 대하여 지표침하 및 인접 구조물의 거동이 어떻게 변화하는가를 관찰하고자 하였다. 또한, CASE B와 CASE C에서는 벽면 마찰각의 변화에 따른 침하 양상을 관찰하였는데,

CASE B는 매끈한 면을 갖는 모형 벽체를 그대로 사용하였고 CASE C의 경우는 벽체의 배면 측에 모형 지반과 동일한 모래를 붙여서 실험하였다.

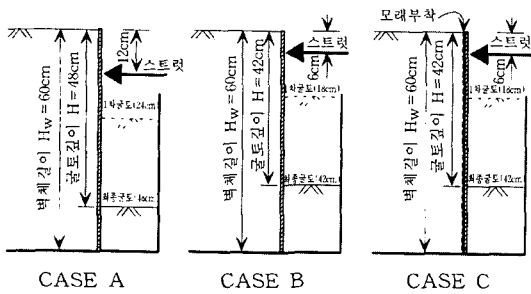


그림 5. 각 CASE별 실험 조건(지보 강성 및 벽면 마찰각의 변화)

그림 5에 표시한 세가지 실험조건에 대하여, 인접 구조물의 위치에 따른 추가 침하량 및 각변위의 변화를 살펴보기 위하여 인접 구조물의 이격거리를 변화시켜 가며 실험을 실시하였고 이때 발생한 구조물의 침하량 및 각변위를 인접 구조물이 없는 경우에 발생한 값과 비교하였다. 또한, CASE C의 경우에는 인접 구조물의 근입깊이 변화에 따른 영향을 관찰하기 위하여 그림 6과 같이 각 이격거리에서의 근입깊이를 변화시켜 실험한 후, 이를 인접 구조물이 없을 때 동일한 위치에서 발생한 지중침하량과 비교하였다.

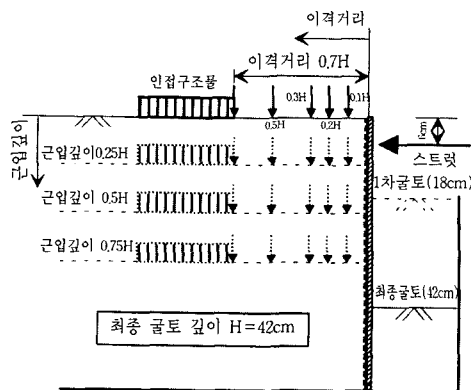


그림 6. 구조물 모형의 위치 변화 (CASE C)

3. 실험결과 및 분석

3.1 이격거리에 따른 침하량 변화

그림 7은 배면지반에 인접 구조물이 없을 때 발생한 지표침하량을 나타낸다. 이는 인접 구조물(상재하중)의 영향이 배제된 결과이므로 인접 구조물에 의한 추가침하량을 산정하기 위한 비교 기준이 된다.

각 조건하에서의 지표침하 분포, 특히 벽체에 근접한 곳에서의 침하분포는 지보 강성의 크기에 따라 변하는 벽체의 변형 양상과 벽면 마찰각의 크기에 상당한 영향을 받는다. 각 경우에 대한 침하포락선의 기울기를 비교해 볼 때, 벽체와의 이격거리가 짧아질수록 외팔보의 변위 형태를 나타낸 CASE A가 나머지 경우에 비하여 더 가파른 침하분포를 보였다. 특히, 벽체로부터 굴착깊이의 약 0.1배 떨어진 지점에서의 지표침하량은 CASE A가 CASE B에 비하여 43%정도 증가한 것으로 나타났다. 벽면 마찰각의 변화에 따른 지표침하량은 모래를 붙힌 벽체를 사용한 CASE C가 매끈한 벽체를 사용한 CASE B에 비하여 최대 54% 정도 감소하였다. 즉, 지보 강성 및 벽면 마찰각에 따른 침하분포의 변화는 구조물이 인접해 있을 경우 그 거동에 직접적인 영향을 줄 수 있을 것이다.

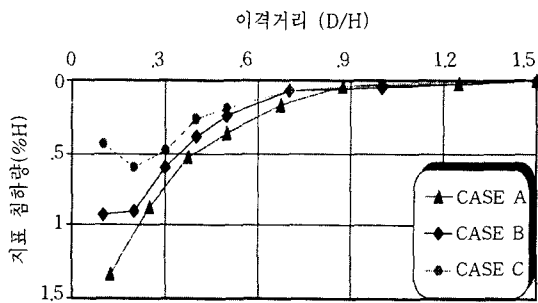


그림 7. 지표 침하량의 변화 (인접 구조물이 없는 경우)

그림 8은 CASE C에서 측정된 지중침하 분포를 나타낸다. 전체적으로는 깊이가 깊어질수록

침하량이 줄어드는 경향을 나타내지만 벽체에 근접한 곳에서는 횡방향 변위, 즉 벽체의 변형 양상에 따라 지표침하보다 지중침하가 크게 발생할 수도 있음을 알 수 있다.

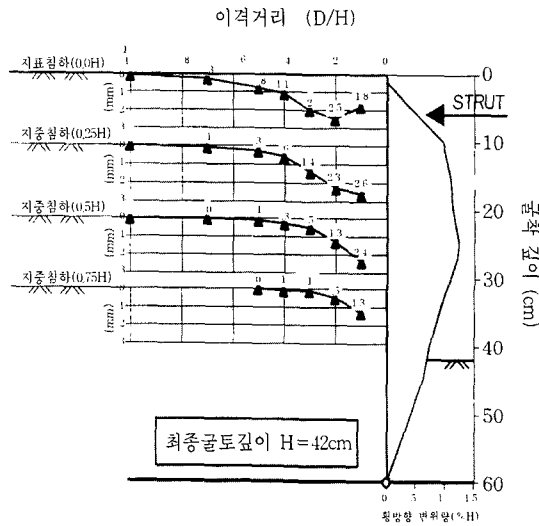


그림 8. 지중 침하량의 변화 (인접 구조물이 없는 경우)

각각의 조건하에서 이격거리에 따른 인접 구조물의 침하량은 표 3 및 그림 9에 나타난 바와 같다. 여기서, 이격거리는 벽체로부터 구조물 모형 전면까지의 거리를 뜻한다. 구조물이 지표면에 있을 때, CASE A의 경우는 구조물이 없을 때에 비하여 최고 117%의 침하량 증가가 발

생하였고, 이격거리 0.875H에서도 50%의 침하량이 증가하였다. CASE B의 경우는 최고 63%의 침하량이 증가하였고, 이격거리 0.7H에서도 40% 이상의 침하량이 증가하였다. CASE C의 경우는 최고 181%의 침하량이 증가하였다. 각 경우에 있어서 구조물이 벽체에 매우 근접하여 위치할 경우(이격거리 0.1H)에는 큰 폭의 침하량 증가 양상을 보이는데, 이는 구조물의 바닥면이 주동 활동면내에 존재하기 때문으로 추정된다. 구조물 모형과 벽체와의 이격거리가 1.0H 이상 떨어지게 되면 CASE A, B, 그리고 C 모두에서 구조물의 존재가 침하 형태 및 크기에 별다른 영향을 주지 못하였다.

인접 구조물이 존재하는 경우에도 구조물이 없을 때와 같이, 지보강성에 따라서 이격거리가 줄어들수록 침하량은 큰 폭의 차이를 보였다. 그러므로, 주변 지반의 침하 억제와 인접 구조물의 안정성 확보를 위해서는 지보재를 가급적 벽체 상단에 위치시켜서 벽체 상단의 변위를 가능한 한 억제할 필요가 있다.

3.2 근입깊이에 따른 침하량 변화

그림 10과 표 4에 나타난 바와 같이 인접 구조물이 지중에 근입되어 있는 경우에도 이격거리가 멀어질수록 침하량이 줄어드는 경향을 나타내고 있으나, 근입깊이가 깊어질수록 그 영향 거리는 상당히 줄어들음을 알 수 있다. 이격거리가 0.1H인 경우에는 구조물이 지표면에 있는

표 3. 이격거리에 따른 구조물의 부등침하량(%H)

이격거리 실험조건	0.1H	0.125H	0.2H	0.25H	0.3H	0.375H	0.5H	0.675H	0.7H	0.875H
CASE A		2.88-0.90 (1.33)	-	1.13-0.44 (1.88)	-	0.71-0.35 (0.52)	- (0.35)	0.27-0.10 (0.17)	-	0.06-0.02 (0.04)
CASE B	1.52-0.55 (0.93)	-	1.00-0.40 (0.90)	-	0.76-0.36 (0.60)	-	0.31-0.07 (0.38)	-	0.10-0.05 (0.07)	-
CASE C	1.21-0.43 (0.43)	-	0.81-0.31 (0.60)	-	0.45-0.17 (0.48)	-	0.21-0.07 (0.19)	-	0.07-0.02 (0.07)	-

* A-B : A, B는 각각 인접 구조물의 굴착측, 배면측 모서리에서 측정한 침하량을 나타냄.
 * ()안의 값은 구조물이 없는 경우에서의 지표침하량을 뜻함.
 * 측정간 거리 : CASE A - 0.4375H, CASE B & CASE C - 0.5H

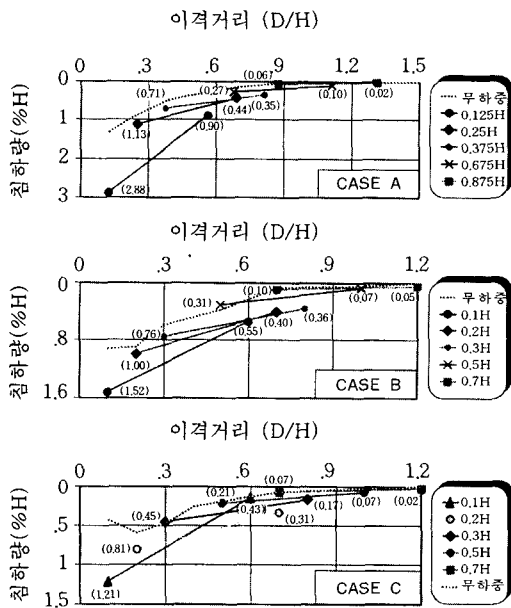


그림 9. 이격거리에 따른 구조물의 부등침하량

경우에 비하여 0.75H 근입된 경우의 침하량은 약 96% 감소하였으며, 특히 근입깊이가 0.5H 이상인 경우에는 구조물이 없을 때보다 더 작은 침하가 발생하였다. 즉, 구조물이 일정 깊이 이상으로 근입되어 있는 경우에는 오히려 구조물에 의하여 지반 변형이 어느 정도 구속된다는 것을 알 수 있다. 이러한 실험 결과의 유효성은 수치해석을 통해서도 확인할 수 있는데, 풍화토 및 풍화암 지반의 굴착에서 이격거리 0.1H, 근입깊이 0.4H 이상 되는 구조물의 최대침하 및 부등침하는 구조물이 없는 경우보다 작다는 수치해석 결과가 발표된 바 있다(박기태, 1996).

3.3 추가 침하체적의 변화

구조물 모형의 바닥면 강성이 모형지반의 강성에 비하여 매우 크기 때문에 침하량만의 단순 비교로는 구조물에 의한 추가 침하의 크기를 명확하게 나타낼 수 없다. 그러므로 인접 구조물의 위치 변화에 따른 침하 거동을 보다 명확히 분석하기 위하여 추가 침하체적을 구하여 그 변화를 살펴 보았다. 추가 침하체적은 그림

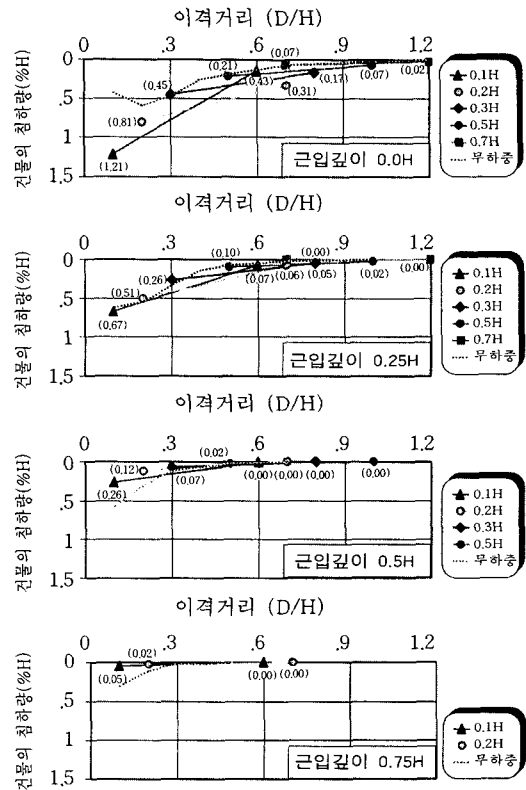


그림 10. 근입깊이에 따른 구조물의 부등침하량

11에 나타난 것과 같이 구조물 모형의 침하체적에서 인접 구조물이 없을 때에 발생한 지표 침하체적을 뺀 값으로 정의하였다. 그림 11은 구조물 모형이 지표면에 있을 때 발생한 추가 침하체적을 나타낸 것인데 이격거리가 0.3H 이내에 존재하는 경우에는 110~1.211mm³/mm의 추가 침하체적이 발생하였고, 특히 구조물 모형의 바닥면 전체가 주동층기 토체 내에 속할 경우(이격거리 0.1H일 경우)에는 406~1.211mm³/mm의 침하체적 증가가 일어났다. 특히, CASE A에서는 CASE B와 CASE C의 경우에 비하여 추가 침하체적이 약 2.7~3.0배 정도 크게 발생하였는데, 이는 벽체의 휨강성과 지보재의 평균 수직간격의 함수로 정의되는 지보 강성(system stiffness)에 따른 벽체 변형 양상의 차이가 인접 구조물의 침하 형태에 상당한 영향을 미친다는 것을 간접적으로 보여준다.

표 4. 근입깊이에 따른 구조물의 부등침하량(%H) [CASE C]

이격거리 \ 근입깊이	0.1H	0.2H	0.3H	0.5H	0.7H
지표면	1.21-0.43	0.81-0.31	0.45-0.17	0.21-0.07	0.07-0.02
0.25H	0.67-0.07	0.51-0.06	0.26-0.05	0.10-0.02	0.00-0.00
0.50H	0.26-0.00	0.12-0.00	0.07-0.00	0.02-0.00	0.00-0.00
0.75H	0.05-0.00	0.02-0.00	0.00-0.00	0.00-0.00	0.00-0.00

※ A-B : A, B는 각각 인접 구조물의 굴착측, 배면측 모서리에서 측정한 침하량을 나타냄.

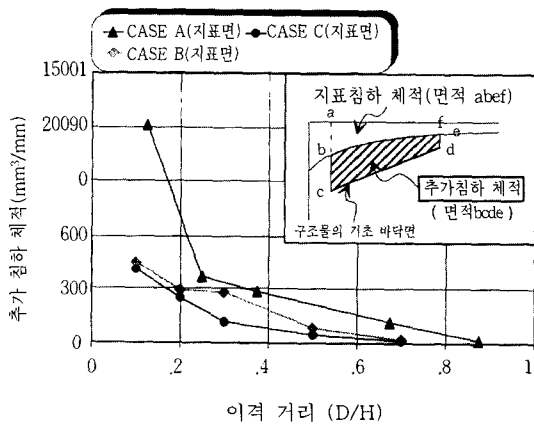


그림 11. 실험조건에 따른 추가 침하 체적의 변화 (근입깊이 : 0.0H)

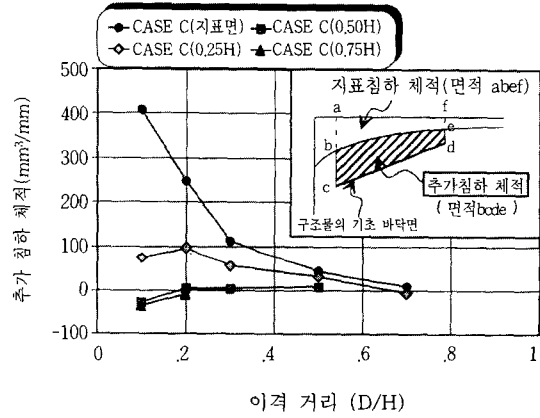


그림 12. 근입깊이에 따른 추가 침하 체적의 변화 (CASE C)

그림 12는 CASE C에서 지중에 근입된 인접 구조물에 대한 추가 침하체적의 변화를 나타내고 있다. 근입깊이가 깊어질수록 구조물 기초에 의한 지반의 구속효과가 증가하여 추가 침하체적은 큰 폭으로 감소하며, 근입깊이가 0.5H 이상일 경우에는 구조물 모형에 의한 침하체적의 증가가 거의 나타나지 않았다. 또한, 구조물 모형의 기초가 0.5H 이상 근입되고 구조물 모형과 벽체와의 이격거리가 0.2H 이내이면 구조물이 없는 경우보다 오히려 더 적은 양의 침하체적이 발생하였다.

3.4 각변위의 변화

3.3절에서 언급한 추가 침하체적을 이용한 결과 분석은 인접 구조물이 주위 지반의 침하에 미치는 영향을 해석하고자 한 것이기 때문에, 굴착시 이격거리나 근입깊이에 따른 구조물 자체의 변위를 표현하는 데에는 한계가 있다. 굴착에 의한 인접 구조물의 변위 발생 양상을 명확하게 나타내는 데에는 구조물 길이에 대한 부등침하량의 비로 정의되는 각변위가 가장 효과적일 것으로 판단된다.

그림 13과 14는 인접 구조물의 위치에 따른

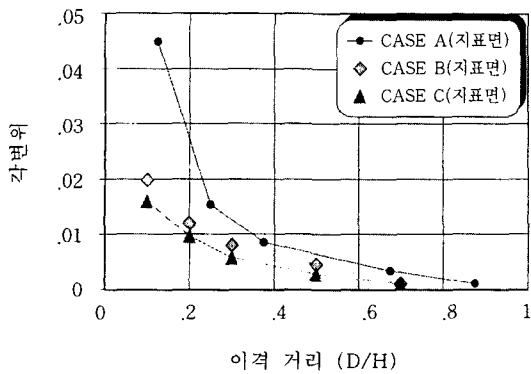


그림 13. 이격거리에 따른 각변위의 변화(지표면)

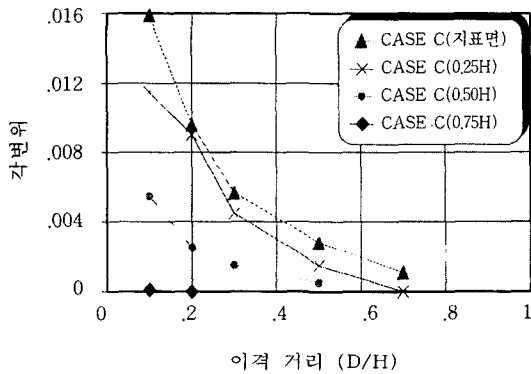


그림 14. 이격거리에 따른 각변위의 변화(지중)

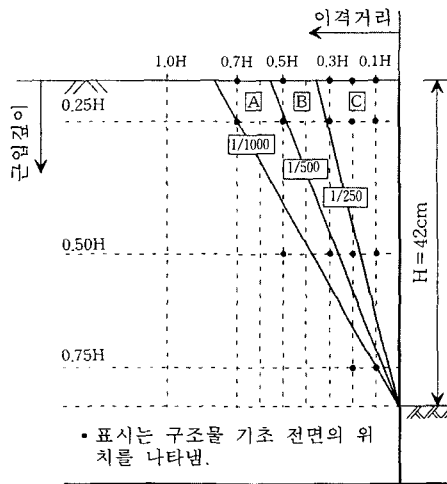


그림 15. 허용 각변위에 대한 구조물의 위치분포(CASE C)

침하 거동을 각변위로서 표현한 것이다. 그림 13과 같이 인접 구조물이 지표면에 있는 경우에는 추가 침하체적의 변화와 유사한 경향성을 보였다. 그림 14는 구조물 모형의 근입깊이에 따른 각변위의 변화 양상을 나타낸 것인데, 근입깊이가 0.5H인 경우에도 벽체로부터 0.1H 이격되었을 때는 1/180 정도의 각변위가 발생하고 있음을 알 수 있다. 만약 이 정도 크기의 각변위가 실제 구조물에 발생한다면 구조물 자체의 안정성에 문제가 발생할 것이다. 그러나, 본 실험의 경우에는 구조물 모형의 폭이 작기 때문에, 특히 침하 분포의 곡률이 급하게 변하는 벽체 인접지역에 구조물 모형이 존재하는 경우에는 측정된 각변위의 신뢰성이 저하되는 문제가 있다.

그림 15는 일정한 각변위 이상을 나타내는 인접 구조물 기초 전면의 위치를 포함하는 영역을 표시한 것이다. 예를 들어, A영역은 1/1000에서 1/500, B영역은 1/500에서 1/250, C영역은 1/250이상의 각변위가 발생할 수 있는 인접 구조물의 위치를 나타낸다.

4. 결 론

인접굴착시 구조물에 의한 추가 침하 및 부동침하의 크기를 산정하기 위하여 모형실험을 수행하였다. 실험에 사용한 모형지반은 주문진 표준사를 이용하여 조성하였으며, 1단의 스트럿으로 지지된 토류벽은 연성벽체를 모사하기 위하여 아크릴판을 사용하였다. 하중의 크기가 $0.7t/m^2$ 인 구조물 모형의 위치를 변화시켜가며 실시한 굴착 모형실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 구조물 모형이 지표면에 위치할 경우에 이격거리가 굴착깊이의 0.3배 이내이면 상당한 양의 추가 침하가 발생하였고, 특히 구조물 모형의 기초 전체가 주동 췌기 토체 내에 속할 경우에는 실험조건에 따라 63%~181%의 추가 침하가 발생하였다. 또한, 지보 강성과 벽면 마찰각에 따라 다소 차이가 있지만, 이격거리가

굴착깊이의 1.0배 이상이면 굴착으로 인한 추가적인 영향은 없었다.

2) 인접 구조물 기초의 근입깊이가 깊어질수록 추가 침하량 및 각변위, 그리고 침하영향거리는 큰 폭으로 감소하였다. 근입깊이가 굴착깊이의 0.5배 이상일 경우에는 구조물 모형을 없을 때의 지중침하량보다 더 작은 값의 침하가 발생하여 지반침하의 측면에서는 인접 구조물이 없을 때보다 안전측의 결과를 보였다.

3) 벽체의 휨강성과 지보재의 위치 및 평균 수직간격 등으로 정의되는 지보 강성에 따른 벽체 변형 양상의 차이가 지표침하의 형태와 크기, 그리고 인접 구조물의 침하 형태에 미치는 영향은 벽체로부터의 이격거리가 줄어들수록 큰 폭으로 증가하였다. 이격거리가 굴착깊이의 0.1배이고 구조물 모형이 지표면에 있는 경우의 추가 침하체적은 지보 강성에 따라서 약 3배 정도의 차이를 보였다.

4) 굴착시 발생하는 지반침하의 주된 원인으로 정량적인 평가가 가능한 항목으로는 굴착으로 인한 횡방향 구속응력 이완과 지하수위 저하를 들 수 있다. 현장 조건에 따라서는 지하수위의 저하가 지반 침하에 매우 큰 영향을 미치게 되므로, 지하수위 저하의 영향을 평가하기 위한 실험연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박기태(1996), 인접굴착에 의한 토류벽체와 인접구조물의 상호 변형 영향, 서울대학교 석사학위논문
2. Anderson, W. F. et al.(1982), "Laboratory-scale tests on anchored retaining walls supporting backfill with surface loading", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.19, pp.213-224
3. Goldberg, D. T., Jaworski, W. E. and Gordon, M. D.(1976), *Lateral support systems and underpinning*, Report, FHWA-RD-75-128(1), U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
4. Milligan, G. W. E.(1974), "The Behaviour of rigid and flexible retaining walls in sand", Ph. D. thesis, Univ. of Cambridge
5. Ou, C. et al.(1993), "Characteristics of ground surface settlement during excavation", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.30, pp.758-767.
6. Rowe, P. W., and Peaker, K.(1965), "Passive earth pressure measurements", *Geotechnique*, Vol.15, No.1, pp.22-52
7. Walker, B. P. and Whitaker, T.(1967), "An apparatus for forming uniform beds of sand for model foundation tests", *Geotechnique*, Vol.17, No.2, pp.161-167

(접수일자 1998. 4. 16)