

지반앵커의 유지관리와 재인장



김지호
㈜쓰일텍코리아
대표이사
(k1226jh@korea.com)



정현식
㈜쓰일텍코리아
기술연구소 이사

1. 일반사항

앵커가 설치된 구조물의 유지관리 목적은 구조물의 건전성을 확보하여 사용성을 확보하고 유지시킬 수 있도록 하기 위한 것이다.

앵커가 설치된 구조물의 유지관리 방법은 설치된 앵커의 건전성을 평가하는 방법과 구조물의 변위를 측정함으로써 설치된 앵커의 건전성을 평가하는 방법으로 구분할 수 있다.

깊은 굴착에 적용된 가설앵커의 경우 토류벽체의 변위와 지반앵커의 보유응력 관계를 해석하여 토류벽체의 안정성을 평가하게 되며, 수압대응, 사면보강 등 영구 구조물에 적용되는 영구앵커의 경우 설치된 지반앵커의 보유응력을 측정하여 앵커구조물의 안정성을 평가하게 된다.

구조물의 변위를 통한 안정성 평가 방법은 기본적으로

로 설치된 앵커의 실제 보유응력을 정확히 확인할 수 없다는 현실적인 제약 때문에 구조물의 변위를 통한 역해석의 의미로 안정성을 평가하는 것이다.

지반앵커가 설치된 구조물에 대한 가장 확실한 안정성 평가 방법은 설치된 앵커의 보유응력을 직접 확인하고 변위와의 관계를 역해석할 수 있다면 가장 정확한 평가가 이루어질 수 있을 것이다.

시공기록의 보존

지반앵커의 유지관리를 위해서는 시공된 앵커의 유형 및 제원, 지반조건, 그라우트 주입 기록 등과 관계되는 시공기록의 보존이 중요하며 이는 지반앵커의 이상거동에 대하여 원인을 파악하고 대책을 강구하기 위한 필수 사항들이다.

한편, 지반앵커의 유형 및 시공 조건들에 따라 응력

손실에 대한 원인이 다르게 나타나며 또한, 동일한 응력손실에 대해서도 앵커 유형에 따라 대책이 다르게 수립되어야 한다.

앵커의 계측

영구앵커의 경우 설치 후 사용기간 동안 유지관리를 위한 장기계측이 필요하다. 장기 계측의 목적은 설치된 앵커가 설계 앵커력을 유지하고 있는지 여부와 부식 등 구성요소 손상 여부를 확인하기 위해서이다.

장기계측은 보통 설치된 앵커의 3%~5%정도의 수량으로 확인하며 이때 지반앵커의 보유응력을 측정하는 방법은 로드 셀(Load cell)에 의한 방법과 리프트 오프(Lift-off) 테스트를 통한 방법이 있다.

로드 셀에 의한 지반앵커의 보유응력 확인은 앵커 시공단계에서 로드 셀이 설치되어야 하므로 사전에 구조물의 중요도, 장기계측의 목적 등을 고려하여 설치 개소를 결정해야 한다. 반면 리프트 오프 테스트를 통한 방법은 필요시 언제나 확인할 수 있다는 장점이 있으나 재인장형 정착구의 적용이 필수적이며 별도의 시험비용이 발생된다.

한편, 로드 셀에 의한 계측에서 많이 사용하는 로드 셀은 진동현식과 전기저항식이 있으며 장기계측을 위한 로드 셀은 현장의 기후변화, 기상조건에 의한 훼손 등을 고려할 때 진동현식을 적용하는 것이 유리하다.

지반앵커의 장기계측을 위한 모니터링 계획에서 로드 셀의 설치위치는 중요하다. 로드 셀의 설치위치는 가급적 설계단계에서 고려되었던 대표단면에 대하여 설치하는 것이 유리하다. 이는 로드 셀의 설치목적이 단순히 앵커의 보유응력 확인에 국한하는 것이 아니고 계측결과에 의한 역해석을 통해 앵커가 설치된 구조계의 안정성을 검토하고 대책을 수립할 수 있도록 하기 위함이다.

간혹 잘못된 계측계획으로 얻어진 계측자료를 통해 앵커의 안정성은 확인할 수 있으나 앵커가 설치된 구조계의 안정성을 확인하지 못하는 경우가 생긴다. 즉, 이런 경우에는 장기계측의 중요한 한 가지 목표를 달성하지 못하는 것이다.

또 다른 방법으로는 최근 개발된 보유응력 자가진단 시스템이다. 이 방법은 지반앵커 정착장과 앵커 두부간의 상대변위를 측정하여 지반앵커의 보유응력을 평가하는 방법으로 별도의 계측이나 시험 없이 간단하게 보유응력 측정이 가능한 방법이다.

또한 설치된 지반앵커 전체에 대한 보유응력 측정이 가능하므로 향후 적용이 늘어날 것으로 전망된다.

2. 보유응력의 측정

설치된 지반앵커의 보유응력을 확인할 수 있는 방법

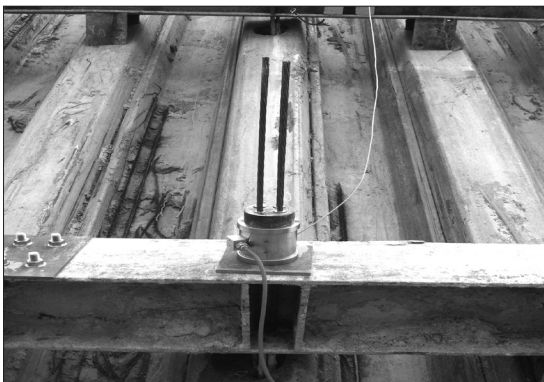


사진 1. Load cell

은 다음과 같은 세 가지 방법이 있다.

로드 셀 (Load cell)에 의한 계측

로드 셀에 의한 지반앵커 보유응력 측정법은 표본조사의 개념으로 적용되는 가장 일반적인 방법이며 전기저항식과 진동현식의 두 가지 종류가 주로 사용되고 있다.

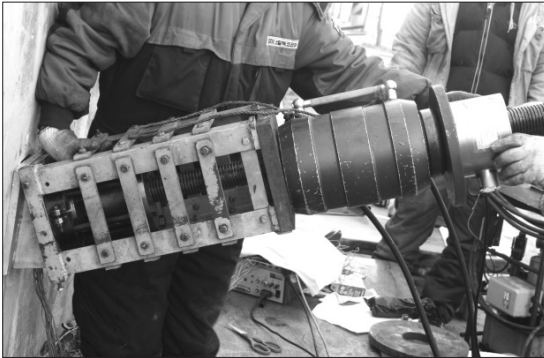
로드 셀이 가설앵커에 설치되는 경우는 문제없으나 영구앵커에 설치되는 경우 장기적인 안정성 및 내구성을 고려할 때 진동현식이 유리하다. 또한 전기저항식의 경우 기상조건 등 외부환경에 의한 영향이 큰 단점이 있으며 진동현식의 경우도 기상조건 등 외부 환경에 의한 영향이 오차로 나타나게 되므로 적절한 보호 대책이 필요하다.

Lift-off test

지반앵커의 보유응력을 확인하기 위한 리프트오프 테스트의 기본원리는 간단하다.

설치된 지반앵커의 인장력에 대응하는 하중-변위 곡선을 이용하여 보유응력을 확인하는 것이다. 사진 2는 Lift-off 시험모습이며 그림 1은 Lift-off 시험을 통한 보유응력 판정방법을 보여주는 것이다.

그림 1에서 Lift-off 시험과정 중 (a)구간의 변위를 정확하게 읽어내기는 쉽지 않다. 이론적으로는 시험 과정에서 보유응력에 도달하기 전까지는 변위가 발생되지 않아야 한다. 즉, (a)과정의 변위는 시험장치의 셋팅에 의한 변위가 나타나는 것으로 아주 미세하고 불규칙적으로 나타난다. 이후 지반앵커의 보유응력이



(a) Lift-off 시험(응력)



(b) 정착 두부의 변위발생



(c) 사면에서의 Lift-off 시험

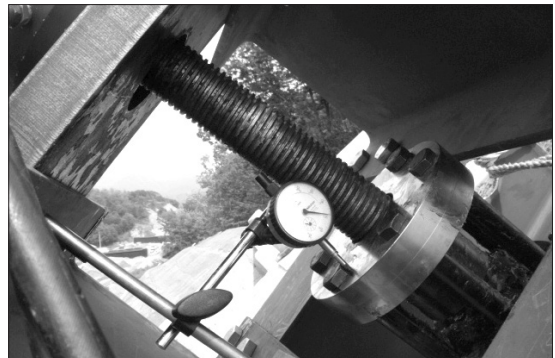


사진 2. Lift-off 시험

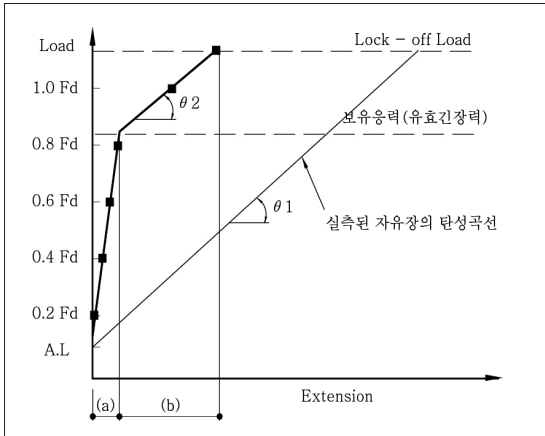


그림 1. Lift-off 시험에 의한 보유응력 판정

상에서 인장재에 긴장력이 도입되므로 당초 인장단계에서 나타났던 하중-변위 곡선의 기울기(θ_1)와 동일한 변위곡선(θ_2)이 나타난다. 즉, 그림 1의 (b)구간과 같은 변위곡선을 얻을 수 있으며 이 곡선을 이용하여 보유응력을 확인할 수 있는 것이다.

실제 현장시험에서는 (b)구간의 기록도 필요하지 않게 되는데 이는 (b)구간이 시작되기 전 사진 2(b) 원형 부분과 같이 정착두부의 변위가 시작되며 육안에 의해 확인되기 때문이다.

■ Lift off 시험 결과의 평가

Lift off 시험결과 지반앵커의 보유응력이 설계하중에 미치지 못하는 경우 앵커의 최대 정착능력을 확인하기 위해 추가 인장력을 재하하는 경우가 종종 있다.

그림 2에서 (b)구간의 기울기가 ①의 경우처럼 인장단계에서 나타났던 하중-변위 곡선의 기울기(θ_1)와 동일하게 나타난다면 추가 인장력을 재하해도 문제가 없다.

그러나 ②의 경우와 같이 기울기가 달라지는 경우 추가 인장을 중지하여야 한다.

그림에서 (c)구간은 지반앵커의 정착장 또는 인장재 등 구성요소가 어떠한 이유로 극한상태를 넘어서고 있음을 나타내는 것이다. ②의 경우에서 추가인장을 계속할 경우 결국에는 정착장이 인발되거나 인장재가 파

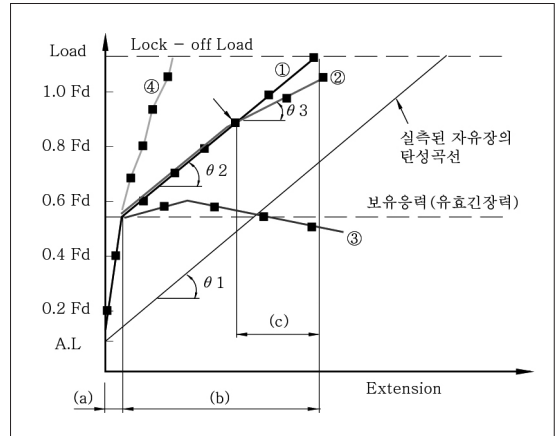


그림 2. Lift-off 시험 결과의 평가

단되어 앵커의 기능을 상실하게 된다.

시험과정에서 ③의 경우와 같이 나타나기도 하는데 이는 시험에서 나타난 보유응력이 설치된 앵커의 최대 정착력과 동일하다는 것을 보여주는 것이다. 이 경우에 설계인장력 확보를 위한 재 인장은 무의미해진다.

시험과정에서 특히 유의할 것은 추가 하중단계에서 얻어지는 탄성곡선의 기울기(θ_2)는 실측된 자유장에 의한 탄성곡선의 기울기(θ_1)보다 클 수 없으며 또 (c)구간의 기울기(θ_3)는 추가 하중단계에서 얻어지는 탄성곡선의 기울기(θ_2)보다 클 수 없다.

즉, 시험 전 과정에서 $\theta_1 \geq \theta_2 \geq \theta_3$, 조건 또는, $\theta_1 \approx \theta_2 \geq \theta_3$ 의 조건이 만족되어야 한다는 것이다. 시험과정에서 이 조건이 만족되지 않았다면 시험 장비의 오차 또는 계측과정의 오차 등에 의한 것으로 시험결과를 평가할 수 없게 된다.

간혹 ④와 같은 경우도 나타나는데 이런 경우 지반앵커의 보유응력을 확인할 수 없으며 원인은 지반앵커 필수 구성요소 중 하나인 자유장 부분이 제대로 형성되지 않았음을 보여주는 것이다. 즉, 지반앵커 시공 중 실제 설계길이보다 짧게 시공되었거나(자유장 길이) 어떤 이유로 인해 자유장 부분을 보호하는 피복재가 훼손되어 인장재와 그라우트가 부착되어 있음을 의미하며 실제 인장작업 단계에서 측정된 늘임량에 의한 유효 자

표 1. Lift-off 시험 결과의 평가

구분	특성	평가
① 경우	$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta_3$	정상적인 경우로 재 인장에 의한 설계 앵커력 확보가능
② 경우	$\theta_1 \approx \theta_2 \geq \theta_3$	정착장의 creep등 최대 정착력을 발휘하고 있는 상태로 추가 인장 중지
③ 경우	$\theta_2, \theta_3 \leq 0$	현재 상태가 최대 정착력 단계로 추가하중 재하 불가능
④ 경우		현재 상태가 최대 정착력 단계로 추가하중 재하 불가능

유상이 거의 나타나지 않았음을 나타내는 것이다.

보유응력 자가진단 시스템(상대변위를 이용한 보유응력 측정)

최근 국내 개발된 지반앵커의 보유응력 자가진단 방법으로 지반앵커 정착장과 정착두부간의 상대변위를 측정하여 보유응력을 확인하는 시스템으로 3절에서 자세히 설명한다.

3. 보유응력 자가진단법 (상대변위를 이용한 보유응력 측정법)

최근 국내 개발된 지반앵커 보유응력 측정 시스템으로 원리가 간단하며 추가 비용이 발생되지 않고 설치되는 모든 앵커에 대한 보유응력 측정이 가능한 새로운 개념의 지반앵커 보유응력 측정방법이다.

기존의 로드 셀에 의한 보유응력 측정은 초기 설치 비용이 많이 들고 주기적으로 관리해야 한다는 단점이 있으며 표본조사의 한계가 있다. 즉, 초기 계획단계에서 로드 셀의 개소를 결정할 때 설치비용 등이 고려되어 보통 3%~5%정도 적용되는 것이 일반적이다.

또 다른 방법으로 Lift-off 시험에 의한 보유응력의 측정방법이 있지만 실험에 따른 비용 때문에 실제 어떠한 불리한 조짐이 나타나기 전까지는 많이 시행되지 않고 있는 실정이다.

기존의 이러한 방법들은 설치비용 및 유지관리 비용

으로 인하여 최소한의 계측과 시험에 의존하여 지반앵커의 건전도를 추정할 수밖에 없었으나 자가응력 진단 방법은 지반앵커의 보유응력 측정을 위한 별도의 추가 비용이 없고, 측정원리가 비교적 단순하며 설치되는 모든 앵커에 대한 보유응력의 전수조사가 가능하다는 장점이 있다.

또한 앵커의 보유응력에 대한 관리기준을 설정하면 스스로 표현하는 방법으로 향후 지반앵커 전반에 걸쳐 적용될 수 있는 경제적이고 효율적인 방법이다.

기본원리

보유응력 자가진단 방법의 기본원리는 그림 3과 같다. 그림에서 지반앵커의 응력변화는 자유장 부분의 하중-변위 곡선으로 나타난다. 즉 Hook의 법칙에 의한 인장재의 재료특성과 길이에 관계되어 비례관계로 나타나는 것이다.

지반앵커 설치 후 보유응력의 변화는 설치단계에서

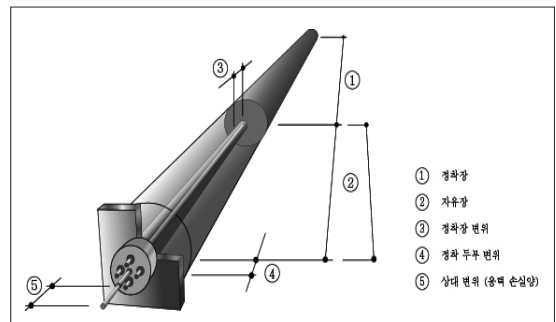


그림 3. 보유응력 자가진단 측정의 기본원리

고정하중에 대하여 발생된 자유장 구간의 변위로 나타나게 된다. 즉, 지반앵커 정착장 상단부와 정착두부간의 변위로 나타나게 되는 것이다.

지반앵커에서 보유응력 손실의 가장 큰 원인은 정착장의 변위(그림 3. ③)와 정착두부의 침하(그림 3. ④)이며 이 두 가지 요인에 의한 상대변위는 그림 3의 ⑤로 나타나게 된다. 즉, 정착장부와 정착두부 간의 상대변위(⑤)를 측정 함으로 지반앵커의 보유응력을 확인할 수 있는 것이다.

응력 손실 판정

그림 3에서 지반앵커의 응력손실(ΔF)는 지반앵커 정착장과 정착 두부간의 상대변위(Δl)와 관계가 있으며 상대변위와 자유장 길이를 이용하여 손실응력을 계산할 수 있게된다.

즉, 손실응력 (ΔF)는 식 (1)로 계산할 수 있다.

$$\Delta l = \frac{\Delta F L_f}{E_s A_s} \quad \Delta F = \frac{\Delta l E_s A_s}{L_f} \quad (1)$$

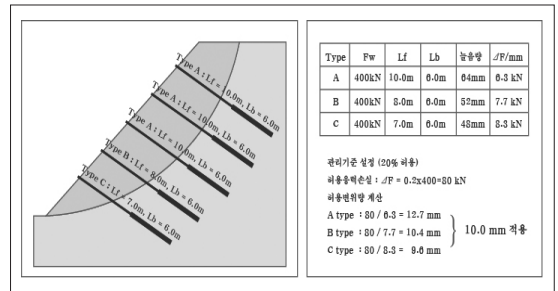
관리기준 설정 및 보유응력 판정

그림 4에서와 같이 비탈면 보강에 적용된 지반앵커의 경우 비교적 간단하게 관리기준을 설정함으로써 지반앵커의 안정성을 비교적 쉽게 확인할 수 있다.

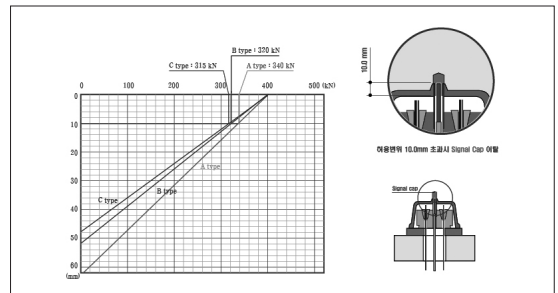
그림 4(a)에서 지반앵커는 인장작업 중 재하되는 하중에 대한 늘임량이 발생되고 이때 늘임량과 하중은 비례관계를 나타낸다. 즉, 지반앵커의 허용응력 손실 기준을 정해두면 그림 4(b)와 같이 허용변위가 초과되는 경우 스스로 경보하며 이후 발생하는 추가 변위량을 측정함으로써 보유응력을 판정할 수 있게 된다. 그림 5는 지반앵커 보유응력의 자가진단 및 유지관리를 위한 흐름도이다.

4. 지반앵커의 재 인장

지반앵커에 있어서 재 인장(Re-stressing)은 무조건적인 재 인장을 의미하는 것은 아니다. 보통 지반앵커에서 재 인장이라 함은 설계단계에서 고려하지 못한 변



(a) 관리기준 설정



(b) 보유응력 판정

그림 4. 관리기준 설정 및 보유응력 판정

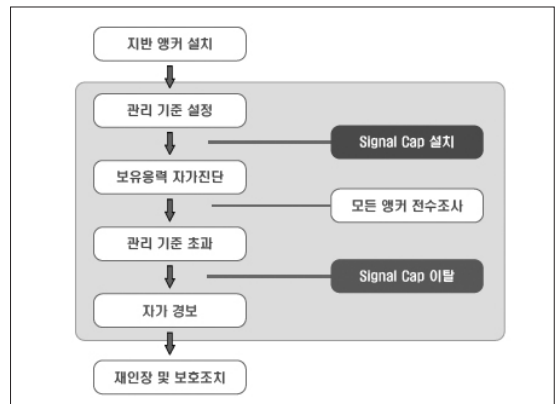


그림 5. 보유응력 자가진단 및 유지관리 시스템

수, 시공조건과 설계조건의 불가피한 차이에 대응하기 위한 것으로 재 인장이 필요한 경우는 보통 다음과 같다.

- 1) 앵커 인장 후 당초 설계조건대비 현장조건이 상이하여 추가하중이 요구되는 경우로 당초 설계하중의 10~15% 범위 내에서 재 인장하여 외적 안정성 확보.
- 2) 앵커 설치 후 지반의 크리프 등 장기손실이 발생한 경우 10~15%범위 내 재 인장을 실시하여 외적 안정성 확보.
- 3) 사면의 인장균열 등 안전진단이 필요한 경우 역해석에 의해 앵커의 추가 하중 필요 시 재 인장을 실시하여 외적 안정성 확보.

또한 지반앵커의 재 인장 범위는 인장재의 항복하중 이내에서 고려되어야 하며 인장재에 가할 수 있는 최대 인장력이 $0.8f_{us}$ 또는 $0.94f_{uk}$ 를 넘지 않아야 하고 인장재의 안전율을 고려한 설계하중이 $0.6f_{us}$ 를 넘지 않아야 하는 점을 고려하면 인장재의 극한하중대비 20% 이내에서 재 인장되어야 하며 설계하중을 기준으로 할 때 약 30%의 재 인장 여유가 있는 것이다. 그러나 인장재의 사용성을 고려한 기준에 의하면 긴장력 도입 직후 인장재의 허용응력은 $0.74f_{us}$ 또는 $0.82f_{uk}$ 를 넘지 않도록 규정하고 있다. 이 경우 항복하중대비 약 15%의 재 인장 여유가 있는 것이다.

즉, 인장재의 항복하중과 설계하중 관계에서 앵커의 사용성을 고려할 때 재 인장 범위는 설계하중의 15%를 넘지 않도록 관리되어야 할 것이다.

이러한 이유로 재인장형 정착구는 설계하중대비 15%정도의 추가 재 인장 여유를 갖도록 하는 것이 일반적이며 인장재에 적용된 안전율과도 밀접한 관계가 있게된다.

일부 현장에서 설계하중 대비 15%~20% 이상의 응력손실이 생긴 경우가 있는데 이런 경우 재 인장을 하더라도 설계 앵커력을 지속적으로 유지하기는 어렵다. 즉 어느 허용범위 이상 응력손실이 생긴 경우는 앵커의 구성요소 중 한 가지 이상이 이미 기능을 상실한

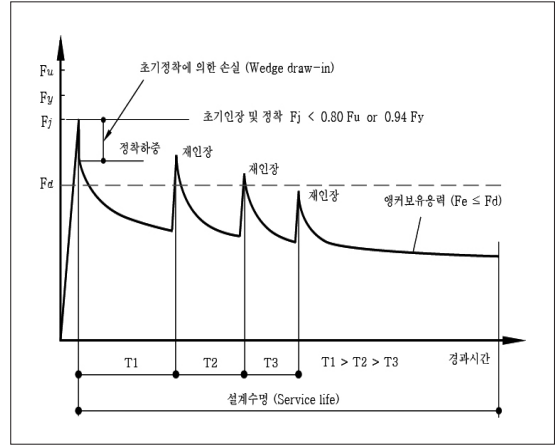


그림 6. 재 인장에서 하중-변위 관계

것으로 재 인장을 실시해도 앵커의 장기적인 안정성 확보가 어려운 것이다.

허용범위 이상 응력손실이 생긴 지반앵커에 재 인장을 실시하여 설계하중을 유지시킨 경우에는 지속적인 계측을 통해 응력의 수렴과정을 확인하고 설계 앵커력과 비교하여 역해석 등을 통한 대책이 수립되어야 한다.

그림 6과 같이 재 인장 주기 및 응력손실 주기가 짧아지며 결국에는 정착구의 재 인장 한계 때문에 재인장이 불가능한 상황에 도달하며 결국 앵커는 설치된 조건에서 가능한 스스로의 정착력에 수렴하게 된다. 이때 주의하여야할 사항은 무리한 재 인장을 실시하여 정착구의 재 인장 범위를 넘어서는 변위가 생긴 경우 정착이 불가능하여 앵커의 기능을 완전히 상실하게 되므로 주의하여야 한다.

그림 6에서 T1, T2, T3의 재 인장 단계에서 인장재의 소성변위는 누적되어 나타난다. 이때의 누적된 소성변위와 정착구의 재 인장 허용범위를 검토하여 재 인장 계획이 수립되어야 하는 것이다.

5. 재 인장형 정착구의 재 인장 한계

지반앵커에 적용되는 재인장형 정착구에 대한 재 인

지반앵커의 유지관리와 재 인장

장 원리는 크게 두 가지로 설명된다.

먼저, 정착헤드에 나사를 가공하여 볼트/너트의 원리를 이용하여 지반앵커의 손실된 응력을 확보하는 방법과 정착헤드를 재 인장하여 정착헤드와 지압판 사이에 추가 재 인장을 통해 나타나는 변위에 대응하는 지압판을 설치하여 손실된 응력을 확보할 수 있도록 하는 방법이다. 또한 재 인장 방법을 볼 때 재 인장을

위한 인장재의 여유길이가 필요한 형식과 여유길이가 불필요한 2가지 유형으로 구분된다.

그림 7은 일반적으로 많이 사용되는 볼트와 너트의 원리를 이용한 재인장형 정착구의 재 인장 한계를 보여 주는 것이다.

그림 7에서 재 인장은 재 인장 여유길이(a)를 이용하여 재인장한 후 정착헤드 외부의 너트를 회전하여 정

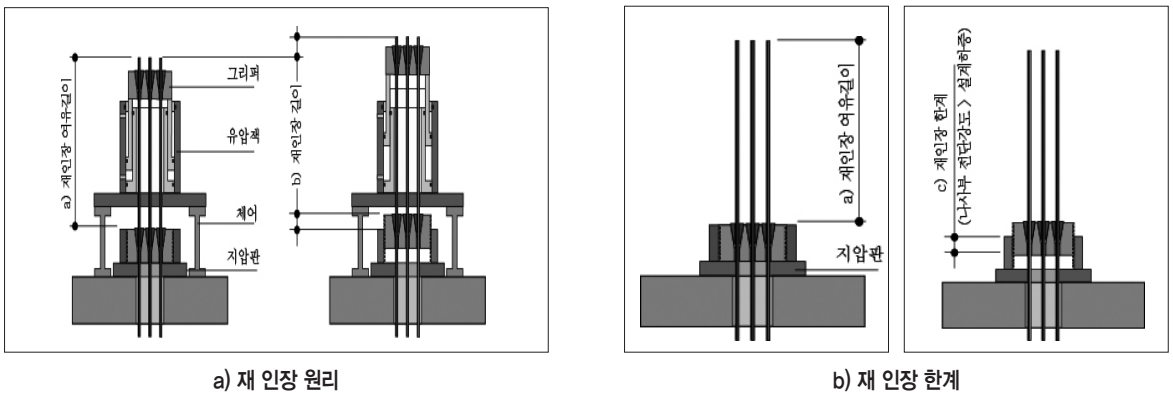


그림 7. 재 인장 원리와 재 인장 한계

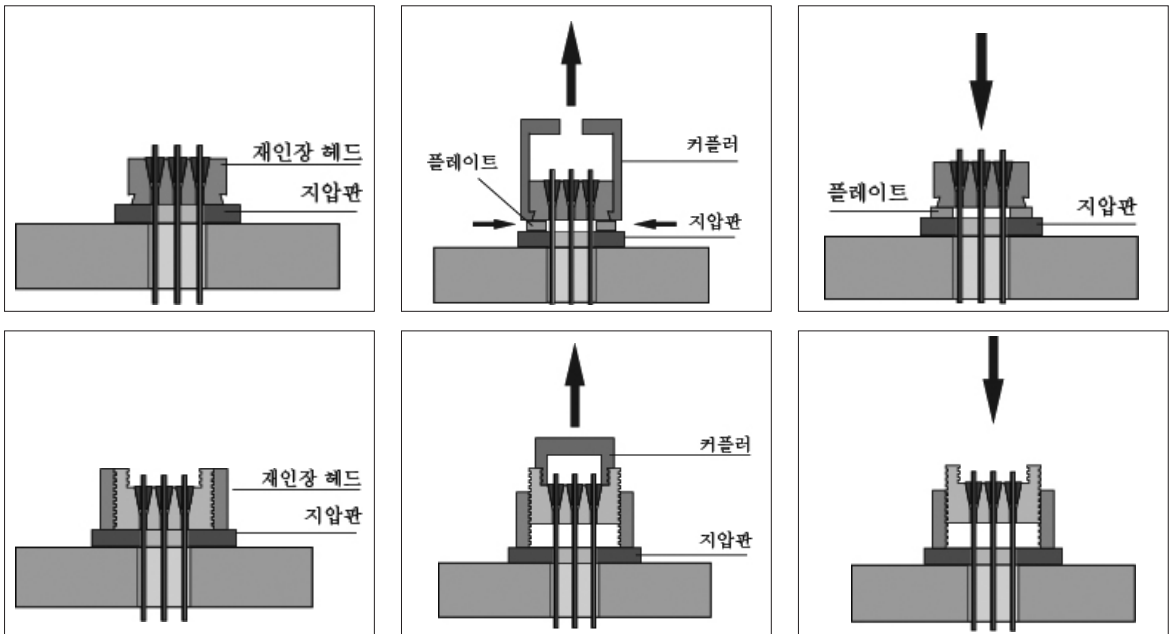


그림 8. 재 인장을 위한 인장재 여유고가 불필요한 경우

표 2. 지반앵커 시공기록

구 분	주요 검토 사항	
앵커제원	앵커의 배치, 앵커 유형, 설계하중, 인장재 규격, 자유장 정착장 길이,	설계도서
천공 및 그라우팅 기록	대상지반조건 천공경 및 천공심도 그라우트 배합비 및 주입량	천공 및 그라우팅보고서
인장기록	유압장비 제원 설계기준 늘음량 관리기준 실측된 늘음량 곡선	시험보고서 및 인장보고서

착토록 하는 것이다. 이때 재 인장 한계는 그림 7 b), c) 에서와 같이 정착헤드에 가공된 나사의 전단강도를 넘 지 않도록 제한되어야 하는 것이다.

또 다른 방법으로 그림 8과 같이 재 인장을 위한 인장재의 여유길이가 불필요한 경우로 여유길이 보호를 위한 조치가 필요하지 않다는 장점이 있다.

6. 시공기록의 보존

지반앵커의 유지관리를 위해서는 시공된 앵커의 유형 및 제원, 지반조건, 그라우트 주입기록 등과 관계되는 시공기록의 보존이 중요하며 이는 지반앵커의 이상 거동에 대하여 원인을 파악하고 대책을 강구하기 위한 필수사항들이다.

즉, 지반앵커는 정착유형 및 시공조건에 따라 응력 손실의 원인이 다르며 동일한 응력손실에 대해서 대책이 다르게 수립되어야 한다.

특히 영구앵커로 적용되는 경우 사용기간이 길며 유지관리 대책이 수립되어야 하며, 이때 시공기록의 보존은 유지관리를 위한 기초자료가 된다.

지반앵커공사 종료 후 보존되어야 하는 시공기록은 표 2와 같다.

참 고 문 헌

1. British Standards Institution,(1989), BS 8081 : "British Standard Code of practice for Ground anchorages," London.
2. FIP,(1973), "Final Draft of the Recommendations FIP Subcommittee on Prestressed Ground Anchors,"
3. Civil Engineering Services Department Hong Kong(1989), "Model Specification for Prestressed Ground Anchors,"
4. Petros P. Xanthakos,.(1991), "Ground Anchors and Anchored Structures," A Wiley-Interscience Publication,
5. U.S. Department of transportation Federal highway administration. (1999) Geotechnical engineering circular No. 4 "Ground anchors and anchored systems
6. SIA. Edition Ground Anchors(1977), Swiss Society of Engineers and Architects, Thorburn, S. and Littlejohn, G. S. (1993), "Underpinning and Retention," Champman & Hall,
7. Kim, Jiho, Jeong, Hyeon-sic, Kwon, Oh-Yeob, Shin Jong-ho,(2014), "Characteristics of Multi load transfer Ground anchor system" j of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 16(1)25-50