

도심지 흠막이 굴착시 인접구조물의 손상 평가연구

The Evaluation of Damage Behaviour of Adjacent Structures in Urban Excavation

김 학 문*¹ Kim, Hak-Moon

황 의 석*² Hwang, Eui-Suk

Abstract

Brick wall models with window opening, length 1.844m × height 0.6m, representing 2-story building was constructed on a scale of 1/10 of actual size of brick building for the investigation of damage mechanism. Six settlement troughs presenting six stages of excavation were simulated by Peck(1969) and O'Rourke et al.(1976) methods. The results from the model tests using Peck(1969) and O'Rourke et al.(1976) method indicated that angular distortion of brick wall by O'Rourke et al. method was 21% greater than that of Peck method. Horizontal displacement by O'Rourke et al.(1976) was 24% greater than that of Peck. When the degree of building damage for the O'Rourke et al. method of settlement trough is plotted on the damage level graph(Boscardin & Cording, 1989), damage level becomes much more severe than the level obtained by peck's method. Also, building stiffness and soil-structure interface are considered important factors of expressing building damage.

요 지

흠막이 지반굴착시 인접 구조물의 손상메카니즘을 규명하기 위하여 1.844m(길이)×0.6m(높이)인 모형조적벽체를 실제의 1/10 의 스케일로 모형화하였다. Peck(1969) 및 O'Rourke등(1976)이 제안한 지반침하량이 6단계에 걸쳐 모형실험에 적용되었다. Peck(1969)과 O'Rourke등(1976)의 방법을 적용한 모형실험결과, O'Rourke등(1976)에 의한 조적벽체의 각변위는 Peck(1969)의 각변위에 비해 21% 크게 나타났으며, 수평변위 또한 Peck(1969)에 의한 값보다 24% 크게 나타났다. O'Rourke등(1976)의 침하량이 적용된 경우의 건물손상 정도를 손상도표(Boscardin & Cording, 1989)에 적용한 결과 Peck(1969) 방법에 의해 얻은 손상수준에 비해 보다 심각한 손상수준의 결과가 나타났다. 또한, 구조물의 강성 및 구조물과 지반의 interface 가 구조물 손상평가지 중요한 인자로서 고려되어야 함을 확인할 수 있었다.

Keywords : Angular distortion, Damage level, Horizontal strain, Masonry building damage

1. 서 론

지반굴착시 발생하는 침하는 인접구조물에 직접적인 영향을 미치며, 이에 상응하는 구조물의 피해는 국내 수많은 굴착공사에서 발생하고 있는 것이 사실이다. 또한

지반굴착시 인접구조물의 손상거동평가는 지반거동에 의한 평가로 이루어지고 있어 지반 및 구조물의 상호거동이 고려된 구조물의 손상평가에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다. 일반적으로 흠막이 굴착시 배면에 위치한 구조물의 안정성 평가를 위해 설계시에는 Caspe(1966)에 의한

*1 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Dankook Univ., khm1028@dankook.ac.kr)

*2 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 박사과정 (Member, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engrg., Dankook Univ.)

침하량을 통해 구조물의 각변위, 전체침하량 검토가 이루어지며, 시공시에는 인접 지반의 지중 경사계나 구조물 기울기 측정기를 통해 시공중의 안정성을 확인 검토되고 있다. 그러나, 실제 지반거동과 인접구조물의 거동은 서로 일치하지 않아 정확한 구조물의 안정성을 평가하기 위해서는 지반거동에 따른 이들 구조물의 정확한 거동이 평가되어 상호 비교 검토되어야 할 것이다.

지반굴착시 인접한 구조물의 손상평가에 대한 연구 중, Polshin & Tokar(1957)는 조적구조물 벽체에서 대부분의 손상은 인장한계를 초과한 단계의 균열에 의해 발생되어 가시균열의 시작은 임계 인장변형율과 밀접한 관계가 있음을 증명하였다. Boscardin & Cording(1989)은 지반굴착에 의한 구조물 손상은 구조물의 수직변위에 의한 평가보다 구조물의 수직변위, 수평변형율, 각변위등이 상호 조합된 평가를 통해 구조물의 손상레벨이 결정되어야 함을 강조하였으며, 이때 손상레벨은 Burland 등(1977)이 표현했으며, 최근 Burland(1995)는 처짐비와 수평변형율의 관계를 도표로 제시하였다. 또한 Boone(1999)은 변형율에 의해 점차 누적되는 균열의 폭의 항목으로 구조물의 손상을 평가하였다.

본 연구에서는 흙막이 굴착시 경험적으로 지반거동을 예측한 Peck(1969) 및 O'Rourke등(1976)이 제안한 지반침하량을 인접구조물에 적용시켜 지반거동에 의한 구조물의 거동 및 손상변화에 대한 평가를 단계별 굴착

에 따른 영향을 평가하였다. 인접구조물은 지반거동에 쉽게 영향을 받을 수 있는 조적식 구조물을 모형화하여 실제 2층 조적구조물(높이 ; 6m, 길이 : 18.44m)을 실험시 1/10의 스케일로 실내에서 모형화 하였다. 실험에 의한 결과를 검증하기 위해 개별요소 방법인 UDEC을 사용하여 각 벽돌 및 줄눈을 모델링하여 굴착단계에 따른 수치해석결과와 실험에 의한 지반 및 구조물의 거동을 상호비교하여, 손상평가에 대한 검증을 수행하였다.

2. 모형실험 및 수치해석

굴착단계에 따른 인접구조물의 손상 영향 평가를 위해 사질토지반에서 흙막이는 H-pile + 토류판을 지지체는 버팀(strut)지지에 의해 최종 18m를 굴착깊이로 가정하여 다음 그림 1과 같이 모형실험 및 수치해석을 수행하였다.

2.1 모형실험

굴착단계에 따른 조적벽체의 손상거동을 평가하기 위하여 조적벽체를 모형화 한후 Peck(1969)이 경험적으로 제시한 침하량을 모형실험시 지반침하량으로 적용한 실험(모형실험 I)과 O'Rourke등(1976)이 경험적으로 제시한 침하량을 모형실험시 지반침하량으로 적용한 실험(모형실험 II)을 수행하였다.

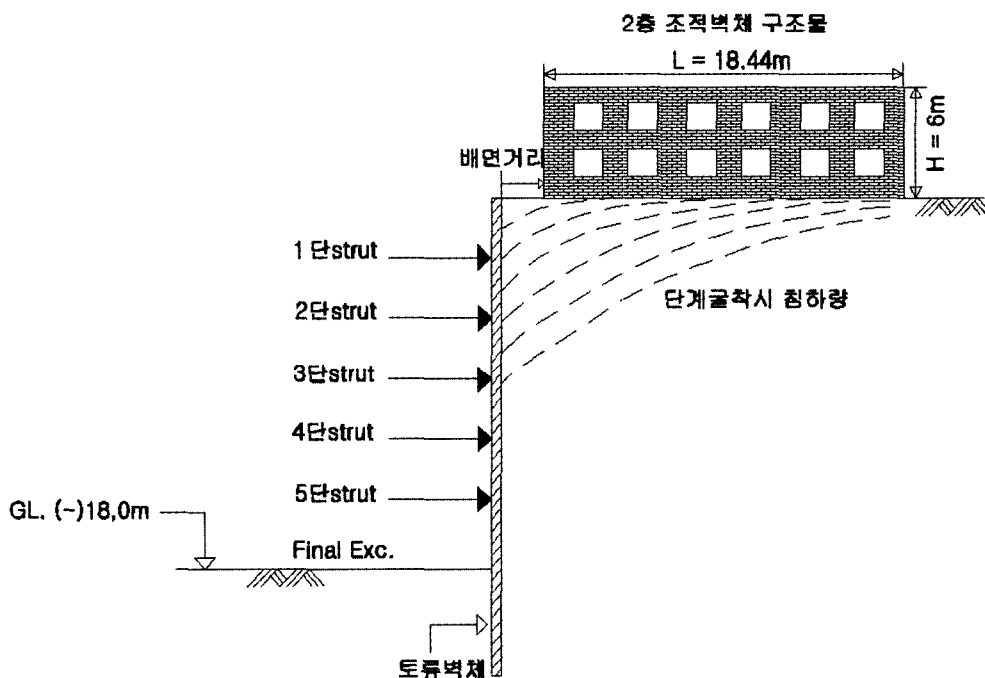


그림 1. 모형실험 및 수치해석시 가정단면

2.1.1 지반조건 및 구조물의 모델링

단계별 굴착에 따른 침하량을 Peck(1969) 및 O'Rourke 등(1976)이 경험적으로 제안한 값을 산정하여 지반침하로 적용하였으며, 모형실험시 기초지반조건 및 구조물은 다음 아래와 같이 모델링하였다.

(1) 지반 조건 및 기초

본 실험에서 적용된 지반은 사질토이며, 사용된 모래는 주문진 표준사를 사용하였다. 조적식건물 벽체하부와 기초지반사이에는 건물의 기초는 강성을 무시할 정도로 최소로 하여 지반과 유사하게 거동하게 하기위해 모르타르를 얇게 타설하여 연성기초로 제작 하였다.

(2) 모형벽체 벽돌

모형실험 벽체에 사용될 벽돌은 현재 현장에서 사용하는 시멘트형 표준벽돌규격인 190mm×90mm×57mm를 적용하여 본 벽돌의 약 1/4로 축소해서 자체 제작하였다. 모형실험에 사용된 벽돌의 규격은 길이 48mm×폭 23mm×높이 15mm이며, 벽돌제작은 배합비를 달리하여 현장에서 사용되는 표준형 벽돌의 강도와 단위중량을 고려하여 선정하였다. 모형벽돌의 물성치는 표 1과 같다.

모형실험에 사용한 벽돌의 물성치는 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법(KS L 5105)을 사용하여 선정하였고 시멘트와 물 모래의 양을 달리하여 규정에 맞게 물성실험을 실시하여 구하였다. 또한 선정된 벽돌의 배합비는 시멘트, 모래, 물의 배합비 1 : 2.45 : 0.582를 선정하여 모형벽돌 제작에 사용되었다.

(3) 줄눈의 선정

벽돌과 벽돌사이에 사용될 줄눈을 일반 시멘트와 물의 배합으로 사용할 경우, 모형실험시에는 벽돌과의 점착 인장력이 크게 발휘되므로 강도를 줄일 수 있는 재료를 선정할 필요가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하

표 1. 모형 벽체벽돌의 물성치

항 목	단위중량 (t/m ³)	일축압축강도 (t/m ²)	탄성계수 (t/m ²)
실험치	2.04	1,650	20,838.5

표 2. 줄눈의 물성치

항 목	단위중량 (t/m ³)	일축압축강도 (t/m ²)	벽돌-채움재의 점착인장강도 (t/m ²)	탄성계수 (t/m ²)
실험치	1.31	209.6	8.55	703.13

여 석고와 모래의 혼합비 변화에 따라 인장강도 시험을 수행하여 모형실험에 사용될 줄눈재를 선정하였다. 줄눈재료의 특성치를 보면 표 2와 같다.

(4) 벽돌과 줄눈에 의한 점착인장강도

실제 구조물인 18.44m(L) × 6m(H)의 벽체를 1/10로 축소한 모형 실험의 경우, 벽돌과 줄눈재의 하중과 점착 인장 강도의 영향에 의해서 단계별 침하에 따른 구조물의 거동은 다르게 나타날 것이다.

그러므로, 실제 구조물의 하중이 고려된 벽체와 줄눈의 점착인장 강도비를 모형실험에 동일하게 적용하기 위해 모형벽체와 줄눈재의 점착 인장 강도비를 아래 계산에 의하여 구한 후, 모형실험시 이 값을 적용하기 위해 석고, 모래, 물의 배합비에 따라 인장강도시험을 수행하여 모형실험에 적용될 배합비를 산정하여 적용하였다. 여기에서 실제벽체 줄눈의 점착인장강도는 김민한(1985)에 의해 실험된 값 중 평균값을 적용하였다.

① 실제 벽체의 응력(σ) : 18.44m(L) × 6m(H)

$$\sigma = \frac{\text{실제벽체작용하중}}{\text{단면적(폭} \times \text{길이)}} = \frac{20000}{9 \times 1844} = 1.205 \text{kg/cm}^2 \quad (1)$$

② 실제 벽체 줄눈의 점착인장 강도 : 3.5kg/cm²

③ 모형 벽체의 응력(σ') : 1.844m(L) × 0.6m(H)

$$\sigma' = \frac{\text{모형벽체작용하중}}{\text{단면적(폭} \times \text{길이)}} = \frac{40}{2.3 \times 184.4} = 0.094 \text{kg/cm}^2 \quad (2)$$

④ 조적식 구조물의 거동은 응력과 점착인장 강도비에 따라 결정되므로, 다음과 같이 유도 할 수 있다.

$$\frac{\text{실제벽체응력}(\sigma)}{\text{실제벽체 줄눈의 점착인장강도}} = \frac{\text{모형벽체응력}(\sigma')}{\text{모형벽체 줄눈의 점착인장강도}} \quad (3)$$

$$\frac{1.205}{3.5} = \frac{0.094}{\text{모형벽체 점착인장강도}}$$

$$\therefore \text{모형벽체 점착인장강도 } 0.273 \text{kg/cm}^2$$

식 (1)~식 (3)의 결과를 보면 모형실험시 적용되어야 할 점착인장강도는 0.273kg/cm²으로 계산되었으며, 계산된 점착인장강도를 모형실험시 적용하기 위해 석고, 모래, 물의 배합비 변화에 따른 점착인장강도 시험을 시행착오법으로 수행하였으며, 이 결과 석고양을 기준으로 할때 모래의 양이 증가할수록 점착인장강도는 감소하였으며, 적용될 점착인장강도 0.273kg/cm²를 발휘한 배합비는 1:10:2.3에서 얻을 수 있었다.

2.1.2 실험 장치

(1) 모형 침하 장치

모형벽체 하부에 지반의 침하량을 유발시킬 수 있도록 그림 2와 같이 H-beam위에 스크류 잭을 고정시킨 장치이다. 스크류 잭은 총 13개를 사용하여 지반의 침하를 유발시킬 수 있으며, 스크류잭 사이에 변위측정기를 설치하여 정확한 침하량 적용이 가능하게 하였다. 또한 침하장치 외곽에는 guide beam을 사용하여 벽체 조적시 넘어지는 것을 방지하였다.

(2) 변위 및 균열측정장치

스크류잭을 이용하여 정확한 지반의 침하량을 유발시키기 위하여 디지털식 변위 측정기(정밀도 : 0.001mm)

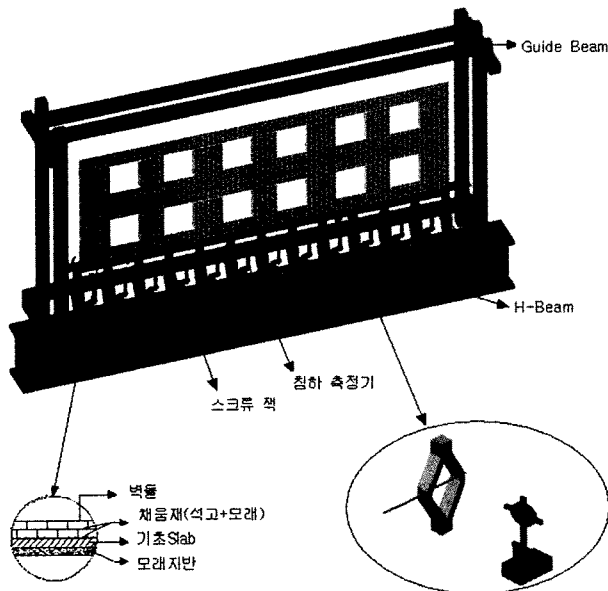


그림 2. 모형실험을 위한 벽체 침하장비

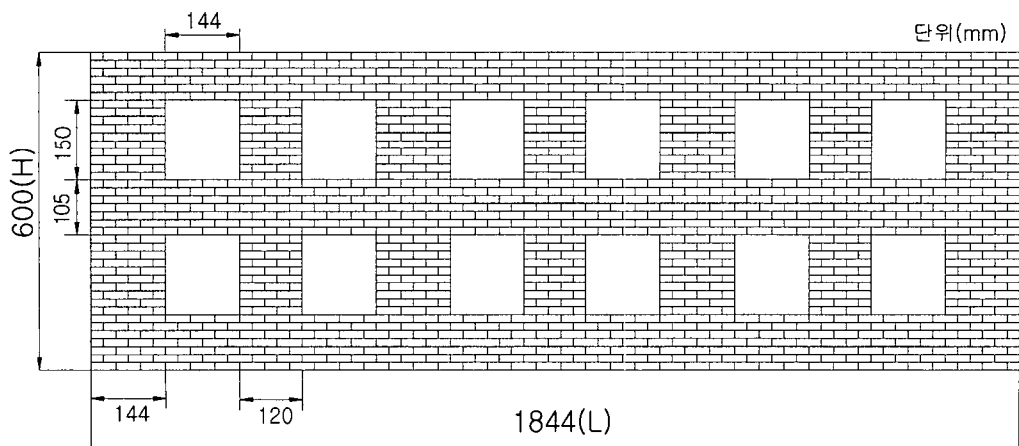


그림 3. 조적이 완료된 모형 벽체

를 사용하였으며, 지반침하에 따른 구조물의 거동을 측정하기 위하여 사진 계측을 사용하여 구조물 및 지반의 변화를 측정하였다. 또한 굴착단계에 따른 균열양상을 측정하기 위해 균열경을 사용하여 굴착단계별로 균열의 크기와 변화를 확인하였다.

2.1.3 실험 방법

(1) 실험조건

① 계측기기의 설치

흙막이 굴착에 따른 지반의 침하를 유발시킬 스크류잭과 잭사이에 마그네틱베이스를 이용하여 총 13개의 변위 측정장치를 설치하였다. 또한, 사진계측을 이용한 구조물의 거동을 측정하기 위하여 모형벽체에 크기 5mm×5mm인 사각형 포인트 점을 100개 부착하여 각 단계별 굴착에 따른 모형벽체의 거동을 확인하였다.

② 모형실험벽체

스크류잭이 설치된 침하장치 상부에 주문진 표준사로 모형지반을 조성한 후 벽체 기초부의 마찰을 고려하기 위하여 지반 상부에 얇게 타설하여 모르타르를 연성기초로 모형화 하였다. 타설 후 제작한 모형벽들을 쌓았으며, 벽돌과 벽돌사이의 줄눈재는 석고와 모래 혼합으로 한 재료를 사용하였다. 모형벽들은 배합비와 강도를 일정하게 하여 시험 시작에서 종료될 때 까지 벽돌강도의 변화가 없도록 하였다. 모형실험에 사용된 모형벽체는 실제건물 벽체인 길이 18.44m(L) × 높이 6m(H)이며, 창문은 각 층마다 6개가 설치되어있는 2층 조적식 구조물을 1/10로 축소하여 조적하였다. 그림 3은 조적이 완료된 후의 모형벽체이다.

(2) 실험 순서

모형실험은 크게 계측기기의 설치, 조성된 지반위에 모형벽돌 조적, 지반 침하량을 각 지점별로 유발시키는 3단계로 나눌 수 있다. 여기에서 침하량의 적용은 최종 굴착을 18m로 적용할 때, 단계별 굴착깊이는 3m씩으로 3m, 6m, 9m, 12m, 15m, 18m로 총 6단계로 적용하였다. 그리고 배면 이격거리에 따라 13개의 지점에 변위 측정기를 설치하여 각 단계굴착시에 해당하는 지반침하량 값을 유발시켰다. 또한, 사질토로 조성된 지반위에 연성 기초로 모르타르를 타설하였으며, 본 기초 상부에 모형벽돌을 길이쌓기방법으로 조적하였다. 벽돌과 벽돌사이의 줄눈재는 석고, 모래, 물의 배합을 맞추어 사용하였으며, 줄눈재의 양은 되도록 일정하게 하였다. 또한 guide beam을 설치하여 벽체가 넘어지는 것을 방지하였으며, 모형벽체 조적시 수직으로 조적하기 위해 모형벽체 뒤쪽에 아크릴을 사용하여 수직을 유지하면서 모형벽체를 제작하였으며, 실험시 수직을 위해 사용된 아크릴 판은 제거되었다. 조적이 완료된 후 단계별 굴착에 따른 지반 침하량을 적용하였으며, 이때 벽체의 변위 거동은 디지털 카메라를 이용하여 단계별로 촬영하였으며, 굴착전의 초기치를 기준으로한 평면변형 거동을 사진계측하였다. 촬영전 벽체전반에 걸쳐 포인트 점을 일정 간격으

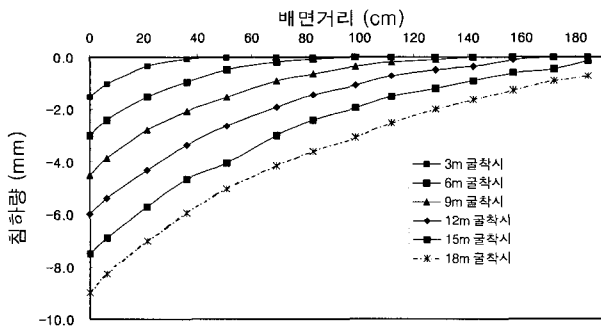


그림 4. 적용된 굴착단계별 침하량(모형실험 I)

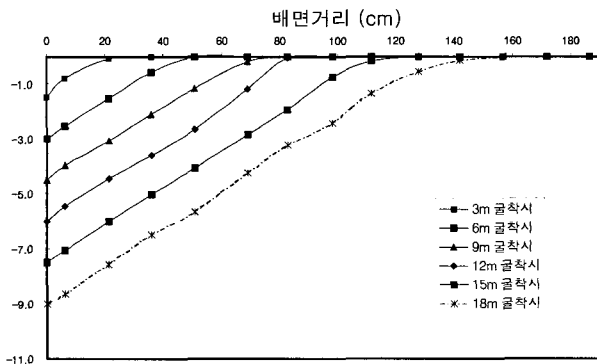


그림 5. 적용된 굴착단계별 침하량(모형실험 II)

로 설치하였으며, guide beam에도 설치하여 사진해석에 활용하였다. 촬영된 사진은 AutoCad에 upload하여 벽체의 변형전과 변형후의 상이한 건물 변형을 측정하였으며, 각 굴착단계에 따라 미리 marking 된 포인트별 X, Y, Z값을 분석하여 수평변위량과 수직변위량을 산정하여 구조물과 지반의 거동특성을 분석하였다.

2.1.4 지반침하량 적용

Peck(1969)에 의해 제안된 침하량을 모형실험(모형실험 I)에 적용하기 위해 Peck 제안 곡선중 zone I의 중간영역을 고려하여 배면거리에 따라 침하량을 산정하였으며, O'Rourke등(1976)에 의해 제안된 침하량을 모형실험(모형실험 II)에 적용하기 위해 O'Rourke 곡선중 zone I의 중간영역을 고려하여 배면거리에 따라 침하량을 산출하였다.

그림 4, 5는 Peck(1969) 및 O'Rourke등(1976)의 곡선을 이용하여 산출한 배면거리에 따른 침하량값을 모형실험에 적용하기 위해 1/10 크기로 나타낸 것이다.

2.2 수치해석

2.2.1 프로그램 개요

본 실험결과를 검증하기 위해 블록과 블록의 개별적인 해석과 거동을 평가할 수 있는 2차원 개별요소 프로그램(UDEC)을 사용하여 지반굴착시 인접 조적식 구조물의 변위를 검토하여 모형실험과 비교, 평가하였다. 본 수치해석 프로그램의 계산 흐름도를 보면 그림 6과 같다.

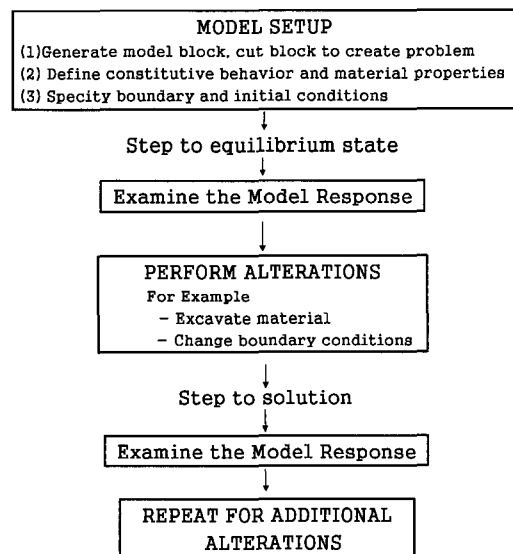


그림 6. 수치해석 프로그램의 개략 흐름도

표 3. 지반 물성치

항목	단위중량 (γ , t/m ³)	탄성계수 (E, t/m ²)	점착력 (c, t/m ²)	포아송비 (ν)	내부마찰각 (ϕ)	bulk modulus K(pa)	shear modulus G(pa)
적용값	1.9	7500	0	0.35	30	8.3E7	2.7E7

표 4. 구조물의 물성치

종류	물성치	크기 (mm)	강도(kg/cm ²)	bulk modulus K(pa)	shear modulus G(pa)
벽돌		190×90×57	210	5.9E9	5.7E9
모르타르(줄눈재)		10	110	-	-
콘크리트 기초		600	210	5.9E9	5.7E9

2.2.2 제반물성치 및 줄눈 모델링

(1) 지반 및 구조물의 물성치

표 3은 수치해석시 가정된 사질토 지반의 물성치이며, 표 4는 인접 조적식 구조물의 물성치를 나타내고 있다.

(2) 줄눈 모델링

줄눈의 물성은 구조물 모델링에 있어서 벽돌과 벽돌, 벽돌과 콘크리트기초, 콘크리트기초와 지반 사이의 접촉면에 대한 요소로 그림 7과 같이 나타내었으며, 지반

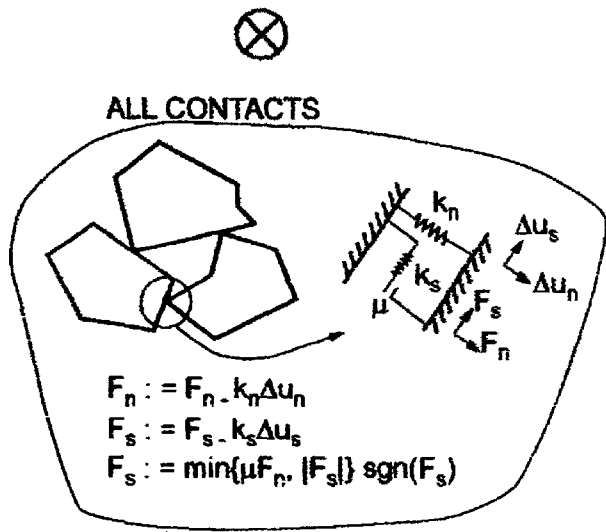
굴착시 굴착에 의한 영향을 받는 조적식 구조물의 joint의 물성치는 표 5와 같다.

2.2.3 수치해석 모델링

그림 8은 수치해석시 지반 및 2층 조적식 구조물을 모델링한 단면을 나타내고 있다. 굴착지반은 사질토 지반이며, 총 18m 굴착을 H-pile+토류판의 흠막이를 스트러트로 지지하면서 굴착을 모델링하였다.

3. 모형실험 및 수치해석 결과분석

Peck(1969) 및 O'Rourke(1976) 도표를 이용하여 단계별 굴착시 발생하는 배면지반의 지표침하량을 모형실험시 지표침하량으로 적용시켜 구조물의 변위, 균열양상, 각변위, 처짐비에 따른 손상정도를 분석하였으며, Cording(1989) 도표와 Burland 등(1977)의 도표에 적용하여 비교 검토하였다. 또한, 실제 크기의 조적식 구조



F_n : joint normal force, Δu_n : joint normal displacement
 F_s : joint shear force, Δu_s : joint shear displacement

그림 7. k_n 및 k_s 개요

표 5. 줄눈의 물성치

항목	물성치	joint normal stiffness k_n (pa)	joint shear stiffness k_s (pa)
모래지반		7.0E5	7.0E5
벽돌-벽돌(모르타르)		5.3E8	2.3E8
벽돌-벽돌(모르타르)		5.3E8	2.3E8
콘크리트 기초-지반		2.7E7	2.7E6

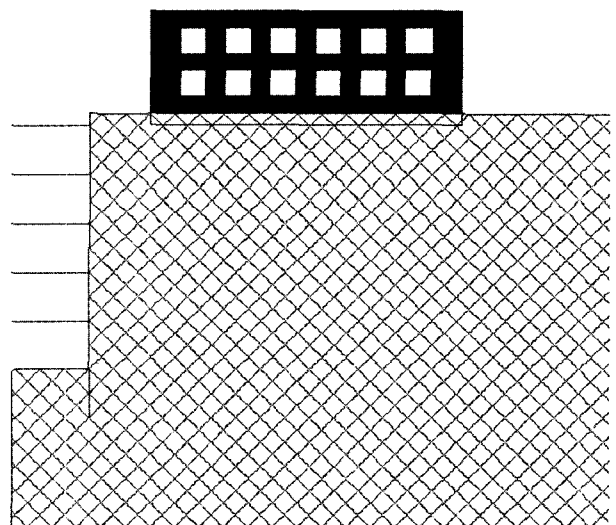


그림 8. 수치해석 모델링 단면

물을 모델링하여 굴착 단계에 따른 수치해석을 수행하여 모형실험과 비교, 분석하였다.

3.1 단계별 굴착시 지반 및 구조물의 수직변위

그림 9는 Peck(1969) 도표를 이용하여 단계별 굴착시 발생하는 배면지반의 지표침하량을 모형실험시 지반침하량으로 적용하였을 때 지반 및 구조물의 거동을 나타낸 결과이다. 단계별 굴착에 따른 지반 및 구조물의 수직변위를 비교해 보면 그림 9에 나타난 바와 같이 지반침하에 비해 구조물의 침하량은 최대 10% 작게 나타나는 경향을 보였으며, 지반의 굴착 단계별 최대각변위는 1/200~1/300정도로 분포하고 있고, 구조물의 최대각변위는 1/230~1/450로 구조물의 각변위가 지반의 각변위에 비해 약 21%정도 작게 평가되는 것을 알 수 있었다.

그림 10은 O'Rourke등(1976)의 도표를 이용하여 단계별 굴착시 발생하는 배면지반의 지표침하량을 모형실험시 지반침하량으로 적용하였을 때 지반 및 구조물의 거동을 나타낸 결과이다.

단계별 굴착에 따른 지반 및 구조물의 각변위 산정결과, 굴착단계별 지반의 최대 각변위는 1/175~1/240의 분포를 나타냈으며, 구조물의 최대각변위는 1/180~1/300로 나타나 약 10%정도 구조물의 각변위가 지반의 각변

위보다 작게 나타나는 양상을 보였다. 또한 구조물의 수직변위는 지반의 수직변위보다 5%정도 작게 나타났다. 그림 9와 그림 10을 비교하여 최대 벽체 각변위를 살펴보면, O'Rourke 지반침하량 적용시가 Peck 지반침하량

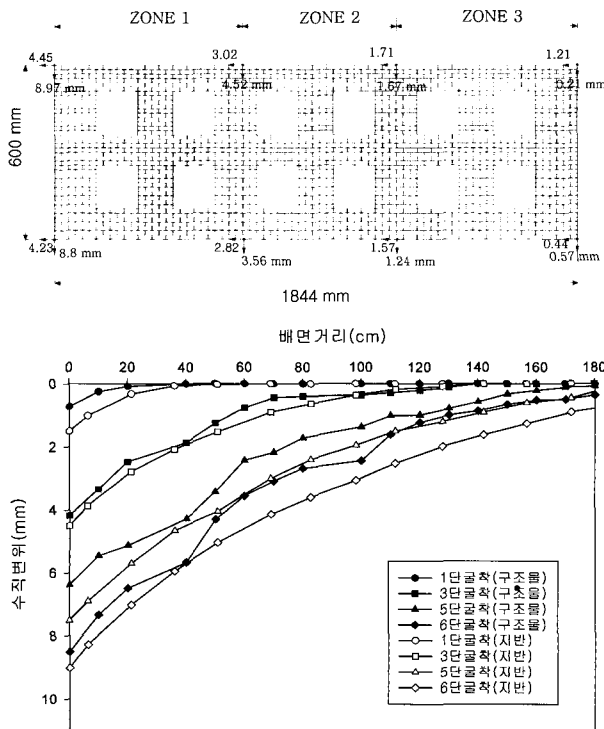


그림 9. 구조물과 지반의 수직변위(모형실험 I)

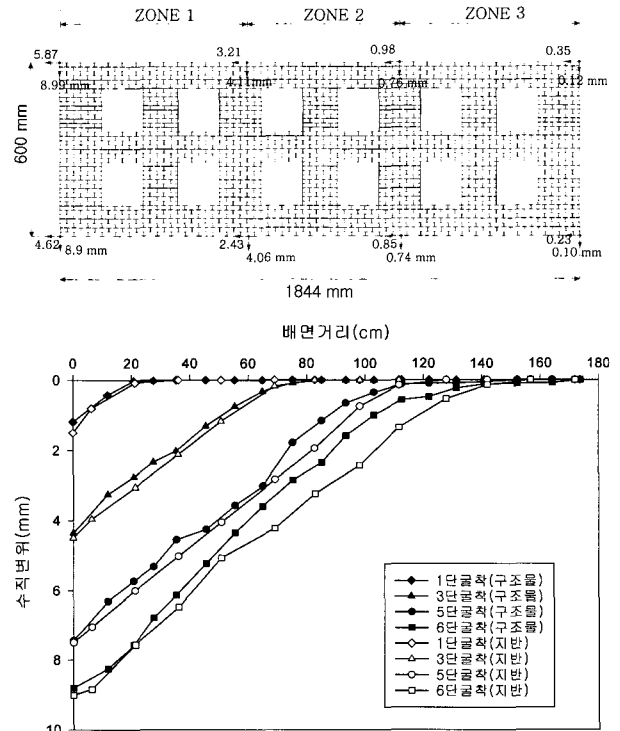


그림 10. 구조물과 지반의 수직변위(모형실험 II)

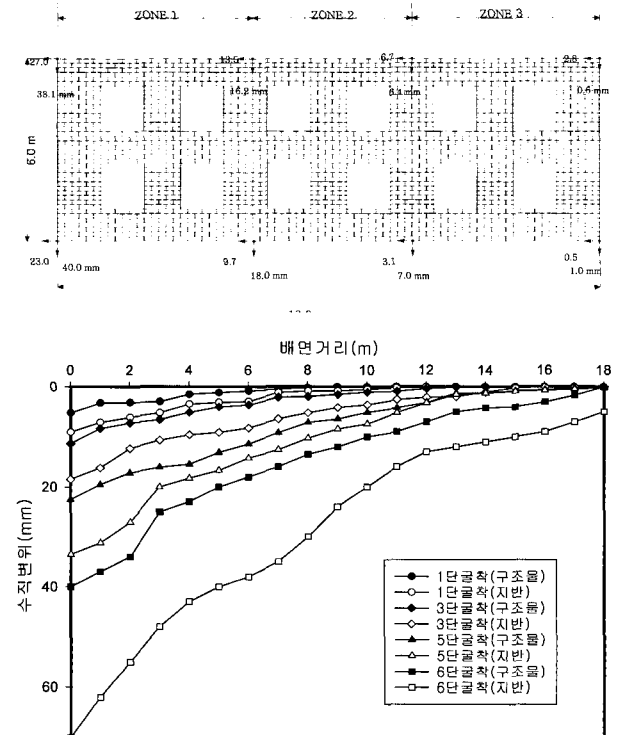


그림 11. 수치해석에 의한 구조물과 지반의 수직변위

적용시에 비해 최대 21% 크게 평가되었다. 이는 상대적으로 O'Rourke에 의한 지반 침하량이 Peck에 의해 산정되는 값보다 크게 적용되어 나타난 결과로, 지반거동이 조적식 구조물의 손상평가지 중요하게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

그림 11은 수치해석시 단계별 굴착에 따른 지반 및 구조물의 수직변위에 대한 결과이다. 조적식 구조물의 수직변위는 지반의 수직변위에 비해 약 60%의 값을 나타내고 있어 구조물의 수직변위가 작게 나타나고 있으며 이는 인접구조물과 지반, 조적식 구조물의 벽들과 벽돌사이의 줄눈의 저항으로 인해 구조물의 수직변위가 감소하는 것으로 판단된다. 또한, 각변위를 보면 지반은 1/86~1/166, 구조물은 1/150~1/1500의 각변위를 나타내고, 구조물의 각변위가 지반의 각변위에 비해 40%~50% 감소됨을 확인할 수 있었다.

3.2 단계별 굴착시 조적벽체의 수평변위

그림 12와 그림 13은 Peck(1969) 및 O'Rourke등(1976)의 도표를 이용하여 단계별 굴착시 발생하는 배면지반의 지표침하량을 모형실험시 지반침하량으로 적용하였을 때 지반 및 구조물의 거동을 나타낸 결과이다. Peck

에 의해 산정된 지반 침하량을 이용하여 침하량을 적용한 수평변위를 보면 완만한 기울기를 가지고 증가하고 있으나, O'Rourke등의 경우는 짧은 영향거리 내에서 큰 수평변위가 발생됨을 알 수 있다.

그림 12와 그림 13에 나타난 바와 같이 단계별 굴착에 따라 수평변위는 Peck 방법적용시 보다 O'Rourke등에서 최대 24%가 크게 나타나고 있다. 이는 지반 거동의 영향거리가 Peck방법에 비해 작게 나타나므로 상대적으로 수평변위는 크게 발생되고 있음을 알 수 있다. 이로 인해 구조물의 손상평가에 있어서도 Peck방법에 비해 O'Rourke등의 수평변위량이 크고, 각변위도 크게 나타나 O'Rourke등의 지반침하량 적용시가 구조물의 손상평가지 보다 보수적인 평가가 이루어질 수 있다.

즉, 단계별 굴착에 따라 수평변위는 증가됨을 알 수 있었으며, 이를 통해 구조물의 수평변위 또한 구조물의 손상 인자로서 중요하게 고려되어야 할 것이다.

그림 14는 수치해석시 단계별 굴착에 따른 지반 및 구조물의 수평변위에 대한 결과이다. 조적식 구조물의 수평변형율은 0.01%~0.125%, 지반은 0.022%~0.188%를 나타내며, 구조물의 수평변형율이 지반의 수평변형율에 비해 약 35%~55% 정도 감소함을 확인할 수 있다.

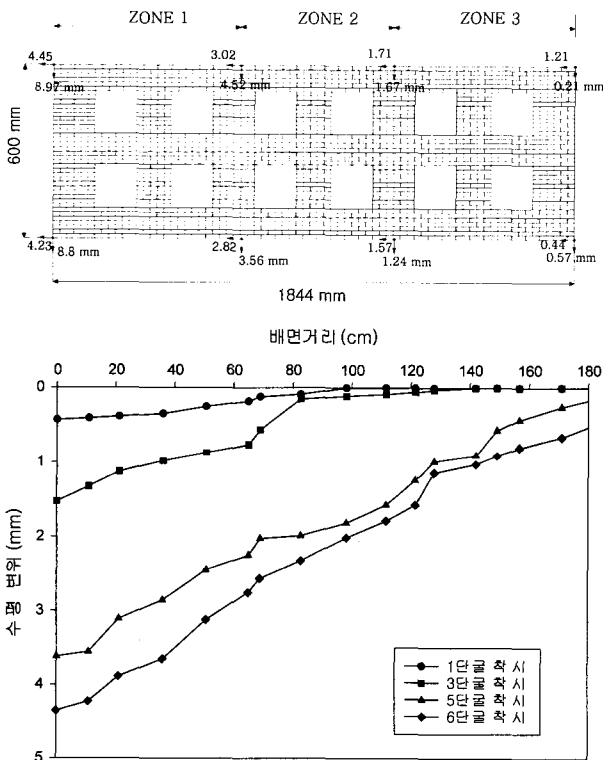


그림 12. 조적벽체의 수평변위(모형실험 I)

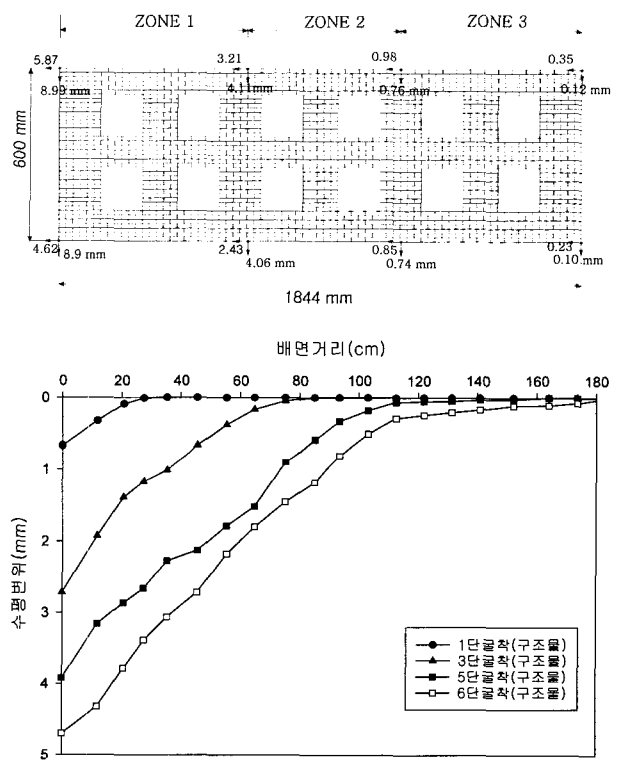


그림 13. 조적벽체의 수평변위(모형실험 II)

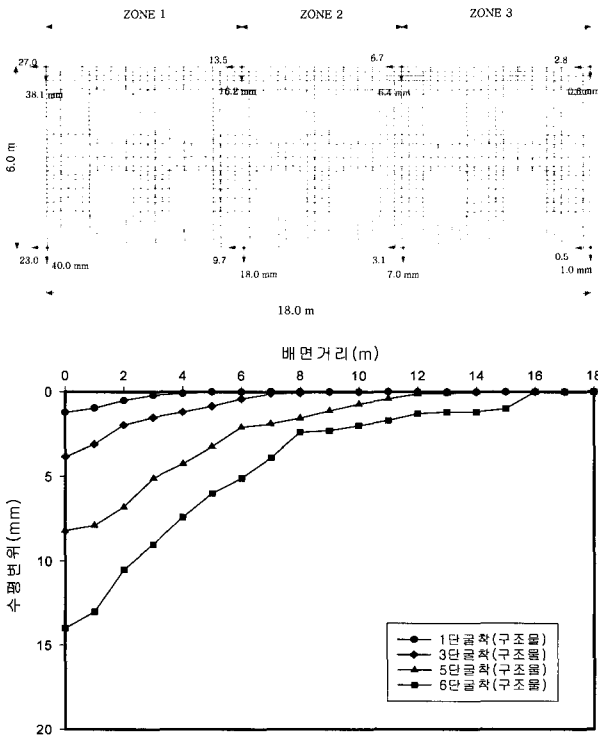


그림 14. 수치해석에 의한 구조물과 지반의 수평변위

3.3 모형실험과 수치해석시 구조물의 수평변형률과 처짐비에 의한 손상평가

그림 15는 Peck(1969)방법과 O'Rourke등(1976)방법에 의한 단계별 지반침하 적용시 구조물의 손상평가를 위해 Boscardin & Cording(1989)의 연구결과를 확장한 Burland(1995)의 수평변형률과 처짐비에 의한 평가를 나타낸 것이다. 그림에서 손상정도는 category 1~5로 나타냈으며, category 1은 무시가능한 손상을 category

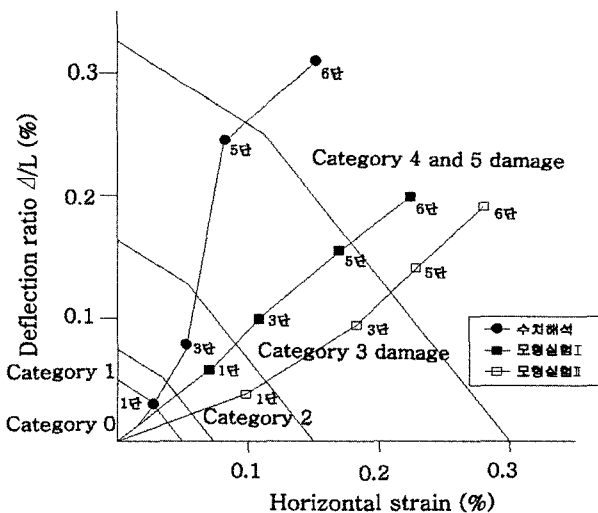


그림 15. 수평변형률과 처짐비에 따른 손상범위(L/H=1)

2는 아주 작은 손상정도, category 3은 보통의 손상정도를 category 4~5는 심각에서 매우심각한 손상정도를 의미한다. 그림 15에서 알 수 있듯이 Peck(1969) 침하량 적용시에는 1단 굴착시 category 2에 해당하므로 손상은 대체로 적으며, 3, 5단 굴착시에는 보통이며, 6단 굴착시에는 심각에서 매우심각의 범위인 category 4, 5에 해당하므로 인접구조물에 직접적인 손상을 입히게 되는 것으로 나타났다.

또한 O'Rourke등(1976)은 침하량 적용시에는 1단굴착시 category 2에 해당되는 것으로 나타났고, 3단 굴착시에는 category 3인 보통정도 손상이며, 5, 6단 굴착시에는 모두 category 4, 5의 범주에 나타나, O'Rourke 침하량 적용시가 Peck 침하량 적용시 보다 단계별 굴착에 따라 구조물의 손상 영향이 크게 받는 것으로 나타났다.

그림 15에 나타난 바와 같이 UDEC에 의한 수치해석 결과와 모형실험에 의한 결과를 보면, 각 굴착단계에 따른 구조물 손상영향이 점차 크게 나타나 유사한 경향을 보이고 있으나, 모형실험에서는 수평변형률과 처짐비 모두가 중요하게 발휘되며, 수치해석에서는 주로 처짐비에 의해 구조물이 손상영향이 평가됨을 알 수 있었다.

Peck과 O'Rourke등의 방법에 의한 침하량 산정시 O'Rourke등의 방법은 주로 수평변형률이 처짐비에 비해 구조물의 손상 평가시 주로 영향을 미치고 있으며, Peck방법은 초기 굴착시에는 수평변형률이 구조물 손상평가시 주로 영향을 미쳤으나, 굴착이 진행함에 따라 수평변형률과 처짐비 모두 중요한 요소로 작용하고 있다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 현장에서는 굴착시 인접구조물에 미치는 영향을 평가하고자 할 때 수평 변형률과 처짐비에 의한 구조물의 손상평가는 단계별 굴착시 고려되어 평가가 이루어져 할 것이다.

3.4 구조물의 각변위와 수평변형률에 의한 손상평가

그림 16은 Peck(1969)방법에 의한 단계별 지반굴착에 따른 침하 적용하였을 경우와 O'Rourke등의 방법으로 침하량을 적용하였 경우 구조물의 손상정도를 평가하기 위해 Boscardin & Cording(1989)이 제안한 건물에 대한 손상정도와 각변위 및 수평변형률 사이의 관계를 UDEC 해석 결과와 함께 나타낸 도표이다.

그림 16에서 알 수 있듯이 수치해석과 모형실험에 의한 결과를 각변위와 수평변형률에 적용하였을 때는 유사한 경향을 나타내고 있다.

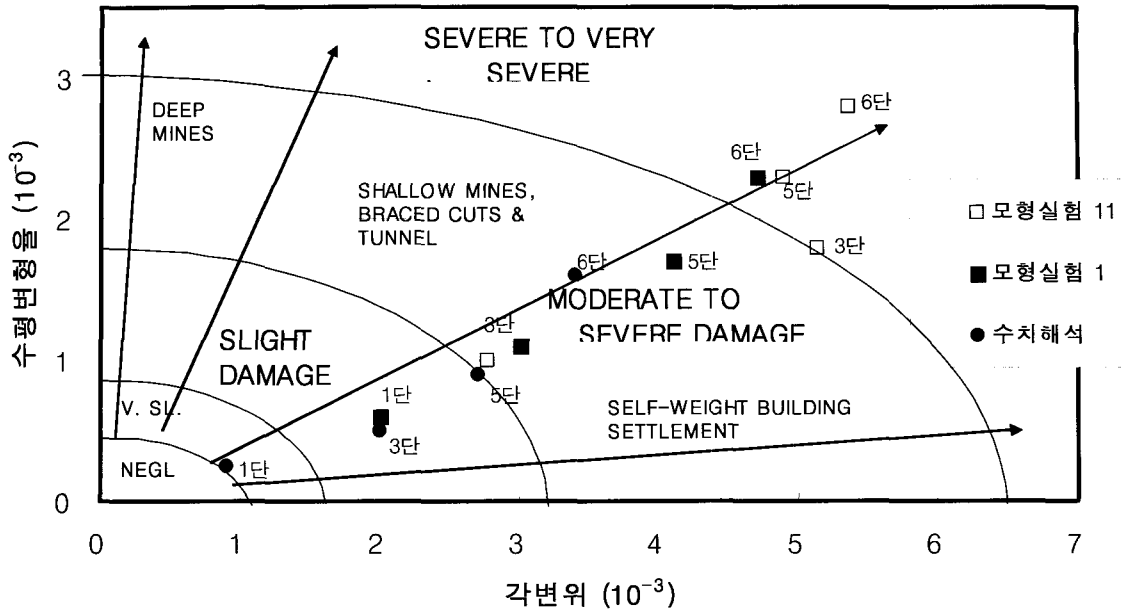


그림 16. 각변위와 수평변형률에 따른 손상범위

Peck 침하량에 의한 구조물의 손상을 도표에 적용하였을 경우 1단 굴착시는 약간의 손상의 범주에 해당되었으며, 3단 굴착부터 손상정도가 증가하기 시작하여 5, 6단 굴착이 종료 되었을시 보통 내지 심각한 손상범주에 해당되는 것으로 나타났다. 또한 O'Rourke등의 침하량에 의한 구조물의 손상을 도표에 적용하였을 경우, 1단굴착후 우려내지는 심한손상을 의미하는 단계에 속하는 것으로 나타났으며, 나머지 굴착단계모두 심하거나 매우심한 단계에 해당하는 것으로 분석되었다.

또한, Peck방법 및 O'Rourke등의 방법에 의한 침하량 적용시 각변위와 수평 변형률관계는 Boscardin & Cording (1989)이 제안한 도표에서 흙막이 굴착(braced cuts)의 범위중 약 45°의 기울기로 도표에 분포 진행되고 있어, 각변위와 수평 변형률은 모두 구조물 손상평가에 중요한 인자임을 알 수 있었다.

4. 결론

흙막이 굴착시 지반 침하량을 적용한 구조물의 손상 모형실험 및 수치해석을 통해, 굴착 단계에 따른 인접구조물에 미치는 영향을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Peck(1969) 및 O'Rourke등(1976)이 반경험적으로 제안한 그림에서 산정한 단계별 침하량을 구조물 손상

모형실험시 지반침하량으로 적용하였을 때, 구조물의 수직변위, 수평변위 및 각변위등의 손상평가인자는 지반거동으로 평가되는 값에 비해 작게 나타나 구조물의 강성 및 구조물과 지반의 interface 등의 영향이 고려된 손상평가가 이루어져야 함을 확인할 수 있었다.

(2) 수치해석과 모형실험에 의한 결과를 수평변형률과 처짐비, 각변위와 수평변형률의 도표에 나타난 결과, 각 굴착단계에 따른 구조물 손상영향이 점차 크게 나타나는 유사한 경향을 보이고 있으며, 흙막이 굴착시 조적식 구조물과 같은 강성이 작은 구조물의 거동평가기 개별요소법이 적용된 수치해석의 타당성을 확인할 수 있었다.

(3) 향후 구조물의 형식, 구조물의 형상, 지반조건, 지반과 구조물의 상대강성등의 조건을 변화시켜 흙막이 굴착에 따른 구조물의 거동평가가 수치해석 및 모형실험을 통하여 세밀하게 분석되어야 할 것이며, 현장측정자료를 통한 이의 검증이 지속적으로 필요할 것이다.

감사의글

이 연구는 2002학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 김문한(1985), "벽돌 조적벽체의 접착강도에 영향을 미치는 Mortar의 성질에 관한 연구", 대한건축학회지, 29권, 124호 pp.50-57.
2. 김학문, 이봉열(1999), "굴착모형실험을 통한 토류벽체 및 지반 거동에 관한 연구", 한국지반공학회논문집, 15권, 5호 pp.259-280.
3. 김학문 등(1994), "버티굴착에서 인접 구조물의 영향 평가", 한국지반공학회 가을학술 발표회논문집.
4. 유충식(2002), "도심지 깊은 굴착시 주변 건물 및 매설관 손상 평가", 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집.
5. Boone, S. J., Westland, J., and Nusink, R.(1999), "Comparative Evaluation of Building Response to an Adjacent Braced Excavation", *Can. Geotech. J.*, Vol.36, pp.210-223.
6. Boscardin, M. D. and Cording, E. J. (1989), "Building Response to Excavation-Induced Settlement", *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol.115, No.GT1, pp.1-21.
7. Burland, J. B. (1995), "Assessment of Risk of Damage to Buildings Due to Tunnelling and Excavation", *Invited Special Lecture to Is-ToKyo '95: 1st Int. Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*.
8. Burland, J. B. and Broms. B. B., and de Mello, V. F. B.(1977), "Behavior of Foundations and Structures", *Proc., 9th Int'l Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., II, Tokyo, Japan*, State of the Art Report, pp.495-546.
9. Caspe, M. S.(1966), "Surface Settlement Adjacent to Braced Open Cuts", *Journal of Soil Mechanics and Foundation Eng., ASCE*, Vol.92, pp.51-59.
10. O'Rourke, T. D. Cording, E. J. and Boscardin, M.(1976), *The Ground Movement related to Braced Excavation and Their Influence on Adjacent Structures*, Univ. of Illinois Report for U.S. Dept. of Transportation, Report No.DOT-TST-76T-22.
11. Peck, R. B.(1969), "Deep Excavation and Tunnelling in Soft Ground", *Proc of 7th Inter. Conf. on soil Mech. and Found. Eng.*, State-of-the-Art, pp.225-290.
12. Polshin, D. E. and Tokar, R. A.(1957), "Maximum Allowable Non-Uniform Settlement of Structures", *Proc., 4th Int'l Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Butterworth, England*, Vol.1, pp.402-405.
13. UDEC Version 3.1(2000), Itasca Consulting Group, Inc.
14. Wahls, H. E. (1981), "Tolerable Settlement of Buildings", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol.107, No.11. pp.1489-1504.

(접수일자 2003. 10. 7, 심사완료일 2003. 11. 25)