

지반굴착공사로 인한 사고사례 분석

Analysis of accidents due to Urban Ground Excavation

성주현¹⁾, joo-hyun Seong, 윤종구²⁾, jong-ku Yoon, 정수형³⁾, soo-hyung Jung

¹⁾ 한국시설안전공단 기술본부 재난예방팀 대리, assistant Manager, KISTEC

²⁾ 한국유지관리(주) 전략기획실장, Director, Korea Maintenance Co., Ltd.

³⁾ 한국시설안전공단 기술본부 재난예방팀장, Team Manager, KISTEC

SYNOPSIS : 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.

Key words : ground excavation, accidents, effects of adjacent ground or structures

1. 서 론

근래에 들어 인구증가와 산업화로 인하여 도시화가 급속히 이루어지면서 도심지에서 대규모의 지반굴착 공사가 급증하고 있으며, 대도시심지일수록 지반굴착 공사는 점점 규모가 커지고 대심도화 되고 있다. 우리나라 지반공학 기술의 발달로 대규모의 지반굴착 공사가 순조롭게 진행되고 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 지반굴착관련 사고를 방지하기 위해서는 여러 유형의 붕괴사고의 원인에 대한 분석이 필요하다. 본 고에서는 최근 발생한 지반굴착공사로 인한 다수의 사고 및 인접시설물에 영향을 미친 사례에 대하여 다양한 자료를 수집하여 다각도로 분석을 수행하여 원인에 대해 고찰하였다.

2. 사례분석

본 사고사례 분석은 지반굴착 공사현장이 붕괴되어 대규모의 파괴가 발생하여 인접시설물의 파괴에 대

한 사고사례, 지반굴착에 따라 인접시설물은 붕괴되지 않았으나 안정성에 영향을 받은 것으로 판단되어 공사를 중단하고 원인을 찾아 공법을 변경했거나 대책공법이 수립되어 공사가 완료된 대규모 지반굴착 현장 중심으로 25건의 사고사례를 수집하여, 분석을 실시하였다. 표 1의 결과를 살펴보면 흠막이벽 붕괴사고의 원인을 몇 가지의 붕괴유형으로 분류할 수 있다.

표 1. 공사장 붕괴사례를 통한 주요 원인 분석

번호	현장	발생 일시	주요공법	붕괴양상	붕괴원인
1	경의선 ○○역	2007년 6월	CIP, Shotcrete, GA 지지공법	- 배면지반 sliding 발생	- 상수도 파열 - 수압 증가로 흠막이 벽체 파괴 - 설계지반과 실제지반의 상이함
2	대덕 ○○센터	2008년 4월	CIP, GA 지지공법, Strut	- 배면지반 침하 및 벽체 붕괴	- 지표수 유입 - 파잉 굴착 및 지반조사 미비 - 설계 변경 및 설계 정수 오류
3	국회도서관 ○○	2003년 12월	D-Wall, GA 지지공법	- 흠막이 벽체 변위 증가 - 앵커홀에서 지하수 및 토사 유출	- 지표수 유출 - 지반조사 미비 - 지층 구성 파악 미비
4	목포 ○○오피스텔	2004년 12월	Sheet pile,	- 굴착에 따라 인접 상수도관로 파열로 누수 - 인접 지반 침하 (30cm)	- 과다 굴착 - 흠막이 벽체 과다 변형 - 연약지반의 강도 정수 산정에 다소 문제
5	부산 ○○건설현장	2007년 5월	H-Pile, GA, D-Wall 복합구조	- 가설 GA 파괴로 인한 흠막이벽 붕괴	- 설계하중보다 큰 하중 작용GA 파괴 - 가시설 구조의 내구성 문제 대두 (공사 일정 지연) - 구조계산과 설계도면 불일치 - H-pile의 제원과 단면적 부족, GA 정착장 길이 부족
6	서울 ○○센터	2007년 9월	D-Wall, strut	- D-wall과 버팀재가 동시에 붕괴 - 코너부의 strut 부분에서 파괴 발생 - 인접도로 붕괴 및 침하	- 지하연속벽 배면에 JSP Grouting이 시행되지 않음 - 부분적으로 암반불연속면을 따른 슬라이딩 발생(추정) - 구조해석시 미고려사항 발생(underpinning 공법) - 지반조사 미비 (연암층 과대평가)
7	판교 ○○연구소	2009년 2월	H-pile+토류판, GA, Nail 지지공법	- 암피 사면활동에 기인한 과도한 휨모멘트에 의한 엄지말뚝 파괴	- 암반에 절리면이 존재 : 지반조사 미비 - 단층과 유사한 절리면에서 지하수의 유출 - 앵커 항복하여 흠막이벽 붕괴
8	서초동 ○○사옥	1994년 9월	상부 CIP, 하부 H-pile+토류판, Jet Grouting, Strut 지지공법	- 벽체배면 토사가 유출되어 흠막이벽체의 붕괴 - 도로 활동파괴 및 매설물 파손	- 과도한 휨모멘트에 의한 엄지말뚝 파괴 - 부지내 지반조사의 미흡(깊이 및 수량)으로 설계시 토압보다 큰 토압이 흠막이벽체에 작용
9	중동 ○○교회	1994년 3월	H-pile과 철근으로 보강된 CIP	- 오수관 이설 공사중 상수도관이 파열되어 침하 발생	- 측량시 실수로 알려진 오수관이 현장 부지내 CIP 흠막이 위치를 통과 - 진동에 의한 CIP 파손
10	성남시 분당 ○○역사	1992년 12월	H-pile + 토류판, Diaphragm wall, Ground anchor 지지공법	- 벽체 배면에 인장균열이 발생하여 하부에커가 파손 - H-pile의 파손 및 토사유출 - 흠막이벽 붕괴	- 지반조사 시 앵커 지지층에 연약대(단층과 쉐대) 존재 미인지 - 붕괴사고 후 실시한 정밀 조사결과, 벽체 배면에 굴착면을 향하여 경사진 단층점토와 흑연을 함유하는 연약층이 존재

11	반포OO프라자 신축	1996년 8월	H-pile+토류관, GA	- 지하 연속벽체의 JOINT 부위를 통한 배면 토사 유실	- 1단계 공사 후 4년간 공사중단 - 토사유출에 따른 배면 도로 지반 함몰 - 발주자 및 시공자 변경으로 인한 관리측면에서 실수
12	안양 OO타워 신축	1996년 8월	CIP 벽체 + strut	- 사고 이전이부터 붕괴징후 발생 - 흙막이벽이 붕괴되고 주변 주벽이 함몰	- 중앙부위의 1단 지지구조를 설계도에 없는 Raker로 시공 - 코너버팀대의 포스트 파일을 일부 미설치하여 과대 휨모멘트가 발생 - 대각 브레이싱을 제대로 설치하지 않아 각각의 구조부재에 응력을 효과적으로 분산시키지 못함
13	제주도 OO 빌딩	2001년 6월	H-Pile+토류관, GA 복합 구조	- GA의 파괴에 의한 배면 지반 붕괴	- GA의 소요길이와 근입장 부족 - 제주도의 지반특성을 고려하지 않음
14	상도동 OOAPT	2002년 5월	H-Pile+토류관, Raker	- 옹벽붕괴에 의한 2차 흙막이벽 붕괴	- 인접한 저수조에 저장된 다량의 물이 옹벽 배면으로 유입 - 옹벽이 붕괴되면서 흙막이 구조물 연쇄적으로 붕괴
15	흑석동 OO오피스텔	2003년 7월	C.I.P, Strut	- 인접한 석축이 붕괴	- 지보공을 설치하지 않은 상태로 굴착 - 깊이 5.0m를 굴착하는 과정에서 인접한 석축붕괴
16	한남동 OOAPT	1997년 5월	S.C.W + Raker	- 인접구조물 벽체 파괴	- 연약한 점성토가 분포하는 지층조건 상에서 과굴착이 이루어지고 지보공인 Raker의 설치가 지연됨
17	인천시 주안 OO재건축	2004년 9월	C.I.P, Strut	- 히빙이 발생하여 흙막이벽 붕괴	- 흙막이벽체 강성 및 근입깊이 부족에 따른 히빙파괴
18	광양 OO시설 신축	2003년 4월	H-pile+토류관, Strut	- 수압증가에 따른 흙막이벽 붕괴로 인한 배면지반 침하	- 강우에 의한 인접하천의 수위 상승에 따른 과도한 수압증가
19	서울 성북구 OO빌딩 신축	2003년 12월	CIP, Strut	- 배면지반 붕괴	- 상수관 파열로 토립자유실로 인한 배면지반 공극형성
20	서울 마포구 서교동 OO재건축	2004년 2월	H-pile + 토류관, Strut, R.J.P 차수그라우팅	- 인접도로 붕괴 - 흙막이벽 하부 토사 유출	- 흙막이벽체 인접한 하수관 파열로 다량의 물이 유입 - 수압증가에 따른 하부 토류관 파괴
21	수원 신동 OO현장	2005년 5월	H-pile+C.I.P, GA+Strut	- Corner Strut부 붕괴	- 지반조사 미비로 인한 코너 버팀재 부분의 과도한 하중 작용
22	광교산 OO현장	2009년 2월	H-pile + 흙막이관, GA+strut	- 흙막이 벽 붕괴	- 배면 지반의 사면활동으로 인한 흙막이벽 붕괴
23	구로 OO현장	2004년 12월	CIP, H-pile+토류관, Strut, GA 지지 등 복합 시공	- 7m 깊이 굴착 중 폭 50여 미터의 흙막이 벽체가 순식간에 붕괴	- 과잉굴착에 의한 파괴 - 버팀보 2단 설치를 위하여 과굴착이 진행된 것으로 판단, 상부 CIP Cap beam 시공불량
24	부천 OO현장	2002년 9월	CIP, Strut 지지공법	- 중앙부 벽체에 변위발생 - 띠장 이탈 및 버팀보 변형 발생 후 함몰	- 과도한 휨모멘트에 의한 엄지말뚝 파괴 - 띠장과 CIP 결속 부실, CIP 일체감 결여 - 굴착 및 버팀보 설치시점 불일치 - 코너부터 집중적인 굴착으로 띠장의 단락과 배면거동 발생
25	판교 OO현장	2008년 12월	H-pile+토류관, GA, Nail 지지공법	- 암괴의 활동 시작과 동시에 앵커 파손 - 흙막이벽체의 과다변위증가로 인해 구조체 붕괴	- 과암괴 사면활동에 기인한 과도한 휨모멘트에 의한 엄지말뚝 파괴 - 앵커 지지층인 배면지반의 연약대(단층파쇄대)의 활동

표 1의 결과를 살펴보면 흙막이벽 붕괴사고의 원인을 몇 가지의 붕괴유형으로 분류할 수 있다.

가. 지반조사의 불충분

표 1에 나타난 붕괴사고의 가장 큰 원인은 지반조사 단계에서 굴착공사에 취약한 부분을 제대로 파악하지 못한 사례가 많이 있음을 볼 수 있다. 25건의 사례 중 지반조사의 불충분 또는 지반조사에서 파악하지 못한 사실로 인하여 사고가 발생한 사고사례는 12건으로 나타났다.

이는 현장에서 지반조사를 수행할 때 짧은 기간에 끝내고 굴착공사를 시작하는 국내 건설업계의 관행에서 기인한다고 할 수 있다. 국내 대부분의 건설공사의 지반조사는 사업주가 건축사사무소에 설계용역에 포함하여 일괄 계약하는 방식으로 진행하고 있다. 설계예산은 대부분 비용 절감의 이유로 최소한의 예산을 배정하기 때문에 최소한의 지반조사조차 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 토질및 기초 기술사의 책임하에 수행하지 않고 대부분 용역으로 끝내기 때문으로 판단된다.

우리나라 내륙지방의 경우 대부분 지하 10m ~ 20m 이내에서 기반암이 출현하고, 깊은 곳의 경우라도 30m 이내에서 기반암이 나타나고 있다. 그러나 대부분의 지반조사에서는 이러한 암반선의 확인에 그치고 암반이 내포하고 있는 각종 불연속면의 강도, 방향성 등에 대한 조사는 심도 있게 진행하지 않고 있다. 붕괴 사례에 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 천공시 지하수와 토사가 유출되어 흙막이벽의 붕괴로 이어지는 등의 사고 사례가 다수 존재한다.

따라서, 가시설 벽체 설계에 가장 중요한 지반 정수의 산정 및 지질학적인 특성에 대한 정보를 알 수 있는 지반조사를 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.

나. 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 흙막이 벽체 배면지반의 사면활동을 억지하지 못하는 경우가 대표적이라고 할 수 있다.

가시설 구조체의 결함으로 나타나는 형태로는 앵커, H-pile 등의 근입심도 부족에 의한 굴착바닥면 파괴, 베타보 시스템의 파괴 또는 좌굴, 과도한 휨모멘트에 의한 엄지말뚝 파괴, 2단 흙막이벽 설치 시 연결부위 파괴 등으로 붕괴유형을 구별할 수 있고, 표 1의 결과를 살펴보면 가시설 구조체의 불안정으로 발생한 사고는 9건으로 나타났다.

다. Boiling 또는 Heaving에 대한 굴착바닥면의 불안정

지반굴착공사시 중요한 문제중 하나는 굴착바닥면의 안정을 위하여 보일링과 히빙에 대한 처리이다. 본 연구에서 조사한 사례 중 보일링 또는 히빙 등 주변지반의 수위 차에 의해 발생한 문제는 다른 사례보다 적게 나타나 2건 발생한 것으로 나타났다.

라. 차수, 배수 등의 지하수 처리 미흡에 따른 불안정

붕괴사례에서 보는 바와 같이 공사장 자체의 불안정 보다 공사장 인근을 지나고 있는 상수도관 또는 오수관 같은 매설물의 위치를 제대로 파악하지 못하거나, 공사도중 관로의 파열로 인해 물의 유입으로 수압이 증가하거나 배면의 토사가 유출되 지반이 침하되거나 함몰하는 피해가 발생한 사례가 많은 것으로 나타났다. 본 연구에서 조사된 붕괴사고 중 차수, 배수, 지하수 처리 등에 관련된 사고는 모두 9건인 것으로 나타났다.

마. 시공상의 실수

지반조사가 제대로 이루어지고 구조설계와 시공 등이 제대로 되어 있으나, 공사를 진행하면서 실수로 주요한 차수벽 설치를 누락하거나 인근 매설물을 파손시켜 2차적인 피해로 붕괴되는 사례가 종종 발견되었다. 이와 같이 시공상의 실수로 발생한 붕괴사고는 6건을 나타냈다.

바. 과다굴착으로 인한 붕괴 사례

지반굴착 계획단계에서 굴착깊이를 결정할 경우 토압이론을 고려하여 구조설계를 실시하나 시공시 단계별로 과다굴착하는 경우가 발생한다. 또한 최근 들어 도심도 지반굴착 사례가 늘어나 과다굴착으로 인한 사고가 발생하는 경우가 있다. 조사된 25건의 사례를 분석할 결과 과다 굴착으로 인한 사고는 도심도 굴착의 경우보다는 버팀재를 늦게 설치하였거나 버팀재 없이 굴착을 하다가 사고가 발생한 경우가 있는 것으로 나타났다. 과다굴착으로 인한 사례는 3건으로 나타났다.

사. 사면활동으로 인한 붕괴 사례

지반굴착시 흙막이벽을 설치하는 이유는 연직굴착시 지반이 자립하지 않고 활동과괴가 나타나기 때문이다. 흙막이벽이 붕괴될 경우 대부분 배면지반의 활동과괴를 수반하게 되어 이러한 모든 사례를 사면활동과괴가 원인이라고 보기 어렵다. 따라서, 여기서는 지반굴착공사장 붕괴의 1차적인 원인이 사면활동에 기인한 사례를 사면활동으로 인한 붕괴 사례로 선정하였다. 조사결과 사면활동이 1차적인 원인이어서 붕괴가 발생한 경우는 1건으로 조사되어 사면활동에 의한 붕괴사례는 많지 않은 것으로 판단된다.

아. 관리 소홀에 따른 붕괴

공사를 진행하면서 계측 관리, 공사 공정 관리 및 기타 사항에 대한 관리 및 감독 업무를 진행하게 된다. 공사장 사고는 대부분 인체에 해당하므로 관리업무는 매우 중요하다. 사례분석에서도 계측관리로 사고를 미연에 방지할 수 있는 사례와 공사가 중단된 동안의 관리 부재 등 관리 소홀에 따른 붕괴 사례는 2건이 있는 것으로 나타났다.

표 2. 공사장 붕괴사례에 대한 붕괴 유형별 분석

번호	현장	지반조사 부실	가시설 구조체 불안정	보일링 히빙	차수 배수 지하수	시공상 실수	과다굴착	사면활동	관리소홀
1	경의선 OO역	○	○						
2	대덕 OO센터	○			○				

3	국회도서관 OO	○			○				
4	목포 OO오피스텔	○	○				○		
5	부산 OO월드		○						○
6	서울 OO센터	○				○			
7	판교 OO연구소	○	○		○				
8	서초동 OO사옥	○	○						
9	중동 OO교회				○	○			
10	성남시 분당 OO역사	○							
11	반포OO프라자 신축				○				○
12	안양 OO타워 신축		○						
13	제주도 OO 빌딩	○	○						
14	상도동 OOAPT				○				
15	흑석동 OO오피스텔					○	○		
16	한남동 OOAPT					○			
17	인천시 주안 OO재건축			○					
18	광양 OO시설 신축			○	○				
19	서울 성북구 OO빌딩 신축				○				
20	서울 마포구 서교동 OO재건축				○				
21	수원 신동 OO현장	○							
22	광교산 OO현장	○						○	
23	구로 OO현장					○	○		
24	부천 OO현장		○			○			
25	판교 OO현장	○	○						
합계		12	9	2	9	6	3	1	2

3. 결론

본 사고사례 분석을 통하여 지반굴착 공사시 안전확보를 위하여 다음 사항에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

가. 코너 버팀보의 파괴

표 2에서 가시설 구조체가 불안정하여 파괴가 된 사례를 살펴보면 코너부분에 설치된 버팀재의 파괴가 발생한 사례가 많은 것으로 나타났다. 대덕 ○○센터 현장, 서울 ○○센터 현장, 수원 신동 OO현장, 광교산 OO현장 등 가시설 구조체가 문제되어 발생한 사고사례의 9건 중에서 4건이 코너 버팀재에서 문제가 발생한 사례로 분석된다. 이와 같이 코너 버팀재에서 붕괴사고가 자주 발생하는 원인은 구조적인 취약성으로 인하여 코너버팀보가 비대칭구조를 이루거나, 편토압과 같이 불규칙한 토압이 작용한 것으로 판단된다. 또한

지하관로 누수, 단층대, 시공부실 등 다양한 원인에 의하여 코너 부분에 많은 하중이 가해지게 되는데 이러한 과도한 하중을 적절히 분배하는 구조체가 코너 버팀재이나 설계상에서 이러한 조건을 간과하여 코너 버팀재 부분에서 많은 파괴가 발생하고 있는 것으로 판단된다.

나. 앵커 설계 및 시공 문제

앵커는 토압을 정착장의 그라우트체와 지반사이의 마찰저항력으로 지지하는 공법으로 정착장의 역할이 중요하다. H-pile이나 strut의 경우 굴착현장 내부에 설치하는 가시설 구조체이나, 앵커의 경우 주변 지반에 설치되기 때문에 공사가 끝나거나 현장의 지중구조 부분이 완공되면 철수를 하는 것이 일반적이다. 따라서, 공사 완료 후 지중에 강선이 남는 문제점을 해결하기 위해 제거식 앵커(U-turn type, Bolt type, Wedge type 등)를 사용하고 있다. 이 경우 앵커 내하체까지의 전체 길이를 늘음 길이로 검토해야 하고, 내하체 하중에 의한 그라우트체의 압축강도를 검토해야 하고, 위험하다고 판단될 경우 앵커의 장력에 대한 모니터링이 필요하다. 또한, 지층이 불량한 경우에 일반앵커에 비해 인장력이 충분히 확보되지 않는 경우가 있으므로 사전에 공장제작을 통한 품질관리, 천공, 슬라임 제거, 그라우팅, 인장 등 각 공정에서 각별한 주의 시공이 요구된다.

앵커가 설치된 현장에서 자주 발생하는 사례는 지반조사가 불충분하여 발생한 사고와 연관된 사례가 많은 것으로 나타났다. 이는 지반조사가 미비하여 사면에 대한 활동파괴면을 잘못 계산하여 앵커의 정착장의 길이가 짧아 활동면 내부에 앵커가 정착되는 경우가 발생한다. 따라서 앵커를 주요한 흙막이벽체의 구조체로 이용하는 현장의 경우 지반조사에 각별한 주의가 요구된다.

앵커를 설치할 경우 천공후 그라우트체를 주입하고 강도가 발현하기까지 일정 기간의 시간이 소요되나, 공기 단축을 위하여 그라우트체가 제대로 양생되기 전에 다음 단계의 시공을 위하여 추가 굴착하여 파괴가 발생한 사고사례도 조사되었다.

따라서 앵커 현장의 경우 공사 계획단계에서 충분한 지반조사가 이루어질 수 있도록 설계에 반영되어야 하고, 공기를 고려하여 전체적인 지반굴착공사 일정을 수립해야 한다. 제거식 앵커를 사용하는 현장의 경우 앵커의 제작부터 개별 공정의 진행사항 등 철저한 품질관리를 통하여 사고를 미연에 방지해야 한다.

다. 토사 및 지하수 유출로 인한 지표침하

지반굴착 현장 인근의 도로 및 인도 침하사고 또는 그로 인한 인접구조물 손상 사례의 1차 원인은 대부분 토사 및 지하수가 유출되어 발생한 것으로 나타났다. 지하수가 유입되는 원인을 분석해보면 다음과 같이 구분할 수 있다.

- ① 공사 계획단계에서 주변 지반의 매설물 및 지장물에 대한 조사 부족
- ② 측량 실수로 인한 상수도관 및 오수관의 위치 파악 오류
- ③ 공사중 관로 파열
- ④ 주변 지반의 지질학적인 구조를 간과하여 우천시 지표수 또는 지하수가 특정 부분으로 흘러와 수압이 증가하는 경우

이와 같이 흙막이벽 배면에 지하수가 유입될 경우 수압이 증가하여 흙막이벽 구조체의 파괴를 유발시키거나 부실한 벽체부분으로 일시에 토사와 지하수가 유출되거나 차수가 완벽하게 되지 않는 공법을 적용하였을 경우 토사와 지하수가 유출되어 배면에 공동이 생겨 도로 및 인도의 침하를 유발하고 그로 인하여 인접구조물의 손상까지도 발생하는 것으로 나타났다.

라. 행정 및 관리적인 측면에서의 문제

공학적 측면뿐만 아니라 행정 관리적인 측면에서도 사고 발생에 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 조사되

었다. 지반굴착공사는 매우 중요한 공종이나 가시설이라는 인식 때문에 관리에 대한 중요성이 낮아 빈번한 붕괴사고를 발생시키는 것으로 사료된다. 공기단축 및 공사비 절감에 주력하는 시공 현실과 규제완화라는 측면에서의 행정관리 미흡으로 전문 지반기술자의 설계, 시공, 감리에 대한 정밀 검토 및 관리가 이루어지지 않아 부실공사의 주요 원인이 되는 것으로 판단된다.

도심지에 빈번히 시공되는 지반굴착공사는 사고발생시 그 피해가 매우 크게 발생하므로, 이러한 사고를 미연에 방지하기 위해서는 위에서 언급한 지반공학적 측면과 행정·관리적 측면에 대한 인식의 전환이 반드시 이루어져야 할 것으로 사료된다.

또한 사고발생시 신뢰성 있는 사고원인조사, 조사자료의 축적 및 관련자료에 대한 공유 및 기술자 교육 실시를 통한 차후 이와 유사한 사고를 예방할 수 있는 제도적 보완도 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.

* 참고문헌

1. 건설교통부(1997년 5월), 안전 부조리 취약공종 점검 매뉴얼
2. 건설교통부(1996), 지하굴착공사 안전관리 편람
3. 건설교통부(1997), “도심지 지반굴착에 따른 토류구조물의 설계 및 안전관리 시스템 개발”
4. (주)다산이엔지(2002년 8월), 흙막이 굴착공사의 설계, 시공, 계측관리
5. 소방방재청(2009년 7월), 2008년 재난연감
6. 한국시설안전공단(2007년 11월), 기술검토사례집(II) - 옹벽 및 굴착 분야
7. 한국지반공학회(2002), “흙막이 벽의 붕괴사례”, 지반공학 시리즈 3 굴착 및 흙막이 공법, pp.531~549.
8. 지반굴착관련 붕괴사고 분석 보고서
9. 조성하, “지하굴착공사 붕괴사고 예방대책을 위한 제도개선 제안”, 한국지반공학회지(2009년 5월), 지반, Vol. 25, No. 5, pp. 39~44
1. 최정범, 신승목(2009), “흙막이 굴착공사의 부실사례 및 개선방향”, 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, pp.643~650
10. 한국건설기술연구원(1996), 지하 생활공간 개발 요소기술 연구 - 지반굴착기술분야(IV)김학문 (1997), “정보화시공을 적용한 도심지 지반굴착”, '97 정보화시공·지반굴착 위원회 공동 학술발표회 논문집, pp.5~56.
11. 서민우, 석정우, 양구승, 김명모(2006년 2월), “굴착 공정별 주변지반 거동 분석”, 한국지반공학회 논문집, 제22권 2호, pp. 19~28
12. 박광준(1993), “지반거동과약을 위한 체계적인 계측”, 한국지반공학회 정보화시공위원회 학술발표집 제1집, pp.54~69.
13. 손무락(2005년 5월), “도심지에서의 지반 및 터널굴착에 따른 지반변위가 인접건물에 미치는 영향 및 손상도 예측, 대한토목학회논문집, 제25권제3C호, pp. 189~199
14. 윤종만(2004년 6월), 굴착·흙막이공 기술자료집