

지반굴착공에서 계측기기 설치 및 측정시 문제점과 대책방안

한 석희¹⁾, Seok-Hee Han , 고 문수²⁾, Mun-Su Go

¹⁾ 유신코퍼레이션 지반공학부 이사

²⁾ 유신코퍼레이션 지반공학부 과장

1. 서 론

건설현장에 정보화시공의 일환으로 계측이 도입된 이래 많은 토목기술자들의 관심과 노력으로 최근 토목계측은 괄목한 만한 성장을 해 오고 있다. 그럼에도 불구하고, 아직까지 상당수의 기술자들이 계측기기의 특성과 설치 및 측정에 대한 기본적인 사항을 이해하지 못하여 불필요한 시행착오를 겪고 있는 것이 현실이다. 또한 해를 거듭할수록 정밀도가 향상되고 새로운 기능을 갖춘 다양한 계측기기가 보급되고 있어서 이에대한 특성과 취급방법을 제대로 파악하지 못할 경우 계측목적에 부합되는 소기의 성과를 거두기 어려울 것으로 생각된다.

본 고에서는 이러한 상황을 염두에 두고 계측기기의 근본적인 작동원리를 소개하고, 설치 및 측정시 발생될 수 있는 문제점과 그 대책방안에 대해 논하고자 한다.

2. 계측기기 특성 및 설치, 측정시 문제점과 대책

2.1 지중수평변위계(Inclinometer)

2.1.1 작동원리

근래에 널리 사용되고 있는 Inclinometer는 서보가속도계식 변환기(Servo accelerometer type transducer)를 내장하고 있는데 그 작동원리는 다음 그림 1.1과 같다. 검전기(Position detector)의 자기장에 한 질점(Mass)이 놓여있는데 감지장치가 위치변동을 일으키면 질점위치가 변화하여 **중력의 작용방향**으로 기울어지게 되며 이로 인하여 검전기에 전류의 변화가 일어나게 되고 이것은 서보진폭기(Servo-amplifier)를 통해 복원코일(Restoring coil)로 전달된다. 이 때 질점은 초기상태의 영점위치로 복원하고자 하는 동일한 전자기력을 반대방향으로 가지게 되므로 평형이 이루어져 움직이지 않는다. 이 때 전류가 저항기를 통과할때의 전압을 측정할 수 있으며 이 전압은 질점을 평형상태로 유지하려는 힘과 정비례한다.

2축 방향(Biaxial type) 경사계의 탐침안에는 90° 방향으로 각각 하나씩 가속도계가 들어 있으며 그림 1.2에 보인 바와 같이 Access tube의 홈을 따라 내려가며, 이 때 탐침(Probe)의 기울기($\sin \theta$)는 질점을 평형으로 하려는 힘과 정비례하므로 연직축으로부터의 편기는 측정된 전압에 비례상수를 곱하여 구할 수 있다.

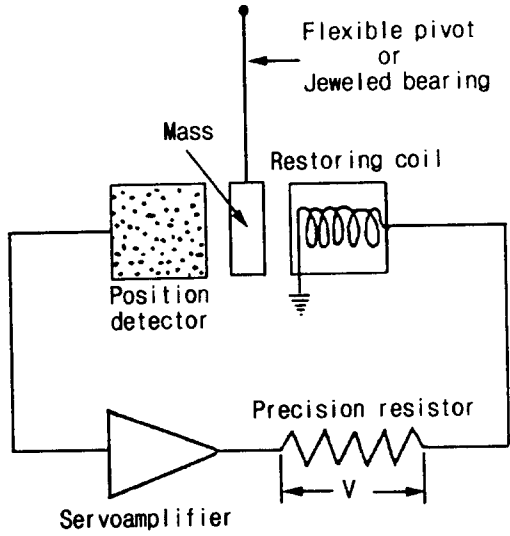


그림 1.1 서보식 가속도계의 원리

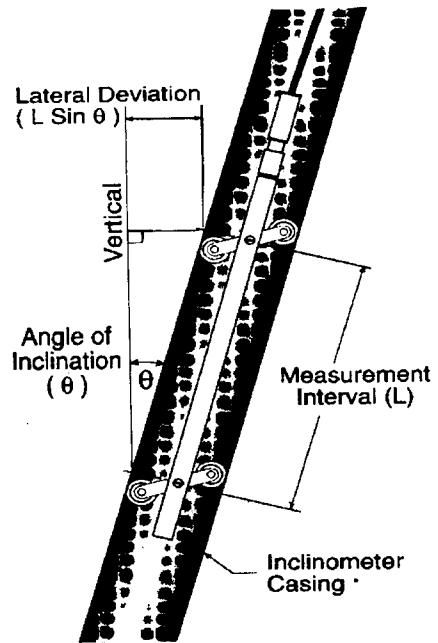


그림 1.2 경사계의 측정원리

2.1.2 설치방법

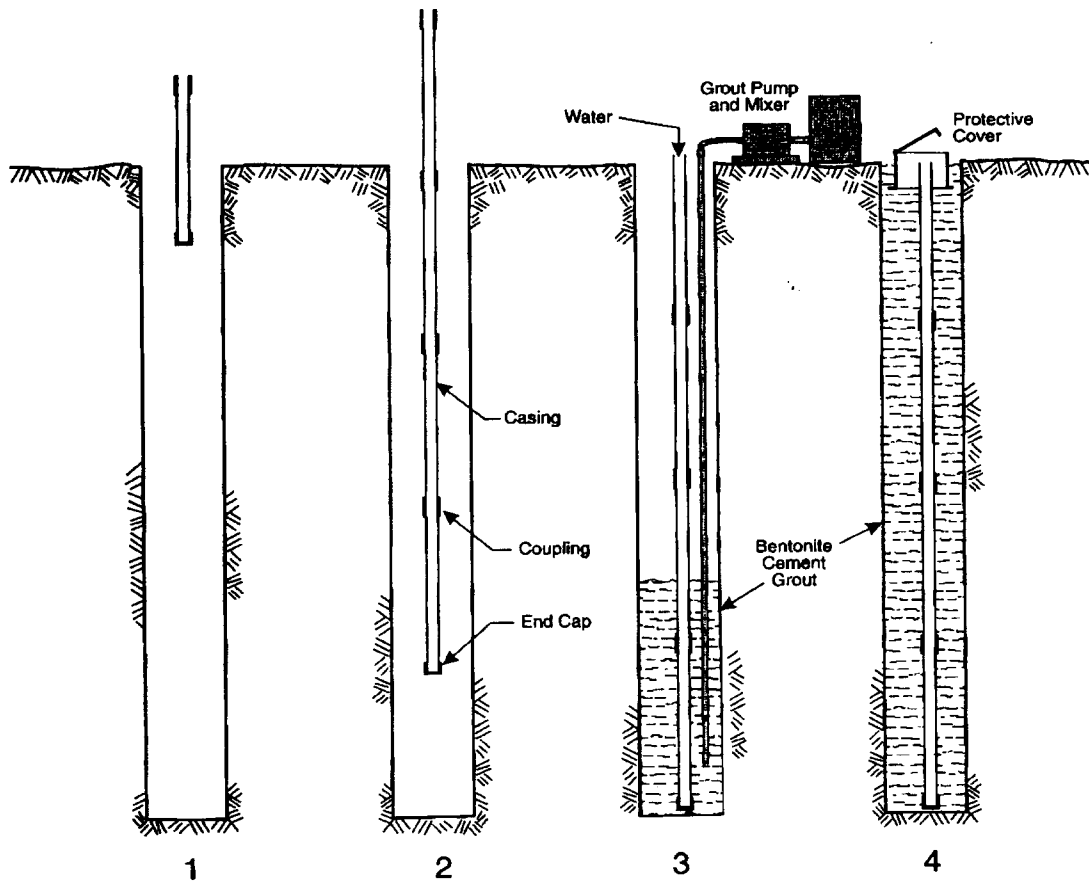


그림 1.3 Inclinometer 설치방법

- ① 굴착공의 지름을 100~150mm로 소정의 깊이까지 천공한 후 조립된 Casing을 삽입한다.
- ② Casing을 연결하면서 삽입하되 Sealing을 철저히 한다. 천공구내에 물이 차있을 경우 부력을 고려하여 Casing내부에 물을 주입하면서 삽입해야하며, 지하수가 없는 지반일 경우 Casing을 전부 삽입한 다음 그라우팅전에 Casing 내부에 물을 주입하여 그라우팅시 casing의 부상을 방지해야 한다.
- ③ 그라우트 Pipe를 위에서 아래로 넣거나 또는 Casing에 그라우트 Pipe를 함께 체결하여 삽입후 펌프를 사용하여 그라우팅을 실시한다.
- ④ 최초 그라우팅은 천공구 외부까지 Overflow시킨후 그라우트재가 주변지반으로 확산되어 침하할 때까지 5~15분 가량 기다린후 2차 그라우팅을 실시한다. 2차 그라우팅후에도 그라우트재의 침하가 현저할 때에는 시멘트밀크의 농도를 짙게하여 다시 그라우트를 실시해야 한다.
- ⑤ Casing 상단에 보호관을 설치하고 그라우트재가 고결될 때 까지 계측기기의 훼손을 방지하기 위해 적절한 주의표식을 설치해두어야 한다.

2.1.3 설치시 문제점과 대책방안

Inclinometer 설치를 위한 천공시 대개 Air compressor를 사용하여 천공하는 경우가 많은데 **연약지반의 경우** 압축공기로 인해 천공구 주변지반이 크게 교란되는 문제점이 있으므로 가급적 **이수순환식 물보링**을 실시하는 것이 바람직하며, 도심지에서는 천공구 주변에 기매설된 상하수도 관거나 가스관이 근접해 있는 경우가 있는데 사전에 지장물 조사가 제대로 이루어 지지 않은 상태에서 천공을 실시하다가 매설구조물에 심각한 손상을 줄 수 있으므로 각별한 주의가 필요하다.

Inclinometer의 적정 설치심도는 지반조건에 따라 다르므로 일괄적으로 규정할 수는 없다. 그럼에도 불구하고 계측경험이 부족한 일부 기술자들은 천편일률적으로 토류벽 근입 깊이보다 1~2m 정도 더 근입시키면 되는 것으로 알고 있을뿐만 아니라 암반이 굴착계획고 상부에서 노출될 경우 굴착계획고 상부의 암반에 1~2m 정도 근입시키는 경우도 있다. 그러나 실제 계측결과를 보면 사력층까지 토류벽체가 조성되었을 경우 토류벽체 하부 3~4m 지점에서도 변위가 발생할 수 있으며, 연암이상의 암반에 토류벽 엄지말뚝이 근입되어도 암반내 불연속면의 발달상태에 따라 굴착면 하부에서의 거동이 나타날 수 있다. 따라서 Inclinometer의 설치시 지반조건과 설계상태를 먼저 파악한 뒤 대상지반의 거동양상을 고려하여 지반의 변위영향이 미치지 않을 정도의 충분한 심도가 되도록 해야 할 것이다. 현재까지의 계측경험으로 볼 때 **토사지반의 경우 Inclinometer 근입심도는 굴착면 하부에서 최소 3~4m 이상, 암반지반의 경우 토류벽 하부에서 1~2m 이상** 되어야 할 것으로 판단된다.

Inclinometer의 매설위치는 계측의 목적에 따라 구분될 필요가 있는데 그 이유는 계측 변위의 절대치가 토류벽체의 거동량과 일치하지 않을 수 있기 때문이다. 이는 토류벽과 지반 그리고 계측기 Casing의 강성(Stiffness)이 상대적으로 차이가 있으므로 작용토압에 대한 변형정도가 상이하게 나타나는 현상이다. 현장에서 측량기를 사용하여 벽체 상단의 변위를 측정해 보면 계측변위 보다 적은 변위로 측정되는 경우가 많은데 이는 전술한 바

와 같은 영향으로 보아야 할 것이다.

그러므로 Inclinator의 매설위치는 계측하고자 하는 주된 대상이 무엇인가에 따라 그 위치를 달리할 필요가 있다. 가령 **토류벽체에 인접하여 중요구조물이 존재한다면** 엄지말뚝 바로 뒤쪽으로 벽체보다는 **건물쪽에 가까이 설치하여 건물 하부지반의 변형정도를 파악하는 것이 옳을 것이다.** 그러나 부지여유가 없는 도심지 굴착에서 합벽으로 처리되는 벽체의 경우에는 벽체의 변형정도에 따라 구조물 외벽시공이 곤란해 질 수도 있는데 이 때에는 계측기를 토류벽체 엄지말뚝에 결속후 설치하여 벽체의 변위를 파악할 수 있도록 하는 것도 좋을 것으로 본다.

한편, D-Wall의 경우에는 통상 계측기를 벽체내부에 삽입하여 설치하는데 D-Wall은 강성벽체이므로 벽체의 전체적인 밀림이나 기울음(Tilting)이 발생할 수 있다. 이러한 상태에서는 **벽체의 수평이동을** 계측변위로 감지할 수 없으며 벽체가 후방으로 경사질 경우에도 계측변위의 보정후 해석이 난해해 질 수 있음을 유의할 필요가 있다. 그러므로 D-Wall 현장에서는 벽체내부에도 계측기를 설치해야겠지만 부지여유가 허락된다면 가급적 벽체 후방에도 추가로 계측기를 설치하여 벽체와 배면지반의 변형정도를 동시에 파악할 수 있도록 하거나, 벽체내에 설치된 Casing을 통하여 하부로 추가 천공을 실시하여 벽체 아래의 지반에 경사계 끝부분이 설치될 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

Inclinometer 설치후 계측변위를 보면 토류벽체와 평행한 방향 즉 측방향 변위가 발생하는 현상이 많이 있는데 이것은 작용토압의 방향이 다소 편기되었을 수도 있으나 Inclinator casing의 변형에 의한 경우가 일반적이다. Casing의 변형이란 Casing내부에 형성된 Groove가 비틀어지는 것을 말하는데 이러한 현상은 국내에서 사출성형 방식으로 제작되는 대부분의 Casing에서 나타나고 있으며 공장출고시부터 이미 Casing의 비틀림(Twist)이 발생한 경우이다. 따라서, Inclinator casing은 사출성형이 아닌 **내부절삭 방식으로 제작된 제품**을 사용하는 것이 좋을 것으로 보인다.

또다른 경우로는 계측기 설치후 천공장비의 공벽보호용 Steel casing을 회전인발할 때 계측기 Casing이 비틀어지면서 변형될 수 있다. 이에대한 대책으로는 천공용 Casing을 수직인발하는 것이 가장 좋으나 계측기 설치심도가 대부분 10m 이상이므로 천공 Casing과 주변지반과의 Locking현상으로인해 수직인발은 현실적으로 불가능한 편이다. 이와같은 상황하에서는 그라우팅시 천공 Casing을 단계적으로 인발하면서 주입토록하여 경사계 Casing의 비틀림을 최대한 억제하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

2.1.4 측정시 문제점과 대책방안

Inclinometer 측정시 발생하는 문제점은 계측결과의 신뢰도에 직접적인 영향을 미치게 되므로 현장기술자들은 계측기기 취급방법에 대한 충분한 지식을 구비해야 할 것이다.

계측결과를 보면 현장조건과 시공상황에 전혀 부합되지 않은 이상변위가 발생하는 예가 많은데 이는 계측미숙에 의한 원인과 측정시 진동영향에 의한 원인, 측정 Indicator의 고장, 또는 계측기 Casing내부에 이물질이 축적되어 있을 경우등으로 분류할 수 있다.

Inclinometer는 측정원리상 하부 고정점으로부터 일정한 간격으로 Casing의 기울기를 누가적으로 측정하여야 하는데 계측초보자가 측정을 하거나 측정자가 수시로 바뀌게 될 경우 **계측지점(50cm Point)이 계측시 마다 정확히 일치하지 않게** 되므로 이상변위가

발생될 수 있음을 유의해야 할 것이다. 또한 그림 1.4에 보인 것과 같이 회사별 Incliner Probe마다 최초 측정방향이 다르므로 주의를 요한다.

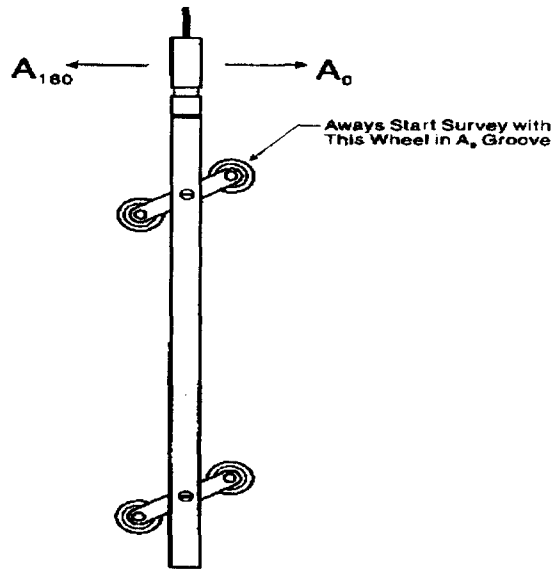


그림 1.4 Incliner probe 측정방향 (Slope Indicator사 제품)

Incliner의 Servo-accelerometer는 전술한 바와 같이 전자기력에 의한 평형상태의 전압을 측정하는 정밀한 센서이므로 측정시 진동이 발생되면 계측결과에 이상이 나타나게 된다. 그러므로 현장에서 Breaker 작업이나 발파, Pile 항타작업시에는 계측을 중단해야 할 것이다.

계측기기를 장기간 사용하면 영점이동(Zero-Drift)이 발생하게 되는데 이를 무시하고 계속 측정을 한다면 계측결과에 신뢰도가 크게 저하된다. 그럼에도 불구하고 이에대한 인식이 대체로 미비한 편인데 경험적으로 볼 때 적어도 6개월에 1회씩은 정기적인 Calibration을 실시해두는 것이 좋을 것으로 본다.

계측기 설치직후에는 반드시 Dummy Probe를 사용하여 Casing의 매설상태를 확인해야 하는데 이를 이행하는 현장은 드문 상태이다. 또한, 계측기 설치시 연결부의 체결불량으로 Probe가 헐착되어 빠지지 않는 경우가 발생할 수 있으며 Casing의 비틀림이 심할 경우 Probe가 Groove에서 이탈하게 되는 경우도 종종 발생하는 점을 감안할 때 초기 검측은 반드시 이행되어야 한다고 본다.

2.2 지하수위계 및 간극수압계 (Piezometer)

2.2.1 작동원리

- Electrical Piezometer

Electrical Piezometer의 작동원리는 그림 1.5에 나타난 바와 같이 Filter 후면의

Diaphragm 내부에 Strain gage가 장착되어 있어서 침투수압이 작용할 경우 Strain gage의 전기저항(Resistance)이 변화하게 되는데 이 때의 전압을 Readout 장치를 이용하여 수두 또는 간극수압으로 환산할 수 있다.

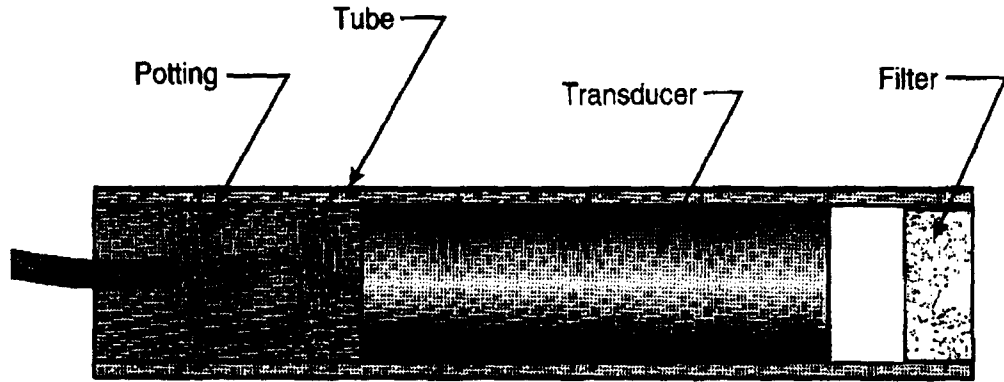


그림 1.5 Electrical Piezometer의 작동원리

- Pneumatic Piezometer

Pneumatic Piezometer의 작동원리는 그림 1.6에 나타낸 것과 같이 Tube를 통해 Diaphragm에 질소가스를 불어넣어 가스압력이 간극수압보다 약간 커지게 한 뒤 가스압력을 서서히 줄이면서 간극수압과 가스압력이 평형상태를 이룰 때의 압력을 Readout으로 측정하는 것이다.

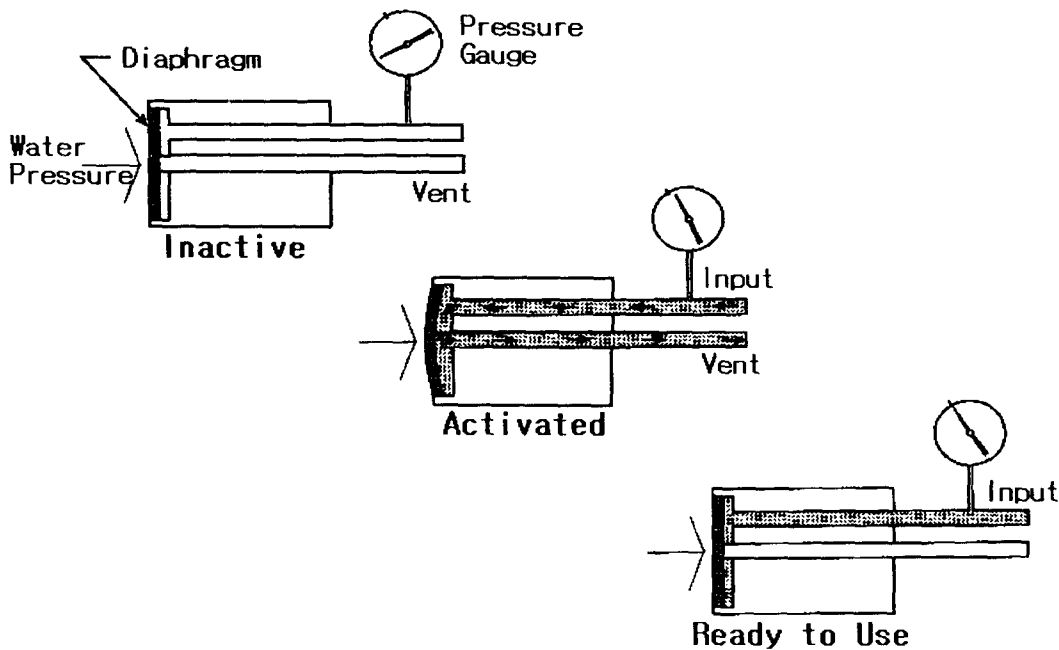


그림 1.6 Pneumatic piezometer의 작동원리

- Vibrating Wire type Piezometer

Vibrating Wire type Piezometer는 그림 1.7에 보인 것과 같이 주변지반의 간극수압이 Diaphragm에 작용하면 Diaphragm에 연결된 진동철선의 고유 진동특성을 변화시키므로 전자기 코일로 철선을 진동시킬 때 발생하는 진동특성을 Readout을 통해 간극수압으로 환산할 수 있다.

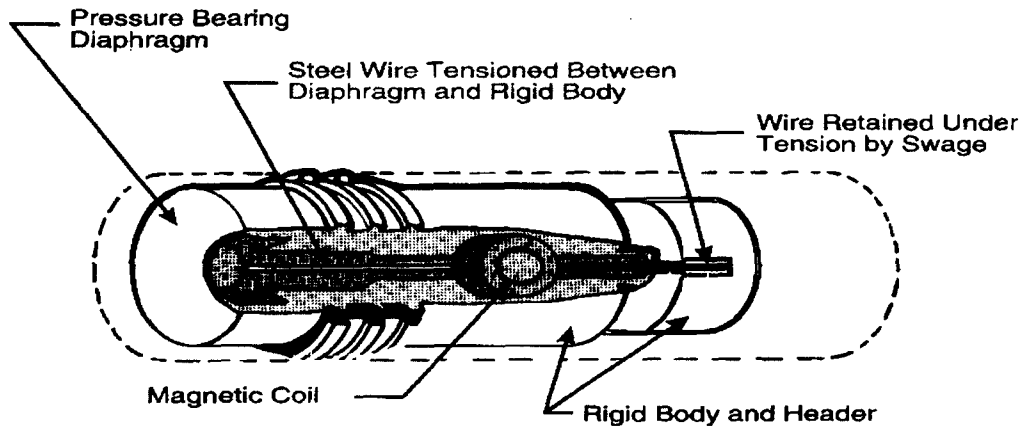


그림 1.7 Vibrating Wire type Piezometer의 작동원리

- Standpipe Piezometer

Standpipe Piezometer는 그림 1.8에 보인 것과 같이 PVC Pipe에 다공질 Filter를 설치하여 설치지점에 작용되는 간극수압을 PVC Pipe로 상승되는 수두로부터 산정할 수 있는데 수위측정은 물에 닿으면 신호음을 발신하는 비교적 간단한 Sensor로 가능하다.

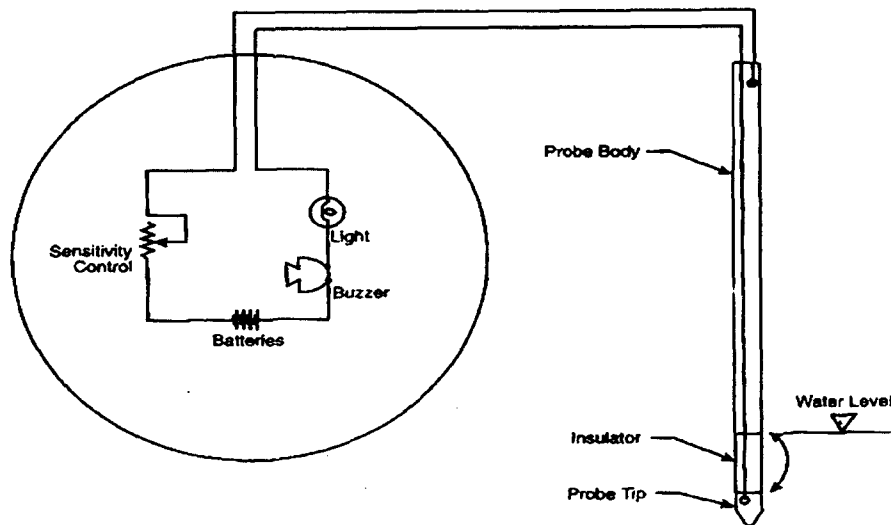


그림 1.8 Standpipe Piezometer의 작동원리

2.2.2 설치방법

- Standpipe Piezometer의 경우

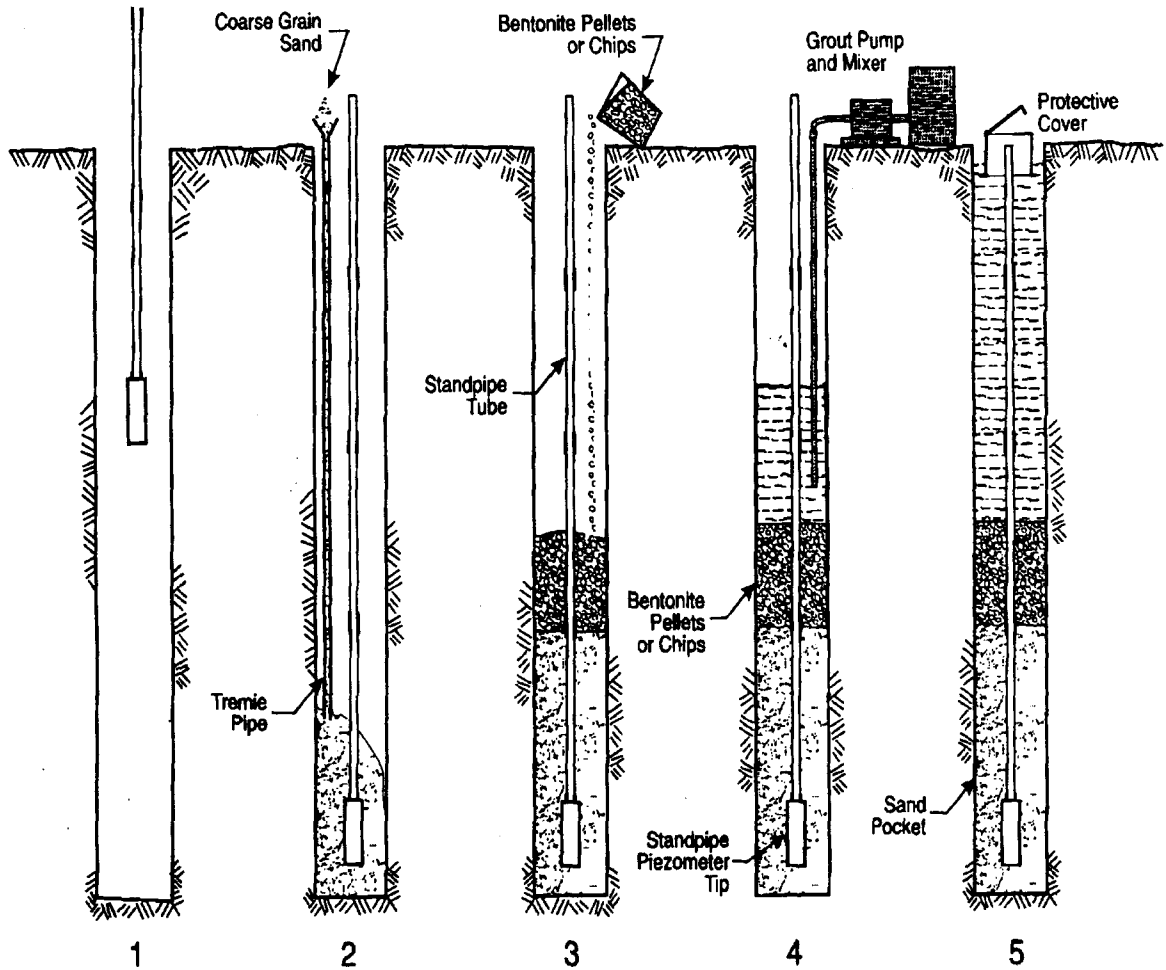


그림 1.9 Standpipe Piezometer의 설치방법

- ① 굴착공의 지름을 70~100mm로 천공한후 조립된 간극수압계를 삽입한다.
- ② 간극수압계 Tip 부근에 약 1m 두께로 모래를 부설한다.
- ③ Bentonite Pellet을 사용하여 50cm이상 Sealing을 실시한다.
- ④ 상부를 Bentonite 또는 Bentonite와 시멘트의 혼합액으로 그라우팅한다.
- ⑤ 보호관을 씌운다.

- Electrical, Pneumatic, Vibrating Wire type Piezometer의 경우

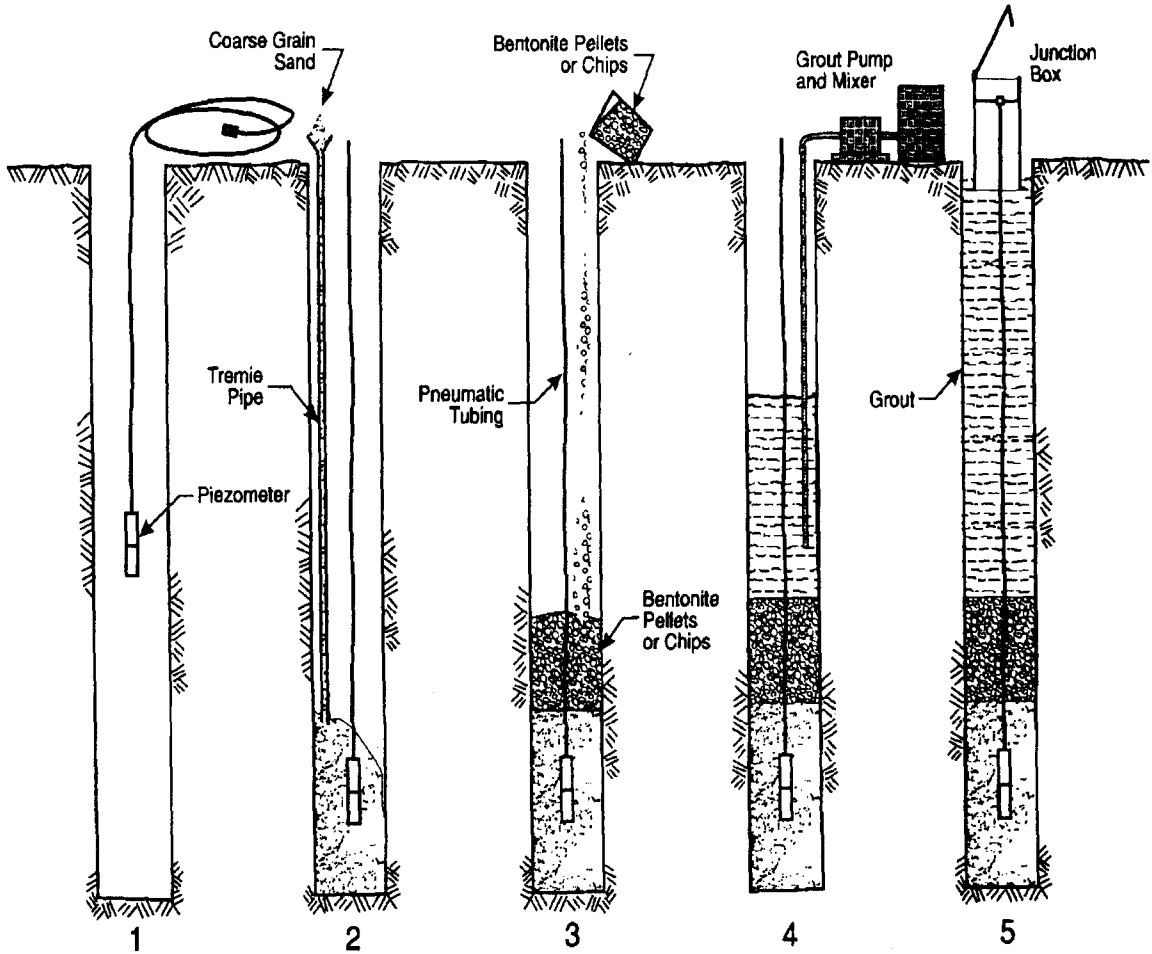


그림 1.10 전기식, 공압식, 진동현식 Piezometer의 설치방법

- ① 굴착공의 지름을 70~100mm로 천공한후 조립된 간극수압계를 삽입한다.
(간극수압계 Tip은 설치 직전까지 물속에 담겨 포화상태로 보관해야함)
- ② 간극수압계 Tip 부근에 약 1m 두께로 모래를 부설한다.
- ③ Bentonite Pellet을 사용하여 50cm이상 Sealing을 실시한다.
- ④ 상부를 Bentonite 또는 Bentonite와 시멘트의 혼합액으로 그라우팅한다.
- ⑤ 보호관을 씌운다. 이 때 Cable에 물이 들어가지 않도록 주의한다.

2.2.3 설치시 문제점과 대책방안

간극수압계는 임의 지점의 간극수압을 측정하는 계측기기이므로 설치상 가장 중요한 부분은 Piezometer Tip 상단의 Sealing 작업이다. 통상 Sealing 재료로는 물에 의한 체적팽창성이 큰 Bentonite를 사용하게 되는데 계측기능공들의 잘못된 설치방법으로 충분한 Sealing이 이루어지지 않아 간극수압이 유실되는 경우가 빈번히 발생하고 있다.

간극수압계가 처음 보급될 당시에는 현장에서 Bentonite 분말을 비벼 경단화시켜 사용하였는데 최근에는 **Bentonite Pellet**이라는 기성제품이 널리 보급되어 사용되고 있다. 현장에서 Bentonite 경단을 만들어 사용할 경우에는 수분함유량을 일정하게 하여야 하는데 숙련되고 경험있는 계측기능공이 아니고서는 매우 까다로운 작업이기 때문에 가급적이 방법은 지양하는 것이 좋다고 생각된다. 또한, Bentonite Pellet에는 해수용과 담수용의 두 종류가 있는데 해수의 영향을 받은 지반조건에 담수용을 사용할 경우 팽창성에 문제가 발생할 수 있으므로 필히 **해수용을 사용토록** 해야 한다.

간극수압계 설치후 간극수압이 유실되는 또 하나의 원인은 1 개소의 천공구에 수 개의 간극수압계를 설치할 때 Cable 접합부에서 간극수압이 유실되는 데 있다. 경험적으로 볼 때 1 개소의 천공구에 3개 이상의 간극수압계를 설치할 경우 Cable들이 접합되는 틈새로 간극수압이 유실되는 경우가 많고 이 부분의 Sealing처리가 대단히 어렵기 때문에 동일한 천공구에 **3 개소 이하**의 간극수압계를 설치하는 것이 좋을 것으로 본다.

간극수압계 설치후 일정기간이 경과한 뒤에 갑자기 간극수압계의 측정값이 읽혀지지 않는 현상이 발생하는 경우도 빈번히 발생하고 있는데 이것은 Cable의 절단이 원인인 경우가 대부분이다. Cable이 절단되는 원인은 간극수압계 설치시 Cable을 거의 직선적으로 천공구 상단까지 바짝 끌어올렸을 경우 자주 발생하는 것으로 관찰되고 있다. 따라서 **Cable은 천공심도보다 10~20% 더 길게 연결하여** 간극수압계 주변지반이 침하될 때 Cable에 과중한 인장력이 작용되지 않도록 하는 것이 바람직하다.

한편, 간극수압계 설치전에 어떠한 사양의 Filter를 사용할 것인가를 결정하는 것이 대단히 중요한데 이것은 간극수압계 계측자료의 신뢰도에 큰 영향을 미치게 된다. 간극수압계 Filter는 Pore size가 1μ 정도로 미세하여 공기침투압이 큰 High Air Entry Filter와 Pore size가 $50\sim 60\mu$ 정도로 비교적 큰 Low Air Entry Filter로 분류되는데 **Pneumatic Piezometer**는 작동원리상 완전포화된 지반내에서 빠른 시간내에 가스압력과 간극수압이 평형상태에 도달하는 조건이므로 **Low Air Entry filter를** 사용하는 것이 원칙이며 **그 외의 간극수압계는 주변지반과 Filter간에 투수성의 문제가 없는 한 가급적 High Air Entry Filter를** 사용하는 것이 효과적인 것으로 보고되고 있다.

간극수압계 내부에는 공기압이 작용되면 안 되므로 설치전에 **Filter를 최소 24시간동안** 수침시켜 Filter 내부의 공기를 완전히 제거하여야 하며, 설치전 Zero reading값과 작동상태를 확인해야 할 것이다. 또한 **진동현식 간극수압계의 경우 별도의 온도측정센서가 내장된 제품인가를** 확인해 두어야 할 것이다.

현장기술자들이 간극수압계 사양선정시 간과하기 쉬운 것은 Sensor의 간극수압 측정범위이다.

가령 설치지점의 최대간극수압이 50 psi 이상인 지반조건에 최대측정범위가 50 psi인 Filter를 사용하면 계측결과가 제대로 나옴이 만무하다. 또한 최소간극수압이 10 psi 이하인 지반에 100 psi이상의 Filter를 적용하는 경우에도 계측결과가 신뢰도는 크게 저하된다. 그 이유는 간극수압계를 막론한 제반 계측기기들의 측정범위에서 **상하위 10% Range**에서는 기기오차가 크게 발생되기 때문이다. 그러므로 간극수압계 Sensor 선정시 필히 설치지점에 작용될 간극수압을 산정하고 이에 적합한 사양의 Sensor를 선택해야 할 것이다.

전기식 및 진동현식 간극수압계의 설치, 측정시 Cable 끝부분의 관리소홀로 인하여 Cable 끝부분이 땅에 닿아 **Cable 내부로 수분이 침투**되는 경우가 종종 발생되며, 이 경우 계측치에 이상이 발생되므로 이의 관리에 세심한 주의를 기울여야 한다.

대부분의 간극수압계는 설치직후에 간극수압의 변화요인이 없는데도 간극수압이 다소 상승하는 경우가 흔히 발생된다. 이는 극히 정상적인 현상으로 **설치초기에 Bentonite의 팽창으로 인한 일시적인 현상**이며 수 일이 경과되면 자연적으로 소산된다.

지하수위계의 경우 다음 그림 1.11에 보인 것과 같이 Filter 상단을 Sealing하지 않기 때문에 측정수위는 계측기 설치구간에 형성된 지하수위이며 이는 간극수압과는 다른 개념이다. 그런데 연약지반 개량공사시 지하수위계를 성토체 중앙에 배치하고 있는 사례를 종종 목격하게 되는데 이는 계측기기의 특성을 잘 못 이해하고 있기 때문이다. 한편 흙막이공사에 있어서는 지하수위계를 다른 계측기기 설치수량보다 월등히 적은 수량으로 설치하는 예가 많은데 중요구조물이 인접해 있는 경우 지하수위 저하시 지반침하가 발생하여 이로 인한 건물의 부등침하가 문제시될 수 있으므로 **가급적 토류벽면에 직각방향으로 2~3개소를 설치하여** 배면 지하수위의 전반적인 형성상태를 파악하는 것이 바람직하다고 본다.

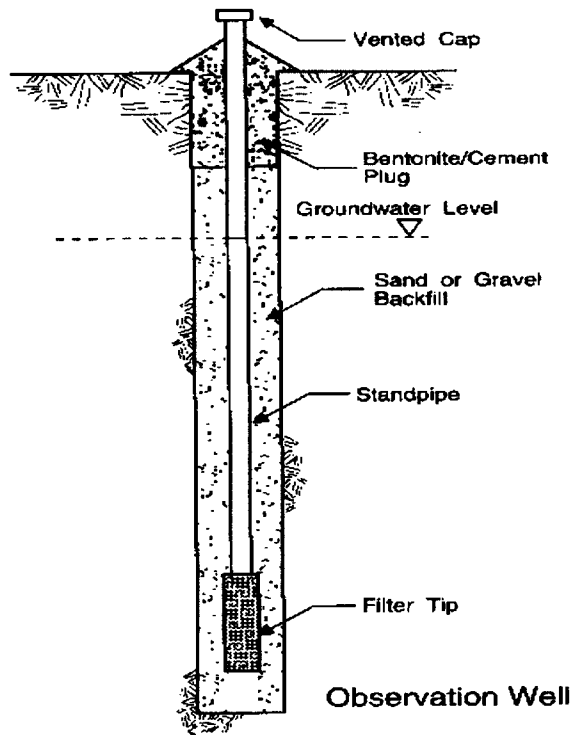


그림 1.11 지하수위계 설치상태

2.3 변형률측정계(Strain Gage)

2.3.1 작동원리

- 용접식 Strain gage

용접식 Strain gage는 그림 1.12에 나타낸 바와 같이 Steel tube내에 고유진동수를 가진 인장철선과 전자기코일이 장치되어 있어서 대상 부재가 신축할 시에 Strain gage도 신축하게 되는데 이 때 전자기코일을 이용하여 인장철선의 진동수 또는 진동주기의 변화를 측정한 후 버팀부재의 응력으로 환산할 수 있다.

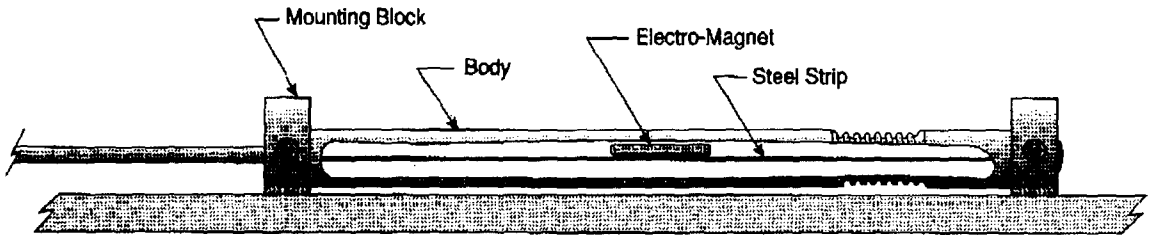


그림 1.12 Strain gage 작동원리

- 표면부착식 Strain gage

표면부착식 Strain gage의 작동원리는 용접식 Strain gage와 동일하다.

2.3.2 설치방법

- ① 설치할 강재 표면의 녹이나 이물질을 제거한다.
- ② 용접식 Strain gage는 gage 양측의 Mounting Block을 대상 부재에 아아크 용접하고, 표면부착식 Strain gage는 그림 1.13에 보인 것과 같이 Strain gage표면을 Spot welder기를 사용하여 전기용접을 실시한다.
- ③ 용접후 Strain gage 상부에 보호 Cover를 씌운다.

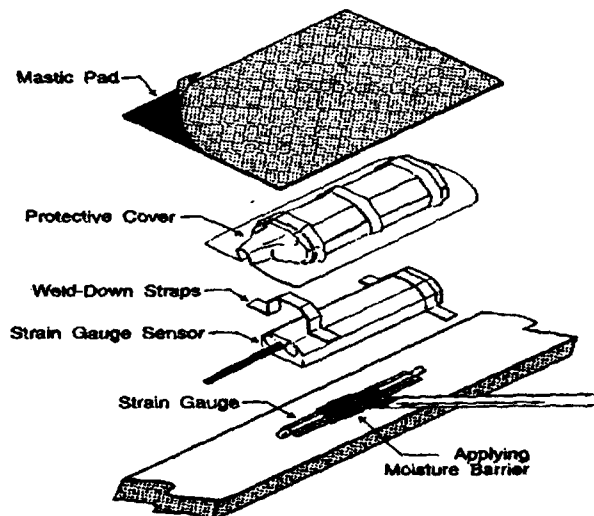


그림 1.13 Strain gage 설치방법

2.3.3 설치시 문제점과 대책방안

Strain gage 는 계측 대상물의 거동양상을 고려하여 적합한 위치에 설치하여야 하는데 일반적으로 축력을 주로 받는 강재의 경우 Web, 휨 Moment를 크게 받는 강재는 Flange에 설치하는 것이 원칙이다. 따라서 축력을 주로 받는 Strut인 경우에는 Strain gage를 Web에 설치하는 것이 옳지만 현장여건상 Strut에 휨이 발생할 수 있는 구간에는 상하부 Flange에도 Stran gage를 설치하는 경우도 있다.

Strain gage는 대상부재와 동일한 신축을 하여야 하는데 설치시 용접에 의하지 않고 일반 접착제를 사용하여 부착시킬 경우 계측결과의 신뢰도는 저하될 수밖에 없다. 현장에 설치된 Strain gage 설치상태를 보면 접착제를 사용하여 부착시킨 경우 Strain gage가 강재에서 떨어진 상태로 측정되는 사례가 빈번하다. 이 경우 계측결과는 강재의 응력상태가 아니고 Strain gage 자체의 변형율일 뿐인데 이러한 자료를 가지고 공학적인 의미를 찾아내려고 시간과 노력을 허비해서는 안 될 것이다. 따라서 Strain gage는 반드시 용접에 의한 방법으로 설치해야 할 것이다.

또한 Strain gage는 인장철선의 진동수 변화를 측정하는 계측기기이므로 설치지점이 충격이나 진동에 빈번히 노출되거나 발전기의 전자기장 영향범위 이내에 있어서는 안 된다.

Strain gage는 강재의 응력변화 상태를 정량적으로 파악해야 하는데 이를 위해서는 Strut의 경우 반드시 Jacking이전에 설치하여 Zero-reading값을 측정해야 한다. 그러나 대다수 현장에서 Strain gage 설치전에 버팀보를 시공하고 있는 실정이므로 초기 응력상태로 부터의 정량적인 분석이 불가능해진다. 따라서 Strain Gage를 설치하는 현장에서는 시공사와 계측기술자간의 긴밀한 상호협조 체계를 구축하여 형식적이고 부정확한 계측이 되지 않도록 해야 할 것이다.

버팀보는 양방향으로 축압을 받는 구조이므로 Strain Gage는 버팀보 양쪽에 1 개씩 설치하여야 토압의 작용방향과 전이상태를 파악할 수 있다. 또한 버팀보에 작용되는 토압은 중간 Pile의 존재로 인해 벽체에서 멀어질수록 축력이 분산되므로 설치지점은 버팀보 단부에서 버팀보 Flange 간격의 5 배 정도되는 거리이내에 설치하는 것이 적절한 것으로 보고되고 있으나 경사버팀보가 병행 설치되었을시는 경사버팀보 이후에 설치토록 한다.

Strain gage 계측결과는 작용토압과 밀접한 관계에 있으므로 가급적 Inclinator 매 설치지와 가까운 곳에 설치하여 버팀보의 응력변화에 따른 지반거동상태를 상호 연관하여 분석하는 것이 바람직하다.

2.3.4 측정시 문제점과 대책방안

Strain gage는 온도변화에 민감한 계측기기이므로 필히 온도측정센서가 내장된 계측

기기를 사용해야 하는데 아직까지 이에 대한 인식이 부족한 상황이다. 일부 계측보고서에 의하면 대기온도가 1℃ 변화할 때 버팀보의 축력오차는 1~2 ton 내외로 발생된 것으로 보고되고 있는데 계측시마다 기온이 일정하지 않을 것이므로 온도보정이 이루어지지 않은 계측자료의 신뢰도는 저하될 수밖에 없다고 본다.

그런데, 계측회사에서 제시하는 버팀보의 온도보정식을 보면 강재의 선팽창계수를 고려해야 하는데 시공현장에 반입되는 강재의 선팽창계수를 제대로 파악하기 어렵고, 강재 자체도 고재를 재사용하는 경우가 빈번하여 강재 노화에 따라 재료의 특성이 변화될 수도 있음을 감안할 때 정확한 온도보정을 하려면 이에 대한 보다 다각적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

2.4 하중계 (Load Cell)

2.4.1 작동원리

- 전기저항식 Load cell

전기저항식 Load cell은 그림 1.14에 나타낸 바와 같이 열처리된 강재 실린더 표면에 Strain gage를 부착하여 Wheatstone bridge망을 형성시킨후 외부하중에 의한 실린더의 신축에 따라 Strain gage도 동일하게 변형토록 하여 이 때의 전기저항의 변화치를 판독 장치로부터 읽어들이어 하중으로 환산할 수 있게 된다.

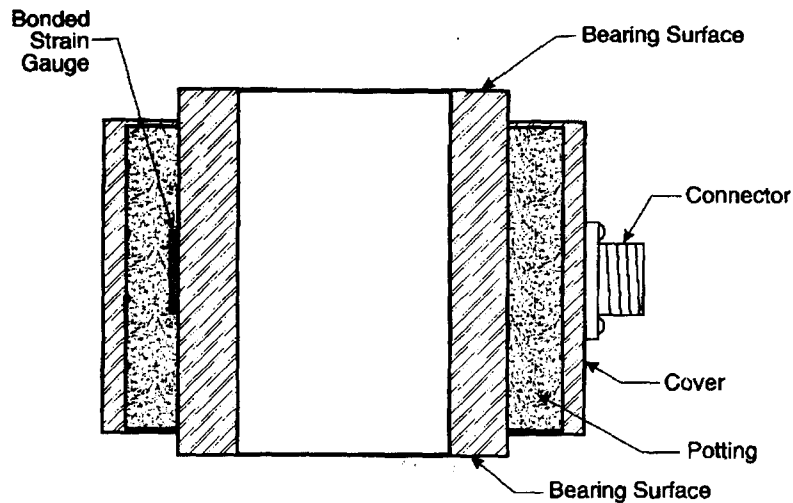


그림 1.14 전기저항식 Load cell의 작동원리

- 진동현식 Load cell

진동현식 load cell은 그림 1.15에 나타낸 바와 같이 전기저항식 Load cell과 비슷한 구조이나 실린더에 진동현식 Strain gage를 부착한 점이 다르다. 일반적으로 3개의 Strain

gage가 실린더에 120° 간격으로 장착된 형태이며 측정값은 각 게이지에서 측정되는 진동수의 평균을 취해서 하중으로 환산하게 된다.

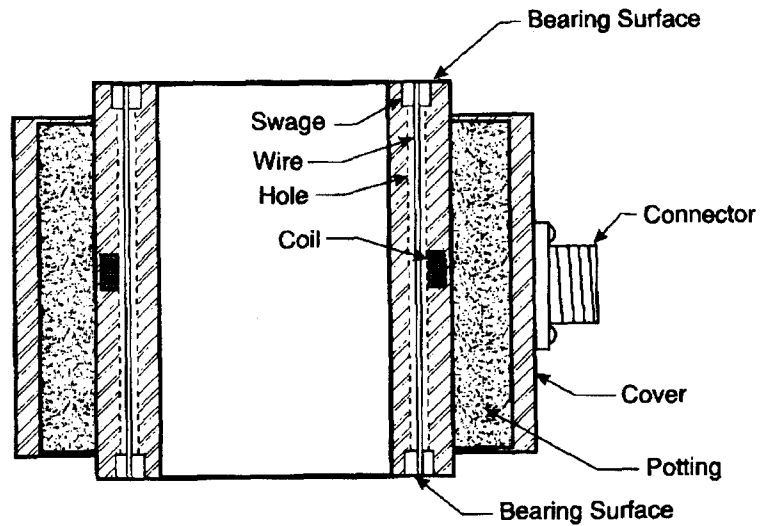


그림 1.15 진동현식 Load cell의 작동원리

2.4.2 설치방법

- 어스앵커에 설치시

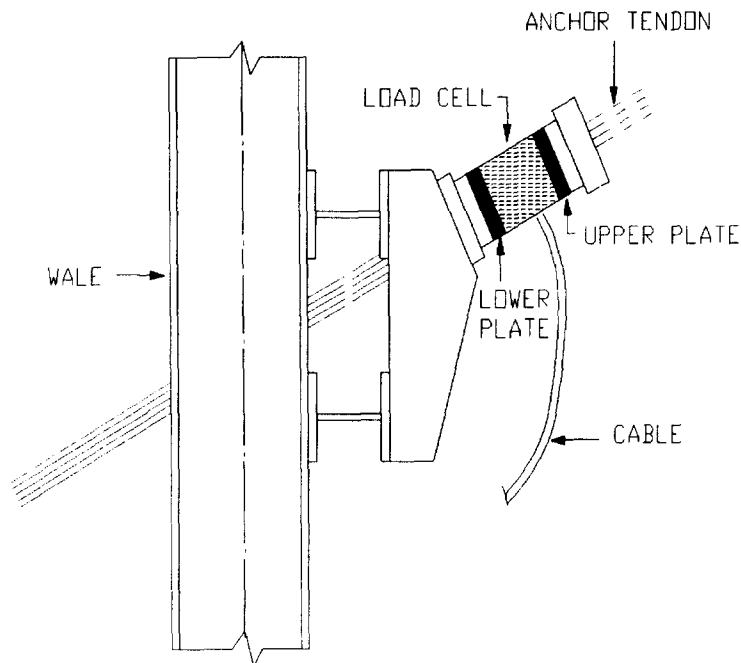


그림 1.16 어스앵커에 설치된 하중계

- ① 어스앵커에 거치하기전에 초기값을 읽는다.
- ② 하부가압판→Load cell→상부가압판의 순으로 거치한다.

- ③ 단계별 인장을 실시하되 최대인장시와 앵커콘 삽입직후의 측정치를 구분하여 기록한다.(최대인장상태를 6분이상 지속후 콘 체결)

- 버팀보에 설치시

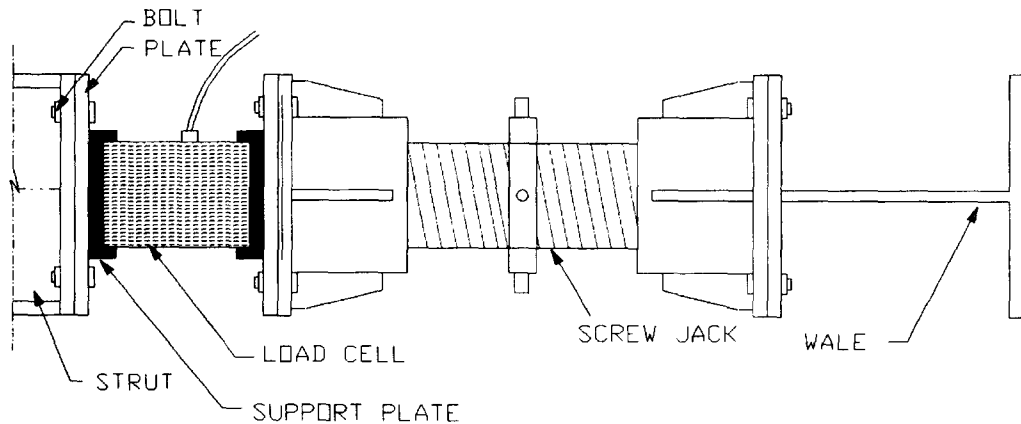


그림 1.17 버팀보에 설치된 하중계

- ① 버팀보에 거치전 초기값을 먼저 읽는다.
- ② 버팀보의 이음 Plate에 하중계 가압판을 용접하여 부착시킨다.
- ③ 버팀보와 하중계를 연결 거치후 Jacking 직후의 측정값을 기록한다.

2.4.3 설치시 문제점과 대책방안

하중계 설치시 문제점은 재하하중에 대한 불확실한 검증, 설치시 편심작용, 하중계의 Calibration이상 등이 있다.

재하하중이란 인장기로부터 도입되는 인장하중을 말하는데 국내에 사용되는 유압인장기 들은 정도의 차이는 있으나 대부분 하중 정지상태에서 다소간의 유압손실을 허용하고 있으며 인장기 자체도 노후된 것이 많은 실정이다. 이 경우 인장기 Gage가 나타내는 압력과 실제 인장 Jack 단부에 작용되는 하중은 일치하지 않게 되므로 부정확한 시공 및 계측이 될 수밖에 없다.

따라서 인장기에 대해서는 적어도 3개월에 1회 이상 공신력있는 기관에서 실시하는 검증을 받는 것이 좋겠으며, 하중계 설치전에 시험용 띠장을 사용하여 인장기 유압검증을 위한 현장시험을 시행해 보는 것도 좋을 것으로 본다.

하중계 설치시 작용하중에 대한 하중계의 편심은 하중계 자체의 보정방법으로 어느정도

보정이 가능하나 Load cell과 앵커시공용 가압판과의 중심축이 2~3cm 이상 이탈되면 측정오차가 과다해지므로 측정결과의 신뢰도가 저하된다. 그러므로 하중계 설치시 반드시 설치경험이 풍부한 숙련된 기능공이 실시토록 해야 할 필요가 있다.

또한 띠장과 어스앵커와의 설치각도가 일치하지 않거나 띠장 천공구와 하중계 가압판의 천공구가 맞지않아 앵커 Strand의 꺾임이 발생하는 경우에도 실제 작용하중과 측정되는 하중과는 차이가 발생하게 되므로 하중계 설치 및 결과분석시 이 점에 유의할 필요가 있다.

어스앵커의 강선이나 Strand는 하중계의 중공(Center hole)속으로 들어가야 하나 때에 따라서는 이것이 곤란할 경우가 있는데 이 경우 Strand를 하중계 속으로 억지로 집어넣게 되면 전술한 바과 같이 편심이 발생되게 된다. 경험적으로 볼 때 이같은 경우에는 다음 그림 1.18에서 나타낸 것과 같이 **현장에서 가압 Plate를 별도로 제작하여 사용해도 별 무리가 없는 것으로 판단된다.**

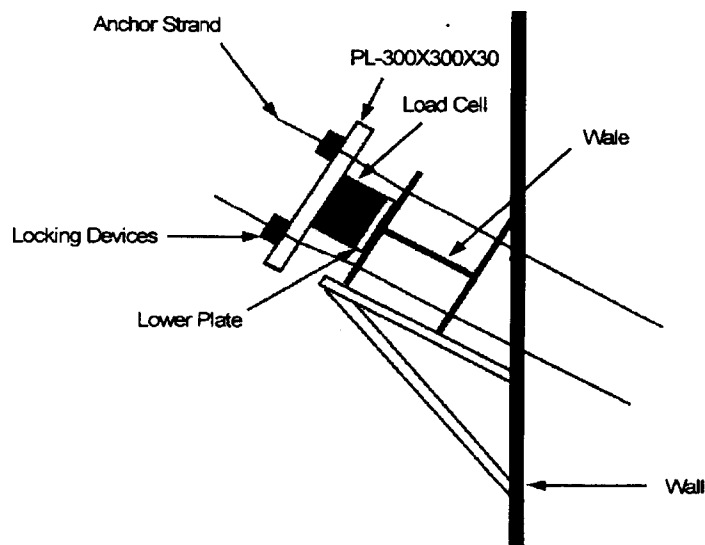


그림 1.18 하중계 설치방법의 예

하중계를 재사용하는 경우에는 하중에 대한 이력(Hysteresis)이 크게 발생하므로 Calibration의 정확도가 저하된다. 따라서 가급적이면 하중계는 재사용을 하지 않는 것이 바람직하며 재사용이 부득이한 경우 측정기 제작회사에서 하중계를 분해하여 내장 Sensor의 이상유무를 검사한 후 재Calibration을 실시해야 할 것이다.

진동현식 하중계의 경우에는 온도측정센서가 내장된 제품을 사용하는 것이 좋으며, 상하부 가압판은 열처리되어 작용하중에 대해서 변형이 발생되지 않는 제품이어야 한다.

하중계 측정결과는 작용토포압과 밀접한 관계에 있으므로 Strain gage와 마찬가지로 가급적 **Inclinometer** 매설지점과 가까운 곳에 설치하여 하중계 반력변화에 따른 지반거동 상태를 상호 연관하여 분석하는 것이 바람직하다.

어스앵커 인장시 하중계가 설치된 주위를 인장할 경우에는 하중계 주위의 어스앵커를 모두 인장한 후 하중계 설치위치를 가장 늦게 인장하여야 한다. 이 순서를 바꾸어 실시

할 경우 주위의 어스앵커 인장으로 인해 하중계 인장력의 상당부분이 상실되어 부정확한 계측이 이루어진다.

2.4.4 측정시 문제점과 대책방안

하중계는 Strain gage를 내장한 계측기기이므로 온도변화와 진동에 민감한 기기이다. 그러므로 하중계 측정시 작업진동의 영향이 계측결과에 반영됨은 물론이며 온도측정센서가 내장되지 않은 경우라면 계측자료의 신뢰도에 적지않은 문제가 있는 것으로 보아야 할 것이다.

이러한 문제는 하중계 설치지점 하부에서 발파 또는 Breaker 작업을 하거나 일교차가 심한 하절기에 온도측정센서가 없는 하중계로 측정을 했을 경우 특징적으로 나타나게 된다. 따라서 현장기술자들은 계측기기의 특성을 상세히 파악하고 계측횟수나 측정시기를 각 현장의 시공상황에 맞도록 조절하여 시행해야 할 것이다.

하중계 측정시 또 하나의 문제점은 측정빈도를 불규칙하게 시행하거나 Inclinator 측정시기와 일치하지 않는 시점에서 계측을 실시하는 경우에 발생한다. 이 경우 하중계의 반력증감이 앵커체 자체의 문제인지 지반거동에 의한 상대적인 현상인지 구분하기 곤란해진다. 그러므로 단지 계측횟수를 채우기 위한 형식적인 계측은 지양되어야 할 것이며 계측의 목적과 방향을 명확히 이해한 토목기술자의 주도하에 계측이 실시되어야 할 것으로 본다.

2.5 건물경사계(Tiltmeter)

2.5.1 작동원리

건물경사계는 Inclinator와 마찬가지로 평행력 가속도계를 사용하여 측정점의 기울기를 측정하는 장치이며 그림 1.19에 보인 것과 같이 Tilt plate를 계측 대상지점에 고정하게 되면 대상 구조물과 Tilt plate는 일체로 거동을 하게 되므로 이 때 Tiltmeter를 plate에 부착하여 경사계 Readout을 통해 측정기울기를 라디안 단위로 환산할 수 있다.

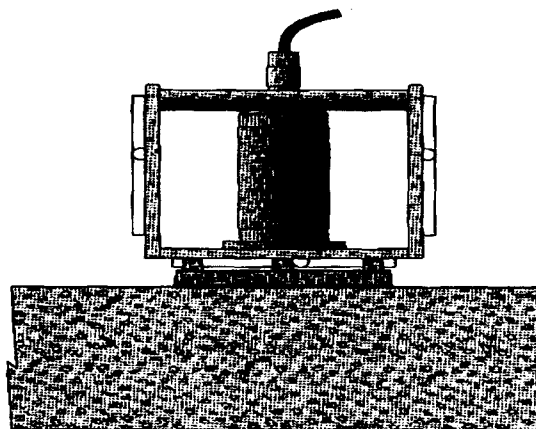


그림 1.19 Tiltmeter 작동원리

2.5.2 설치방법

- ① 설치지점을 고르게 정리한 후 이물질을 제거한다.
- ② 그라우트재나 Epoxy bond 등을 사용하여 Plate 면적만큼 설치지점에 포설한다.
- ③ **Plate의 1-3축이 현장방향으로 향하게 부착한다.**
- ④ 2-3일 경과후 부착정도를 확인하여 완전히 부착되었으면 보호판을 씌운다.

2.5.3 설치시 문제점과 대책방안

건물경사계 설치시 문제가 되는 것은 주로 Tilt plate의 재질과 설치위치로 볼 수 있다. 현재 국내에서 사용되는 Tilt plate는 Bronze나 Ceramic재질이 대부분인데 Bronze Tilt plate의 경우 측정돌기의 표면처리가 제대로 되지않아 측정표면의 경도가 시간이 지날수록 낮아지는 문제가 있다. 그러므로 Bronze Tilt plate는 표면 가공처리가 확실히 되고 온도변화에 의한 Plate 자체변형이 적은 제품을 사용하는 것이 좋을 것이다.

Ceramic Tilt plate의 경우 측정돌기의 표면 경도는 비교적 강한 편이나 충격에 의한 파손이 용이한 편이어서 취급과 사후관리에 유의해야 한다.

Tiltmeter는 대상 구조물의 부등침하(Differential settlement)나 경사(Tilt)를 측정하는 계측기기이므로 필히 대상 구조물의 구조형식 및 기초형식, 지반조건을 고려하여 구조물의 거동양상을 예측한 후에 설치지점을 정해야 할 것이다.

일반적인 경우 Tilt plate 설치위치는 기둥 또는 **기둥과 가까운 Slab에 설치하는 것이 합리적이며** 가급적 측정이 쉽고 인적이 드문 곳에 설치하는 것이 좋을 것으로 본다.

한편, 일부 현장에서 Inclinator casing을 사용하여 건물경사계로 활용하고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 Tiltmeter 보다 측정오차가 상대적으로 크게 발생하며 장기간 계측시 경사계관 내부 Groove의 마모, 직사광선에 의한 Casing의 변형, 벽체에 부착한 Clip의 이완으로 인한 Casing의 변위발생 등의 문제점이 있으므로 **Inclinator casing의 사용을 금지**토록해야 할 것이다.

2.5.4 측정시 문제점과 대책방안

건물경사계는 Inclinator와 마찬가지로 평행력 가속도계를 내장한 계측기기이므로 측정시 진동에 의한 영향을 크게 받으므로 주의가 필요하다. Breaker나 발파작업이 진행되는 현장에서 계측된 결과를 보면 일자별로 측정치의 기복이 심한 경우가 많은데 이는 측정시 진동영향이 Sensor에 전달된 현상으로 판단된다.

그러므로 건물경사계 측정은 **작업진동이 없는 상태에서 실시**하도록 해야 할 것이다.

또한 건물경사계는 4 개의 방향으로 측정을 실시하여 종축과 횡축의 평균기울기를 채택하게 되는데 측정시 마다 Tilt plate와 측정 Sensor가 정확히 밀착되지 않으면 측정값의 편차(Offset)가 커지게 되므로 측정시 주의를 요하며 **가급적 동일한 측정인이 계속하여** 측정을 하는 것이 바람직하다.

2.6 지중침하계 (Rod type Extensometer)

2.6.1 작동원리

지중침하계는 그림 1.20에 보인 것과 같이 Reference head를 통해 지중에 삽입된 침하봉이 주변지반의 침하에 따라 침하하게 되면 침하 발생량 만큼 전위차가 발생하게 되는 데 이를 전위차계(Potentiometer)로 측정하여 침하량으로 환산할 수 있다. 또는 기계식 Dial gage를 사용하여 침하량을 측정할 수도 있다.

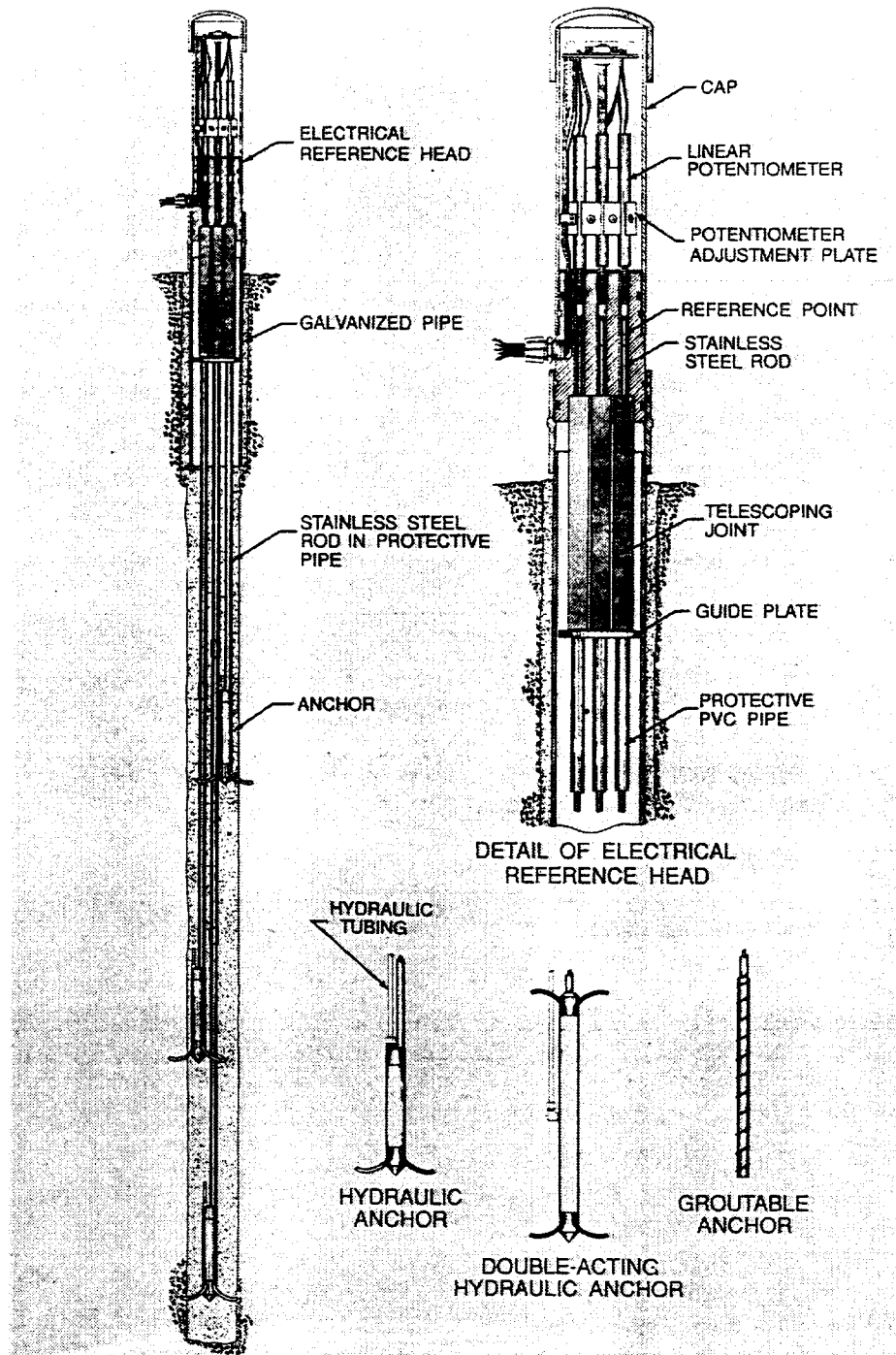


그림 1.20 지중침하계의 작동원리

2.6.2 설치방법

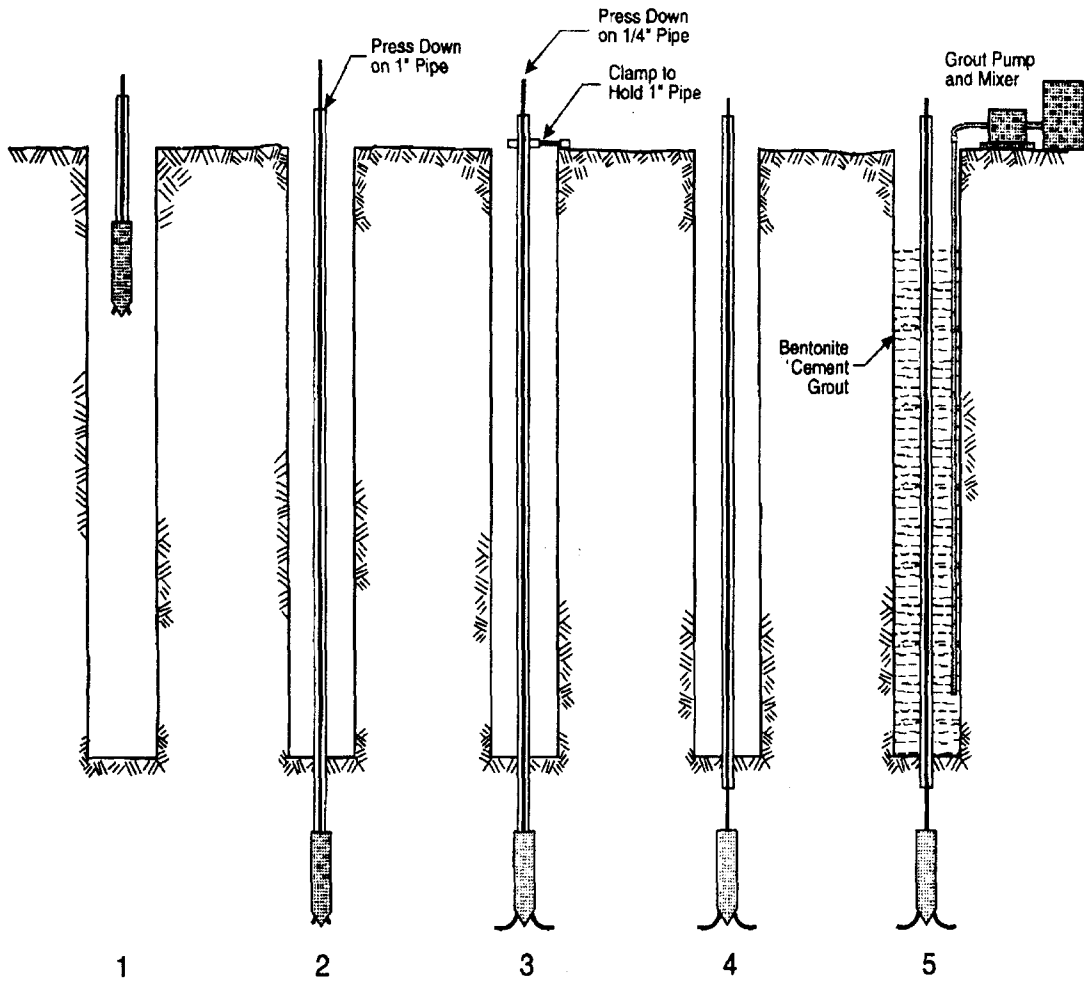


그림 1.21 지중침하계 설치방법

- ① 굴착공의 지름을 70~100mm 정도로 천공한 후(또는 그림과 같이 계획심도보다 조금 얇게 천공) 침하봉을 넣는다.
- ② 침하봉을 계획심도까지 넣는다(하부 지반이 연약할 경우 천공단부에서 조금 더 밀어 넣는다)
- ③ 내측 Pipe를 눌러서 침하봉 끝단의 앵커가 퍼지게 한다.
- ④ 외측 Pipe를 서서히 돌려 앵커부와 이탈시킨다.
- ⑤ Bentonite와 시멘트의 혼합액으로 그라우팅을 한다.

2.6.3 설치시 문제점과 대책방안

지중침하계 설치시 문제점은 침하봉의 설치심도가 당초 계획심도와 다르게 되는 경우가 있다. 일반적으로 설치심도는 인접구간의 시추조사 자료를 통해 설치지점의 개략적인 하부 지반상태를 예측하고 결정하는 예가 대부분인데 실제 천공을 하다보면 연약층 심도가 예상보다 깊거나 암반층 심도가 상이한 경우가 많다. 이 경우 침하봉의 설치심도는 계획심도와는 다르게 될 수 밖에 없을 것이다. 그런데 현장기능공들이 이러한 사실을 제대로

보고하지 않으면 추후 계측결과의 분석시 여러가지 문제가 발생할 것이다. 따라서 지중 침하계 설치시는 반드시 침하봉의 실제 설치심도와 설치지점의 지반상태를 확인해야 할 것이다.

또한, 구조물 기초의 침하량이나 지중매설물의 침하량을 측정코자 할 경우에는 **침하봉의 위치를 기초위치나 지중매설물 심도와 동일한 위치에 설치하여** 계측의 목적에 일치시켜야 할 것이다.

한편, 지중침하계의 일종인 자석식 침하계(Magnetic Type Extensometer)와 Sondex Type Extensometer가 있는데 이것은 측정용 Reel의 신축정도와 측정자의 개인차에 따라 상당한 측정오차가 발생하는 문제점이 있으므로 침하량이 수 십 cm 이상되는 연약지반 개량시 침하안정관리용으로 사용토록 하고 **지반굴착공에서는 Rod Type Extensometer를 사용토록** 해야 할 것이다.

2.5.4 측정시 문제점과 대책방안

지중침하계 측정시 문제점은 침하봉의 침하량을 전적으로 대상지반의 침하량으로 간주하는 데 있다. 굴착공사에서는 지표면에서의 침하가 하부보다 더 크게 발생하는 경우가 많은데 지중에 매설된 침하봉의 침하량만을 측정할 경우 계측단면의 전체적인 침하상태를 제대로 파악할 수 없다.

따라서 지중침하계 상단의 **Reference point에 대한 별도의 측량을 실시하여** 지표부 침하량을 측정하여 하부 침하량을 보정하도록 해야 할 것이다.

2.7 지표침하핀(Settlement pin)

지표침하핀은 지표에 측량 Point를 설치하여 정기적인 측량으로 굴착에 따른 지반거동량을 파악할 목적으로 설치되는 계측기기이다.

2.7.1 설치방법

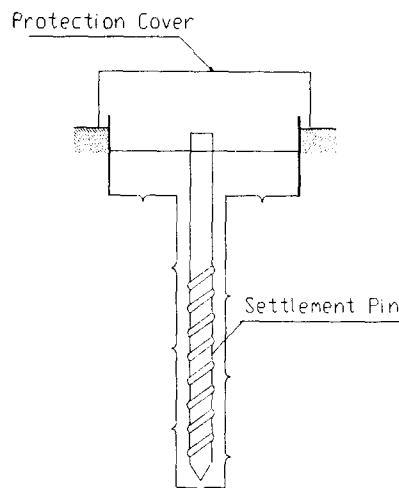


그림 1.22 지표침하핀 설치방법

- ① 원지반에서부터 30 cm 정도의 깊이로 Pit를 판다.
- ② Pit 내부에 시멘트 모르타르를 주입하고 침하핀을 설치한다.
- ③ 시멘트 경화후 보호덮개를 씌운다.

2.7.2 설치시 주의사항

지표침하핀은 지표부의 침하상태를 파악하는 계측기기이므로 설치시 토류벽과 나란한 방향으로의 배치와 토류벽과 직각방향으로의 배치를 동시에 고려할 필요가 있다. 이는 Inclinator가 미설치된 구간의 상부 지반거동 상태를 파악하는 동시에 토류벽 후방으로의 이격거리에 따른 지반침하 상태를 파악하고자 하는데 목적이 있다.

측점간의 거리는 가급적 짧은 것이 좋겠으나 측점을 과다하게 설치할 경우 현장계측인원의 측량업무가 폭주하여 자칫 형식적인 계측으로 전락할 우려가 있으므로 충분히 검토 후 설정할 필요가 있다.

또한 측량기준점의 설정은 반드시 **움직이지 않는 고정점을 확보**하여야 하며, 현장여건상 기존 수준점과의 거리가 먼 경우에는 지중에 강봉 등을 매설하여 별도의 측량 참조점을 설치하여 운용할 수도 있을 것이다.

2.7.3 측정시 주의사항

지표침하핀에 대한 계측은 측량을 통해 이루어지므로 측량의 정밀도는 곧 계측결과의 신뢰도에 직결된다. 현재 시공현장에서 사용하고 있는 Level 측량기의 경우 대부분 왕복 1 km측량시 기계오차가 2 mm 이내로 정밀한 편이나 수준점과의 거리가 150 m 이상일 경우에는 개인차에 의해 측량오차가 수 mm 이상 발생할 수도 있으므로 계측결과의 신뢰도가 저하될 우려가 있다. 그러므로 측량시 가급적 수준점을 100 m 이내에 설정하는 것이 좋을 것으로 본다.

2.8 토압계(Pressure cell)

2.8.1 작동원리

토압계는 측정목적에 따라 Embedment earth pressure cell과 Jackout pressure cell로 구분되는데 Embedment earth pressure cell은 성토공사시 성토체 내부의 토압을 측정하는 계측기기이며, Jackout pressure cell은 흙막이벽체중 D-Wall과 같은 강성벽체내에 설치하여 작용토압을 측정하는 계측기기이다.

본 고에서는 굴착공사시 사용되는 Jackout pressure cell(이하 토압계로 칭함)에 대하여 기술하고자 한다. 토압계의 작동원리는 그림 1.23에 보인 것과 같이 에틸렌글리콜류의 비압축성 유체로 채워진 압력셀에 토압이 작용되면 셀 내부의 유체로 작용압이 전달되는데 이것을 공압식 또는 진동현식 압력변환기를 사용하여 토압으로 환산할 수 있다.

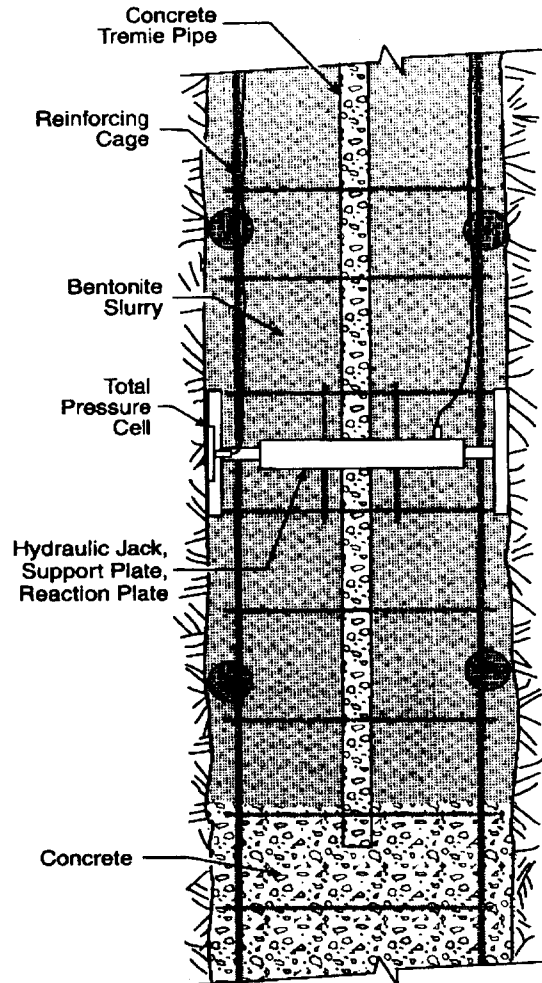


그림 1.23 토압계의 작동원리

2.8.2 설치방법

- ① 셀에 Jack을 연결한 후 Hydraulic tube를 연결한다.
- ② 지중연속벽 내부에 들어갈 조립된 철근망에 측정할 위치를 선정하여 Jack이 연결된 토압셀을 거치시킨다.
- ③ 거치되어 있는 토압셀에 연결된 케이블과 Hydraulic tube를 보호튜브로 보호하며 철근망을 따라 삽입한다.
- ④ 철근망을 지중연속벽 내부에 거치시킨다.
- ⑤ 연속벽 내부에 위치시킨 토압셀의 Jack을 Hydraulic pump를 이용하여 인장시켜 토압셀이 벽면에 부착되도록 한다.
- ⑥ 콘크리트를 타설한 후 Readout을 이용하여 초기치를 산정한다.

2.7.3 설치시 문제점과 대책방안

토압계 설치시 주된 문제점은 토압셀과 벽면과의 부착상태를 제대로 확인하기가 곤란하다는 점이다. 만일 토압셀에 편심이 작용되는 상태에서 Jacking이 실시되었다면 계측오차가 발생할 수 있다.

또한 장기간 계측을 하거나 과중한 토압이 작용될 경우에 토압셀의 변형이 발생되어 토압측정에 영향을 주게 됨을 유의해야 할 것이다.

현재로서는 이에대한 확실한 대책방안이 미비한 상태이므로 토압계 설치는 반드시 경험 있고 숙련된 계측기술자가 직접 시공하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

한편, 토압계를 H-pile과 토류판 등으로 조성되는 연성벽체 후면에 설치하고자 하는 기술자들이 종종 있는데 굴착이 진행된 후 토류판 후면에 설치코자 하는 경우는 굴착이 이미 되어있는 상태이므로 정확한 토압 측정이 곤란하며, 굴착전에 설치코자 하는 경우에도 토압셀의 직경이 약 30cm 정도이므로 일반적인 엄지말뚝에는 부착에 문제가 있으며 또한 엄지말뚝 삽입후 선단부 근입을 위한 향타시 발생하는 진동이 토압셀에 영향을 주어 손상을 입을 수 있어 연성토류벽에는 작용성이 떨어진다. 다만 지하철 Box 구조물과같은 경우 벽체 및 상부 Slab에 작용하는 토압 측정시에는 사용이 가능하다.

따라서 토압계는 D-Wall과 같이 강성벽체에만 적용하는 것이 좋을 것으로 본다.

2.9 균열측정계(Crackmeter)

2.9.1 측정원리

- Three Dimensional Crackmeter

3차원 균열측정기는 그림 1.24에 보인 것과 같이 X-Y-Z 축으로 측정이 가능토록 만든 Gage를 구조물에 부착하게 되면 구조물의 실제 거동과 동일한 방향으로 Gage가 움직이게 되는데 이로써 발생하는 균열을 Dial gage를 사용하여 측정하는 원리이다.

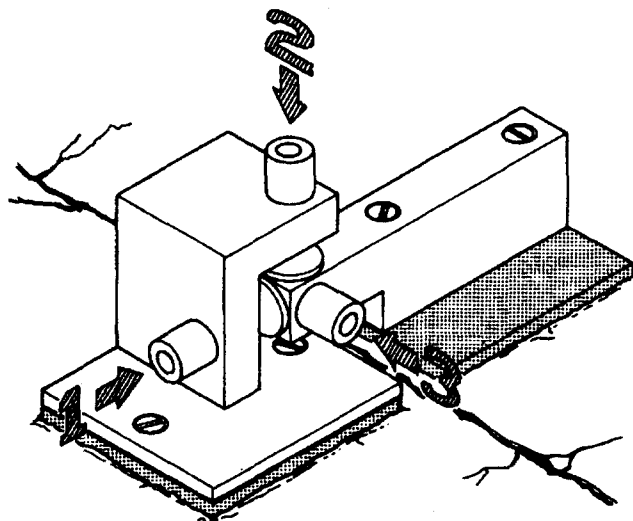


그림 1.24 3-Dimensional Crackmeter 측정원리

- Demec gage형 균열측정계

Demec gage형 균열측정계는 그림 1.25에 나타난 것과 같이 구조물에 균열측정용 Tip을 설치하여 구조물에 발생하는 균열을 Demec gage로 측정하는 원리이다.

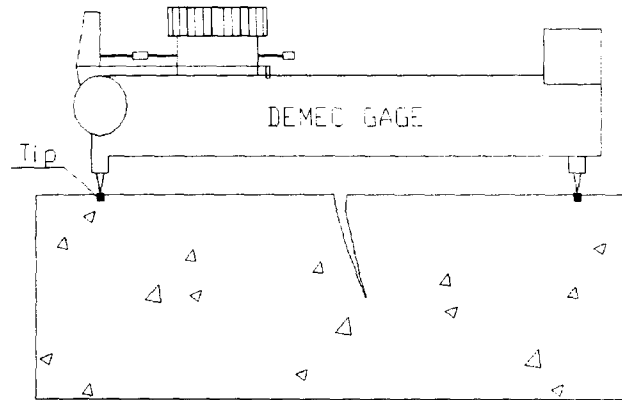


그림 1.25 Demec gage형 균열측정계

2.9.2 설치방법

- 3-Dimensional Crackmeter의 경우

- ① Template에 있는 두 개의 큰 구멍을 통해 Anchor hole의 위치를 표시한다.
- ② Anchor hole을 지름 20~30mm, 깊이 80~100mm 정도로 천공한다.
- ③ Anchor plate를 나사못을 사용하여 Template에 고정시켜 준비한다.
- ④ Anchor hole 내부에 접착제(DEVCON Bonding Compound)를 주입후 초기경화시까지 약 30분간 기다린다.
- ⑤ Anchor Plate와 Template 조립품을 Anchor hole 내부에 힘을 가하여 삽입하며 필요시 구조물 표면과 Template 사이에도 접착제를 바른다.
- ⑥ 접착제가 완전히 경화할 때까지 계측기 주변을 보호덮개로 씌워둔다.

- Demec gage형 균열측정계의 경우

- ① 구조물 표면에 지름 5~7mm, 깊이 10mm 정도로 천공을 한다.
- ② Epoxy bond나 이와 유사한 강력접착제를 천공구에 주입한다.
- ③ 균열측정용 Tip을 천공구속으로 삽입한다.
- ④ 접착제가 완전히 경화할 때까지 약 1~2일 기다린다.

2.9.3 설치시 문제점과 대책방안

균열측정계는 구조물에 발생된 균열의 진행상태를 관찰하는 계측기기인데 설치위치 선정시 뚜렷한 기준없이 계측기능공의 임의적인 판단으로 불필요한 부위에 설치하는 사례가 빈번하다. 예를들어 비구조체인 칸막이벽에 발생된 균열은 그 발생요인이 다양할뿐더러 건물의 시공상태에 따라 계측기기의 측정범위를 초과하는 큰 균열로 진행될 수도 있으므로 계측기기 설치위치로 부적할 경우가 많다.

그러나, 시공현장에서의 균열측정계 설치 목적은 주로 민원발생 요인을 억제하는데 있으므로 계측기기를 건물주가 희망하는 부위(주로 비구조체)에다 설치하는 수가 많은데 이 부위에서 큰 균열로 진행될 경우 오히려 민원인측의 피해 근거자료로 역이용될 수도 있으므로 각별한 주의가 필요하다.

그러므로, 균열측정계의 설치위치를 선정함에 있어서는 사전에 대상 구조물에 대한 균열조사를 실시하여 기발생된 균열중 주로 기둥이나 보, Slab 등과 같이 구조체에 발생된 균열에 주목하여 건물의 구조적 성능저하에 직결되는 중요한 부위를 대상으로 설치위치를 결정하는 것이 바람직하다. 또한 이를 위해서는 경험있는 해당 전문기술자의 검토와 기술자문을 구하는 것도 좋을 것으로 본다.

3. 결 론

개착식 굴토공사시 사용되는 주요 계측기기의 특성과 설치 및 측정시 발생될 수 있는 문제점과 그 대책방안을 논하였다.

현재 건설현장에 보급되는 계측기기는 종류와 사양이 매우 다양하므로 계측기기 선택시 기기의 특성을 상세히 파악하여 사용하고자 하는 계측기기가 계측 목적상 요구되는 소정의 측정범위와 정밀도를 갖춘 기기인지 확인해야 할 것이다.

잘못 설치된 계측기기와 잘못 측정된 계측자료를 가지고 많은 시간을 투입하여 아무리 분석을 철저히 하여도 현장에 도움을 주지는커녕 오히려 혼란만 가중시키게 될 것이다.

계측기기의 설치와 측정은 본 고에서 기술한 기본적인 원칙을 준수하되 적용될 계측기기의 특성과 현장조건을 고려하여 융통성있게 시행되어야 할 것이며, 이를 위해서는 계측 현장경험이 풍부하고 시공과정에서 나타나는 여러가지 현상에 대한 공학적인 접근과 해석이 가능한 기술자가 실무에 투입되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국전력공사 기술연구원(1983), 토목구조물의 현장계측에 대한 연구, pp.82-160.
2. 한국지반공학회(1995), 개착구조물의 시공관리를 위한 계측 및 품질관리방법, pp.63-66.
3. 한국콘크리트학회(1994), 콘크리트 구조물의 안전진단 및 보수·보강 지침서, pp.39-57.
4. 다산컨설팅(1994), 청주 스포렉스 신축 흙막이공사 계측관리보고서, pp.46-48
5. Slope Indicator Co.(1994), Applications Guide 2nd Edition, pp.3-11 ~ 12-10.
6. Dunicliff J.(1988), Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, John Wiley & Sons, New York, pp.117-329.
7. Alam Singh(1981), Soil Engineering in Theory and Practice - Geotechnical Testing and Instrumentation, APT Books, New York, pp.474-546.
8. AASHTO(1982), Standard Specifications for Transportation Materials - Method of Sampling and Testing part II, 13th Edition, pp.1031-1043.
9. J. Patrick Powers(1981), Construction Dewatering-A Guide to Theory and Practice, John Wiley & Sons, New York, pp.130-138.
10. T.H. Hanna(1985), Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, Trans Tech Publication, Clausthal.