

## 경사계의 전반적 고찰과 굴착공사에서의 변형분석 사례연구 Overall Review on Inclinometer and Case Study of Deflection Patterns in Deep Excavation

김성욱<sup>1)</sup>, Sung-Wook Kim, 김주봉<sup>2)</sup>, Joo-Bong Kim

<sup>1)</sup> (주) 흥인E&I 이사, Director, Heung In Eng. and Instrumentation Co., Ltd.

<sup>2)</sup> (주) 바우컨설턴트 대표이사, President, Bau Consultant Co., Ltd.

**SYNOPSIS** : Inclinometer measuring results give us many useful and wide information of ground and structure behavior in the geotechnical engineering field. But it is essential to understand correctly the principle of inclinometer measurement and to carry out properly the instrumentation and measuring procedure. This article describes general and important problems and points for the practical use of inclinometer data. Furthermore this article introduces the overall interpretation examples of inclinometer data in the deep excavation projects.

**Key words** : inclinometer, instrumentation and measuring procedure, interpretation examples

### 1. 서론

국내에 계측이 도입된 이후 현재까지 각종 토목 및 건축공사 현장에서 계측기법이 널리 적용, 활용되고 있으나, 아직까지 계측분야에 대한 전문성 부족과 제대로 된 계측에 대한 의지부족 및 인식부족, 계측결과와 실질적 이용에 의한 계측의 효율성 검증미비 등으로 전문분야별 적극적인 연구 및 제대로 된 계측에 의한 사례의 축적, 이의 활용이 제대로 이루어지지 않고 있으며 불필요한 시간, 경비, 노력의 낭비가 허다하게 발생하고 있는 것이 현재의 실정이다.

지반공학분야(Deep Excavation, 사면, Tunnelling, 연약지반 성토, Dam 등)에 적용되는 계측항목중 가장 중요하고 실용성 있는 지반 및 성토재료, 구조물 등의 거동자료를 제공하는 것이 경사계이다. 그러나 현실에 있어 경사계 측정의 기본원리 이해, 경사계 계측계획, 설치 및 측정, 측정 Data의 이해 및 활용 등에 있어서 기존의 잘못된 인식 및 오류, 전문성 부족으로 경사계 계측 Data의 활용이 제대로 되지 못하고 있을뿐더러 이로 인하여 계측자체에 대한 불신과 잘못된 계측결과에 따른 혼란으로 계측자체의 실효성이 위협받고 있는 것이 국내의 현실이다.

본고는 그동안의 많은 굴착공사 Project 수행과정에서의 실패와 교훈, 경사계 Data의 실질적 활용을 위한 노력 등을 통하여 얻어진 세반 문제점과 사례, 개선방안을 정리, 소개함으로써 잘못된 관행이 통용됨과 동시에 이로 인해 지반공학의 발전을 저해하고 있는 현실을 고찰하고 향후 지반공학분야에서의 경사계 Data의 실질적 이용에 보탬이 되고자 한다.

### 2. 경사계 Data의 정밀도에 영향을 주는 요소

경사계 측정 Data의 정확성(Accuracy), 정밀성(Precision)을 동시에 포함하는 의미에서의 정밀도에 영

향을 주는 요소는 다음과 같다.

- 계측담당자의 기술과 주의
- Condition of Wheel Assembly
- Casing Diameter
- Spiraling of Casing
- Depth Interval Between Reading Positions
- Handling of Probe
- Precision of Gravity-sensing Transducer
- Casing Alignment
- Borehole Back-filling Procedure
- Repeatability of Reading Position
- Temperature Effects

### 3. 경사계관의 설치계획 및 설치상의 주의사항

- 1) 경사계 측정치의 최대 Precision을 얻기 위하여는 주위지반에 대한 교란을 최소화하는 Boring 장비 선택 및 작업관리가 이루어져야 한다. 또한 Borehole의 수직도 관리도 중요한 사항이다.
- 2) 경사계관의 하부는 부동점이 되어야 하므로 천공깊이는 안정된 지반까지 도달하여야 한다. 지질상태, 굴착 및 구조물의 형상, 현장여건들을 고려하여 천공깊이를 결정하는데 예상변형 Zone 하부 3~6m 정도가 적절한 것으로 제안하고 있다. 국내 연약지반에서의 굴착공사 경험에서는 굴착바닥면 하부로 굴착깊이의 2배정도까지 변형이 발생하는 것으로 실측되어 향후 연약지반 굴착공사에서의 경사계관 설치깊이 산정시 참고하여야 할 것이다.
- 3) 경사계관과 공벽사이의 공간은 현장여건에 맞게 Grout재, Sand, 콩자갈 등으로 채워야 하는데 채움작업시 지반조건(파쇄층, 유수 Zone, 자갈 및 사석층)에 맞게 즉각 대처해야 한다. Grout재 사용시의 재질 및 배합비는 현장여건에 맞게 결정하고 Grouting을 위한 주입 Hose는 반드시 경사계관에 부착하여 하부에서부터 상부로 Grouting을 시행하여야 한다. Grouting 직후 반드시 Grouting 상태를 확인하고 Grouting 상태에 따라 필요시 추가 Grouting을 시행한다.
- 4) 경사계관 설치과정에서 최종적인 Key-way 방향이 제대로 Setting 되도록 노력하여야 한다. (Casing 인발시 주의요망)
- 5) 경사계관 설치시기는 굴착공사 착수이전으로 하되 H-pile 설치, 지반보강 및 차수공법 시공 등에 의한 파손이 없도록 계획하여야 하고 경사계관 주위 채움 Grout재의 양생기간도 고려하여야 한다.
- 6) 경사계관 설치위치의 결정은 천공과정에서 Borehole의 만곡으로 굴착중 관의 파손이 생기지 않도록 적절한 이격거리를 유지하여야 한다. 또한 경사계관 설치후에는 경사계관의 Absolute Position을 파악하여 Earth Anchor, Nail, Rock Bolt 시공에 의한 관의 파손이 생기지 않도록 조치해야 한다.
- 7) 기존 굴착 시행구간 인접구역에서의 경사계관 설치시에는 설치지점의 지반특성에 기인하여 굴착과 관계없는 지반안정화과정에서의 변형이 발생할 수 있으므로 초기치 측정전 충분한 Grout재 양생여부 및 지반안정화 여부의 확인이 필요하다.
- 8) 경사계관 주위 채움 Grout재가 충분히 양생되지 않은 상태에서 굴착이 진행될 때에는 굴착에 따른 지반변형의 정확한 분석이 불가하며 경사계관 설치와 병행하여 인접부에서 타공종이 진행될 시 (Micro pile, Root pile, J.S.P., Nail 시공 등)에는 굴착과 관계없는 변형이 발생할 수 있다.
- 9) 지층경계부의 움직임 확인, 활동면 변형 확인을 위해서는 동일 횡단면상에 2개 이상의 경사계를 설치하여야 하며, 설치위치는 설계 및 현장여건을 고려하여 결정한다. (예: Earth Anchor 정착장 부근 추가 설치 등)
- 10) 굴착공사에서 버팀보 지지형식일 경우 경사계는 대칭으로 계획하여 계측결과 분석에 활용한다.
- 11) 경사계 설치위치 결정시는 토류구조의 형식에 따라 지중 및 토류벽체내 설치의 차이점을 인식하고 변형량의 차이, 계측결과와 분석 및 이용방법 등에 대한 사전검토가 있어야 한다.
- 12) 굴착공사 인접부 중요 구조물의 변형파악을 위한 계측 계획시에는 경사계 Data의 설치위치에 따른 국부적 변형특성의 한계성을 인지하여 경사계 및 Tiltmeter 추가설치 등을 검토해야 한다.
- 13) 경사계관 설치시 Spiraling을 최소화하기 위하여 사전 경사계관 및 Coupling의 결합 및 Check, 설치 과정에서의 주의 등 노력이 필요하다. 경사계관 설치심도가 상당히 깊어 관의 Spiraling이 분쇄될 시

는 압출방식이 아닌 경사계관 Keyway가 내부절삭에 의하여 제작된 제품을 사용하는 것이 추천된다.

#### 4. Calibration과 Maintenance

경사계는 매측정시 또는 정기적으로 측정장비의 이상유무를 점검하여야 한다. 다음에 소개하는 3가지 Field Check 방법중의 한가지에 의하여 정기적으로 점검하고 문제 발견시에는 제작사에 보내 수리하면 된다. 정기적으로 단지 Calibration 목적으로 제작사에 경사계를 보낼 필요는 없다.

< Field Check 방법 >

- ① Near-Vertical Test Casing
- ② Test in Bottom of Near-vertical Field Casing
- ③ Test Stand

#### 5. 경사계 측정시 주의사항

- 1) Accuracy를 위하여 같은 제작사 Probe도 호환하여 사용하면 안된다. Probe의 고장이나 이상발생으로 부득이하게 Probe를 교체시에는 기존 Probe와 교체 Probe의 측정 Marking 거리의 차이를 반드시 확인하고 보정해야 한다.
- 2) High Precision을 위하여 동일 측정자, 동일 장비, 동일 Cable의 사용이 필요하다.
- 3) 매 계측 시행전 경사계 측정 System의 이상유무를 확인하기 위하여 Field Check를 시행한다. Field Check 불가능시는 Check-sum Stability Check 방법을 반드시 사용해야 한다.
- 4) 180° 회전하여 계측함으로써(즉 Diff 계산에 의해) Systematic Instrument Error, Casing Irregularity Error를 최소화하는데 매측정의 신뢰도에 대한 점검은 Check-sum으로 시행한다. (Data 수집시 현장에서 Readout상 확인가능)
- 5) 초기치 측정시에는 주변형방향의 표시가 중요하며 초기치 측정은 한 Hole에 대하여 연속 3회정도의 계측을 시행하여 Repeatability를 Check함으로써 경사계관의 유동상태, 즉 Grout재의 양생상태 확인과 동시에 Probe의 이상유무를 확실히 Check할 수 있다.
- 6) 초기치 측정시에는 경사계관 두부에 대한 Transit 측량이 필요한데 경사계관 부동점에 문제가 없어도 가끔 Transit 측량으로 경사계 계측치와 비교해 보는 것이 좋다.
- 7) 경사계관이 파손되거나 변형이 심해 Probe 삽입이 불가능한 경우는 Dummy Probe를 사용하여 측정가능성을 판단하여야 하며 실수로 Probe가 걸렸을 경우는 계측사의 자문에 따라 회수후 반드시 Probe의 이상유무에 대한 점검을 시행하여야 한다. 보통 Probe의 자유낙하로 Probe가 걸리는 경우가 많이 발생하므로 자유낙하는 반드시 지양해야 한다.

#### 6. 경사계 Data 처리방법

Data 처리의 첫단계는 Check-sum의 확인이다. Check-sum은 보통 Zero Offset(bias)의 2배에 해당되는 값으로 부가적인 사항은 다음과 같다.

< Check-sum >

- 오차에 대한 Data 점검에 이용(이상적으로는 주어진 Data Set에서 각 측정에서 일정해야 한다.)
- 실제로는 Casing Condition, Instrument Performance, Operator Technique에 따라 변한다.
- 경사계 제작사에서 Check-sum의 변화크기를 규정하고 있다.

< 경사계 변형량 계산과정 >

- ① 각 방향별 180° Difference 계산 ( $Diff = A^+ - A^-$ )
- ② 매측정깊이별 Change 계산 ( $Change = Diff_{\text{측}} - Diff_{\text{전}}$ )
- ③ 바닥으로부터 Cumulative Change 계산

#### ④ Cumulative Change의 Deflection으로의 변환

< 용어의 정의 >

- ① Incremental Deviation : 주어진 측정깊이에서 Probe 상부 Wheel에서 Probe 하부 Wheel을 지나는 가 상수직선까지의 수평거리
- ② Cumulative Deviation : 바닥에서부터의 Incremental Deviation의 누적치로 경사계관의 Absolute Position을 나타낸다.
- ③ Incremental Deflection : 같은 측정깊이의 두 측정 Data간의 Incremental Deviation의 차이
- ④ Cumulative Deflection : 바닥에서 부터의 Incremental Deflection의 누적치로 두 측정 Data간의 Casing Profile의 변화량을 나타낸다.

< 경사계 Data 출력 기본 Graph 종류 >

- ① Absolute Position Graph : 실제 경사계관의 모양
- ② Incremental Deflection Graph : 변형발생 Zone의 위치를 표시
- ③ Cumulative Deflection Graph : 실제변형 Pattern의 시각적 표현
- ④ Time-Deflection Graph : 특정 깊이에서의 Cumulative Deflection의 경시적 변화 (변형 Trend 파악, 예측시 사용)

### 7. 경사계 Data 해석시 주의사항

- 1) 경사계 측정의 통상의 목적은 경사계관의 정확한 모양을 알아내는 것이 아니고 변형 Zone의 위치를 파악하고 경시적인 변형 Zone의 변화를 평가하는 것이다.
- 2) 계측기에 이상이 없더라도 Cumulative Deflection Graph는 잘못된 변형증감의 결과를 나타낼 수 있는데 이것은 Incremental Deflection Graph상 특정부위에서 각종 Error에 기인한 계측치의 튀현상이 생기거나 관의 유동에 의한 전반적인 변형증가가 있을 때이다.
- 3) 따라서 국내에서 통상적으로 시행되는 Cumulative Deflection Graph만에 의한 시공관리는 상당히 문제점이 많다. (구조계산 결과에 따른 벽체변형량 및 경험치에 의한 벽체변형량과 계측에 의한 Cumulative Deflection량의 단순비교에 의한 안정성 판단이 일반적인 현실임.)
- 4) 경사계 Data의 해석시에는 Check-sum의 이상유무 파악 및 Incremental Deflection Graph의 사전검토에 의해 계측치의 신뢰성 검증과 변형발생 원인규명이 선행되어야 한다.

### 8. 경사계 측정 Data의 이해 및 활용에 대한 사례

그동안의 실제 굴토공사 Project 수행과정에서 얻어진 경사계 Incremental Deformation Graph 형태와 지반변형 특성의 상관성, 기타 경사계 측정 Graph를 이용한 해석에 있어서 주의사항 및 참고사항을 다음에 열거 정리하였다.

#### 1) 주열식 벽체구간 지반변형 특성사례

C.I.P, S.C.W, J.S.P 등 주열식 벽체 시공구간에서 주열식 벽체 배면에 설치된 경사계 Incremental Deformation 형태는 회전변형 특성, 강성변화부에서 변형급증 특성을 일반적으로 나타내는데 보통 과굴착, 지하수위 저하 및 토립자 유출현상이 이 변형량을 증가시키는데 기여하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 주열식 벽체 시공에 따른 안이한 시공관리는 예기치 못한 인접지반의 침하, 변형, 균열발생 등을 야기시키게 된다. (그림 1참조)

#### 2) 지층경계부 변형특성 사례

굴착진행시 지층경계부에서의 움직임이 나타나는 사례로 지층경계부의 움직임이 지표로 연결시는 지표면에서의 인장 Crack 발생, 영향권내 건물이 위치할 시는 건물의 손상이 나타나게 된다. 경사계 설치잘못으로 '오관하여 큰 피해를 입는 경우가 나타날 수 있다. (그림 2참조)

#### 3) 토립자 유출 변형특성 사례

투수성이 큰 토사지반에서 굴착진전에 따라 수위가 저하될 때 토립자 유실이 동반되는 사례로 이 경우 인접구조물에서의 피해사례가 많이 나타나고 있다. 인접구조물의 기초형태를 포함한 기하구조, 원지반의 다짐 및 공극특성에 따라 피해특성이 달라진다. (그림 3참조)

4) Incremental Deflection 모양과 Crack 발생 상관관계

연약지반에서 Incremental Deflection이 심도에 따라 거의 같은 크기로 일시에 증가하거나 주열식 벽체구간에서 선단부 변형이 급증시에는 지표면상에 Crack이 발생될 수 있다. (그림 4참조)

5) 경사계관의 흔들림 사례

경사계관 설치시 지반조건에 따른 대처미흡, 양생문제, Grouting 방법의 문제에서 경사계관이 흔들릴 경우 제대로 분석이 불가하며, Cumulative Deflection Graph만 제공될 경우 불필요한 혼선만이 생긴다. 따라서 초기에 문제점을 파악하여 재설치 등의 조치를 취해야 한다. (그림 5참조)

6) 경사계 Data와 수위 Data의 상관성 사례

수위저하 구간에서 경사계 Incremental 변형이 급증시, 이 때 상부구간에서도 이에 따른 후속변형이 나타날 때는 토류벽체 배면에 공극이 크게 발생할 수 있는 가능성이 있다. (그림 6참조)

7) 경사계 대칭 Data의 이용사례

굴착공사에서 횡단면상 대칭으로 경사계 설치시에는 양쪽 경사계의 Incremental 변형분석 및 상관관계에서 버팀보를 통한 응력의 전달 및 이에 따른 지반변형에의 기여현상 등의 분석이 가능하다.

8) 측방유동 변형 특성사례

연약지반에서의 굴착시 굴착진전에 따라 굴착면 하부지반에서 전단강도 부족으로 과대한 측방변형이 발생할 수 있다. (그림 7참조)

9) 버팀보 해체시 경사계 변형사례

굴착공사에서 버팀보 해체시에는 버팀보가 담당하는 토압범위에서 지반변형이 발생하는데 기굴착과정에서 변형량이 많았던 구간은 특히 주의를 요한다. (그림 8참조)

10) H-Pile 부착 경사계 Data 분석 및 대처사례

H-Pile에 부착되어 설치된 경사계의 경우 일단 큰양의 1차 변형이 발생하면 경사계 Incremental 변형 Graph 분석에 의해 이완범위를 확인하고 신속한 대응조치를 취해야 하며 시기를 놓칠 경우 대규모 Sliding이 발생할 수도 있다. (그림 9참조)

11) Raker 설치구간 변형계측 사례

Raker 설치구간은 시공특성상 과굴착이 이루어지고 지보재 설치시까지 상당시간이 경과하는 이유로 일시에 큰양의 Incremental 변형이 나타나는 특성을 보인다. (그림 10참조)

12) 경사계 설치후 인접부에서의 시공에 따른 변형사례

경사계 설치지점 인접부에서 추가 계측기 설치를 위한 천공작업시 또는 기존 지하철 공사완료구간 인접부에서 경사계 및 타 보조공법 병행시행후 Grout재의 충분한 양생기간이 확보되지 못한 상태에서 굴착 및 Nail 등의 시공이 이루어질 때 지반조건에 따라 교란지반의 안정화과정에서의 변형이 발생할 수 있다. (그림 11참조)

13) 선굴착공사 시행완료구간 인접부에서 추가 굴착공사 관리를 위한 경사계 설치시 변형사례

선굴착공사시의 굴착 및 지하수 저하, 토립자 유출 등에 따른 지반이완이 발생한 구간에서 추가 굴착공사 보조공법 시공후 바로 경사계가 설치될 경우에는 기존 지반상태 및 보조공법 적용에 따른 추가 지반교란 효과에 의하여 굴착과 관련없는 변형이 발생할 수 있다.

14) Nail 및 E/A 천공시 경사계 변형사례

토사구간에서 Nail 및 E/A 시공을 위한 천공작업시 경사계 Incremental 변형형상은 천공지점 부근은 굴착면쪽의 변형, 천공지점 상부는 굴착배면쪽의 후속변형을 일반적으로 나타낸다.

15) E/A 긴장시 경사계 변형 Data 사례

E/A 긴장시에는 토류벽체의 종류에 따라 회전변형 형태 및 굴착배면쪽의 Incremental 변형이 나타난다. (그림 12참조)

16) 경사계 Data와 Tiltmeter Data의 상관성

경사계 Data와 Tiltmeter Data 사이의 상관성은 경사계 설치위치와 건물과의 이격거리에 따라서 달

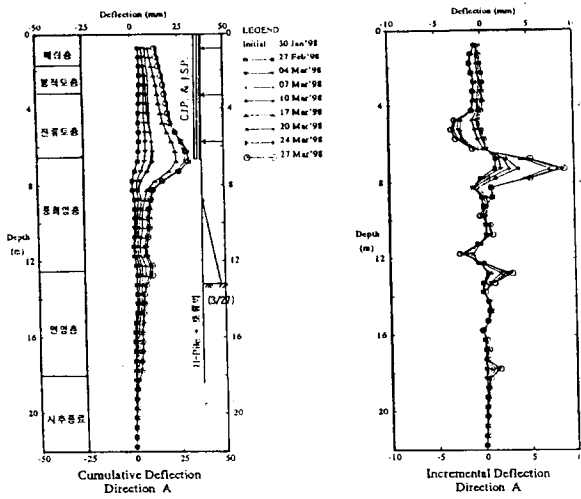


그림 1. 주열식 벽체구간 변형사례

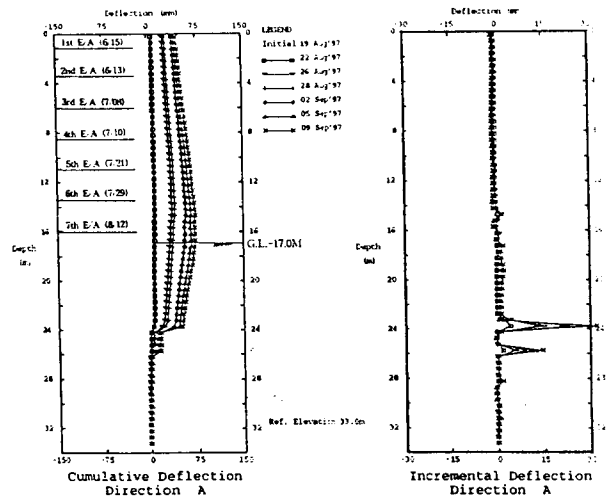


그림 2. 지층 경계부 변형사례

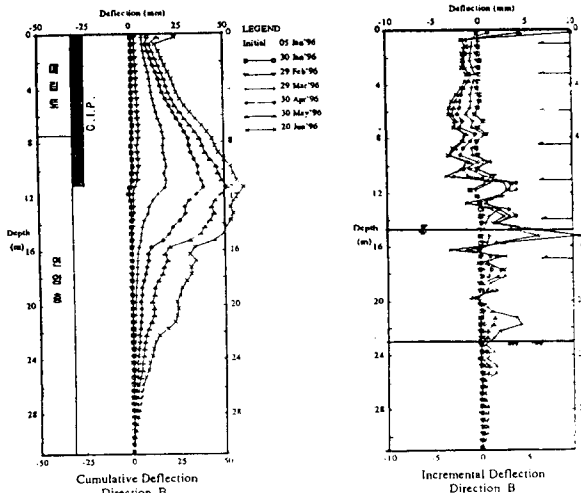


그림 3. 토립자 유출 변형사례

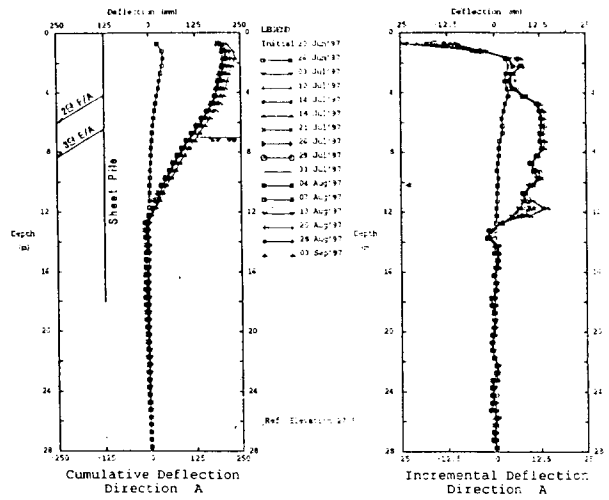


그림 4. Crack 발생과 연계된 변형사례

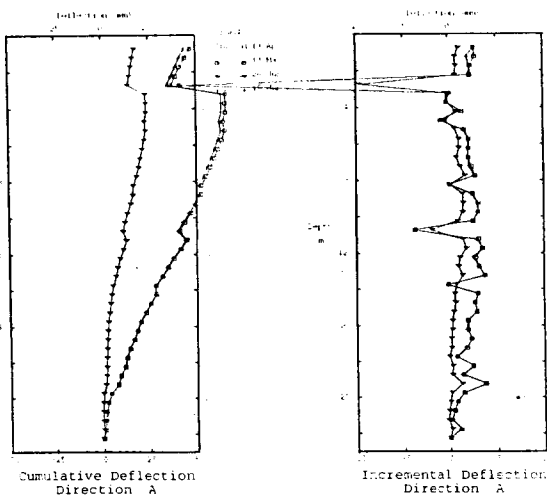


그림 5. 경사계관 유동 변형사례

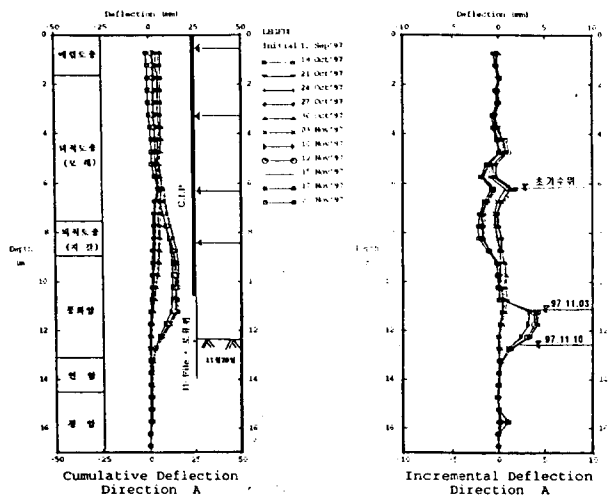


그림 6. 수위저하와 연계된 변형발생사례

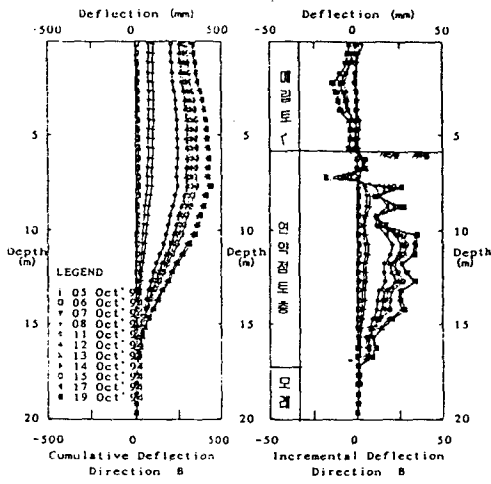


그림 7. 축방유동 변형사례

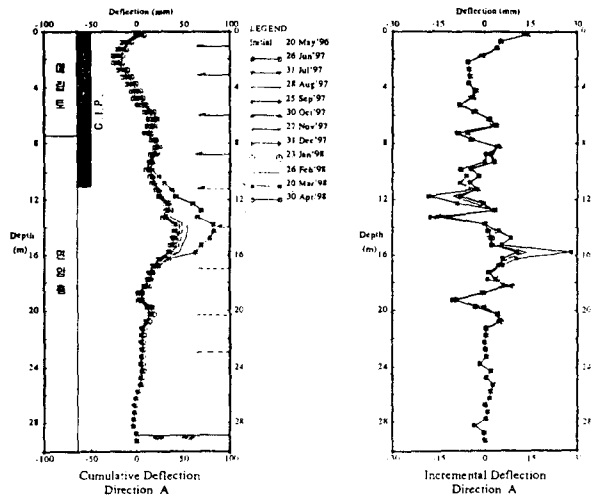


그림 8. 버팀보 해체시 변형사례

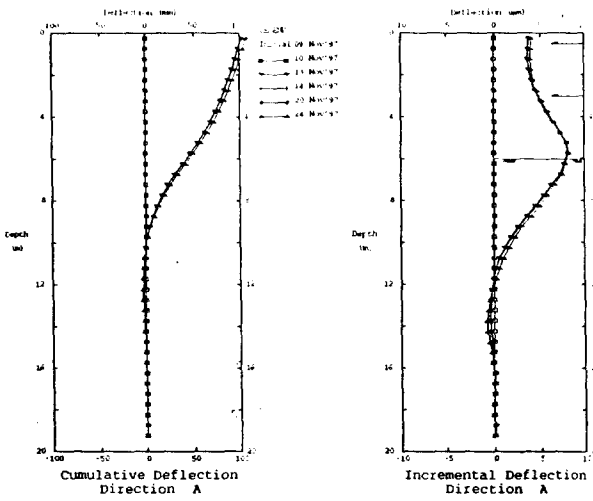


그림 9. H-Pile 부착 경사계 변형사례

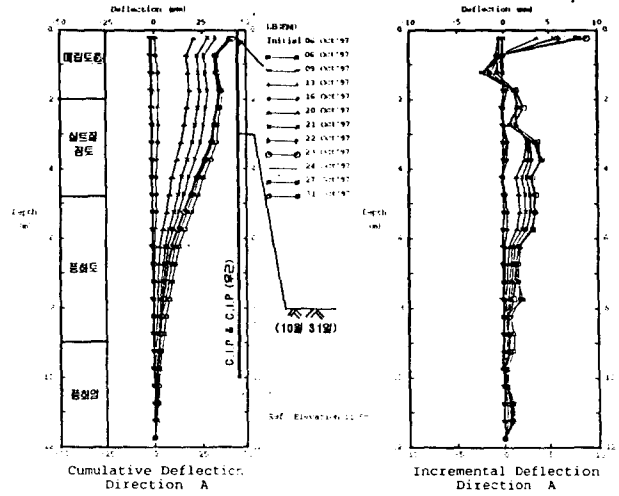


그림 10. Raker 구간 변형사례

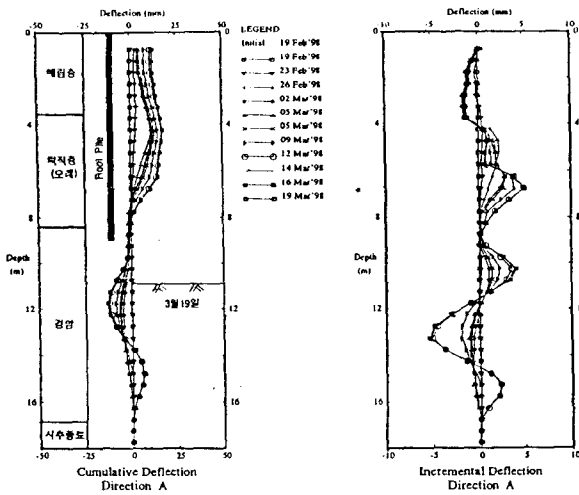


그림 11. 경사계 인접부 기타 시공에 따른 변형사례

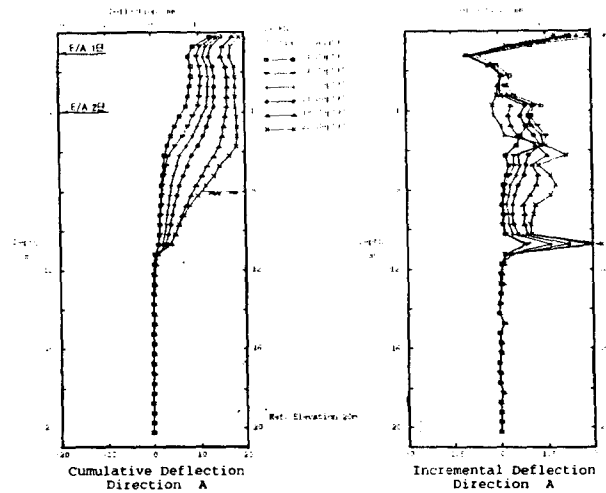


그림 12. E/A 간장시 변형사례

라지며 보통 지반이 많이 이완되면 경사계와 Tiltmeter Data가 같이 움직이며 특별한 주의가 요망된다. 토류벽체 가까이 경사계가 설치된 경우 경사계의 변형발생후 후속적인 Tiltmeter의 변형발생이 보편적이다. Tiltmeter 계측치는 시간경과에 따라 경사계와는 별도로 건물하부 지반의 안정화과정에서 따라 불규칙하게 또는 지속적으로 계측치가 증가할 수도 있다. 따라서 지반조건, 현장여건에 따라 경험에 기초한 적절한 계측계획의 수립 및 분석이 필요하다.

#### 17) 경사계 Data와 L/C, S/G Data의 상관성

굴착공사에서 경사계 Data와 L/C, S/G Data의 상호 연계된 분석은 대단히 중요하며 각 계측항목별 단순 계측관리 기준치에 의한 안정판단보다 실제적인 지반 및 지보재의 거동, 이들의 Interaction 상태를 파악, 해석해야 한다. E/A 설치구간에서는 경사계 Incremental 변형, Cumulative 변형형태와 하중계 증감상태를 상호 비교함으로써 응력-변형관계를 추정, 파악할 수 있다. ( 예 : Cumulative 변형증가시 하중감소, Cumulative 변형감소시 하중증가, 지층경계부 변형시 하중증가 등 )

버팀보 설치구간에서는 토류벽체의 강성에 따라 하중증감현상과 경사계의 Incremental, Cumulative 변형을 적절히 대응하여 해석할 필요가 있다.

상기에서 언급한 경사계 변형은 단독으로 나타나기도 하지만 복합적으로 나타나는 것이 일반적인 사례이다. 따라서 경사계 Data의 Incremental 변형과 Cumulative 변형을 모두 이용하여 보다 효율적이고 실질적인 거동분석이 이루어져야 할 것이다. 상기 사례에서 보듯이 실제적으로 Incremental 변형 Graph의 효율성과 가치는 매우 크며, 이를 적극적으로 이용하여 보다 현실성있는 지반거동의 파악이 이루어져야 하겠다.

## 9. 결론

- 1) 굴착공사 관련 사고 및 문제발생 예방차원에서 경사계 측정 Data의 효율적이고 실질적인 이용을 위하여는 Incremental Deflection Graph를 제대로 활용하여야 하겠다. 국내에서 일반적으로 통용되는 Cumulative Deflection Graph만에 의한 현장관리 및 분석은 많은 문제점을 갖고 있으며 지양되어야 할 것이다.
- 2) 경사계 계측 Data의 실질적 이용을 위하여는 현장관련 기술자들이 계측수행과정에서 얻어지는 특이한 거동, 사고 및 문제사례 등을 축적하여 Data Base화 하고 유사 Project에 이용함으로써 동일한 시행착오의 반복을 줄여야 하겠다.
- 3) 제대로 된 계측수행 풍토를 확립하여 부실한 계측수행을 추방하고 제대로 된 계측에 의한 계측사례 및 계측치의 축적으로 국내지반 및 시공여건에 맞는 계측관리 기준치의 정립에 노력하여야 하겠다.

## 참고문헌

1. (주)홍인E&I(1997), "대전 LG 둔산타워 신축공사 월간 계측관리 보고서"
2. (주)홍인E&I(1998), "홍국생명 인천사옥 신축공사 월간 계측관리 보고서"
3. (주)홍인E&I(1997), "성균관대 600주년 기념관 월간 계측관리 보고서"
4. 인천광역시 지하철 건설본부, (주)대우/건설(1996), "인천도시철도 1호선 2감리공구 토목공사 전면책임 감리 계측 월간 보고서"
5. (주)홍인E&I(1997), "LG마트 안산점 신축공사 월간 계측관리 보고서"
6. (주)홍인E&I(1997), "분당 동아 글로리 신축공사 월간 계측관리 보고서"
7. 승보엔지니어링주식회사(1994), "아산만 한보 철강단지 계측관리 종합보고서"
8. (주)홍인E&I(1997), "부산 학장동 우성아파트 신축공사 월간 계측관리 보고서"
9. (주)홍인E&I(1997), "문정동 대우 조합아파트 신축공사 월간 계측관리 보고서"
10. (주)홍인E&I(1998), "분당 LG 트윈텔 신축공사 월간 계측관리 보고서"
11. Dunicliff(1988), "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance", A Wiley-interscience Publication, John Wiley & Sons, pp.250~268