

근접굴착에 따른 건물 하부 통과 터널의 거동

이종민¹⁾, 이상덕^{2)*}

Behavior of Building Lower Part Passage Tunnel due to Adjacent Ground Excavation

Jong-Min Lee, Sang-Duk Lee

Abstract Applied to the braced wall in order to stabilize the adjacent tunnel. A pre-load of bracing was imposed to prevent the horizontal displacement of the braced wall during the ground excavation. For this purpose, real scale model tests were conducted, without and with pre-load on braced wall. Real scale model tests were conducted, without and with building load (0 m, 1D, 2D) on ground surface. As a result, it was found that the stability of the existing tunnel adjacent to the braced wall could be greatly enhanced when the horizontal displacement of the braced wall was reduced by applying a pre-load, which was larger than the designated axial force of bracing. In this paper, the behaviors of braced wall and adjacent tunnel was studied. Model tests in 1:10 scale were performed in real construction sequences. Adjacent tunnel was 12 m in diameter and the size of test pit was 2.0 m (width) × 6.0 m (height) × 4.0 m (length) in dimension.

Key words Braced wall, Pre-loading, Adjacent tunnel

초 록 근접굴착 시 기존터널의 안정성을 확보하는 방안을 연구하였다. 흙막이벽체의 수평변위가 생기지 않도록 선행하중을 가하였다. 이를 위해 선행하중을 가하지 않은 경우와 선행하중을 가한 경우에 대해 실험 시험을 실시하였다. 지표면에 건물하중이 없는 경우와 건물하중이 있는 경우(0 m, 1D, 2D)에 대하여 각각 실험을 실시하였다. 그 결과 선행하중을 적용시켜 흙막이벽체의 변위를 억제시켰을때 벽체배면에 있는 기존터널의 안정성이 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 흙막이벽체와 기존터널의 거동에 대하여 연구하였다. 기존터널은 지름 12 m를 사용하였으며 1:10의 축척으로 2.0 m(폭) × 6 m(높이) × 4.0 m(길이)의 크기를 가진 대형토조에서 실험을 수행하였다.

핵심어 흙막이벽체, 선행하중, 기존터널

1. 서 론

고도의 산업발전과 경제성장에 따른 도심지에서의 경제활동 집중현상으로 과도한 인구집중현상이 사회간접자본시설의 확충을 요구하게 되었고, 도시가 과밀화되고 거대화되면서 고층빌딩이나 지하철, 경전철 등 새로운 교통수단이 건설되고 있다. 이로 인해 깊은 심도의 굴착이 빈번해지고, 밀집화된 도심지에서 건물용지면적

의 부족현상까지 발생하여 최적의 토지활용을 위해 기존구조물에 인접하여 흙막이 공법을 적용한 근접 굴착공사가 증가하고 있다. 이런 밀집화된 도심지공사로 기존 구조물의 균열 및 지하매설물의 파괴 그리고 시공중 흙막이벽체의 붕괴에 따른 피해가 심각해지고 이에 따른 막대한 인적 손실과 경제적 손실을 초래하고 있다.

따라서 도심지에서 흙막이 구조물공사가 대형화되고 복잡화 되면서 공사장과 근접한 곳에 건물과 터널의 장애물을 안고 해야 하는 흙막이 공사가 빈번하게 행해지고 있다. 건물하중과 흙막이 벽체 간 이격거리와 같은 영향요소들은 전체 흙막이구조물의 안정성 확보에 매우 중요할 뿐 아니라 주변지반 및 인접구조물의 안정성 확보에도 매우 중요하다.

¹⁾ 주식회사 솔토 대표이사

²⁾ 아주대학교 환경건설교통공학부 교수

* 교신저자 : lsangduk@ajou.ac.kr

접수일 : 2010년 9월 30일

심사 완료일 : 2010년 10월 14일

게재 확정일 : 2010년 10월 25일

본 논문에서는 근접 건물이 있는 경우 기존터널에 인접한 터파기 공사에서 기존 터널과 근접 건물(지하철, 터널, 상하수박스, 전력통신구, 각종 지하매설물 등)을 보호할 목적으로 굴착 단계별 버팀대에 작용하는 선형 하중을 가해 굴착단계별 해당 버팀보의 변위만을 제로 (0)로 억제하여 흙막이벽체와 기존 터널의 거동을 분석하였고, 이를 검증하기 위하여 대형모형시험을 실시하고 수치해석을 수행하였다.

근접굴착 시 주변 지반의 구조물의 안정성을 확보할 목적으로 굴착단계별 버팀대에 선형하중을 가하는 방법은 오래전부터 연구되어 현장에 적용되어 왔다. 이때 발생하는 흙막이 벽체 변위를 억제하고 배면지반의 변형을 최소화 시키는 방법이 다각도로 연구되고 있다.

2. 본 론

2.1 개요

본 논문의 연구에서는 상재하중(근접건물)이 있는 경우 기존터널에 인접한 터파기공사에서 굴착단계별 해당 버팀보의 변위만을 “영”(Zero)로 억제하여 기존터널과 근접 건물을 보호할 목적으로 상재하중의 재하 유무 및 위치(흙막이벽체 배면에서의 이격거리 0 m, 1D, 2D)에 따라 각각의 굴착단계별로 버팀대에 작용하는 선형하중을 가해 기존 터널의 거동을 분석하였고, 이를 검증하기 위하여 대형모형시험을 실시하고 같은 조건으로 수치해석을 수행하였다.

이론적 배경으로는 지중응력 및 토압에 관한 일반이론과 상재하중에 따른 지중응력 및 토압을 근거로 하였다.

대형모형시험은 축척 1/10로 조성된 지반의 특성과 모형토조 장치 및 계측기기(토압계, 변위계, 변형율게이지, 지중 수평/수직 변위계)를 설치하여 시험하였다.

수치해석은 유한요소법(F.E.M)을 적용한 범용해석 프로그램인 PLAXIS를 사용하여 각 조건별로 8가지 경우에 대해 수치해석을 수행하고 해석 결과에 대해 분석하였다.

대형모형시험과 수치해석 결과를 비교 분석하고, 근접굴착에 따른 기존터널과 흙막이벽체, 배면지반의 지표침하 등에 대해 현장에서의 실용화에 적용할 수 있도록

그 효율성을 확인하였다(이상덕, 1999).

따라서 본 연구에서는 선형하중의 적용여부, 또 상재하중(근접건물)의 작용 위치에 따른 경우 등을 다양하게 적용하여 보다 폭 넓게 비교 분석하고자 한다(김일, 2008).

각각의 대형실험 경우에 대하여 표 1처럼 구분하였다.

2.2 대형모형실험

1) 실험 개요

본 논문에서는 근접시공에 따른 굴착단계별 흙막이벽체의 거동으로 인한 벽체의 변위와 단면력, 벽체배면의 기존터널과 지표침하 등에 미치는 영향을 파악하기 위해 대형모형시험을 수행하여 분석하였다.

본 연구에서 적용한 터널의 형상은 현장에서 많이 시공되고 있는 마제형과 난형이 아닌 원형터널로 적용하였다.

대형모형시험은 경계조건에 크게 영향을 받지 않고 시험결과를 일반화할 수 있는 특성이 있다.

2) 실험장치

본 논문에서 사용된 대형모형 토조의 크기는 폭 2.0 m,

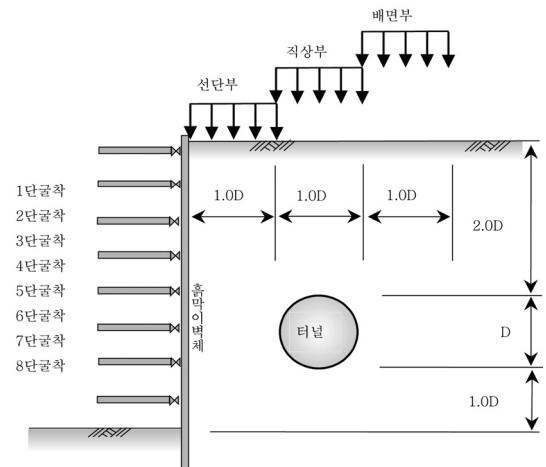


그림 1. 실험 개요도

표 1. 재하하중 구분표

구 분	상 재 하 중 (27 ton)			
	없는경우	이격거리 (0 m)	이격거리 (1D)	이격거리 (2D)
굴 착	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
선형하중	CASE 5	CASE 6	CASE 7	CASE 8

높이 6.0 m, 길이 4.0 m로 만들어 졌으며, 지반의 굴착은 8단계로 단계별 굴착을 하였다. 흙막이벽체는 토조의 전면에 설치하고 굴착을 모사하기 위해 스크류잭을 고정하였고, 선행하중은 굴착단계별로 유압잭을 사용하였다.

대형모형 토조의 바닥과 측벽은 콘크리트 벽체로 이루어져 있고, 전면 벽체는 배압 토압에 저항할 수 있도록 I형강을 버팀대로 한 격자형으로 설치하였으며, 모형 흙막이벽체는 철판($t=16\text{ mm}$)을 사용하여 만들었다. 본 대형모형시험의 규격은 높이 6 m, 폭 2 m, 길이 4 m인 콘크리트로 만들었다. 또 대형모형 토조의 벽체와 다짐 모래사이에 마찰을 최소화시키기 위해 대형 토조의 벽체에 벤토나이트를 도포하고 구리스가 칠해진 비닐을 씌워 최적의 경계조건을 만들었다.

굴착방법은 8단계 굴착에 맞도록 c-형강을 플렌지(flange)가 맞물리도록 2장씩 용접하여 총 8장으로 제작한 후에 흙막이판(철판) 전면에 설치하고 3개의 반력강재를 설치하였다.

굴착방법은 시험모형 전면의 양쪽 반력강재에 고정 설치된 스크류잭을 상단부터 한 장씩 스크류잭을 푸는 방식으로 모사했다.

선행하중은 중앙에 있는 반력강재의 각 버팀대 위치에 유압잭을 설치하여 굴착단계별로 선행하중을 가할 수 있도록 하였다.

대형모형시험에 사용된 모형 터널의 크기는 길이(L)에 대한 대응비를 사용하여 실제 터널의 크기($D=12\text{ m}$)로부터 1/10 축척으로 하였고, 모형 터널라이닝의 두께는 지반과 라이닝의 강성비(α)를 이용하여 결정하였으며, 모형 흙막이벽체의 두께는 탄성계수, 중력가속도,

상사율로 결정하였다.

(1) 대형모형 터널

대형모형시험은 실제 현장을 재현하는 시험으로써 기하학적으로 길이에 대하여 1/10로 축소한 것이다. 축소율에 의한 물리량은 길이(L), 면적(A), 체적(V)이 있으며 실제현장과 대형모형 간에는 다음 관계가 성립된다.

$$\begin{aligned} \text{길이}(L) &= \frac{Lm}{Lp} & \text{면적}(A) &= \left(\frac{Lm}{Lp}\right)^2 \\ \text{체적}(V) &= \left(\frac{Lm}{Lp}\right)^3 & \text{이므로} \end{aligned}$$

대형모형시험에 사용된 모형 터널라이닝의 직경은 $12\text{ m} \times \frac{1}{10} = 1.2\text{ m}$ 가 된다.

본 시험에서는 지반과 라이닝의 강성비(α)를 이용하여 Duddeck과 Erdmann(1985)의 방법으로 모형 터널의 제원을 결정하였다.

실제 현장에 있는 대단면 복선 지하철 터널이 시공된 지반은 연약한 암에 해당되는지반을 대상으로 하였으며, 대형모형 터널이 시공되는 지반은 모래로 상대밀도가 일정하도록 조성된 지반이다. 이러한 지반에 시공된 터널의 콘크리트 라이닝의 강성비를 이용하여 대형모형 터널라이닝의 두께를 계산할 수 있으며 계산 결과는 다음 표 2와 같다.

대형모형시험에 사용한 터널라이닝은 두께 $t=6.0\text{ mm}$ 의 철판을 절곡하여 길이가 65 cm 되도록 3개를 제작하여 연결하였다.

(2) 대형모형 흙막이벽체

실제 흙막이벽체는 두께 $t=0.80\text{ m}$ 인 콘크리트 지하 연속벽으로 대형모형시험에 사용된 모형 흙막이벽체 두께는 벽체 탄성계수와 중력가속도와 상사율을 사용하여 구하였으며 다음 식과 같다.

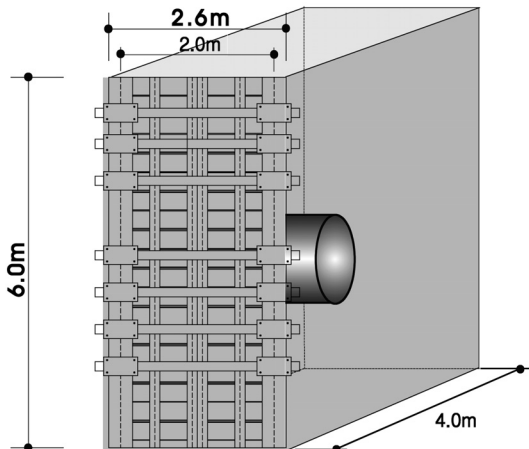


그림 2. 모형토조 개략도

표 2. 모형 터널라이닝 제원

대형모형 터널라이닝	
지반의 탄성계수	20,000 kN/m ²
라이닝 탄성계수	2.0×10 ⁸ kN/m ²
라이닝 폭	1.0 m
라이닝 반경	0.6 m
라이닝 두께	6 mm

$$t_m = \frac{T}{C} \times \left[\frac{G_m}{G_r} \times \frac{1}{C} \times \frac{E_r}{E_m} \times \frac{B_r}{B_m} \right]^{\frac{1}{3}} \times 1000$$

모형 흙막이벽체의 두께는 16 mm의 철판을 사용하였다.

축소모형시험은 실제현장의 조건을 축소율로 적용하여 현장의 모든 상태를 거의 유사하게 나타낼 수 있어 시간, 비용 등의 제반경비가 실제 현장에서 결과를 얻는 것 보다 적게 산출되기 때문에 외국과 국내에서 시행하여 좋은 결과를 얻은 바 있다.

3) 모형지반

대형모형시험의 지반조성은 균질하고 등방성인 모래로 시험지반을 조성하였으며 상대밀도를 일정하게 유지하기 위하여 대형 토조 바닥부터 습윤상태의 모래를 30 cm씩 포설하고 진동기로 다짐하여 조성하였다. 수평 수직 토압계 및 수평 수직 변위계는 수치해석을 한 주응력도에 의거하여 필요한 지점에 위치별로 설치하였다(이상덕, 1998).

4) 계측

본 대형모형시험에서는 흙막이 벽체, 기존 터널, 지표침하의 거동을 분석하기 위해 각각의 위치에 계측기를 부착하였으며, 계측기와 연결된 선을 계측 측정기에 연결하여 시험이 진행되는 동안 30분 간격으로 자동 계측되어 컴퓨터에 저장되도록 하였다.

(1) 흙막이벽체

변위계(LVDT)는 굴착단계별, 선행하중을 가했을 경우, 상재하중이 작용했을 경우에 대해 흙막이벽체의 수평변위를 측정하기 위해 8개 소에 설치하였다. 변형률게이지(strain gauge)는 흙막이벽체의 양면에 각각 20개씩 총 40개를 부착 설치하여 굴착단계별, 선행하중을 가했을 경우, 상재하중이 작용했을 경우에 대해 흙막이벽체의 부재력을 측정하였다.

(2) 터널

터널 변위계(LVDT)는 터널의 내부에 굴착단계별, 선행하중을 가했을 경우, 상재하중이 작용했을 경우에 대해 터널의 변위를 측정하기 위해 그림과 같이 방사형으로 설치하였다.

변형률게이지(strain gauge)는 터널라이닝 양면에 각각 16개씩 총32개를 그림처럼 부착 설치하여 굴착단계별, 선행하중을 가했을 경우, 상재하중이 작용했을 경우에 대해 터널라이닝의 부재력을 측정하였다.

(3) 지표침하

지표침하는 각각의 경우에 대해 변위를 측정하기 위해 9개 소에 설치하였다.

(4) 기타

토압계는 흙막이벽체 배면 지중에 수직 및 수평토압을 측정하기 위해 각각 12개씩 매설하였고, 또 지중변위계를 매설하여 지중의 수직/수평 변위도 측정하였다.

5) 상재하중

상재하중은 각각의 재하위치별로 상재하중을 재하한 경우와 상재하중의 재하위치(0 m, 1D, 2D)에 따른 경우로 구분하여 재하하였으며, 상재하중의 크기는 27 kN으로 플레이트에 유압실린더를 이용하여 등분포하중으로 균일하게 작용하도록 하였다.

6) 실험 방법

본 대형시험은 계측기 설치 등 토조 내부에 지반조성을 완료 한 후에 수행하였다. 시험 순서는 흙막이벽체로부터 이격거리 1D 떨어진 터널에 대해 수행하였다. 그리고 두 경우 모두에 대해 상재하중이 없는 경우와 상재하중이 흙막이 벽체로부터 이격거리 0 m, 1D, 2D의 경우에 대해 시험을 수행하였다.

대형 토조에 설치된 모든 계측기의 초기치는 굴착하기 전에 “영”(Zero)로 하였다. 1단 굴착 후 흙막이벽체의 변위가 발생된 상태에서 매설된 토압계로 배면지반이 안정된 것을 확인한 후 1단 버팀대에 설치된 유압잭을 이용하여 발생된 수평변위를 흙막이벽체에 부착된 변위계(LVDT)를 이용하여 “영”(Zero)이 되도록 가압하여 1단 선행하중을 결정하였고, 지반의 안정을 확인한 후 2단 굴착을 하여 1단에서와 같이 굴착과 안정 또 선행하중의 가압 등을 반복하여 8단 굴착까지 완료하여 각 굴착단계별 선행하중을 결정하였다.

선행하중의 적용은 지반의 굴착공사 시 흙막이벽체 수평변위를 억제시키기 위하여 선행하중을 가해 굴착단계별 흙막이벽체의 수평변위를 “영”(Zero)이 되도록 대형모형시험과 수치해석에서 시행하였다. 기존 터널의 이격 거리는 1.0D에 대해서만 적용하였으며 상재하중을 위치별로 작용시켜 결과를 분석하였다(이상덕, 2003).

2.3 수치해석

1) 해석프로그램 및 경계조건

본 논문에서의 수치해석은 범용 유한요소법(F.E.M) 프로그램인 PLAXIS Ver. 8.2를 이용하여 2차원으로 모델링하여 터널라이닝과 흙막이벽체 및 배면지반의 거동을 파악하기 위하여 수치해석을 실시하였다.

본 수치해석의 모델링은 다음과 같다.

터널라이닝과 흙막이벽체는 Frame요소로 하고, 버팀대는 Fixed anchor요소로 하여 탄성모델을 적용하였으며, 지반구성모델은 Mohr-Coulomb을 적용하여 유한요소해석을 하였다.

본 수치해석에서의 흙막이벽체는 좌우 대칭으로 2차원 수치해석을 수행하였으며, 재료의 성질이 다른 흙막이벽체 및 터널라이닝과 모래로 조성된 시험지반의 사이에는 경계면을 두었다(Soliman E., Duddeck, H. and Ahrens, H., 1993).

2) 해석방법 및 입력물성치

수치해석에 적용된 유한요소 해석망과 경계조건은 그림 3과 같다. 경계조건은 좌우 측벽의 경계점들은 상하로만 이동되는 로울러 지점으로 하였고 하단부의 경계조건은 고정단으로 하였다. 나머지 절점은 X, Y 방향으

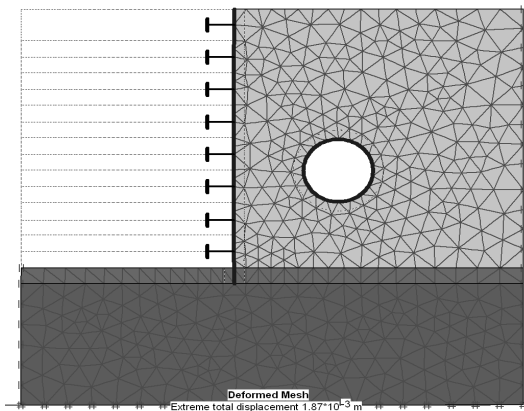


그림 3. 모델링과 경계조건

표 3. 수치해석 입력물성치

구 분	탄성계수 E (kN/m ²)	포와송비 ν	단위중량 γ (kN/m ³)	내부 마찰각 φ	점착력 C (kN/m ²)
시험 지반	20,000	0.25	16.2	38°	6.0
구 분	축강성 EA (kN/m)	휨강성 EI (kNm ² /m)	두께 d(m)	포와송비 ν	
흙막이벽체	3,293,000	70.0	0.016	0.3	
터널라이닝	1,929,000	5.788	0.006	0.3	
구 분	축 강 성 EA(kN)		설 치 폭 L(m)		
버팀대	450,700		1.34		

로 이동이 가능하고 회전에 대해 구속되도록 하였다. 지반은 탄소성 구성식을 갖는 2차원 평면 변형을 요소를 사용하였다. 수치해석에 사용된 지반 및 재료의 입력 물성치는 다음 표 3과 같다.

3. 결과 분석

본 논문에서는 굴착단계별 선행하중의 적용 여부에 따른 흙막이벽체의 수평변위와 부재력, 기존 터널의 내공변위 및 부재력 그리고 흙막이벽체의 배면지반의 지표침하에 대하여 대형모형시험과 수치해석의 최종단계에서의 결과를 비교분석하여 흙막이 공사 시 발생하는 흙막이벽체의 수평변위를 굴착단계별로 선행하중을 가해 억제시킴으로써 상재하중의 위치에 따른 흙막이벽체 배면의 기존 터널의 안전성을 확보하고자 하였다.

3.1 흙막이벽체

1) 흙막이벽체의 수평변위

굴착 시 발생하는 흙막이벽체의 수평변위는 버팀대에 선행하중을 가했을 때와 가하지 않았을 때를 최종굴착 완료 후 최대값으로 대형모형시험과 수치해석 결과를 비교하였다.

대형모형시험 결과 흙막이벽체 최대변위는 선행하중을 가하지 않은 경우 CASE 2에서 6.41mm에서 0.29mm로 95% 감소하였다.

수치해석에서도 선행하중을 가하지 않은 경우 CASE 2에서 6.66 mm CASE 6에서 0.31 mm로 95%감소하였다.

2) 흙막이벽체의 단면력

대형모형시험 결과 흙막이벽체의 최대모멘트는 선행하중을 가하지 않은 경우 절대값으로 CASE 2에 비해

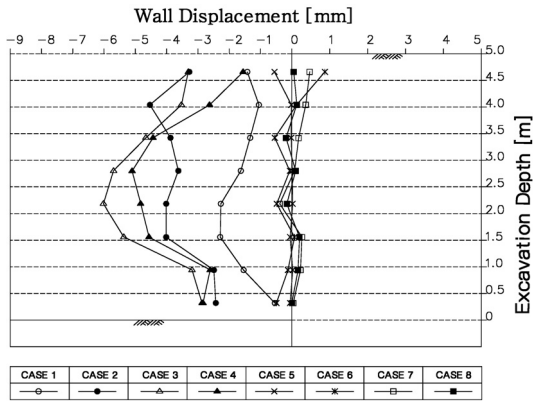


그림 4. 흙막이벽체의 수평변위(대형실험)

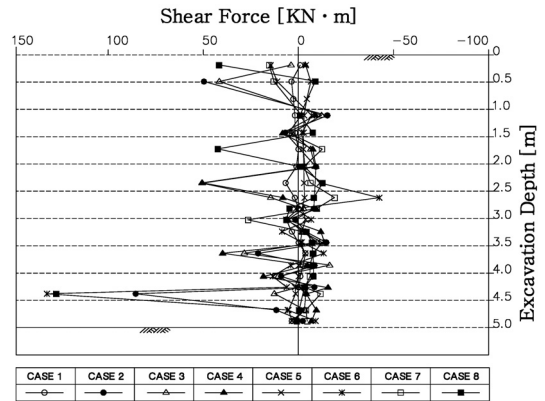


그림 7. 흙막이벽체 전단력(대형실험)

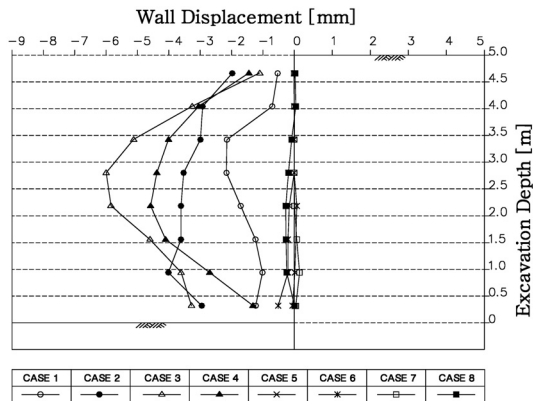


그림 5. 흙막이벽체의 수평변위(수치해석)

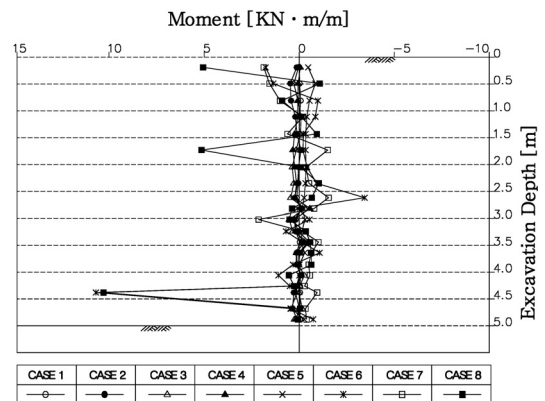


그림 8. 흙막이벽체 휨모멘트(수치해석)

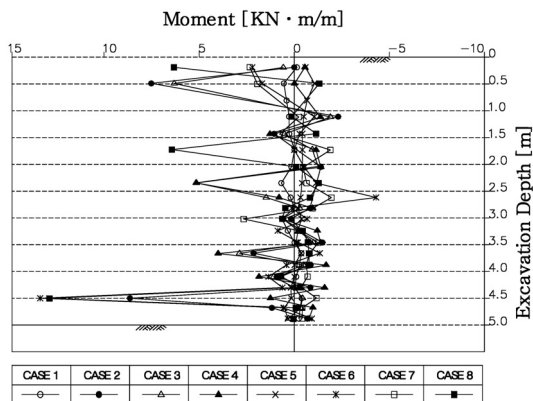


그림 6. 흙막이벽체 휨모멘트(대형실험)

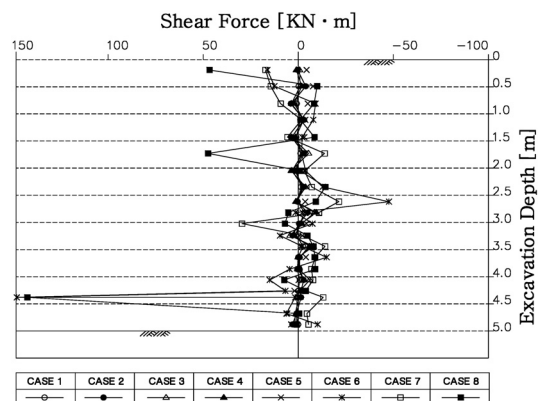


그림 9. 흙막이벽체 전단력(수치해석)

CASE 1에서 92.1% 감소하였다. 최대전단력도 92.0% 감소하였다.

수치해석 결과 선행하중을 가하지 않은 경우 최대모멘

트는 절대값으로 CASE 4에 비해 CASE 1에서 66.4% 감소하였다. 최대전단력은 절대값으로 CASE 4에 비해 CASE 1에서 65.3% 감소하였다.

3.2 터널

1) 터널의 내공변위

기존 터널에 근접 굴착시 상재하중의 재하위치에 따라 터널의 거동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 대형 모형시험과 수치해석 결과를 토대로 흙막이벽체의 수

평변위와 터널의 내공변위의 상관관계를 분석하였다.

대형모형시험 결과 라이닝의 최대변위는 선형하중을 가했을 경우 CASE 3에서 90% 감소하였다.

수치해석 결과 라이닝의 최대변위는 선형하중을 가했을 경우 CASE 3에서 94% 감소하였다.

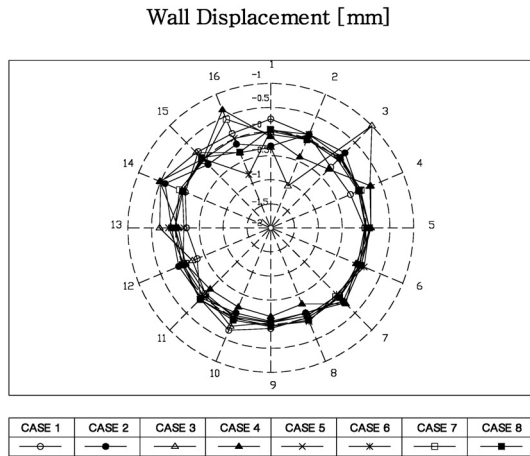


그림 10. 터널라이닝 변위(대형실험)

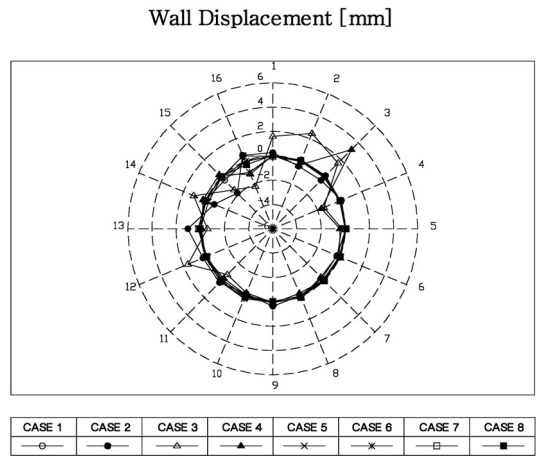


그림 11. 터널라이닝 변위(수치해석)

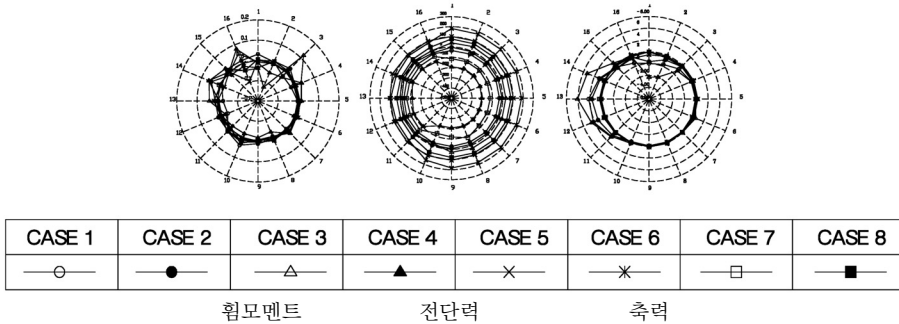


그림 12. 터널라이닝의 부재력(대형실험)

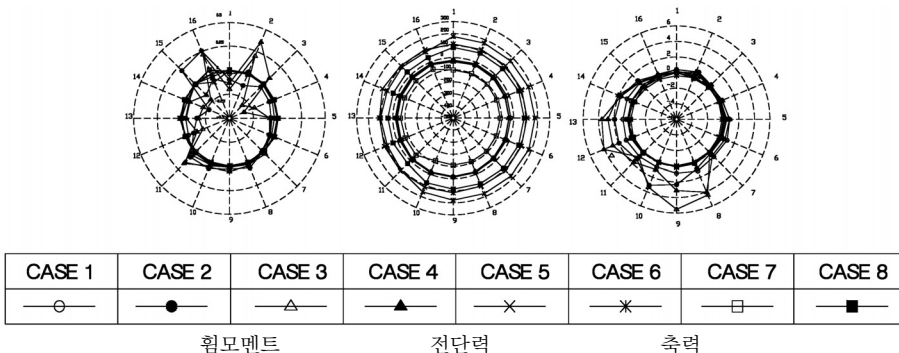


그림 13. 터널라이닝의 부재력(수치해석)

2) 터널의 부재력

굴착시 선행하중을 가하지 않았을 경우와 각 CASE 별로 선행하중을 가했을 경우 터널에 발생하는 부재력 (모멘트, 전단력, 축력)을 최종 굴착 완료 후에 최대부재력 값에 대해 대형모형실험 결과와 수치해석 결과를 비교하였다.

수치해석 결과 부재력은 대형모형시험 결과와 유사하게 나타났으며, 터널 라이닝의 부재력은 건물하중의 재하위치에 따라 조금씩의 차이는 있지만 대체로 감소하는 것으로 나타났다.

3.3 지표침하

굴착시 흙막이벽체에서 발생하는 수평변위는 배면에 있는 지반이 이완되고, 배면 지반은 굴착이 계속되는 동안 서서히 압축되어 지표침하를 발생시킨다. 흙막이벽체의 수평변위와 지표침하의 관계를 대형모형시험 결과와 수치해석 결과를 비교 분석 하였다.

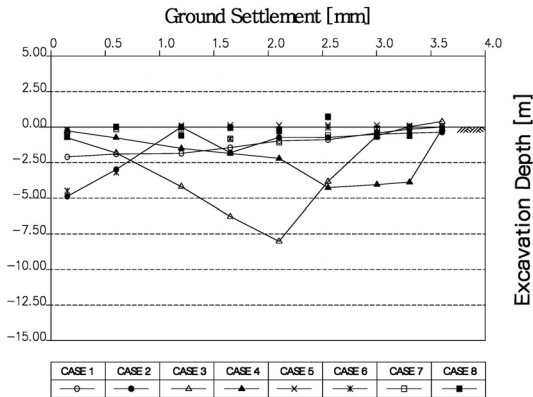


그림 14. 지표침하(대형실험)

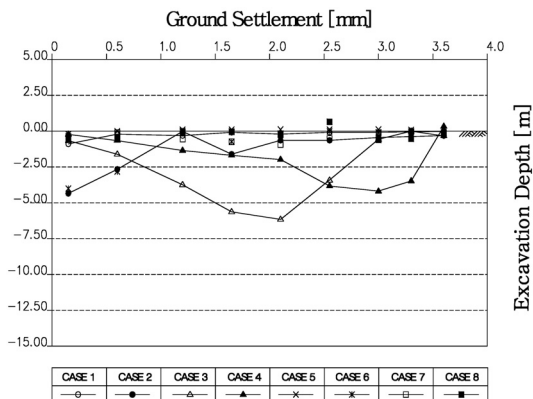


그림 15. 지표침하(수치해석)

대형모형시험 결과 지표침하는 선행하중을 가했을 경우 CASE 3에서 87% 감소하였고, 수치해석 결과는 선행하중을 가했을 경우 CASE 3에서 85% 감소하였다.

4. 결론

본 논문에서는 근접 건물의 위치에 따라 기존 터널에 인접한 터파기 공사에서 흙막이벽체와 벽체 배면에 있는 기존 터널 및 배면 지반의 안전성을 확보하기 위해서 선행하중을 가한 경우와 가하지 않은 경우에 대한 영향성을 검토하였다. 이를 위해서 각각의 굴착단계별 변위가 “0”(Zero)이 되도록 선행하중을 조정하는 방법으로 대형모형시험을 수행하였으며 각각의 단계별로 수치해석을 통하여 시험을 검증을 하였다. 그리고 흙막이벽체와 기존 터널 및 배면지반의 거동 및 단면력을 비교 분석하였으며, 본 논문에서는 근접 건물의 위치에 따른 경우와 선행하중의 적용 여부에 따른 경우를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 근접굴착 시 흙막이벽체에 발생하는 수평변위는 선행하중을 가하지 않았을 경우에 비해 각 상재하중 재하위치에 따라 CASE 1에서 78%, CASE 2에서 94%, CASE 3에서 78%, CASE 4에서 81% 감소하였다. 따라서 상재하중의 재하위치에 따라 변위의 형태는 약간의 차이는 있었으나 흙막이벽체의 수평변위는 감소하였다.
- 2) 터널 라이닝의 최대 내공변위는 선행하중을 가하지 않았을 경우에 비해 각 상재하중 재하위치에 따라 CASE 1에서 91%, CASE 2에서 69%, CASE 3에서 90%, CASE 4에서 93% 감소하였다. 따라서 선행하중을 가할 경우 기존터널의 변위를 억제할 수 있었다.
- 3) 터널 라이닝의 부재력은 선행하중을 가할 경우 축력은 증가한 반면 터널의 휨모멘트와 전단력은 대체로 감소하였다.
- 4) 굴착단계별로 선행하중을 가하면 각 상재하중 재하 위치에 상관없이 흙막이벽체의 수평변위와 터널의 내공변위를 감소시킬 수 있으며, 굴착단계별로 선행하중을 가하여 흙막이 벽체의 수평변위를 거의 “0”(Zero)으로 하였을 때에는 터널의 변형을 최소화 할 수 있는 것으로 나타났다.
- 5) 최대지표침하는 굴착단계별로 선행하중을 가하였을 때에 선행하중을 가하지 않을 때에 비하여 최종굴착 단계에서 CASE 1에서 18%, CASE 2에서 70%, CASE 3에서 83% 감소한 반면, CASE 4에서 17% 증가하였다.

이상과 같이 대형모형시험과 수치해석 결과 굴착단계별 선행하중을 가했을 경우 상재하중의 재하위치에 따라서도 흙막이벽체와 기존터널의 안정성이 향상되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 이상덕(1998), “토질 역학 제 2판”, 도서출판 새론, pp. 353, 354, 388-396.
2. 이상덕(1999), “기초 공학”, 도서출판 새론, pp. 252-254.
3. 이상덕(2003), 최신터널 기술의 이해, 아주대 지반공학 연구실, pp. 1-22.
4. 김일(2008), 근접굴착 시 흙막이벽체에 가하는 선행하중에 따른 터널의 거동, 공학박사학위 논문, 아주대학교.
5. Soliman E., Duddeck, H. and Ahrens, H.(1993), “Two- and three-dimensional analysis of closely spaced double-tube tunnels”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 8, No. 1, pp. 13-18.

1. 이상덕(1998), “토질 역학 제 2판”, 도서출판 새론, pp.



이 종 민

1988년 국립금오공과대학교 토목공학과 학사
1990년 국립금오공과대학교 토목공학과 석사
2008년 아주대학교 건설교통공학과 박사 수료

Tel: 031-423-0083
E-mail: lee200jm@hanmail.net
현재 주식회사 솔토 대표이사



이 상 덕

1980년 서울대학교 토목공학과 공학사
1982년 서울대학교 토목공학과 공학석사
1987년 독일 Stuttgart대학교 공학박사

Tel: 031-219-2503
E-mail: lsangduk@ajou.ac.kr
현재 아주대학교 환경건설교통공학부 교수