

깊은 굴착에서 근접시공에 따른 구조물 피해사례 연구 Case Study of Structure Damage due to Adjacent Deep Excavation

김성욱¹⁾, Sung-Wook Kim, 김주봉²⁾, Joo-Bong Kim

¹⁾ (주) 지오사이트 대표이사, President, GeoSite Co., Ltd.

²⁾ (주) 바우컨설턴트 대표이사, President, Bau Consultant Co., Ltd.

SYNOPSIS : Deep excavations in the urban areas may cause terrible damages to the adjacent structures. Most damages are due to the settlement of ground during excavation work. This article introduces two actual examples of structure damage in subway construction projects. A series of attempts to find out the factors that are affecting to the settlement of ground was made through site investigations and analyses of measurement data. Some suggestions are given to prevent the repeat of trial and error in deep excavation projects. This kind of attempts are essential to the development and improvement of information-oriented construction method.

Key words : deep excavation, settlement, examples of structure damage, suggestion, information - oriented construction

1. 서론

서울을 비롯한 대도시들에서의 지하철 건설 및 고층건물 축조등을 위한 깊은굴착은 그동안 수없이 진행되었으며 지금도 진행중이다. 그동안 굴착면에 인접하여 구조물이 위치하는 근접시공의 사례들에서 수많은 사고 및 피해가 발생하였으나 아직까지 이들 사례에 대한 원인, 진행상황, 대책등이 체계적으로 정리되고 토의된 사례는 전무한 실정이다. 따라서 막대한 지반조사비용, 계측관리비를 투입하였음에도 불구하고 매년 같은 유형의 사고 및 피해가 반복되고 있는것이 우리의 현실이다. 그동안 지반굴착과 관련한 정보화 시공의 중요성은 지속적으로 강조되어 왔으며 특히 장기간에 걸친 계측결과에 근거한 지반거동 및 구조물 거동파악, 이에 따른 피해 및 사고의 원인규명, 유사한 피해 및 사고 재발 방지를 위한 개선책 강구는 현재 근접 시공 분야에서의 절실한 해결 및 연구과제로 인식되고 있다.

본 논문은 지하수위가 높고 지반조건이 불량한 서울 및 인천의 2개소 지하철 현장에서 발생한 건물 피해 사례에 대하여 각 현장별 제한된 계측관리 여건하에서 장기간의 실측 계측 Data와 현장 조사 결과를 토대로 건물 피해 발생의 원인을 규명하고 이를 바탕으로 현재 국내 건설 업계의 설계, 시공, 감리과정에서 간과되고 있거나 시급히 개선해야 할 문제점들을 도출해 개선방안을 제안함으로써 근접 시공 분야에서 실질적인 의미에서의 정보화 시공을 정착화하는 계기가 되었으면 하는 바램이다.

2. 피해사례 연구1 (서울지하철 ○○공구)

2.1 공사개요 및 시공현황

- 토류 공법 : H-pile + 토류벽 Con/c
- 지지 공법 : 버팀보 공법
- 지반보조공법 : L.W. Grouting
- 지반 상태 : 실트질 모래의 풍화토(중간내지 매우 치밀한 상태)
- 투수 계수 : 풍화토 ($1.091 \times 10^{-4} \sim 3.565 \times 10^{-5}$ cm/sec ; G.L.-6.0M~G.L.-12.0M구간)
- 지하 수위 : G.L.-10.5M~G.L.-14.0M (97년 5월), G.L.-5.0M정도 (최초예상수위)

본 현장은 지하철 개착 유치선 구간으로 굴착면에서 5.8M 이격하여 폭 14.7M, 길이 95M의 3층 석조 건물이 직접기초 형태로 위치하고있다. 이 건물은 준공하여 약 40년간 사용되어온 건물로 건물 전면부 굴착에 선행하여 중점부쪽 구간이 계획고(약 G.L.-19.0M)까지 굴착이 완료되었다. 건물 전면부 굴착(L=16M, H=9.0M)개시 이후 첫번째 건물에 균열이 발생한 뒤 이어서 안전진단 결과에 따른 L.W. 추가 주입, 건물 바닥부 Cement Milk Grouting 작업이 시행되었다. 굴착 재개후 다시 2차로 추가 균열의 피해가 발생하였고 이어서 3차로 건물에 다시 한번 큰 균열피해가 발생되었다. 건물경사계는 최초 건물 균열 발생시(96.10.18) 부착되어 계측이 시행되었으며 지중경사계는 2차 균열발생 약 1개월전에 설치되어(G.L.-14M~16M정도 굴착상태) 계측이 시행되었다. 이 구간은 당초 계측 계획상 10M정도 이격하여 버팀보에 Strain Gauge가 계획되어 계측이 진행되었다.

본 구간의 굴착에 따른 건물에의 영향중 특기사항은 굴착깊이에 따른 최종 균열 발생 영향 범위가 크다는 사실(굴착깊이 H=16M정도, 균열발생 범위 D=32M정도)과 건물경사계 변형양상이 3차 균열발생 시는 기존의 변형방향에서 바뀌었다는 사실이다.

2.2 계측결과 분석

2.2.1 건물경사계

- 1층 바닥 건물경사계는 안전진단 결과에 의한 Milk Grouting 작업직후 이미 계측관리치 초과 (Grouting 영향 큼)
- 2차, 3차 균열발생시 B방향 변형방향 변화(원인구명 필요 : 그림 1. 참조). 1층 및 3층 바닥 같은 경향 (97. 3. 31 ; 2차 균열발생, 97. 4. 9 ; 3차 균열발생)
- 지중경사계와 연계분석의 필요성 (건물경사계 일시적 방향변화후 원변형 방향으로 변형)
- 건물경사계는 국부적인 지반변형에 민감한 반응

2.2.2 지중경사계

- 지하수위 저하에 따른 경사계 Incremental Deflection 양상에 유의 (그림 2. 참조)
- 지중경사계 설치이전의 지반이완 상당히 있었음. (지하수위 저하에 따른 토립자 유출, 인접부위 선 굴착에 따른 지반변형발생, 지반 Grouting에 따른 교란, 하수누수등)
- G.L.-13.0M~G.L.-16.0M구간 Incremental 변형양상 (상부 : A⁻, B⁻ 방향, 하부 : A⁺, B⁻ 방향 → 기존 이완 진행방향)
- 건물경사계와 연계분석의 필요성 (건물하부의 전반적인 이완영역 확대현상, 지중의 지반변형이 선행되고 이로 말미암아 상부지반의 연속적인 변형유발, 입자 재배열 과정에서 새로운 공극부로 건물 변형 유발 예상)

2.2.3 변형률계

- 계기의 특성 파악중요 (초기치 측정시점, 진동영향등), 응력증가 속도에 유의필요
- 응력의 절대값은 가설재 자체의 안전점검에는 가치가 있으나 인접지반의 거동에 따른 인접 구조물 안정성 평가에는 효율성이 적다. (침하나 변형관리가 더욱 중요)

- 변형과 응력의 상관성에 대한 이해필요

2.2.4 건물변형에 대한 종합적인 고찰

- 피해 건물 인접 선굴착부 굴착과정에서 수위저하 및 토립자 유출발생 (선굴착부 구간에서의 계측결과와 지하수위가 항시 굴착면 보다 높게 나타남)
 - 피해 건물 전면부 1차 굴착시 지반이완 발생
 - 안전진단 결과에 따른 L.W. 추가시공 및 Cement Milk Grouting 시행시 지반이완 촉진 (근본대책 미흡)
 - 97년 3월 굴착재개후 굴착 및 지보의 불균형으로 인한 토압증가 및 이완영역 확대
 - 건물인접 하수 Box 누수에 따른 지반이완 및 변형촉진
- 상기 원인들이 복합적으로 작용하여 이완영역이 확대되어 추가변형이 발생한 것으로 판단된다.

2.3 본 계측 사례를 통한 교훈

- 지반조건 및 지형조건이 불량한 구간에서의 계측에 의한 시공관리의 중요성 인식 필요 (굴착 및 지보의 균형, 계측결과에 따른 정밀시공관리 필요)
- 계측결과와 신뢰성 및 시공에의 효율적 이용을 위한 실질적인 계획 및 관리필요 (전문기술자 투입, 적정 계측빈도 유지 및 실질적인 분석을 위한 계측용역 발주 System 연구 및 적정대가 반영)
- 1차 변형 발생시 체계적인 종합분석에 의한 대처 미흡 (지반조건, 계측결과를 이용한 실질적인 보강안 수립필요, L.W. 시행 및 Cement Milk Grouting 시행의 문제점 파악 및 근본적인 대책수립의 필요성 : 지반조건에 맞는 차수공법의 연구 및 도입필요, 건물 및 지반특성에 맞는 실질적인 보강공법의 검토필요)
- 지반조건(지질상태, 지하수위등) 및 시공순서, 피해예상 구조물 인접부에서의 변형 유발요인에 대한 검토 및 대응책 수립부족 (상수도 및 하수도 누수, 선굴착부 굴착에 의한 변형영향등)
- 지장물등에 의한 H-pile 시공 및 차수 보조공법 시공에 따른 문제점 발생시 대책강구 미흡 (H-pile 이어내리기 및 시공 단절부 보강 대책 수립 필요)

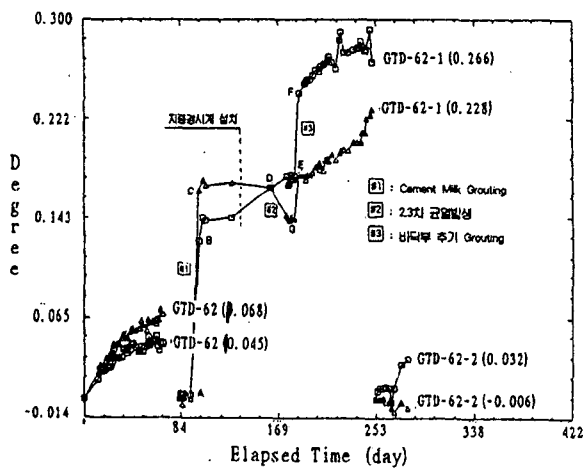


그림 1. 건물경사계 계측결과 (1층바닥)

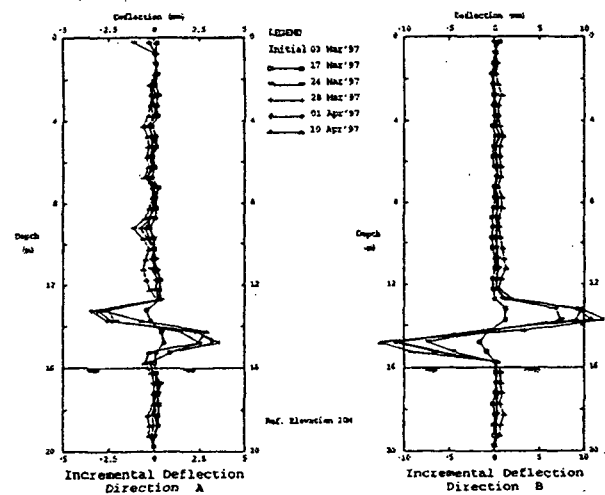


그림 2. 지중경사계 계측결과

3. 피해사례 연구2 (인천지하철 ○○공구)

3.1 공사개요 및 시공현황

- 토 류 공 법 : H-pile + C.I.P. (Φ400), H-pile + 토류벽 Con'c (최종굴착고 G.L.-29.0M)
- 지 지 공 법 : 버팀보 공법, Rock Bolt
- 지반보조공법 : L.W. Grouting

본 현장은 지하철 개착 정거장 구간으로 굴착면에서 6M정도 이격하여 폭 7.5M, 길이 11.0M의 약 19년 경과된 교회건물(지하 1층, 지상 1층, 중2층)이 철근 Con'c 라멘조로 위치하고 있으며 더불어 굴착면에서 2M정도 이격하여 폭 31.75M, 길이 13.8M의 시공중 공사가 중지된 건물(지하 1층, 지상 5층)이 직 접기초 형태로 위치하고 있다. (그림 3. 참조)

정거장 구간 굴착과정에서 C.I.P. 선단부 굴착시부터 지반변형이 크게 증가하고 굴착면에서 상대적으로 멀리 위치한 교회건물에서 기둥 및 벽체의 균열이 발생되었고 공사진행 과정에서 인접한 공사 중지된 건물에서도 벽체 및 Slab, 보에서 균열이 발생하였다. 인접하고 있는 두개의 건물 피해 사례를 통하여 지층구조 및 투수계수 관점에서의 피해 원인규명을 시도하고 시공기간 동안의 계측치의 변화특성을 종합적으로 파악함으로써 향후 유사 Project에서의 피해를 예방할 수 있는 제반 중요사항을 도출하는 것은 큰 의미가 있는 것으로 판단된다.

3.2 계측결과 분석

3.2.1 지반조건

기본설계 및 실시설계, 시공전 추가 지질조사에서 나타난 정거장 구간의 지질주상도는 그림 4와 같다. B-57 Boring Log가 위치하는 지점은 매립층이 깊은 지역이며 시점쪽으로는 매립층 하부에 풍화암이 나타나고 종점쪽으로는 매립층 하부에 풍화토층이 나타나고 있다.

매립층은 주로 실트질 모래 및 모래질 자갈로 구성되어 있으며 투수계수는 $3.33 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 로 크게 나타나고있다. 풍화대층은 실트질 세립내지 조립모래로 구성되어 있으며 투수계수는 $1.31 \times 10^{-4} \sim 2.316 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 로 역시 크게 나타나고있다. 연암층은 불연속면인 파쇄대나 절리를 따라서 암석내부 까지 심한 풍화를 받은 상태로 연암층에서 경암층으로 이행하지 않고 연암과 경암층이 교대로 반복하거나 연암층이 시추종료 심도까지 분포하는등 매우 불규칙한 지층상태를 보여주고있다. 본층의 풍화상태는 심한 풍화내지 보통 풍화정도이며, 코아회수율(T.C.R.)은 0~100%, 평균 36%, 암질표시율(R.Q.D.)은 0~50%, 평균 6%로 매우 심한 균열내지 심한 균열상태를 나타내고있다. 투수계수는 $2.67 \times 10^{-4} \sim 6.69 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 로 나타났는데 파쇄가 심한 파쇄구간에서는 Packer가 정치되지 않아 수압시험이 불가능한 구간도 나타났다. 이 구간의 최초 지하수위는 G.L.-2.4M~G.L.-3.8M로 높게 나타났다.

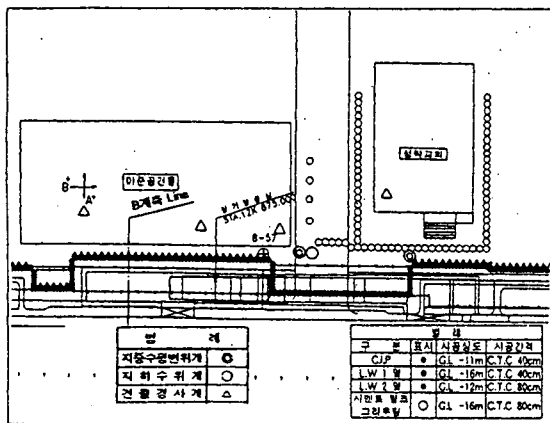


그림 3. 현황평면도

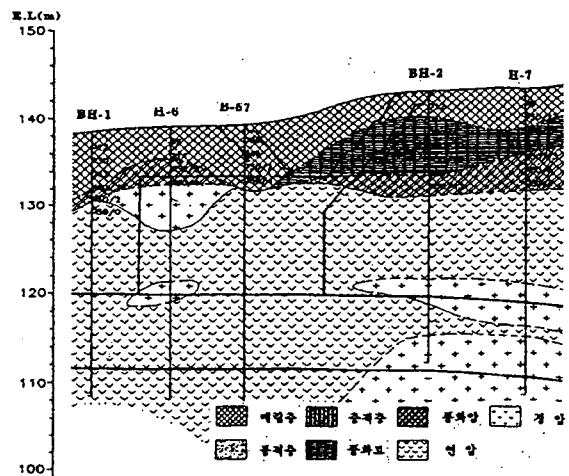


그림 4. 지질주상도

3.2.2 교회 및 시공중지 건물 관련 계측결과 고찰

피해건물 인접부 정거장 구간은 95년 8월에 C.I.P. 시공완료(G.L.-11.0M심도), 95년 10월에 L.W. 시공완료(G.L.-16.0M)후 96년 1월부터 본격적인 굴착작업이 진행되었다. 정거장 구간은 H-pile 근입을 위한 T-4 천공작업시에도 높은 지하수위 및 큰 투수계수, 매립층 및 풍화토층의 약한 지반조건에 기인하여 Ascon의 heaving 현상이 나타났으며 95년 11월에는 시공중지건물 지하 1층 바닥부로부터 지하수가 유입되는 현상이 나타나기도했다. 이 지하수 유입현상은 시공 중지 건물 자체의 부실한 시공상태(지하실 바닥 방수 및 Slab 시공상태)와 L.W. 시공에 의한 지하수 유동의 차단에 따른 지층구조상의 지하수 유입에 따른 결과로 추정, 판단되었다. 시공 중지 건물 부근에는 지중경사계(초기치 96년 1월 5일), 수위계(초기치 95년 12월 18일), 건물경사계(초기치 95년 12월 18일, 3층 바닥부)를 설치하여 계측을 수행하였다.

굴착이 G.L.-13.0M지점까지 완료되고 4단 버팀보(G.L.-9.0M) 설치가 완료된 96년 3월 26일부터 12K 860지점의 경사계에서 C.I.P. 선단부인 G.L.-11.0M지점 상부구간은 A⁻방향, G.L.-11.0M~G.L.-14.0M구간은 A⁺방향의 Incremental 변형을 나타내었다. B방향도 같은 형태의 변형을 보였으며 변형발생 구간은 G.L.-16.0M지점까지이며 A방향보다 큰 변형을 나타내었다. 이때의 지하수위는 G.L.-8.22M로 굴착면 상부에 위치했으며 Tiltmeter는 지속적인 변형증가로 A⁺방향 1/1500의 기울기를 나타내었다.

96년 4월 26일 굴착이 G.L.-17M정도 진행되고 5단, 6단 버팀보가 미설치된 상태에서 경사계는 3월에 이어 지속적인 변형증가 현상을 나타내었는데 G.L.-11.0M지점 상부구간은 A⁻방향, G.L.-11.0M~G.L.-17.0M구간은 A⁺방향의 Incremental 변형진전을 보였다. B방향도 같은 형태의 변형양상을 보였는데 변형발생 구간은 G.L.-20.0M지점까지이며 여전히 A방향보다 큰 변형을 나타내었다. 이때의 지하수위는 G.L.-10.73M, Tiltmeter는 A⁺방향 1/1200의 기울기를 나타내었다. 이무렵 2단, 3단, 4단 버팀보의 하중은 1개월 사이에 각각 8.4Ton, 10.1Ton, 13.2Ton의 증가를 나타내었다.

4월 11일 교회측에서 기둥 및 벽체의 Crack 발생에 대한 민원이 제기되었는데 앞에서 언급한 3월, 4월의 계측결과 분석에서 유추할때 다음과 같은 사항을 추정할 수 있었다.

- 지층 구조상 B-57 Boring공 주변은 매립층이 상대적으로 깊어 지하수위 저하시 타구간보다 상대적으로 큰 토립자 유실과 이에 따른 지반내 공극발생이 우려된다.
- 경사계 계측결과 C.I.P. 선단부 굴착시부터 지반변형이 증가하는 현상을 나타내었는데 이는 C.I.P. 선단부에서의 강성변화 및 지하수위 저하에 따른 토립자 유출, 이에 따른 상부 지층에서의 후속변형 발생, 굴착과 지보의 불균형에 기인한 변형증가 현상이 복합되어 나타난 결과로 판단된다.
- 시공 중지 건물내 Tiltmeter의 변형방향과 경사계의 변형방향에서 판단할때 교회건물에서 B-57 Boring공을 연결하는 방향으로의 토립자 유출이 큰 것으로 추정된다. (그림5, 그림6 참조)
- 2단~4단 버팀보에서의 급격한 하중 증가 현상은 경사계 변형 Data에서 판단할때 토류벽 배면지반이 상당히 이완되어 있는 결과를 반영한 것으로 추정된다.

따라서 시공 중지 건물보다는 굴착면에서 상대적으로 멀리 위치한 교회건물에서 먼저 피해가 발생하였고 교회건물은 이당시 약 16년 경과된 철근 Con'c 라멘조로서 건물규모가 작아 이러한 국부적인 부동침하에 민감하게 반응한 것으로 판단되었다.

96년 5월 30일 굴착이 G.L.-18.0M정도 진행되고 6단 버팀보까지 설치가 완료된 상태에서 경사계는 4월에 이어 지속적인 변형증가 현상을 나타내었는데 6단 버팀보 설치지점인 G.L.-14.4M지점 상부는 A⁻방향, G.L.-14.4M~G.L.-18.0M구간은 A⁺방향의 Incremental 변형진전을 보였다. B방향도 같은 형태의 변형진전 양상을 보였으며 변형발생 구간은 G.L.-26.0M지점까지이며 여전히 A방향보다 큰 변형을 나타내었다. 이때의 지하수위는 G.L.-12.68M, Tiltmeter는 A⁺방향 1/1170의 기울기를 나타내었다. 교회건물 앞에 추가로 경사계를 설치하여 5월 20일 초기치를 측정하였으며 교회건물 지하 1층 내부 바닥에 Tiltplate 2개소, 1층 기둥부에 Tilt-frame 1개소를 설치하여 5월 20일, 5월 30일, 6월 7일 초기치를 측정하였다.

96년 6월 20일 굴착이 G.L.-23M정도 진행되고 7단 버팀보까지 지보재 설치가 완료된 상태에서 경사계는 5월에 이어 지속적인 변형증가 현상을 나타내었는데 7단 버팀보 설치지점인 G.L.-17.4M지점 상부는 A⁻방향, G.L.-17.4M~G.L.-25.0M구간은 A⁺방향의 Incremental 변형진전을 보였다. B방향도 같은 형

태의 변형진전 양상을 보였으며 변형발생 구간은 G.L.-26.0M지점까지이며 여전히 A방향보다 큰 변형을 나타내었다. 이때의 지하수위는 G.L.-14.8M, Tiltmeter는 큰 변화없이 수렴된 상태를 나타내었다. C.I.P. 선단부 하부까지 굴착이 진행되고 C.I.P. 선단부 하부로 버팀보가 설치됨에 따라 최하단 버팀보 하부의 무지보 구간에서 변형이 증가하고 상부구간은 후속변형으로 굴착면 배면방향으로의 Incremental 변형양상을 나타내었다.

교회건물측에 설치한 경사계는 5월 20일 초기치 측정이후 6월 5일 계측시까지 지하수위 저하 및 이에 따른 토립자 유출현상에 기인한 Incremental 변형을 G.L.-16M지점 상부구간에서 나타내었으며 G.L.-16.0M~G.L.-20.0M구간에서는 A⁺방향의 급격한 Incremental 변형증가 현상이 나타났는데 이는 인접 토류벽 구간에서도 무지보 구간에서 경사계 변형진전이 지속되는 현상과 연계하여 판단할때 무지보 구간에서의 지하수위 저하 및 이에 따른 토립자 유실과 벽체변형이 복합되어 나타난 결과로 추정되었다. 교회건물에 설치된 건물경사계들도 설치후 6월 18일까지 급격한 변형증가 현상을 나타내었는데 지하 1층 좌측바닥에 설치한 Tiltplate의 경우 최대 2/1000의 경사도를 보였다. (그림 7. 참조)

이와같이 교회건물 위치에서의 계측결과 기존의 건물피해 발생상태에서 계측치의 급격한 증가현상으로 건물의 안정성에 심각한 위해가 가해질것이 예상되었고 또한 방치시에는 장마철의 지표수 유입, 유출현상이 반복됨으로써 더욱 심각한 건물 구조상의 재해가 발생할 수 있을 것으로 판단되어 교회건물 하부 및 주변지반에서의 예상공극부에 대한 채움 및 지반보강 Grouting작업을 6월 17일부터 시행하였다. (Cement Milk 주입, 주입심도 G.L.-7.0M~G.L.-16.0M) 주입 작업관련 특기사항은 시공 중지 건물 쪽 Grouting 작업시 타주입공보다 3~4배의 주입액이 소요된 것으로 나타났으며 실제 완벽한 채움 Grouting은 완료되지 못한 상태로 작업을 종료하였다. 교회건물의 건물경사계는 Cement Milk 주입의 영향으로 계측치가 일시 회복되는 경향을 보인후 다시 원래변형 방향으로 변형후 수렴되는 양상을 나타내었다. (그림 7. 참조)

96년 7월 23일 굴착이 G.L.-25.0M정도 진행되고 7단 버팀보까지 지보가 완료된 상태에서 경사계는 별다른 변형증가없이 수렴된 상태를 나타내었다. 이때의 지하수위는 G.L.-17.40M였으며 Tiltmeter도 대체로 수렴된 상태였다. 교회건물쪽의 경사계, Tiltmeter도 별다른 변형을 나타내지 않았다. 96년 8월말 굴착이 G.L.-29.0M정도 진행되고 9단 버팀보까지 지보가 완료된 상태에서 G.L.-20.0M~G.L.-30.0M구간에서 약간의 Incremental 변형이 A, B방향에서 모두 나타났다. 이때 지하수위는 G.L.-21.6M로 나타났고 Tiltmeter와 교회건물쪽의 계측치도 수렴된 상태를 나타내었다.

96년 9월말 굴착이 종료되었으며 지하수위는 G.L.-22.0M정도에서 수렴되다가 98년 4월 중순경부터 회복되는 경향을 나타내기 시작했다. 시공 중지 건물 3층에 설치한 Tiltmeter는 굴착종료시 A⁺방향 0.049° (0.855/1000), B⁻방향 0.032° (0.558/1000)의 경사각을 보였는데 98년 2월까지 A⁺방향은 지속적인 증가현상을 나타내었다. (A⁺: 0.105° (1.832/1000), B⁻: 0.030°)

96년 9월말 정거장 굴착작업 종료후 시공 중지 건물 1층바닥에 Tiltplate 2개를 추가로 설치하여 97년 5월 26일 및 11월 26일 초기치를 측정하여 계측관리를 시행한 결과 별다른 변형증가 현상이 없다가 5단, 6단 버팀보 해체시 0.33/1000~0.41/1000정도의 기울기 변화가 나타났다. 즉 C.I.P. 선단부 버팀보 해체시 그동안 이완되어 있던 지반특성상 추가변형이 발생한 것으로 판단되었다. 시공 중지 건물 및 교회건물쪽의 지중경사계는 버팀보 5단, 6단 해체후 방수 시공 과정에서 해체 버팀보 하단부 벽체 뒷채움 작업이 지연되고 무지보 구간이 늘어남에 따라 98년 2월 16일에서 3월 16일 사이에 G.L.-11.0M~G.L.-18.0M구간에서 Cumulative 변형이 10~20mm정도 발생하였다. (교회건물쪽의 변형량이 큼: 그림 8. 참조) 이는 무지보 구간에서의 이완에 따른 Incremental 변형증가 현상에 기인한 결과로 나타났다. (98년 1월 8일: 6단 버팀보 해체, 2월 5일: 5단 버팀보 해체) 이에 따라 3월중에 Con'c로 벽체 뒷채움 작업을 시행하여 변형이 수렴되었다.

버팀보에 설치된 Load Cell 및 Strain Gauge는 9단 버팀보 설치시점까지 지속적인 하중증가 경향을 보인뒤 대체로 수렴되는 경향을 보였으며 그 이후로는 경시적인 온도변화에 따른 하중증감 현상만 나타내었다. 버팀보 축력은 굴착기간중 최대 38.2Ton, 굴착완료후 최대 51.7Ton의 하중을 나타내었다.

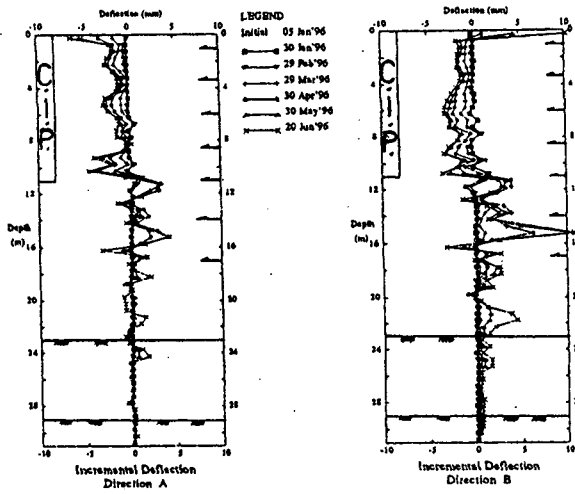


그림 5. 지중경사계 계측결과 (중지건물)

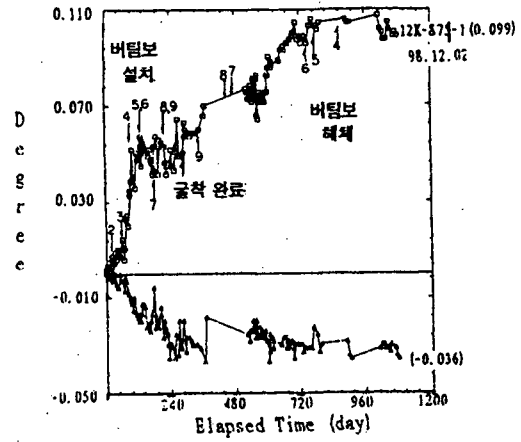


그림 6. 건물경사계 계측결과 (중지건물)

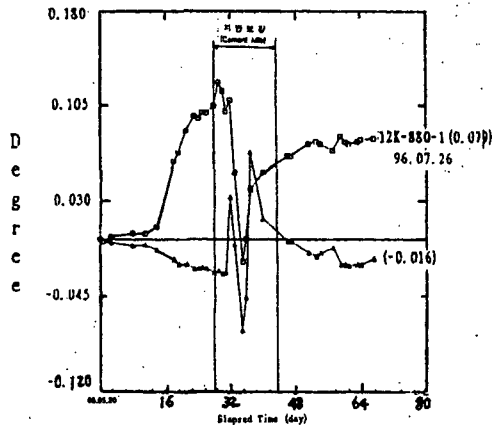


그림 7. 건물경사계 계측결과 (교회 지하1층)

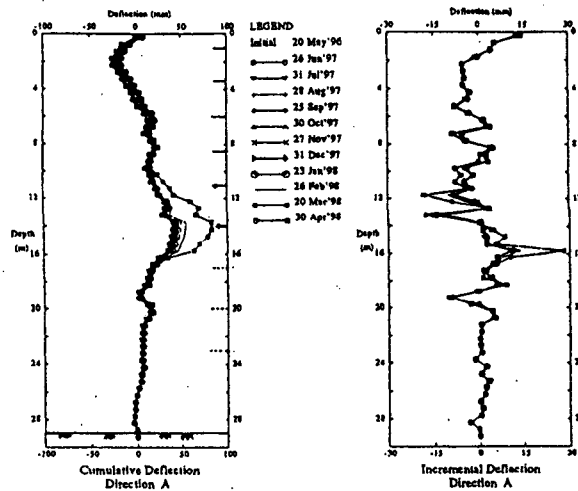


그림 8. 지중경사계 계측결과 (교회)

3.2.3 건물변형에 대한 종합적인 고찰

- 지층구조 및 지하수위, 지반의 투수계수, 교회건물 관련 Grouting 결과 등의 관점에서 볼 때 B-57 Boring공 부근은 지하수 유출에 따른 토립자 유실 및 지반이완이 상대적으로 큰 것으로 나타났다.
- 교회건물은 상대적으로 규모가 작은 철근 Con'c Rahmen 구조의 구조물로서 지반의 부동침하에 민감하게 반응하는 것으로 나타났으며 앞에서 언급한 지층구조적 요인으로 B-57 Boring공 인접부에서 토립자 유실에 따른 지반내 공극발생 및 침하가 커서 교회건물 및 시공 중지 건물 모두에서 피해가 발생한 것으로 판단된다.
- 시공중지건물의 Tiltmeter 계측결과 굴착완료후에도 상당기간 지속적인 변형각 증가현상을 보여 토립자 유실로 발생한 지반내 공극이 장기간에 걸쳐 안정화하는 과정에서 지속적인 부동침하 발생으로 건물에 피해를 가하는 것으로 판단된다. (그림 6. 참조)
- 굴착과정에서 상대적으로 큰 변형이 발생한 C.I.P. 선단부는 버팀보 해체시에도 추가 지반 변형이 나타나고 이에 따라 건물경사계 계측치의 변화가 민감하게 나타나고 있어 토류벽체 배면지반이 상당한 거리까지 이완되어 있는 것으로 판단된다. 따라서 굴착과정에서뿐만 아니라 구조물 시공과정에서도 C.I.P. 선단부 시공시에는 특별히 변형억제를 위한 노력과 대책이 필요한 것으로 나타났다.

3.3 본 계측 사례를 통한 교훈

- 지반조건(다짐 및 교란상태, 지하수위, 투수계수, 압층의 파쇄상태) 및 지층구성 조건이 불량한 장소에서의 근접시공 계획시에는 굴착과정에서 지하수위 저하에 따른 침하, 토립자 유출에 따른 침하로 인접건물에 피해를 주는 경우가 많으므로 지반조건에 맞는 실질적인 차수공법의 연구 및 적용이 절실히 요구되며 또한 주요구조물에 대하여는 사전 또는 시공중 소극적인 차수공법 이외에 적극적인 지반 및 구조물 보강공법의 적용이 필수적이다. 더불어 이러한 실질적인 계획수립을 위한 추가지반 조사의 필요성이 강조된다.
- 굴착시공시에는 적용차수공법의 한계성을 인지하여 지반특성에 따른 예상 문제점을 파악하고 적극적으로 변형억제를 위해 노력해야 한다. (과굴착금지, 계측 및 현장조사에 근거한 시공관리, C.I.P. 벽체의 거동특성 인지등)
- 시공중 건물에서의 피해발생등 민원제기 및 문제점 발생시는 신속하게 원인을 규명하고 적극적으로 대처하여야한다. (정확한 계측결과 분석에 따른 신속하고 과감한 대처가 요망됨)
- 실질적인 계측관리 및 계측결과의 현장적용을 위한 발주 System 연구 및 대가반영의 필요성이 강조된다. (경험많은 고급기술자의 투입으로 계측에 의한 피해 사전 예방에 노력하고 피해사례 수집 및 분석과 교육을 통한 전파가 중요)

4. 결론

- 1) 본 원고의 피해 사례에서와 같이 현재 국내 지하철 현장 개착구간에 대한 차수공법의 설계 및 시공 사례에서 지반조건 및 현장여건에 맞지 않는 형식적인 차수공 설계 및 시공은 개선되어야 할 것이다. 지반의 투수계수등 기본적인 특성에 부합된 공법이 국내기술에 의하여 불가능시는 새로운 공법의 도입도 검토되어야 할 것이다.
- 2) 계측결과에 따른 정보화 시공의 관행이 정착되어야 하겠다. 시공과정에서 막연한 개인적 경험이나 시공상의 부득이함을 이유로 과굴착을 진행하거나 지보재 설치가 지연되는 사례, 문제 발생시 계측결과에 따라 신속히 지반 및 구조물 보강이 이루어지지 않는 사례, 불필요한 변형을 억제하기 위한 노력을 회피하는 사례들은 지양되어야 한다.
- 3) 현장 담당책임 기술자들의 계측결과 분석에 대한 전문성 제고가 요망된다. 문제 발생시 계측결과에 근거한 실제 현장 Project를 통한 경험이 아니라 상식과 주관적인 판단에 의한 대처로 시행착오를 반복하는 오류를 막아야 할 것이다.
- 4) 계측결과에 근거한 피해사례의 Data Base화로 향후 유사 Project에서 동일한 원인에 의한 반복적인 건물피해 발생의 시행착오를 막아 경제적 손실을 줄여야 하겠다.

참고문헌

- (1) 김성욱, 김주봉(1998), "경사계의 전반적 고찰과 굴착공사에서의 변형분석 사례연구", 한국지반공학회 '98 가을학술발표회 논문집, PP 233~240.
- (2) 김학문(1997), "정보화 시공을 적용한 도심지 지반굴착", 한국지반공학회 '97 정보화 시공·지반굴착 위원회 공동학술발표회 논문집, PP 5~56.
- (3) 이종규(1996), "근접 깊은 굴착에 따른 거동과 그 문제점", 한국지반공학회 '96 가을학술발표회 논문집, PP 25~36.
- (4) 인천광역시 지하철 건설본부, (주)대우건설(1996~1998), "인천도시철도 1호선 2감리공구 토목공사 전면책임감리 계측 월간보고서"
- (5) 한국산업안전공단(1997), "지하철 건설현장 감리·감독자를 위한 건설안전", 특별교육교재 4-905-AO-296, PP 55~76.