

# 사고사례 분석을 통한 흠막이 굴착공사 안전관리 개선방안 연구

A Study for Safety Management on Ground Excavation by Analysis of Accident Events

성 주 현<sup>1)\*</sup>      정 수 형<sup>2)</sup>      신 주 열<sup>3)</sup>  
Seong, Joo Hyun    Jung, Soo Hyung    Shin, Ju Yeol

## Abstract

With recent growth of population and industry, urban development grows into grand scheme of excavation and construction in urban area. As the development progress advanced, the developments get large and deepen. With a progress of technology development in geotechnical engineering in Korea, most our grand scheme of projects follows great progress. On the other hand, some excavation in construction site caused direct or indirect event that affects the adjacent or surrounding structures by excavation from time to time. This event usually happens around residential and commercial area where underground tunnel, subway station, commercial building, and high-rises excavation site is, could lead great damage on economy as well as personal injury or human casualties.

In order to prevent this event, the study has to be done with analysis on various events of excavation and its cause. In this paper, the research has collected the various excavation events and their causes to analyze on each site and event to define emphasis on surrounding environment.

**Keywords** : Ground excavation, Accident events, Safety managemet

## 1. 서론

토목기술의 발달로 건설공사 중 안전사고는 점차 감소하고 있으나, 최근까지도 흠막이 굴착관련 사고는 빈번히 발생하고 있다. 이는 타 구조물에 비하여 지반이 갖는 불확실성 및 굴착 공사의 대형화 등 여러 요인에 의해 발생되는 것으로 예상할 수 있다.

본 고에서는 흠막이 굴착공사의 사고예방을 위한 안전관리를 제안하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다. 첫째, 최근 발생한 흠막이 굴착공사로 인한 다수의 사고 및 인접시설물에 영향을 끼친 사례를 수집, 분석을 수행하여 주요 요인을 규명하였다. 둘째, 수치해석기법을 사용하여 국내 대표적인 지반조건(내륙, 해안특성) 및 공사공법에 따른 굴착시 영향 분석을 수행하였다. 마지막으로 현행 제도에 대한 문제점을 도출하기 위하여 각종 관계법령, 기준, 시방 등에 대한 자료를 수집·분석하였다.

## 2. 사고사례 수집 및 자료분석

본 연구에 수집된 사고사례로는 지반굴착 공사현장이 붕괴되어 대규모 파괴가 발생하여 인접구조물에 영향을 미친 사례, 지반굴착현장은 붕괴되지 않았으나 인접구조물의 안정성에 영향을 미친 것으로 판단되어 공사를 중단하고 원인을 찾아 공법을 변경했거나 대책공법이 수립된 사례 등 대규모 지반굴착 현장 중심으로 수집하였다. 붕괴 또는 영향의 원인을 공학적으로 규명할 수 있는 충분한 자료를 확보할 수 있는 사례를 선별하였으며, 본 연구에서는 경의선 〇〇역 외 24건의 사례를 수집하여 분석을 실시하였다.

사고사례를 분석한 결과, 붕괴에 결정적으로 영향을 끼치는 주요요인은 다음과 같이 분류할 수 있었으며,

- ① 지반조사의 불충분
- ② 가시설 구조체의 불안정
- ③ 보일링, 히빙 등 굴착바닥면의 불안정
- ④ 차수, 배수 등 지하수 처리에 따른 불안정
- ⑤ 시공상의 불안정
- ⑥ 과다굴착으로 인한 불안정

1) 정회원, 한국시설안전공단 대리  
2) 정회원, 한국시설안전공단 부장  
3) 정회원, 한국시설안전공단 부장

\* Corresponding author : bluehill@kistec.or.kr 031-910-4160

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Analysis by failure-factor type

	SITE	Bad Geotechnical investigation	Instability on the structure of scaffolding	Boiling, Heaving	groundwater treatment	Instability on construction	Excessive excavation	Landslide	Negligence on management (measuring)
1	Gyeongui Line OO	0	0						
2	Daedeok OOCenter	0			0				
3	Library of Congress OO	0			0				
4	Mokpo OO officetel	0	0				0		
5	Busan OO World		0						0
6	Seoul OO center	0				0			
7	Pangyo OO Institute	0	0		0				
8	Secho OO building	0	0						
9	Jung dong OO church				0	0			
10	Bundang OO station	0							
11	Banpo OO praza				0				0
12	Anyang OO tower		0						
13	Jeju Island OO building	0	0						
14	Sangdo dong OOAPT				0				
15	Heukseokdong OO officetel					0	0		
16	Hannam OOAPT					0			
17	Incheon Juan OO APT			0					
18	Gwangyang OO facility			0	0				
19	Seongbukdong OO officetel				0				
20	Mapo Seokyo OOAPT				0				
21	Suwon Sindong OO site	0							
22	Gwanggyosan OO site	0						0	
23	Guro OO site					0	0		
24	Bucheon OO site		0			0			
25	Pangyo OO site	0	0						
	합계	12	9	2	9	6	3	1	2

- ⑦ 사면활동으로 인한 불안정
- ⑧ 관리(계측) 소홀로 인한 불안정

이러한 요인들이 복합적으로 작용하여 굴착현장의 붕괴 또는 인접구조물에 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

위의 요인을 기초로 25건의 사고사례의 주요 붕괴원인을 분석한 결과는 Table 1과 같다.

25건의 사고사례에 많은 영향을 미친 지반조사부실, 가시설 구조체의 불안정, 지하수처리(차수, 배수 등)에 대한 상세한 분석은 다음과 같다.

### 2.1 지반조사의 불충분

수집된 사고사례에서 지반조사의 불충분 또는 지반조사에서 파악하지 못한 사실로 인하여 사고가 발생한 사고

사례는 12건으로 가장 많이 영향을 미친 요인이었다.

이는 현장에서 지반조사를 단기간에 끝내고 굴착공사를 시작하는 국내 건설업계의 관행에서 기인한다고 할 수 있다. 국내 대부분의 건설공사 지반조사는 사업주가 건축사무소에 설계용역에 포함하여 일괄 계약하는 방식으로 진행하고 있다. 설계예산은 대부분 비용 절감의 이유로 최소한의 예산을 배정하기 때문에 필요한 지반조사 조차 제대로 수행되지 않고 있는 것이 국내의 실정이다. 따라서 암반의 불연속면에 대한 조사, 인접구조물 및 매설물 조사 등 공사현장의 현황 파악에 대한 업무에 소홀하게 된다. 이러한 사례는 소규모의 공사현장에서만 발생하는 것이 아니라, 대규모의 공사현장에서도 지반조사를 토질맞기초 기술사의 책임 하에 수행하지 않고 대부분 용역으로 끝내기 때문으로 판단된다.

우리나라 내륙지방의 경우 대부분 지하 10m ~ 20m

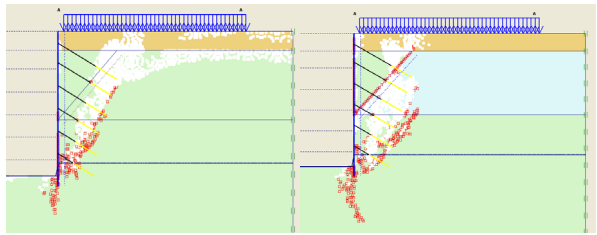


Fig. 1 Pangyo ○○site plastic region by considering discontinuity or not(left-not, right-considering)

이내에서 기반암이 출현하고, 깊은 곳의 경우라도 30m 이내에서 기반암이 나타나고 있다. 그러나 대부분의 지반 조사에서는 이러한 암반선의 확인에 그치고 암반이 내포하고 있는 각종 불연속면의 강도, 방향성 등에 대한 조사는 심도 있게 진행하지 않고 있다. 붕괴사례에 나타난 바와 같이 주요 원인 중의 하나가 암반의 불연속면에 의한 파괴, 절리층에 충전되어 있는 물질이 지반굴착시 흙막이벽 배면 지반의 활동을 일으킬 수 있는 경우 등이 있다. 또한 지형적인 특징으로 우수 또는 지하수가 모여들어 수압이 증가를 하거나 불연속면으로 지하수가 침투하여 앵커 친공시 지하수와 토사가 유출되어 흙막이벽의 붕괴로 이어지는 등의 사고 사례가 다수 존재하며, 대표적인 사례로 판교 ○○현장 붕괴사고이다. 당초 설계시 불연속면을 고려하지 않았을 경우에는 허용치 이내였으나, 불연속면을 가정하였을 경우에는 일부 말뚝 및 앵커가 불안정한 것으로 검토되었다.

따라서, 가시설 벽체 설계에 가장 중요한 지반 정수의 산정 및 지질학적인 특성에 대한 정보를 알 수 있는 지반 조사를 제대로 수행하는 것이 흙막이 벽체의 붕괴사고를 예방하는데 가장 중요한 항목으로 판단된다. 이를 위하여 지반조사에 관한 지침 또는 규정을 제대로 이행할 수 있도록 허가관청 또는 관리주체 등의 적극적인 사업관리가 필요한 것으로 판단된다.

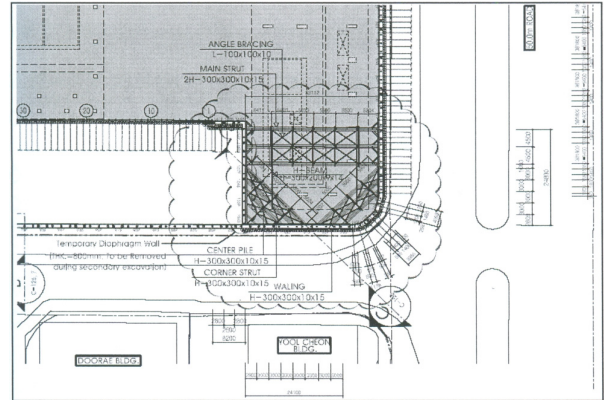


Fig. 2 yeouido ○○site corner braces

## 2.2 가시설 구조체 불안정

앵커(ground anchor 또는 earth anchor), H-pile, rock bolt, strut 등 가시설벽체를 지탱하여 주는 구조체의 결함 또는 설계 결함으로 발생하는 붕괴유형이 있다. 앵커의 경우 정착장의 위치가 배면의 사면 파괴면 안쪽에 설치되어 있어 사실상 흙막이벽 배면지반의 사면활동을 억지하지 못하는 경우가 대표적이라고 할 수 있다.

가시설 구조체의 결함으로 나타나는 형태로는 앵커, H-pile 등의 근입심도 부족에 의한 굴착바닥면 파괴, 버팀보 시스템의 파괴 또는 좌굴, 과도한 휨모멘트에 의한 엄지말뚝 파괴, 2단 흙막이벽 설치 시 연결부위 파괴 등으로 붕괴유형을 구별할 수 있다. 대표적 사례로는 서울 여의도 ○○현장 사고로 태풍과 집중강우로 인한 유효응력 감소와 수압 증가로 지반활동력이 증가된 것에 비하여 코너버팀보의 전단력이 부족하여 발생한 것으로 추정되는 사례이다.

## 2.3 차수, 배수 등의 지하수 처리 미흡에 따른 불안정

지반관련 공사에서 주요 불안정요인은 간극수압과 관련된 지하수 부분으로 직간접적으로 거의 모든 사고현장에 영향을 미치는 요소이다. 태풍이나 집중강우에 의한 지하수위 증가 또는 공사장 인근을 지나고 있는 상수도관 또는 오수관 같은 매설물의 위치를 제대로 파악하지 못하여 공사도중 관로의 파열로 인해 물이 유입되어 수압이 증가하는 문제와 지하수의 배출에 따른 지반 침하 또는 배면의 토사가 유출되어 지반이 함몰되는 사례이다. 대표적 사례로는 서울 ○○역사 지반침하사례로 인근 지반굴착공사현장에서 지하수의 배수로 주변지반의 지하수위가

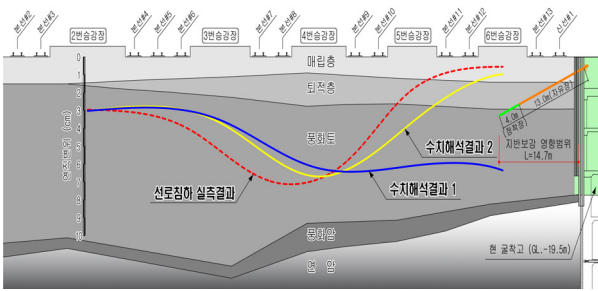


Fig. 3 Seoul ○○Station settlement analysis

약 15m이상 하강되어 역사에 침하를 발생시킨 사례이다.

N치 20이상의 단단한 지반에서는 지하수위의 변화는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났지만, N치 10이하의 연약층(도심지에서는 과거 하상퇴적층의 경우가 많음)에서는 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 지반조사시 지하수위의 변화가 예상되는 구간에 연약층이 존재시 차수 또는 지반보강에 유의해야 할 것으로 판단된다.

### 3. 국내 대표 지반조건에 대한 굴착시 영향 분석

국내의 건축 굴착공사시 면밀한 수치해석적 분석을 수행하지 않고 간략한 지지력 평가만을 수행하는 것이 일반적인 관행이다. 따라서 앞서 기술한 사고사례에 대한 분석결과와 국내 대표적인 지반 및 시공조건에서의 굴착시 영향에 대한 수치해석 분석결과는 향후 유사한 지반굴착공사에 활용시 사고예방에 효과적일 것으로 판단된다.

국내의 대표적인 지반조건과 최근 시공경향 고려하여 24개 case로 분류하고, 수치해석 방법을 사용하여 굴착에 따른 영향을 분석하였다. 굴착에 따른 배면지반의 침하량을 산정하고 인접구조물의 안정에 가장 밀접한 부등침하로 인한 각변위를 바탕으로 영향 정도를 비교하였다.

#### 3.1 국내 대표지반 및 시공조건 선정

대표지반의 선정은 152개의 시추조사 자료 및 현장시험자료(전단파속도) 등을 기초으로 지반의 층상구조 및 지반물성을 산정방법(2008. 김동수)을 활용하였다. 국내 일반적인 지반은 층상구조와 기반암의 깊이에 따라 내륙지반과 해안지반으로 분류가 용이하여 널리 가능하기 때문에, 다음과 같이 분류하였다.

#### - 내륙지반

- 매립층 → 풍화층(풍화암 포함) → 암반
- 매립층 → 퇴적층(충적층) → 풍화층(풍화암 포함) → 암반

#### - 해안지반

- 점토층 → 암반
- 실트질 모래 + 실트질 점토층 → 점토층 → 암반

시공조건은 16m의 일반굴착 및 30m의 깊은 굴착으로 분류하고, 시공방법으로는 국내에서 많이 사용하는 Diaphragm wall과 같은 차수가 되는 차수벽체, 차수가 되지 않는 흙막이 가설 벽체로 나누어 구분하였고, 차수가 되지 않는 공법의 경우 시공공법에 따라, 앵커 및 락볼트 공법, 스트럿 공법으로 구분하여 해석을 수행하였다.

#### 3.2 해석 개요 및 영향에 대한 평가기준

수치해석 프로그램으로는 FLAC 2D와 PLAXIS를 사용하였으며, 사용 물성치는 사고사례에서 획득한 자료와 일반적으로 사용되는 국내 지반물성 적용범위를 고려하여 선정하였다.

해석 case로는 앞서 기술한 내륙지반과 해안지반, 굴착 깊이, 시공방법 등을 고려하여 19가지의 case와 암반불연속면에 대한 영향 고려 3가지의 case, 연약지반에 적합한 모델의 적용 여부에 따른 2가지의 case의 해석을 수행하였다.

지반굴착에 의한 영향 평가기준으로는 다양한 연구와 기준에 대한 조사 결과, 구조물에 큰 영향을 미치는 각변위

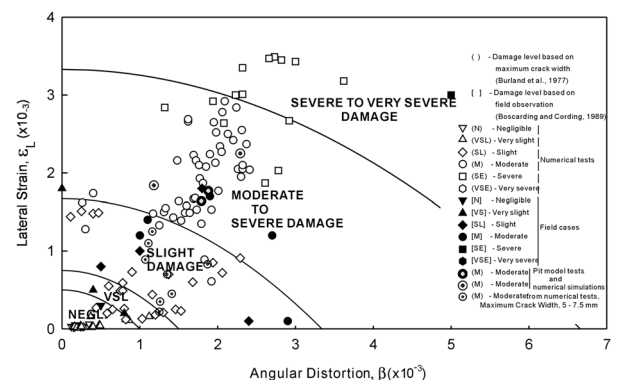


Fig. 4 Angular distortion-Lateral strain relation (Son, 2003)

(angular distortion)를 사용하였다. 각변위에 대한 연구는 여러 학자들(Skempton과 MacDonald 1956; Bjerrum 1963; Polshin과 Tokar 1957; Burland와 Wroth 1974; Wahls 1981; Son 2003)에 연구되어 일반적으로 1/300을 구조물 손상의 한계로 적용하고 있어 본 검토에서도 이 기준을 사용하였다.

### 3.3 해석결과 분석

#### 3.3.1 내륙지반의 동일한 굴착심도에 따른 층상구조에 따른 인접시설물의 영향 검토

내륙지반의 동일한 굴착 심도 16m 굴착시 층상구조의 변화에 따라 벽체의 변위는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 국내 내륙지반의 특성은 물성치에 있어서 큰 차이를 보이지 않기 때문에 분석되고, 동일 심도 굴착일 경우 토압이 비슷하게 작용한다는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 지반굴착시 내륙지반의 일반적인 층상구조인 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 연암 등으로 구성된 지반의 경우 층상구조에 따른 인접시설물에 대한 영향은 제한적인 것으로 판단된다.

#### 3.3.2 차수공법에 따른 인접시설물의 영향

차수 공법인 Diaphragm wall + 스트럿 공법과 비차수 공법인 H-pile + 스트럿 및 H-pile + 어스앵커 공법에는 지반변위 및 지하수위 하강 등 많은 차이가 발생하였다. 차수공법일 경우 전반적으로 지반굴착 심도의 1.0배 ~ 2배 이내에서 안정적인 침하가 발생하였고 부등침하량이 상대적으로 작게 나타났다. 반면 비차수 벽체의 경우 굴착심도 1.5배 ~ 2배 이내에서 광범위한 침하가 발생하였다. 그러나 비차수 공법의 경우에도 부등침하량은 크게 산정되지 않아 인접구조물이 손상을 받을 만한 각변위는 발생하지 않았다. 대부분의 해석결과에서 인접구조물의 각변위( $\delta/L$ )는 1/2500 ~ 1/750 사이의 값을 가지는 것으로 나타나, 대표적인 허용치인 1/300 보다 상당히 작은 것으로 나타나, 정상적인 지반굴착시 인접시설물에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

차수공법과 비차수공법 적용시 공통적으로 나타나는 현상은 굴착심도의 0.5배 ~ 1배 이내에서 부등침하가 가장 크게 발생하는 것으로 나타났다. 굴착심도 16m 일 경우 벽체로부터의 이격거리 5m ~ 15m 사이에서 부등침하가 가장 크게 발생하였고, 굴착심도 30m의 해석결과에

서는 벽체로부터의 이격거리 5m ~ 30m 사이에서 부등침하량이 크게 산정되었다. 일반적으로 가설벽체 배면지반의 가상 파괴면을 벽체에서 30° 각도로 존재한다고 가정하는데, 파괴면의 형상을 참고하면 가상 파괴면 이내에 인접구조물이 있을 경우에 해당한다.

국내 일반적인 지반에 대한 해석결과, 지반굴착 공사시 인접구조물의 영향 범위를 선정할 때 굴착심도의 1배 이내에 대하여 집중적으로 모니터링을 하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 특히, 비차수 공법을 이용할 경우 상대적으로 부등침하가 크게 발생할 수 있으므로, 굴착심도의 0.5배 ~ 1배 이내일 경우 인접한 지반의 중요시설 또는 중요구조물이 있을 경우 구조물 경사계를 이용하여 모니터링을 실시할 것을 추천한다.

대부분의 굴착현장에서는 가시설 해석시 대부분 1차원적인 해석을 실시하여 설계를 하고 있으나, 본 해석사례와 같이 2차원 이상의 해석을 이용할 경우 파괴면에 대한 정확한 추정이 가능하고 인접시설물에 대한 부등침하 정도를 쉽게 파악할 수 있다. 따라서 대심도 굴착공사 또는 인접시설물에 중요한 시설이 있는 경우 2차원 해석을 실시하여 설계에 반영하고, 부등침하 취약지역에 대하여 구조물 경사계 또는 지중경사계 등의 모니터링을 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

#### 3.3.3 연약지반에서의 굴착 영향

국내 내륙지반에 대한 해석결과와 해안지반에 대한 해석결과에서 가장 큰 차이를 보이는 부분이 H-pile + 어스앵커 공법이다. 내륙지반의 H-pile + 스트럿 공법이나 H-pile + 어스앵커 공법에서 큰 차이가 발생하지 않았으나, 연약지반에서는 어스앵커를 사용할 경우 상대적으로 배면지반에서 지반의 소성거동이 많아지는 것으로 나타났다. 이는 어스앵커의 정착장이 충분한 저항력을 발휘하도록 주변지반의 강도와 깊은 연관이 있기 때문에 분석된다. 특히, 굴착심도가 깊고 연약지반이 깊이 발달된 지역의 경우 어스앵커를 이용하는 데는 신중한 검토가 필요하다.

어스앵커를 이용할 경우 본 해석사례와 같이 2차원적인 해석기법을 이용하여 굴착 배면 지반의 소성거동 특성을 파악하고, 앵커 정착장 주변의 소성거동 특성 및 파괴토체 내부에 인접시설이 있을 경우 부등침하량을 산정하는 것이 바람직하다.

### 3.3.4 암반의 불연속면에 대한 굴착 영향

암반상태를 제대로 파악하지 못하여 암반의 파쇄대 또는 절리면을 고려하지 않을 경우, 해당 부분에서 파괴가 발생하거나, 설계시 예상하였던 파괴면과 달라 앵커나 락 볼트와 같은 보강재가 파괴면 인쪽에 있어 파괴의 원인이 되는 것을 확인하였다. 따라서 공사장 인근에 인접시설이 있을 경우 지반조사에 대한 정확성을 높일 수 있는 조치 및 설계, 해석이 요구된다.

본 연구검토에서는 파쇄절리대의 강도특성만 반영하여 비교검토를 수행하였으나, 이 외에도 파쇄절리대 내 우수 유입에 따른 수압, 파쇄절리대 충전물 특성(풍화도 및 두께), 파쇄절리대의 규모, 불연속면의 방향 및 연장성에 따라 그 결과에 차이가 있을 수 있다.

### 3.3.5 점토지반에서의 굴착 영향

압밀중인 점토지반의 과잉간극수압으로 인하여 발생하는 점토지반의 유효응력 저하 및 벽체에 작용하는 정수압 증가분을 고려한 경우와 고려하지 못한 경우에 대한 해석을 수행하였다. 해석결과 압밀중인 점토지반의 과잉간극수압을 고려한 해석을 수행시, 그렇지 않은 경우에 비하여 배면침하량은 151%, 벽체변위는 192% 큰 변위를 나타냈다. 따라서 점토지반의 경우 과잉간극수압을 고려한 해석 수행시 인접시설물에 대한 영향 평가를 더욱 엄격하게 할 수 있음을 알 수 있다.

국내에서 압밀중인 지반에서 차수벽을 이용한 굴착가시설 설계시 일반적으로 압밀중인 지반의 과잉간극수압을 고려하지 않는 실정을 고려시, 유사한 지반에 굴착공사가 시행될 경우 모델지반과 유사하게 실제 굴착시 가시설 벽체변위가 크게 발생할 수 있으며 이로 인하여 배면지반의 침하 및 가시설 안정에 문제를 야기할 소지가 있다.

## 4. 제도적 사항 분석

앞서 사고사례의 분석에서 언급하였듯이, 기술적인 보완뿐만 아니라 제도적 보완도 병행되어야 효과적인 안전관리가 가능하기 때문에 이에 대한 검토를 실시하였다.

일반적으로 굴착공사와 관련된 제도적 측면에서 고려할 항목으로는

- ① 관련 법, 규정, 지침 등의 제도의 정비
- ② 행정 간소화, 규제 완화 및 비용절감 등의 경제적 이유로 인한 최소한의 안전확보 절차의 부재

③ 현행 계획, 설계, 시공 과정에서의 안전관리 문제

④ 사고발생시 투명하고 합리적인 조사, 자료 축적 및 기술자 전파 교육의 부재

등으로 나눌 수 있었으며, 이 중 현행 계획, 설계, 시공 과정에서의 안전관리 문제와 투명하고 합리적인 사고조사, 자료 축적 및 전파 교육의 부재가 현실적으로 개선이 매우 필요한 것으로 판단된다.

### 4.1 계획, 설계, 시공 과정에서의 안전관리 문제

일반적으로 건설공사 중 안전관리 흐름을 보면 안전관리계획의 작성, 검토, 이행에 대한 부분이 안전관리에 있어 큰 부분을 차지하고 있기 때문에, 이에 대하여 상세히 알아보하고자 한다.

현행 안전관리계획의 수립은 건기법 제26조의 2 및 동법 시행령 제46조의 2에 근거를 두고 있으며, 대상공사는 다음과 같다.

1. 1, 2종 시설물 건설공사
2. 지하 10미터 이상 굴착공사
3. 폭발물을 사용하는 건설공사로서 20미터 안에 시설물이 있거나 100미터 안에 양육하는 가축이 있어서 당해 건설공사로 인한 영향을 받을 것이 예상되는 건설공사
4. 10층 이상 16층 미만 건축물 건설공사 또는 10층 이상 건축물의 리모델링 또는 해체공사
5. 발주자가 특히 안전관리가 필요하다고 인정하는 건설공사

굴착공사의 적절한 안전관리를 위해서는 각 현장의 특성을 고려하여 합리적인 안전관리계획의 작성, 심사와 이행이 이루어져야 한다. 그러나 한국시설안전공단에서 2009년 21개 현장에 대한 안전관리계획서의 검토의뢰를 받아 검토한 결과 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

지반굴착공사와 같은 세부공종에 대한 세부안전관리계획에 포함되는 안전성계산서는 안전관리의 중요한 부분임에도 누락 또는 미흡한 경우가 많았으며, 특히 공공공사보다 민간공사에서 미비한 경우가 많았다.

또한 현재 지반굴착공사의 인접시설물 영향에 대한 사전 조사·검토는 거의 전무하며, 민원이나 구조물에 문제가 발생하여 이에 대응하기 위한 수준에서 수행되고 있다.

이와 같이 현재 안전관리계획서는 착공을 위한 부속서

Table 2 Review of construction safety management plan

Review Item	Results	Remark
1. Safety management plan - Introduction of the construction - Safety management team - Safety inspection plan for each phase - Safety management plan around construction - Installations and planning for traffic - Financial plan for safety management cost - Safety education plan - Emergency plan	Suitable : 12 Unsuitable : 9 Total : 21	Some of the unsuitable situations involved mismanagement of plans for safety inspections, underground material examinations, safety management of a surrounding area, or the installation of a traffic passage system.
2. Detail safety management plan for specific structure - Synopsis and detailed drawing of plan - Safety building phase and tip - Safety inspection table and check point - Safety calculations of each phase	Suitable : 7 Unsuitable : 14 Total : 21	Most of the unsuitable situations involved a missing safety calculation.

류로 전략하여 건설공사 사고예방에 적절히 대응하지 못하고 있는 실정인 것으로 조사되었다.

또한 안전관리계획을 심사하는 발주청 및 행정기관의 전문성 미흡으로 실질적인 심사가 이루어지지 않고 있으며, 특히 건설사고가 많이 발생하는 건축공사의 경우 일반적으로 인허가를 담당하는 행정기관의 건축과 등에서 심사를 하나 전문인력의 부재로 심사에 어려움 있는 것으로 조사되었다.

발주자의 전문인력 부족으로 인하여 안전관리계획서를 형식적으로 검토·승인하고 있어 이를 보완하기 위하여 건설기술관리법 시행령 제46조의2 제5항에 “발주자 또는 행정기관의 장은 안전관리계획에 대한 내용을 한국시설안전공단 또는 안전진단전문기관에 의뢰하여 검토하게 할 수 있다.” 하였으나 강제규정이 아니기 때문에 실효성에 한계가 있다.

또한 대부분의 공사에서 안전관리계획 작성 및 검토비용이 공사비에 반영되지 않아 시공사가 착공을 위한 형식적인 안전관리계획서를 작성하는 등 소홀한 경우가 많으며, 행정기관의 경우 전문성 부족에 의해 외부기관에 검토를 의뢰하고자 해도 예산이 없어 못하는 경우가 많았다.

위와 같이 현행 안전관리계획의 형식적인 작성, 검토, 심사, 이행은 특히 불확실성이 높은 지반굴착공사의 안전관리 부실에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 제대로 된 안전관리계획의 작성, 검토, 이행만으로도 사고예방에 상당한 효과를 발휘할 것으로 판단된다.

따라서 지반굴착공사 중 대형·복잡공사, 사회적으로 중요한 인접시설물이 있는 공사, 적정 공사비에 비해 매우 낮은 저가 공사현장에 대해서라도 실효성 있는 안전관리계획에 대한 대책이 필요하다고 판단된다.

#### 4.2 투명하고 합리적인 사고조사, 자료의 축적 및 기술자 전파 교육의 부재

본 연구를 수행함에 있어 중요 에로사항은 사고사례 자료의 수집 문제였다.

현재 건설공사 중 사고가 발생하면, 사회적인 이목을 집중시키는 사고는 국토해양부, 고용노동부, 산업안전공단, 지자체, 경찰 수사 등 공공주체에서 조사가 진행되어 결과가 공포되기도 하나, 상세한 조사 내용은 대외비로 분류되어 현업 기술자의 접근이 거의 불가능한 경우가 대부분이며, 자료의 축적도 거의 이루어지지 않는 것으로 조사되었다. 또한 대다수 중·소규모 사고는 발주처, 시공사, 설계사, 감리사 등 공사 관련자 외에는 알 수 없는 실정이다.

이러한 건설 사고에 대한 풍토는 사고 관계자에 대한 처벌 및 관련 기관·업체의 신인도 하락 등에 대한 우려로 사고 발생시 정확한 조사를 실시하여 사고 원인을 규명하고 이에 대한 자료 축적, 공유 및 현업 기술자 교육을 통하여 향후 유사 사고를 방지하기 보다는 사고 자체를 숨기거나, 외부에 알려진 사고라도 자료를 내부에서만 공유하는 것으로 조사되었다.

현행 제도상으로 건설기술관리법 제 26조의 6, 제 26조의 7에 건설공사현장의 중대건설사고 발생시 원인규명, 사고예방을 위한 사고조사위원회를 구성하여 조사토록 하고 있으나, 본 조사위원회가 구성되어 사고조사 된 사례는 몇 건에 불과하며, 자료의 축적·공유도 거의 전무한 것으로 조사되었다.

따라서 유사 건설공사 사고방지를 위해서는 사고발생시 신뢰성 있는 사고원인조사, 조사 자료의 축적 및 피드백,

Table 3 Improvement plan for excavation work to prevent accident

Classification	Problems	Consequences	Improvement plan
Technical Aspect	- Lack of site investigation	- Caused engineering design error - Major cause of accident	- Accurate site investigation and geotechnical study
	- Simplistic analysis of deep excavation	- Difficulty in evaluation of behavior of backfill and groundwater	- Precise analysis for deep excavations, including plastic deformation
	- Lack of review for influence on nearby building	- Civil complaint filed over damage around building	- Perform measurement for adjacent building (distance = excavation depth )
	- Lack of underground water treatment and soil particle leakage	- Buried pipeline broken and much settling of backfill	- Complete management for buried pipeline and water table
	- Lack of management of measurement	- Difficult to recognize collapse of wall	- Real-time monitoring and renewal of guidelines
	- Instability of temporary structure	- Collapse at wall corner	- Exercise caution in design and measurement for corner section of excavation site, because of geometric aspect
	- Wrong reinforcement at excavation step	- Collapse due to over-analyzed database and design without consideration of depth and length of site research	- Implement support at each phase of excavation by design
Regulatory Aspect	- Lack of safety management regulation for excavation work and its nature as subsidiary work on a site	- Caused excavation site safety manager confusion	- Need for safety management regulation of excavation
	- Simplification of administration work, regulation, and cost reduction	- Insufficient site work on most privately owned sites	- Need for safety management from professional institute to enforce safety and regulations at low-cost construction sites or significant infrastructure and its surroundings
	- Formality of safety management plan in Construction Technology Management Regulation	- Produced insufficient safety management plan	- Enforce Construction Technology Management Regulation(Chapter 46, 2nd paragraph, 5thline) for low-cost construction sites and infrastructure construction site, with review of safety by professional safety management institute
	- Lack of accident data and education	- Recurrence of similar accidents	- Need the public institute which manage Reliable accident investigation, data-accumulation, and education

관련자료에 대한 공유 및 기술자 교육 실시를 통합 관리할 수 있는 공공기관이 반드시 필요한 것으로 판단된다.

### 5. 결론 및 제언

위와 같은 일련의 사고사례 분석을 통하여 흙막이 지반 굴착공사의 안전관리를 위해서 기술적인 측면과 제도적인 측면으로 나누어 문제점과 개선방향을 정리하면, Table 3과 같다.

흙막이 지반굴착 공사시 현장의 붕괴 또는 인접시설물에 영향을 미치는 요인에 대하여 계획, 설계 및 해석단계에서의 기술적인 측면에서 개선과 시공상 오류를 줄이고 관리적인 측면에서 대책을 마련하는 것이 가장 중요하다.

또한 기술적인 측면뿐만 아니라, 지반굴착 공사를 제대로 관리감독 할 수 있도록 제도적인 측면에서도 개선과 대책도 중요하며, 특히 공공기관을 중심으로 현업의 기술자들에 대한 의식 개선, 엄격한 공사 품질 관리를 위한 관리기준치에 대한 개선, 사고 사례집 및 교육자료의 개발

및 공유 등의 제도 개선을 제언하는 바이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국시설안전공단 연구비 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

1. 김동수, 이세현, 윤종구, “기반암 깊이와 토층 평균 전단파속도를 이용한 국내 지반분류방법 및 지반 증폭계수 개선”, 대한토목학회 논문집, vol. 28, No. 1C, 2008, pp.63-74.
2. 윤종구, 김동수 “국내지반특성에 적합한 지반분류 방법 및 설계응답스펙트럼 개선에 관한 연구”, 한국지진공학회 논문집, vol. 10, No. 2, 2006, pp.39-50.
3. 손무락, “도심지에서의 지반 및 터널굴착에 따른 지반변위 인접건물에 미치는 영향 및 손상도 예측”, 대한토목학회논문집, 제25권 제3C호, 2005, pp.189-199.
4. 서민우, 석정우, 양구승, 김명모, “굴착 공정별 주변지반 거동 분석”, 한국지반공학회논문집, 제22권 제2호, 2006, pp.19-28.
5. 이선재, 송태원, 이윤상, 송영한, 김재권, “지보굴착에 따르는 인접건물의 손상위험도 평가사례: 설계단계”, 한국지반공학회



---

논문집, 제21권 제10호, 2005, pp.99-112.

6. “지하굴착공사 안전관리 편람”, 건설교통부, 1996.
7. “기술검토사례집(II) - 옹벽 및 굴착 분야”, 한국시설안전공단, 2007.
8. “지반굴착에 따른 인접시설물 안전관리 기준 정립”, 한국시설안전공단, 2010.
9. 지반굴착관련 붕괴사고 보고서.

(접수일자 : 2011년 7월 4일)  
(수정일자 : 2011년 9월 29일)  
(심사완료일자 : 2011년 10월 4일)

---

## 요 지

우리나라 지반공학 기술의 발달로 지반굴착 공사가 대규모로 수행되고 있으나, 최근 지반굴착시 공사현장 또는 인접구조물·시설물에 직·간접적인 피해를 유발하는 사고가 빈번히 발생하고 있다. 특히 도심지의 지하터널, 도시철도 역사, 대규모 상업시설, 초고층 빌딩의 기초 공사, 대규모 단지의 재개발 등 인접한 곳에 주거시설이나 상업시설이 밀집해 있는 곳에서의 지반굴착 사고가 빈번히 발생하고 있어 경제적인 손실 뿐 아니라 인명피해가 발생하여 사회적인 비용이 급속히 증가하고 있는 실정이다.

따라서 빈번히 발생하는 흠막이 굴착관련 사고를 방지하기 위해서는 여러 유형의 붕괴사고의 원인에 대한 분석이 필요하다. 본 고에서는 최근 발생한 흠막이 굴착공사로 인한 다수의 사고 및 인접시설물에 영향을 끼친 사례를 수집, 분석을 수행하여 사고발생 원인에 대하여 고찰과 개선방안을 제안하였다.

**핵심 용어** : 지반굴착, 사고사례, 안전관리

---