

지반굴착과 주변 구조물 손상평가 - 기본개념

Excavation and Building Damage Assessment - Fundamentals

유충식¹⁾, Chung-Sik Yoo

¹⁾ 성균관대학교 토목공학과 부교수, Assoc. Prof. Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

SYNOPSIS : During deep excavation, changes in the state of stress in the ground mass around the excavation and subsequent ground losses inevitably occur. These changes in the stress and ground losses are reflected on surrounding ground in the form of ground movements, which eventually impose strains onto nearby structures through translation, rotation, distortion, and possibly damage. A substantial portion of the cost of deep excavations in urban environments is, therefore, devoted to prevent ground movements. Prediction of ground movements and assessment of the risk of damage to adjacent structures has become an essential part of the planning, design, and construction of a deep excavation project in the urban environments. This paper presents excavation-induced ground movement characteristics as well as important issues related to excavation-induced building damage assessment.

Key words : excavation, ground movement, building damage assessment

1. 서 론

도심지에서의 인구증가는 고층건물 및 지하철 등 각종 사회 기반시설 건설로 이어지며 앞으로는 사용 가능한 지상 공간이 부족해짐에 따라 지하공간 개발이 더욱 가속화될 전망이다. 이에 반해 지하공간 건설공사에 있어서 주변 환경적 여건은 국민의 환경의식 강화 및 협소한 국토 공간 등으로 인해 과거 보다 현저히 악화된 실정이다. 특히 도심지에서의 지하공간 건설공사에서는 지하굴착 혹은 터널 공사 시 해당 구조물 자체를 안전하게 시공하여야 함은 물론 주변구조물에 대한 영향을 최소화하여야 한다는 전제조건이 전반적인 공사계획 및 설계에 지대한 영향을 미치는 중요한 사항으로서 대두되고 있다.

흙막이 공사중 발생하는 지반손실과 이에 따른 지반내의 응력상태의 변화는 주변지반의 수평변위 및 침하를 야기시키며 이러한 지반변위는 다시 주변 구조물에 수평, 전단 및 비틀 변형률을 부과하여 경우에 따라서는 구조적 손상을 유발시킨다. 지반변위의 크기 및 분포 특성은 지반의 전단특성, 굴착현장의 기하적 특성, 지지벽체 및 지보구조, 그리고 무엇보다도 굴착 과정에 따라 좌우된다. 최근 들어 지반굴착 공사시 지반의 거동이 주변 구조물에 미치는 영향에 대한 관심이 높아짐에 따라 도심지 굴착공사비의 많은 부분이 지반거동을 억제하고 조절하는데 할애되고 있으며 지반굴착 공사시 주변지반의 거동을 예측하고 이를 토대로 주변구조물에 대한 손상정도를 예측하는 부분이 도심지 굴착공사의 계획, 설계, 그리고 시공에서 차지하는 비중이 날로 높아지고 있다. 이러한 측면에서 설계 및 시공중 굴착공사가 주변 지반에 미치는 영향을 예측하고 이를 토대로 주변 구조물에 손상 정도를 예측하여 필요시 대책을 마련하는 체계적인 접근방법이 필요하다고 하겠다.

국내에서도 지반굴착공사의 계획 및 설계 단계에서 지반거동을 예측하고 이를 토대로 주변 구조물에

대한 영향을 평가하는 과정을 거치고는 있으나 많은 경우에 있어서 부적절한 검토가 이루어지고 있다. 특히, 지반굴착시 발생하는 지반변위 특성에 대한 고려 없이 건물자중에 의한 침하 발생에 따른 지반경사를 토대로 손상도를 평가하는 방법을 적용하고 있어 경우에 따라서는 부적절한 결과를 초래할 수 있다고 지적된 바 있다(유충식 등 2000). 이러한 맥락에서 본 논문에서는 터널 및 지하굴착에 따른 지반거동으로 인한 주변구조물 손상평가에 관한 연구의 일환으로 흙막이 공사시 지반굴착에 따른 벽체 및 주변지반 변위 특성을 고찰하였으며, 현재 국내에서 적용되고 일반적으로 적용되고 있는 손상평가 기법을 검토함과 아울러서 국외에서 적용되는 검토 기법 및 적용 방법을 제시하였다.

2. 지반굴착시 흙막이 벽체 및 지반거동

지반굴착에 따른 지반거동으로 인한 주변 구조물의 손상평가에 관련된 문제를 해결하기 위해서는 먼저 지반굴착시 발생하는 지반거동 메카니즘에 대한 정확한 이해와 이에 따른 지반거동-구조물의 상호작용 메카니즘에 대한 이해가 선행되어야 한다. 본 장에서는 이 두 가지 측면의 중요한 사항들을 다루었다. 지반굴착 문제는 터널 및 깊은굴착의 문제로 대별되나 본 논문에서는 깊은굴착 문제에 국한하였다.

앞서 언급한 바와 같이 굴착으로 인해 발생하는 지반거동에 의한 주변 구조물의 손상 특성은 지반변위로 인해 발생하는 지반의 수평변형률 및 전단변형률과 같은 직접적인 변형률과 뒤틀림 및 휨변형률과 같은 추가적인 변형률에 의해 특징지어지게 된다. 이러한 변형률은 다시 지반거동 특성, 즉 지표 및 지중변위 양상에 좌우 되므로 구조물 손상평가를 위해서는 굴착이 진행되면서 발생하는 지반거동 특성에 대한 이해가 필요하다.

그림 1에서 나타난 바와 같이 지반굴착은 벽체의 변형을 유발시키고 벽체변위는 다시 주변 지반변위 그리고 더 나아가서 지표침하로 이어지게 되며 이러한 지반변위는 지중매설관 및 건물 등 인접 구조물에 뒤틀림, 인장, 휨변형을 부과한다. 따라서 깊은굴착으로 유발되는 주변 지반의 거동 양상은 결국 굴착이 진행되면서 발생하는 흙막이 벽체의 변위 특성과 매우 밀접한 관계가 있다고 하겠다.

지난 수년 동안 수행된 지반굴착에 관련된 많은 연구에서는 주 설계 파라메타인 벽체 및 지지구조의 강성이 흙막이 벽체 및 주변지반의 거동에 미치는 연구에 집중되어 왔으며 따라서 이러한 주 설계 파라메타가 벽체의 변위에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 이해도는 상당한 수준에 있다고 할 수 있다. 그러나 이에 비해 벽체변위가 주변지반에 어떠한 메카니즘으로 전파되고 상부 지표침하로 이어지는 지에 대한 이해도는 그다지 높지 않다.

단계별 굴착이 이루어지는 굴착공사의 특성상, 각 단계에서의 시공과정은 최종단계에서의 벽체 및 지표침하 양상에 많은 영향을 미친다. 예를 들어 그림 2(a)에서 나타난 바와 같이, 굴착이 진행되면서 스트러트 혹은 앵커 등 지보재가 설치되기 이전의 초기 단계에서의 벽체 변위는 캔틸레버 형태로 나타나며 이때 발생하는 지표침하의 형태는 포물선 형태를 띠게 된다. 그림 3(a)와 4는 미국 일리노이 대학에서 수행된 실험 결과와 필자가 수행한 유한요소해석 결과를 보여주고 있으며 앞서의 내용과 잘 부합되는 결과를 보여 주고 있다.

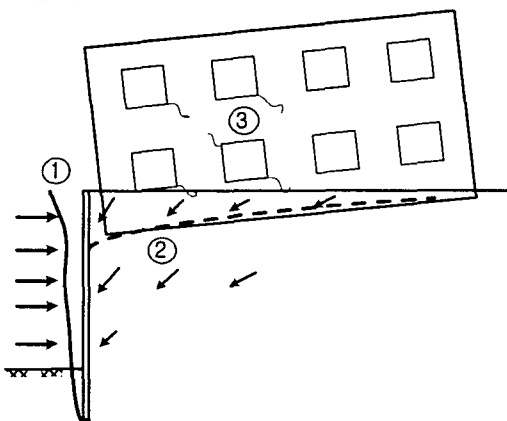


그림 1. 굴착에 따른 인접 구조물 손상

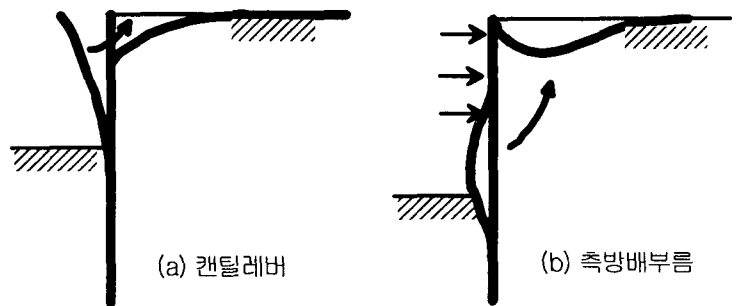


그림 2. 벽체 및 지반침하

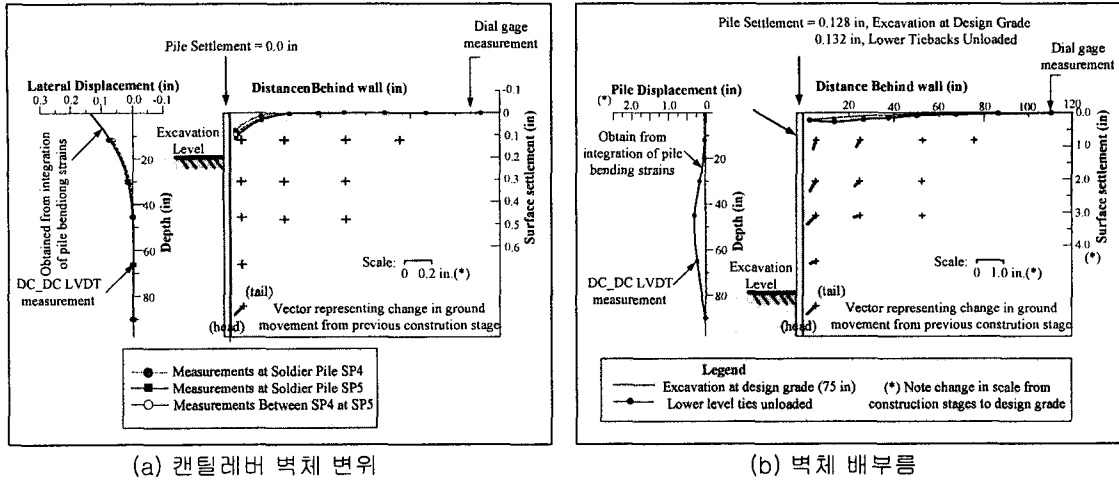


그림 3. 실험 모형실험 (after, Mueller 2000)

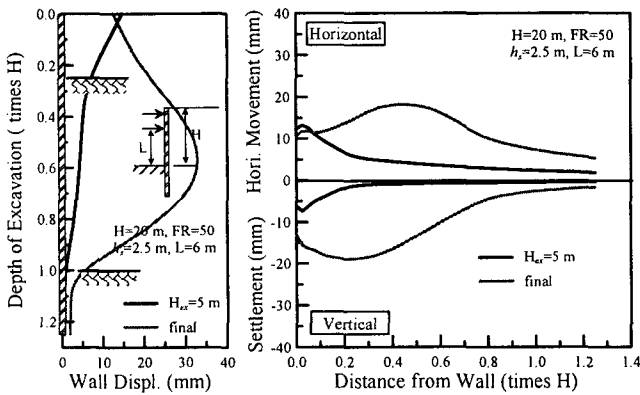


그림 4. 벽체변위 및 지표변위: L=6m
(유한요소해석결과 ABAQUS)

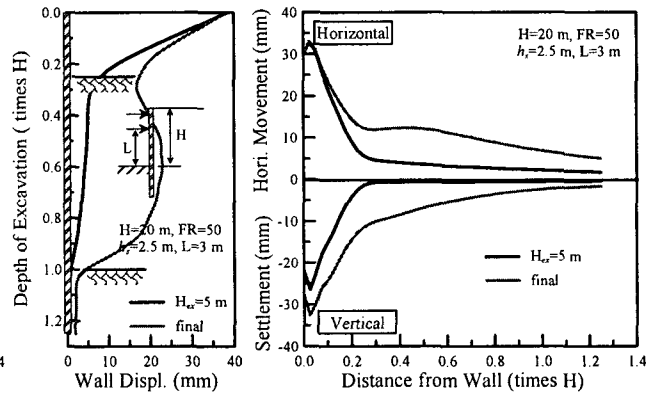


그림 5. 벽체변위 및 지표변위: L=3m
(유한요소해석결과 ABAQUS)

한편, 그림 2(b)와 같이 지지구조가 설치된 후에 수행되는 굴착에서는 지보재와 굴착저면이 벽체변형에 대한 저항력을 제공하게 되므로 굴착저면과 최하단 지보재 사이에서 발생하는 측방변위가 벽체 변위의 주된 제공인자가 되며 이로 인한 지표침하하는 아래가 볼록한 유형을 따르게 된다. 그림 3(b)와 4에서 보여주고 있는 최종단계에서의 결과는 이러한 경향을 잘 뒷받침 해주고 있다. 따라서 지보재의 설치간격보다는 굴착이 진행되면서 허용하는 굴착저면과 최하단 지보재의 거리가 벽체변위 및 지표침하의 크기와 유형을 결정 짓는 매우 중요한 인자라고 할 수 있으나 일반적으로 현장에서는 이 부분에 대한 시공관리가 소홀히 이루어지고 있는 실정이다.

임의 굴착현장에서 최종단계에서의 벽체변위 및 지표침하 양상은 위에서 언급한 캔틸레버 변위 및 측방 배부름으로 특징지어지는 벽체변위의 각 성분을 토대로 결정할 수 있다. 즉, 벽체의 강성이 작고 최상단 지보재의 설치시기가 늦어져 캔틸레버 변위를 많이 허용하는 경우의 벽체변위는 그림 5에서와 같이 벽체 상단부에서 최대 변위가 발생하며 포물선 형태의 지표침하가 발생한다. 이와 반대로 최상단 지보재의 설치시기는 적당하나 굴착이 진행되는 동안 지보재 설치시기가 지연되어 굴착면과 최하단 지보재의 거리를 크게 유지하는 경우에는 그림 4에서 보이는 바와 같이 벽체 측방 배부름이 벽체 변위의 주된 성분이 되며 따라서 아래가 볼록한 침하유형을 보이게 된다. 이와 같이 벽체변위 및 침하 유형은 벽체강성 및 시공과정에 따라서 좌우되며 이로 인해 발생하는 주변 구조물 손상특성은 결국 지반거동 양상(지표침하 및 지중변위)과 밀접한 관계가 있으므로 설계 단계에서 이에 대한 정확한 평가가 필수적이라 하겠다.

위에서 알아본 바와 같이 시공중 발생하는 지반거동을 억제하기 위해서는 앞서 언급한 벽체변위의 두 가지 성분, 즉 캔틸레버 거동 및 측방 배부름을 억제하는데 초점이 맞추어져야 한다. 캔틸레버 변위는 강성이 큰 벽체를 사용하거나 상단부 지보재를 가능한 신속히 설치함으로써 줄일 수 있는데 후자의 방법이 시공중에 쉽게 해결할 수 있는 보다 경제적이라고 할 수 있으며 또한, 측방 배부름은 시공중에 최하단 지보재와 굴착저면 사이의 거리를 최소화하는 엄격한 시공관리를 적용함으로써 억제할 수 있다. 이와 같이 지반굴착시 유발되는 변위 중 상당 부분은 시공과정과 밀접한 관계가 있으며, 엄격한 시공관리 및 정밀시공을 통해 최소화 할 수 있다.

3. 주변 건물 손상평가

3.1 국내현황

일반적으로 국내 흙막이 설계시 이루어지고 있는 주변구조물 손상평가는 지반경사를 토대로 수행되고 있다. 즉, 설계과정에서 추정되는 벽체의 변위를 토대로 배면 침하곡선을 유추하고 이를 이용하여 부등침하에 의한 지반경사를 계산한 후 Skempton & McDonald (1956) 기준이나 Bjerrum (1963)이 제시한 지반경사에 의한 손상기준과 비교하여 손상정도를 평가하는 방법을 취하고 있다. 이러한 방법에 있어서의 문제점은 다음과 같이 두 가지로 요약될 수 있다.

먼저, 현재 흙막이 설계시에는 대부분 토류구조물 설계전용 프로그램을 이용하고 있다. 이러한 프로그램은 벽체나 지보재에 유발되는 부재력을 추정하여 단면을 결정하는 데 있어서는 효율적이라고 할 수 있으나 프로그램의 특성상 지반-구조물 상호작용 개념을 적절히 포함시키기가 어려운 관계로 벽체의 변위를 추정하는데 있어서는 다소 어려움이 따른다고 하겠다. 따라서 토류구조물 설계 프로그램을 이용하여 추정한 변위를 토대로 지반침하를 추정하는 것 또한 그다지 적절하지 않다고 할 수 있다. 아울러서 침하추정시에는 일반적으로 Caspe (1966) 방법이 적용되고 있는데 이 방법은 침하곡선을 포물선으로 가정하고 벽체변위의 체적(V_H)과 침하곡선(V_S)의 체적을 동일하다고 간주하고 지표침하를 추정한다. 그러나 앞에서 관찰한 바와 같이 경우에 따라서는 아래가 볼록한 침하유형이 발생할 수 있으며 대부분의 경우에 있어 침하체적은 벽체변위 체적의 50% 내지 70% 정도인 것으로 보고되고 있어, 즉 $V_S=(50\sim70\%)V_H$, 경우에 따라서는 적절하지 못한 결과를 초래할 수 있다(유충식 & 김연정 2000).

한편, 건물 손상평가에 있어서 우리나라에서 적용되고 있는 기준들은 구조물 자체의 자중에 의해 연직침하가 발생할 경우에 적용하는 기준으로서 앞서 관찰한 바와 같이 연직변위 뿐만 아니라 상당한 크기의 수평변위가 발생하는 굴착과 관련된 문제에 있어서는 적당하지 않다고 할 수 있다. 이러한 점들은 이미 다수의 연구자(Boscardin & Cording 1989, Burland 1995, Boone 1999)에 의해서 언급된 바 있으며 이들은 건물자중에 의한 손상평가기준에 근거할 경우 매우 비안전측의 결과가 나올 수 있다고 지적한 바 있다.

이러한 두 가지 측면을 감안할 때 우리나라에서 적용되고 있는 지반굴착시 주변구조물 손상평가 방법에 대한 종합적인 검토가 있어야 할 것으로 사료된다.

3.2 수평변형률을 고려한 손상평가 기법

터널 혹은 깊은굴착시 지반에 발생하는 연직 및 수평변위는 주변구조물에 각변위(angular distortion)와 수평변형률(lateral strain)을 유발시키며 따라서 이러한 변형률의 종류와 크기에 따라 구조물의 손상여부가 좌우된다. 그림 6은 지반거동에 따른 주변구조물 손상평가에 있어서 적용되고 있는 각변위와 수평변형률의 정의를 설명하고 있다. 구조물의 손상정도는 각변위와 수평변형률이 복합적으로 작용할 경우가 각변위만이 작용할 경우 보다 더 높은 것으로 보고 되고 있어 수평변형률 또한 매우 중요하게

다루어져야 한다. 이러한 맥락에서 국내에서와 같이 굴착문제에 있어서 건물의 자중에 의한 침하에 대한 기준을 적용하는 것은 부적절한 결과를 초래할 수 있다

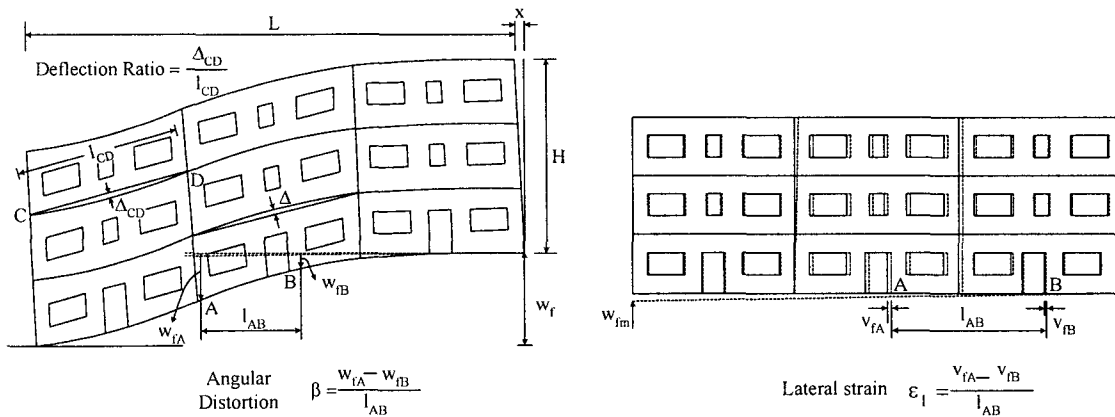


그림 6. 각변위와 수평변형률의 정의

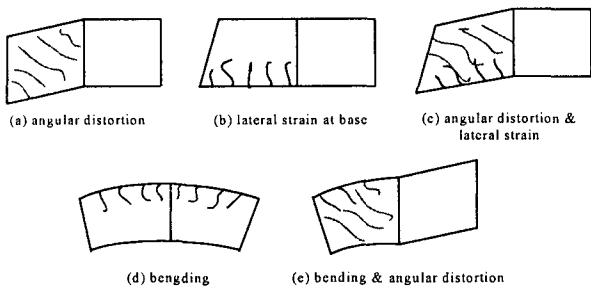


그림 7. 건물손상유형 (after Cording et al. 2001)

그림 7은 Cording et al. (2001)이 제시한 건물 벽체에 작용하는 변형률에 따른 건물 손상 유형을 보여주고 있다. 그림 8(a)~8(e)에서 보이는 바와 같이 벽체에는 각변위와 수평변형률의 복합적인 작용으로 인해 손상이 발생한다. 즉 지반의 수평변위에 의해 발생하는 수평변형률(ϵ_{LF})은 초기단계에는 벽체하부에 국한하여 균열을 발생시키나 벽체 상단부에 휨 균열과 전단균열이 발생하면서 벽체 상단부까지 전파되어 균열폭을 확장시키게 된다. 이와 같이 지반굴착으로 인한 지반변위는 연직 및 수평 성분을

포함하며, 따라서 주변 구조물에는 이로 인한 각변위와 수평변형률이 부과되므로 두 성분의 고려 없이는 효율적인 손상평가를 기대하기 어렵다고 할 수 있다.

한편, 건물 벽체에 발생하는 균열 유형은 벽체의 길이(L)와 높이(H)의 비(L/H)와 밀접한 관계가 있는데 L/H가 큰 경우에는 각변위의 정도가 낮더라도 큰 크기의 휨변형률이 벽체 상단부에 발생하여 균열을 유발시키나 L/H가 작은 경우에 있어서는 벽체가 깊은보로 거동하게 되고 따라서 벽체 상단부에 전단균열이 발생한 후에 큰 크기의 휨변형률이 발생하게 된다. 이때 일단 균열이 발생하게 되면 수평변형률이 상단부로 전파하여 균열폭을 증가시키는 역할을 하며 상단부에서의 수평변형률은 하단부의 수평변형률 보다 H/R 만큼(여기서 R은 볼록면 곡률의 반경) 증가하게 된다. 이와 같이 지반거동에 따른 주변 건물의 손상정도와 유형은 지반변위의 크기 및 특성, 벽체의 기하적 특성, 건물의 구조적 특성 등에 좌우된다고 하겠다.

지반굴착에 따른 주변구조물의 손상평가 기법은 그동안 국외에서의 많은 연구를 통해 그 방법적 측면에서 어느 정도 일반화 되었다고 할 수 있다. 이에 관련된 연구는 대개 미국 및 영국, 그리고 캐나다의 연구자들에 의해 수행되었으며 터널굴착을 대상으로 기법이 개발된 후 깊은굴착 문제로 확장하여 적용하기에 이르렀다.

대표적인 방법으로는 Boscardin & Cording (1989)이 제시한 손상평가 기법을 들 수 있는데 이들의 기법은 앞서 언급한 각변위와 수평변형률을 고려한 것으로서 이후에 Burland (1995)는 Boscardin & Cording의 연구결과를 확장하여 처짐비(deflection ratio)와 수평변형률에 근거한 기준을 제시하였다. Boscardin & Cording의 기준은 손상평가 대상 건물의 지주벽(bearing wall) 혹은 외벽(facade wall)에 발생하는 수평 및 전단변형률의 합을 토대로 계산되는 최대 인장변형률을 균열정도를 구분하는 임계 인

장변형률(critical strain)과 비교하여 손상정도를 평가하는 방법을 취하고 있다(표 1). 다음절에서는 이에 대한 구체적인 방법에 대해서 기술하였다.

3.3 평균변형률개념

Boscardin & Cording (1989) 그리고 Cording et al. (2001)은 지반거동으로 인한 건물손상평가지 건물 벽체에 유발되는 변형률을 평가하는 방법으로서 평균변형률 개념을 제시하였다. 여기서 평균변형률은 지반거동으로 인해 영향을 받는 건물의 벽체를 하나의 요소 혹은 개체로 간주하여 계산되는 평균적인 변형률로서 앞서 언급한 수평변형률과 각변위를 토대로 계산할 수 있다. 여기서 중요한 점은 굴착이 진행됨에 따라 지반변위는 파동(traveling wave)의 형태로 주변 구조물로 전파되기 때문에 굴착이 진행됨에 따라 대상 벽체에 발생하는 평균 변형률 평가시에는 이점을 감안하여야 한다는 점이다.

임의의 요소에 수평변형률과 각변위가 작용할 경우 최대 주인장 변형률(ϵ_p)은 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_p = \beta \sin \theta \cos \theta + \epsilon_L \cos^2 \theta; \quad \tan(2\theta) = \beta / \epsilon_L \quad (1)$$

여기서 θ 는 ϵ_p 가 작용하는 평면이 수직면과 이루는 각도를 나타낸다.

그림 8은 ϵ_L 과 β 그리고 손상도의 관계를 나타내고 있는데 이 그림은 기존의 Boscardin & Cording (1989)이 제시한 도표에 평균변형률개념을 적용하여 다소 수정한 것으로서 각 손상도의 경계는 임계변형률에 해당하는 일정한 ϵ_p 의 값을 가진다. 각변위 β 만이 작용할 경우 최대 주인장 변형률은 $\epsilon_p = 1/2\beta$ 의 값을 가지며 $\theta=45^\circ$ 에 작용하므로 균열의 방향은 작용방향과 90° 를 이루는 $\theta = -45^\circ$ 가 된다. 반면에 수평변형률 ϵ_L 만이 작용할 경우 $\epsilon_p = \epsilon_L$, $\theta=0^\circ$ 이며 따라서 균열은 연직방향으로 발생하게 된다. 기존의 Boscardin & Cording (1989)의 도표는 $L/H=1$ 인 깊은보에 발생하는 변형률을 토대로 작성되었다는 점에서 그림 9와 근본적인 차이가 있다고 하겠다.

지반굴착시 발생하는 지반거동으로 인해 건물벽체에 발생하는 변형률은 그림 9에서 보이는 바와 같이 검토대상 벽체를 건물의 구조적 특성을 감안하여 구획(bay)으로 구분하고 각 구획에 대한 기하조건과 지반변위를 토대로 계산할 수 있다. 즉, 그림 9에서와 같이 벽체를 두개의 요소로 구분하고 각 요소의

표 1. 손상등급 (after Boscardin & Cording, 1989)_

손상 수준	손상도	임계인장변형률 ϵ_{lim} (%)	손상유형
0	무시	0~0.05	• 0.1 mm 이하의 헤어 크랙
1	매우 경미	0.05~0.075	• 표면마감으로 쉽게 처리되는 미세균열 • 내벽에 주로 발생 • 조적식 구조물의 경우 외벽에도 발생 • 최대 균열폭은 1 mm
2	경미	0.075~0.15	• 균열을 쉽게 찾아낼 수 있으며 채마감이 필요하고 풍화방지를 위해 조치가 필요 • 문짝과 창문을 여는데 어려움이 있음 • 최대 균열폭 5 mm
3	우려	0.15~0.3	• 균열보수를 위해 표면을 갈아내고 처리 필요 • 조적식 구조물의 경우 일부를 재시공하는 경우가 발생 • 주변 매설물에 손상이 발생하고 문짝과 창문이 잘 닫기지 않음 • 최대 균열폭 5~15 mm 혹은 3 mm 이상의 균열이 다수 발생
4~5	심함~ 매우 심함	> 0.3	• 벽체, 문짝 및 창문이 뒤틀려 재시공 필요. 최대 균열폭 15~25 mm • 매우 심각한 경우에는 빌딩의 재시공이 필요함: 최대 균열폭 > 25 mm

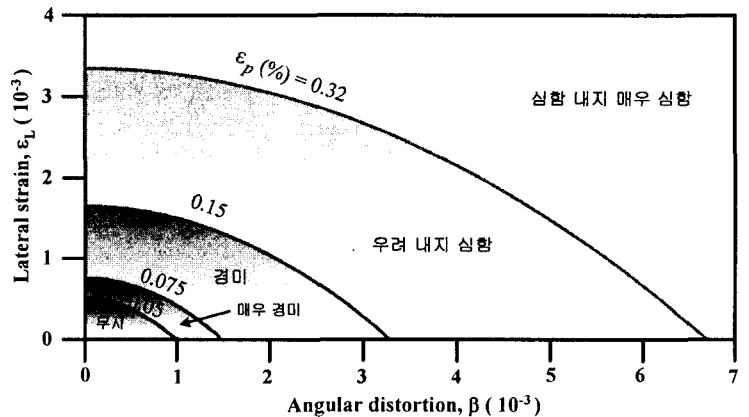
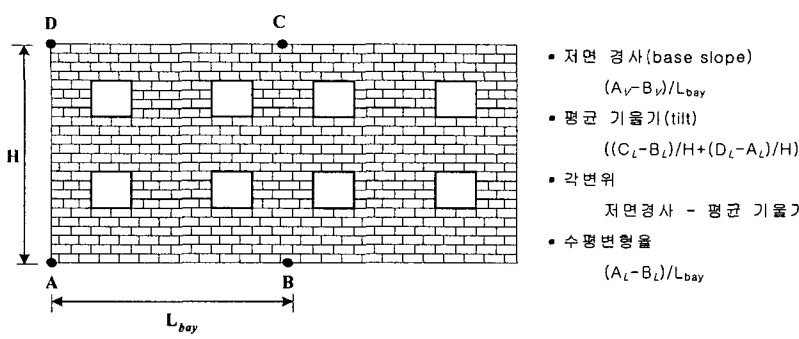


그림 8. ϵ_L - β 관계와 손상정도

수평 및 연직 변위 그리고 기하조건을 토대로 각변위와 수평변형률을 계산할 수 있다. 구획 1에 대한 각변위와 수평변형률은 그림 9에 나타난 바와 같이 계산된다.



벽체 내에 유발되는 변형률 상태는 비균질하다는 점과 균열이 일단 발생한 후에는 벽체의 연속체적인 특성을 상실한다는 점을 감안할 때 위에서 제시한 변형률 계산방법은 다소의 오차가 있을 수 있으나 예비평가의 기준으로 적용하는 데는 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

그림 9. 평균변형률 계산

4. 적용예

본 절에서는 그림 10에서와 높이(H) 12 m 길이(L) 16 m의 체원을 갖는 가상의 3층 조적식 구조물이 실제 현장계측을 통해 지표침하가 측정된 두 현장에 인접하여 위치하는 경우를 고려하였다. 일반적으로 현장계측시 지중 수평변위는 측정하지 않으므로 손상평가에 필요한 수평변위는 각종 자료를 토대로 추정하여 적용하였다. 한편, 평가에서는 건물자중에 의한 침하 발생시 적용하는 기준과 언급한 Cording et al. (2001)의 방법을 적용하여 비교하였다.

그림 11은 현장 A와 B의 침하 및 수평변위 곡선에 건물을 덧씌운 그림을 보여 주고 있으며 표 2는 침하 및 수평변위 곡선으로부터 계산한 건물의 최대 가능 각변위와 수평변형률 그리고 이를 토대로 한 손상도 평가 결과를 나타내고 있다. 보이는 바와 같이 건물에 발생할 수 있는 각변위 및 수평변형률에 근거한 Cording et al.의 평가기준이 각변위만을 이용하여 경우 보다 월등히 높은 손상도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 결국 수평변형률의 고려 여부가 손상도 평가 결과에 많은 영향을 미칠 수 있음을 단적으로 보여주는 것으로서 이에 대한 충분한 고려가 있어야 할 것으로 판단된다. 한편, Cording et al.의 기법 또한 평균변형률에 근거한 근사적 방법으로서 보수적인 면이 내포되어 있으므로 손상평가 결과 우려할 만 한 등급으로 판정된 건물에 대해서는 건물/지반 강성비, 건물의 기하조건, 건물의 구조특성 등을 고려하여 보다 상세한 검토를 추가적으로 수행하는 것이 바람직하다.

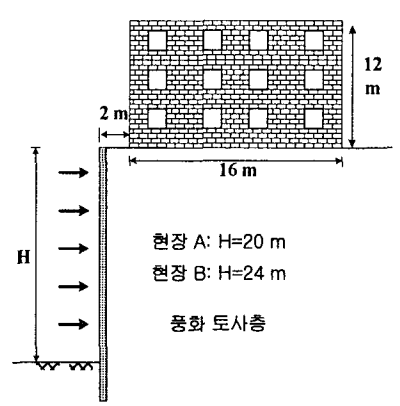


그림 10. 검토대상 건물 개요도

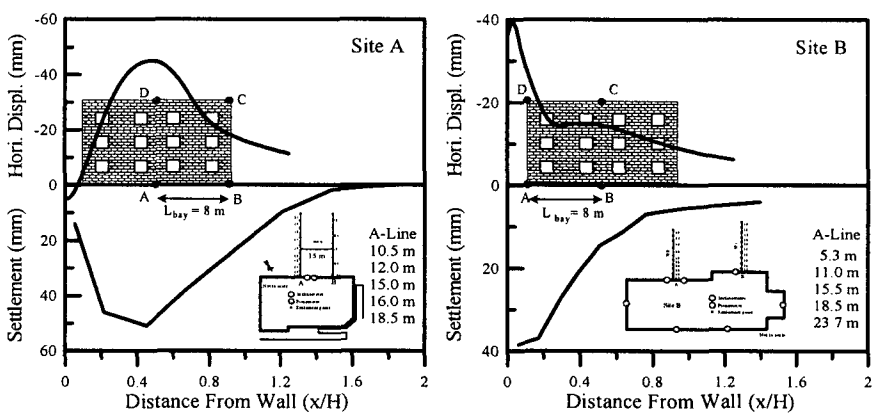


그림 11. 지표침하 및 수평변위 곡선

표 2. 손상도 평가결과 비교

	Cording et al. 기법					기존방법	
	침하경사 (GS)	기울은 (tilt)	각변위 (β)	수평변형률 (ϵ_r)	손상도	각변위 (β)	손상도
A 현장	3.13	1.56	1.57	3.2	4등급	1.57	2~3등급
B 현장	3.38	1.69	1.69	1.9	4등급	1.25	2등급

주) 건물의 기울은 건물의 기하조건 및 강성에 따라 변할 수 있으나 여기서는 보수적으로 침하경사의 약 50%가 나타나는 것으로 가정하였다.

5. 결론

본 논문에서는 지반굴착시 구조물 손상평가에 관한 내용을 다루었다. 먼저 지반굴착에 따른 지반거동 메카니즘에 대해 고찰하였으며 각 시공단계에서의 벽체변위 및 지표침하 특성을 제시하였다. 한편, 우리나라 흙막이 설계시 수행되는 주변 구조물 손상평가 방법에 대해서 알아보았으며 건물손상평가에 대한 기본적인 개념 및 국외에서 연구 개발된 손상평가 기법을 고찰하였다. 아울러서 손상평가기법의 대표적인 방법인 Cording et al. 기법의 적용방법을 제시하고 우리나라에서 적용되고 있는 기법과의 비교를 위해 실제 계측이 수행된 두 현장의 지표침하 자료와 가상의 건물을 설정하여 이에 대한 손상평가를 수행하였다. 그 결과를 분석할 때 현재 우리나라에서 적용되고 있는 침하경사에 근거한 검토방법은 수평변형률을 고려하지 않으므로 수평변위가 상당한 비중을 차지하는 굴착문제에 적용할 경우 매우 비안전측의 결과가 초래될 수 있는 것으로 나타났으며, 앞으로의 흙막이 설계시 각변위와 수평변형률에 근거한 주변 건물 손상평가 기법이 도입되어 적용되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업설비 안전성평가 연구센터(SAFE)의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 유충식, 김연정 (2000). "깊은굴착시 버팀보식 흙막이벽체의 거동", 대한토목학회논문집, 제20권 제3-C호, pp. 195-204.
2. 유충식, 윤효석, 박영진 (2000). "터널굴착에 의한 인접건물의 손상평가", 대한토목학회 학술발표회 논문집, 제2권, pp. 41-44.
3. 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.
4. 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.
5. Burland, J. B. (1995). "Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavations", Invited Special Lecture to IS-ToKyo '95: 1st Int. Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.
6. Caspe, M. S (1966). "Surface Settlement Adjacent to Braced Open Cuts", ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 92, No. SM4, pp. 51-61.
7. Cording, E. J., Long, J. H., Son, M., and Laefer, D. F. (2000). "Modelling and analysis of excavation-induced building distortion and damage using a strain-based damage criterion", Int. Conf. Response of buildings to excavation-induced ground movements, CIRIA.