

영구 암반앵커의 거동 분석

Evaluation of the Behavior of Permanent Rock Anchor

조성한¹⁾ Sung-Han Cho, 조성하¹⁾ Sung-Ha Cho, 정상섬²⁾ Sang-Seom Jeong, 김수일³⁾ Soo-Il Kim

¹⁾ 연세대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Yonsei University

²⁾ 연세대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Yonsei University

³⁾ 연세대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Yonsei University

SYNOPSIS : Present study describes full-scale tests performed on three instrumented rock anchors which were used to resist hydrostatic uplift forces of basement slabs for construction of Yonsei Engineering Research Center. Special attention was given to the load transfer mechanism, debonding process, creep behavior of the three anchors with varying lengths under loading, unloading and sustained loading. A series of Sinco type surface-mounted vibrating-wire gauges were microwelded on the steel bar at certain intervals along its length and the anchor with instrumented steel bar was installed in hard rock. It was shown that debonding was created at the grout/tendon interface by loading the anchor to a certain level of load and then load redistribution developed over the debonding zone due to the mobilized friction. Based on the experimental results, it was found that load was transferred to the free length zone through grouting and as a result, bond resistance was developed at the free length zone. It was also found that the load carrying capacity of the anchor was highly dependent on the bond resistance at the grout/tendon interface.

Key words : rock anchor, load transfer, debond, vibrating-wire strain gauge, grout, tendon, bond resistance.

1. 서론

1960년대 중반이후부터 웅벽, 기초벽, 터널, 교대 및 댐 기초 시공시 구조물의 지지용이나 안전성 확보를 위하여 다양한 용도의 영구앵커가 사용되고 있다. 영구앵커에 있어서는 가설앵커와 달리 사용연한동안 앵커력의 불변성을 유지하는 것이 무엇보다 중요한데 이를 위해서는 설계뿐만 아니라 설치기술 및 앵커체 보호 등 현장 품질관리에도 만전을 기하여야 한다. 설계시에는 소요강선의 직경, 자유장 및 정착장의 길이, 인장력 감소량 및 예상되는 초기인장력, 지압판의 규격 등을 고려하여야 하며, 본 작업 이전에도 앵커시험을 실시하여 앵커체의 극한 인발하중 및 안전율을 검토하는 것이 바람직하다.

앵커설계시 가장 중요한 문제는 시공과정이나 구조물의 사용연한 내에서의 앵커두부에서의 작용하중 및 변위 또는 앵커근입부에서의 하중전달 메카니즘 등의 거동을 파악하는 것이다. 이에 대한 연구로서 계측을 통한 사용연한내 프리스트레스 하중의 변화양상 규명(Littlejohn and Bruce, 1979 ; Hanna, 1982 ; "British standard code", 1989 ; Benmokrane and Ballivy, 1991 ; Littlejohn and Xu, 1993)이나 원거리 광파측량을 통한 앵커두부변위(Franklin and Denton, 1973 ; Stirling et al., 1992) 등의 거동파악은 꾸준히 진행되어 오고 있다. 그러나 이에 비해 앵커체가 묻힌 근입장내의 앵커체와 주변지반의 상호작용, 하중전달, 응력수준의 크기, 크리프, 자유장 또는 정착장의 변위발생 정도에 대한 기본적인 연구는 수치

해석을 적용한 역해석(Hutchinson and Grabinsky, 1992)이나 극한하중상태에서 발휘되는 주변마찰력(Ostermayer and Scheele, 1977)과 인발시험시 하중전달률(Shields, 1978)에 대한 기존 연구가 있으나 대부분 사질토지반에 근입된 영구앵커의 경우로 암반에 근입된 앵커로 확대 해석하는 것은 무리가 있다.

이와 같은 배경에서 본 연구에서는 연세공학센터 신축공사 현장내의 암반층에 부력앵커 설치시, 앵커의 설계지지력에 큰 영향을 미치는 정착부와 자유장의 길이를 변화시켜가며 최대 인장하중까지 인발하여 경암층에 근입된 앵커의 하중-전달 메카니즘, 부착파괴 그리고 크리프거동 등을 분석하였다. 현장시험은 기존에 국외에서 수행한 강봉타입의 앵커체에 변형률게이지를 부착하는 대신에 앵커의 인발시 앵커와 그라우팅, 그라우팅-암반부의 거동파악을 위하여 강선타입의 앵커체 주위의 그라우팅부에 19mm의 철근을 삽입하고 여기에 진동현(vibrating-wire) 변형률게이지를 spot 용접기를 사용하여 일정한 간격으로 부착한 후 인발재하와 하중제하에 따른 거동파악을 수행하고 그 외 telltale을 사용하여 소정의 깊이에서의 변위를 실측하였다.

2. 앵커 인발시험

2.1 시험대상 암반

본 연구 대상 지역에서 실시한 시추조사 결과 본 지역의 기반암은 호상편마암으로 되어 있으며, 암상은 흑운모로 이루어진 암색대와 석영, 장석으로 이루어진 명암대가 호상구조를 나타내는 것이 특징이다. 또, 암석이 재결정작용을 받아서 운모와 같은 판상의 광물이 평행하게 배열되어 평행구조를 띤 엽리의 배열이 40~45° 경사로 발달되어 있다. 주 구성광물은 석영, 장석, 흑운모이며 부분적으로 장석이 변질되어 견운모화 된 것도 나타났다. 자세한 시추조사 결과는 표 1과 같으며 암석코아시료에 대한 일축압축강도시험 결과와 시료파괴시의 형상을 표 2 및 그림 1에 각각 나타내었다.

표 1 시추주상도 및 시추결과

| 시추 깊이 | 코아회수율 | Description | R.Q.D (%) | Joint Spacing | | |
|-------|-------|--|-----------|---------------|-----|-----|
| | | | | Max | Min | Avg |
| 2.0m | 35 | 연암, 담회색, 보통풍화, 보통강함의 편마암. 절리경사 45~50°, 약간 거친 평면으로 연녹색 착색, 얇은 석영맥 협재. | - | 8 | 2 | 4 |
| | 100 | 경암, 편마암,담회색 또는 암회색, 보통풍화 또는 신선, 보통강함 또는 매우 강함. | 10 | 10 | 2 | 6 |
| | 95 | | 10 | 10 | 3 | 6 |
| 7.0m | 100 | 1) 심도 2.0~7.2 m | 40 | 16 | 7 | 11 |
| | 90 | 절리경사는 (30~35°, 55~60°)으로 굴곡상 약간 거칠며 | 10 | 10 | 2 | 4 |
| | 100 | 준수평면은 부분적으로 75~80°으로 부드러움. | 70 | 34 | 12 | 20 |
| | 100 | 파쇄대구간은 2.3~2.5m, 2.5~4.5m (부분적으로 소규모적인 파쇄대구간), 6.1~6.5m. | 60 | 23 | 6 | 15 |
| | 95 | 2) 심도 7.2~15.0 m | 60 | 35 | 2 | 16 |
| 13.0m | 60 | 절리경사는 35~40°(굴곡상 부드러움), 20~25°(평면상 부드러움) 부분적으로 55~60° 평면상으로 부드러움. | 0 | 8 | 2 | 4 |
| 15.0m | 90 | 파쇄대구간은 12.0~15.0 m에서 전반적으로 발달. | 0 | 9 | 2 | 4 |

표 2 일축압축강도 시험결과

| 구분 | 추출깊이 | 시료 직경 | 시료 높이 | 시험하중 | 일축압축강도 |
|------|-------------|---------|----------|-----------|------------------------|
| 시료 1 | 7.4~7.5 m | 5.22 cm | 10.05 cm | 8,200 kg | 383 kg/cm ² |
| 시료 2 | 10.6~10.7 m | | 10.12 cm | 11,200 kg | 523 kg/cm ² |

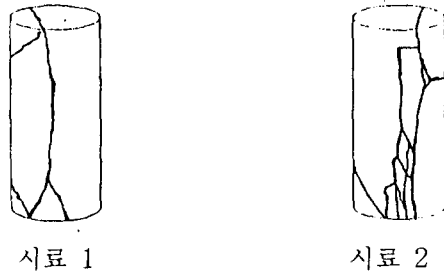


그림 1 파괴시의 형상

2.2 암반앵커의 설치과정 및 제원

2.2.1 앵커설치과정

인발시험용 앵커는 VSL형으로 그림 2에 나타난 바와 같은 설치과정을 거쳐 시공되었다. 천공장비를 사용하여 직경 165mm로 소정의 깊이까지 수직을 유지하며 천공하였으며, 앵커체 삽입후 최대 10bar의 압력으로 그라우트액을 주입하였다.

| | |
|---------------|--|
| 천 공 | $\phi=165\text{mm}$ 로 천공하여 응력이 지반에 전달되게 그라우팅 여유를 줌 |
| 앵커체 공장조립 | |
| 앵커체 삽입 | 앵커체를 hole중앙에 위치 |
| sleeve 거치 | sleeve 외부에 차수판을 설치 |
| beam 콘크리트 설치 | metal sleeve의 수직상태 유지 |
| 그라우팅 | 5~10 bar 압력이용하여 그라우팅 |
| base plate 설치 | 완전 양생 후 설치 |
| 시험장치 설치 및 인장 | 준비-잭설치-인장-wedge 물림 |

그림 2 앵커체 설치 과정

2.2.2 시험 앵커 제원

인발시험에 사용하기 위한 앵커는 정착장과 자유장의 길이를 달리하여 3가지로 시공하였으며, 각 앵커의 제원은 표 3과 같다.

표 3 시험 앵커의 제원

| 구 분 | 정착장 | 자유장 | 천공경 | 설계하중 | 시험하중 | telltale선단위치 | 변형률게이지 위치(지표하,단위 m) |
|------|------|------|-------|---------|---------|--------------|-------------------------------------|
| 앵커 1 | 3.5m | 7.1m | | 100 ton | 250 ton | 7.5 m | 6.8 / 7.8 / 8.8 / 9.8 |
| 앵커 2 | 5.0m | 7.1m | 165mm | 150 ton | 250 ton | 8.0 m | 6.3 / 7.3 / 8.3 / 9.3 / 10.3 / 11.3 |
| 앵커 3 | 7.0m | 4.6m | | 200 ton | 250 ton | 5.5 m | 3.3 / 4.8 / 6.3 / 7.8 / 9.3 / 10.8 |

2.2.3 강선 및 그라우트액

본 연구에서 사용한 앵커는 VSL형으로 KSD 7002 SWPC 7B 사양에 따라 제작되었으며 연선의 제원

은 표 4와 같다. 앵커체는 이와 같은 연선을 12개 사용하여 구성하였다.

그라우트액은 포틀랜드시멘트, 물, 혼화제로 구성하여 블리딩은 최대 4%이내이고 24시간후에는 0%, 압축강도는 7일후 최소 170 kg/cm², 물/시멘트비는 45%이하로 되게 하였으며, 적당한 배합비를 결정하기 위해 팽창성시험, 블리딩시험 및 점성도시험을 실시하였다.

표 4 앵커 연선 제원

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| 구 분 | 15.2 mm (0.6") |
| 공 칭 직 경 | 15.2 mm |
| 공 칭 단 면 적 | 138.7 mm ² |
| 공 칭 중 량 | 1.101 kg/m |
| 최 소 파 괴 하 중 | 26,600 kg |
| 70 % 초기하중에서, 20°C, 1000시간후 relaxation | 2 % |

2.3 시험장치

2.3.1 하중재하장치 및 측정장치

하중재하장치는 강선에 인장력을 가하기 위한 인장기와 두부재하판 및 강선 고정용 콘으로 구성되며, 측정장치로는 인장기의 유압을 측정하기 위한 유압계와 두부하중을 측정하기 위한 하중계, 강선의 늘음량을 측정하기 위한 LVDT, 그리고 base plate의 침하량과 telltale의 변위를 측정하기 위한 다이얼게이지(각 1조)가 설치되었다. 시험장치의 설치상세도는 그림 3과 같다.

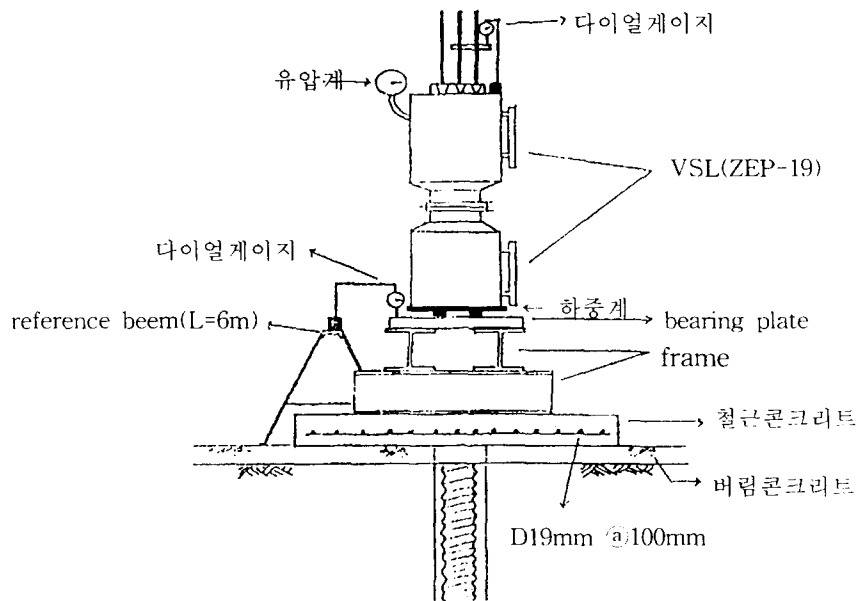


그림 3 앵커 시험장치 상세도

또한, 본 연구에서는 앵커체 정착부의 거동 파악을 위하여 그라우트체 내에 일정한 간격으로 변형률게이지를 설치하였다. 변형률게이지는 19mm 철근에 spot 용접기를 사용하여 부착한 후 앵커체와 인접하여 그라우팅부에 삽입하였다. (그림 4 참조). 변형률게이지 설치시 부착정도를 높이기 위해 이형철근의 표면을 평평하게 가공한 후 사포를 사용하여 매끄럽게 함으로써 변형률게이지가 철근 표면에 완전히 부착되도록 하였으며, 방수피복을 사용하여 가능한 한 방수가 되도록 하였다.

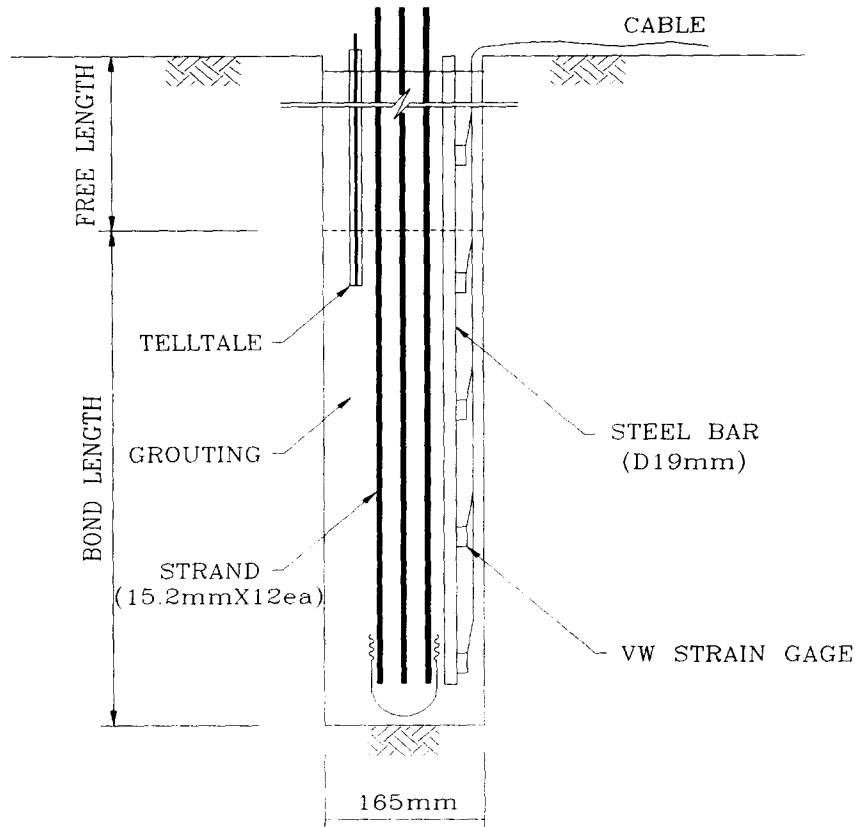


그림 4 시험앵커 및 계측기 설치 상세도

2.3.2 진동현 변형률게이지

본 연구에서는 양단사이의 상대변위량에 따라 진동수가 변하는 원리 하에 강선의 진동수를 측정하여 변위량을 구하는 진동현 변형률게이지를 사용하였다. 연구에 사용한 진동현 변형률게이지는 연속진동형으로 진동수를 구하는 electro magnet, 자유 진동을 하는 강선의 양단을 고정시키는 두 개의 블록으로 구성되어 있으며 제원과 형태는 표 5 및 그림 5와 같다.

표 5 진동현 변형률게이지의 제원

| 구분 | 형태 | 길이 | 측정범위 | 측정온도 | 열팽창계수 | 강선무게 |
|-----------|-------|---------------|---------|------------|-------------|--------|
| SINCO(VW) | 연속 진동 | 62.23±0.38 mm | 3000 μm | -29~120 °C | 10.8 ppm/°C | 1.36 g |

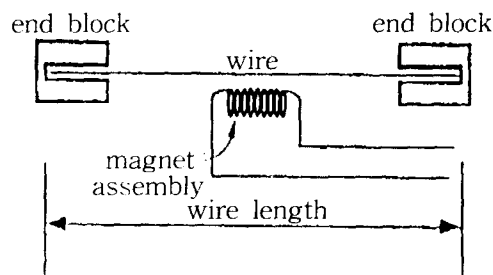


그림 5 진동현타입 변형률게이지

진동현 변형률게이지를 사용한 변형률 측정은 식(1)과 같이 강선의 인장과 진동수와의 관계로부터 산

정할 수 있다.

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\sigma/\mu} = \frac{1}{2L} \sqrt{E\varepsilon/\mu} \quad (1)$$

여기서, $\varepsilon = Kf^2$ ($K = 4L^2 \frac{\mu}{E}$: 게이지 계수)이고 초기인장을 고려하게 되면

$$\Delta\varepsilon = K(f^2 - f_0^2) \quad (2)$$

여기서, f : 고유진동수 (Hz), f_0 : 초기 진동주파수 (Hz)

L : 진동현 길이 (m)

σ : 진동현에 작용되는 인장응력 (Pa)

μ : 진동현 재료의 밀도 (kg/m^3)

E : 진동현의 탄성계수 (Pa)

ε : 진동현의 변형률 (%), $\Delta\varepsilon$: 변형률의 변화

2.3.3 인장기

하중재하용 인장기는 중공형의 유압잭(ZEP-19)을 사용하였으며, 강선의 늘임량을 고려하여 잭의 stroke를 확보하기 위해 2개를 연결하여 사용하였다. 사용된 인장기의 제원은 아래와 같다.

표 6 VSL 인장기 제원

| 장 비 명 | piston area | 최 대 인 장 력 | | stroke (mm) | 비 고 |
|--------|-------------|-----------|-----|-------------|-----------------------|
| | | bar | ton | | |
| ZEP-19 | 500.3 | 580 | 290 | 100 | 2set 연결시 stroke 200mm |

2.4 시험방법

인발시험시 최대시험하중은 설계하중의 1.5배 이상으로 하였으며, 앵커길이에 따라 초기하중에서 최대 시험하중까지를 표 7과 같이 여러 단계로 하중을 구분하여 재하하였고 매 단계시마다 하중재하도 실시 하였다. 인장시험시 재하하중의 조절은 인장기에 설치된 유압계를 이용하였으나 실제로 가해진 시험하중의 값은 하중계 측정값을 기준으로 하였다.

표 7 앵커별 하중재하단계 (단위 : ton)

| 구 분 | T_A | T_1 | T_2 | T_3 | T_4 | T_5 | T_6 | T_7 | T_8 | T_9 | T_{10} | T_P | $T_{\text{Pull out}}$ |
|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|-----------------------|
| 앵커 1 | 34.68 | 66.88 | 99.09 | 131.29 | 163.50 | 195.70 | 227.90 | - | - | - | - | 260.09 | 272.47 |
| 앵커 2 | 34.68 | 66.88 | 99.09 | 131.29 | 163.50 | 195.70 | 227.90 | - | - | - | - | 260.09 | 277.42 |
| 앵커 3 | 19.82 | 39.64 | 64.41 | 86.70 | 109.0 | 131.29 | 153.59 | 175.88 | 198.18 | 220.47 | 242.77 | 265.06 | 282.40 |

3. 시험결과분석

3.1 앵커두부의 하중-변위 관계

각 재하단계별 하중계와 LVDT 측정값으로부터, 앵커두부의 하중-변위 관계곡선을 구하여 그림 6에 도시하였다. 각 앵커의 하중-변위곡선은 거의 선형으로 나타났으며, 이는 인장기의 용량제한으로 극한 하중단계까지 재하하지 못한 결과로 판단된다. 한편, 강선의 늘임량으로부터 탄성이론식을 이용하여 역산한 결과, 정착장의 1/2 정도의 심도까지도 강선의 신장이 발생하는 것으로 나타났다.

3.2 깊이에 따른 변형률 분포

자유장과 정착장 내에 일정한 간격으로 설치한 변형률계이지의 읽음값으로부터 각 앵커의 심도에 따른 변형률 분포를 재하하중 단계별로 구하여 그림 7(앵커 1), 그림 8(앵커 2) 및 그림 9(앵커 3)에 각각 도시하였다. 여기서, +는 인장변형률을, -는 압축변형률을 나타낸다.

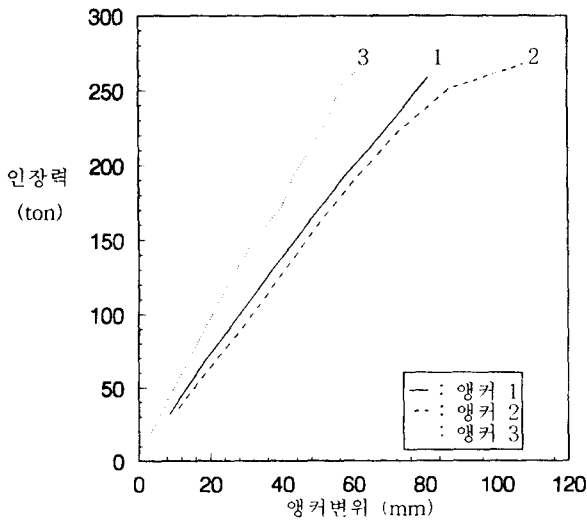


그림 6 앵커 두부의 하중-변위 관계

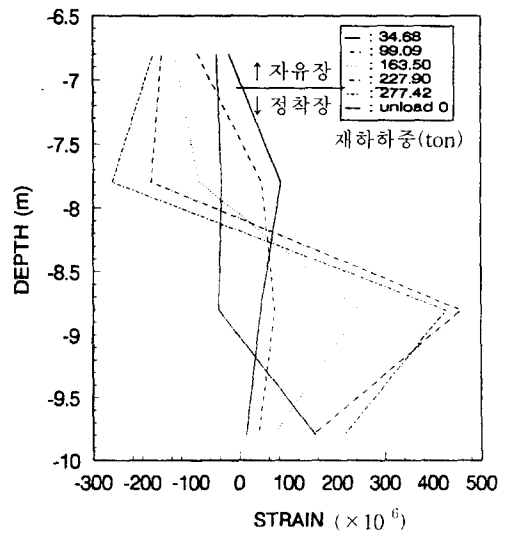


그림 7 깊이에 따른 변형률 분포 (앵커 1)

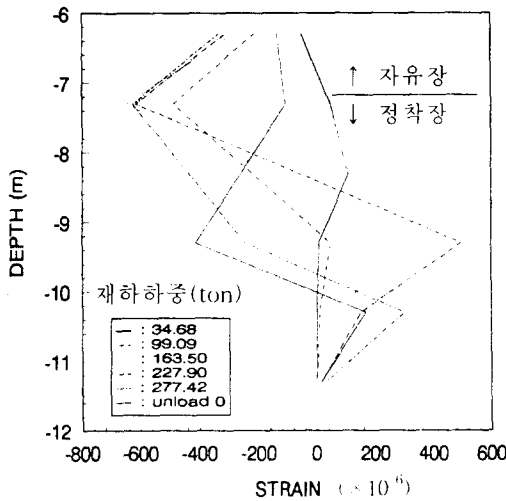


그림 8 깊이에 따른 변형률 분포 (앵커 2)

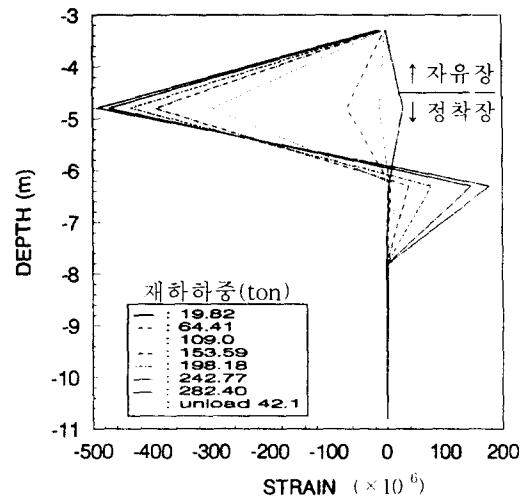


그림 9 깊이에 따른 변형률 분포 (앵커 3)

초기 하중재하시, 앵커의 정착부에는 인발하중에 의해 인장변형률이 발생하며 자유장부분의 그라우트체는 강선으로부터의 하중전달은 없으나 정착부의 인장력이 전달됨으로 인해 압축변형률이 발생하였다. 재하하중이 증가될수록 압축변형률이 발생하는 구간은 점차 하부로 전달되는데, 이는 정착부의 그라우트체와 강선사이의 부착이 상부로부터 점차로 파괴되면서 이 구간의 거동이 자유장의 거동과 유사하게 되기 때문이다. 부착이 파괴되어 압축변형률이 발생하는 구간은 설계하중 재하시 약 1.0m 정도이며 설계하중의 1.5배 이상 재하시에는 약 2.0m 정도로 나타났다.

3.3 깊이에 따른 축하중 분포

각 앵커의 하중단계별 깊이에 따른 축하중분포는 그림 10(앵커 1), 그림 11(앵커 2) 및 그림 12(앵커 3)에 도시하였다. 여기서, +는 인장력을, -는 압축력을 나타낸다. 정착장 구간의 축하중은 측정된 변형률로부터 탄성이론에 의한 식 ($P=E^*A \epsilon$)을 이용하여 산정하였으며, 등가강성도 E^*A 는 그라우트체, 강선 및 변형률게이지 부착용 철근의 강성도를 모두 고려하여 산정하였다. 단, 자유장부분의 등가강성도는 강선의 강성도를 제외하고 산정하였으며, 그라우트체의 탄성계수는 그라우트액 주입시 12개의 공시체를 제작하여 일축 압축강도시험을 실시한 결과를 토대로 산정하였다. 그 결과 자유장과 정착장구간의 등가탄성계수, E^* 는 각각 $2.10 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 와 $5.5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 으로 나타났다.

그림에서 보는 바와 같이, 축하중의 분포는 인장과 압축의 경계부에 근접하여 각각의 최대값이 나타나고 이로부터 멀어질수록 축하중은 점차로 감소한다. 이러한 심도에 따른 축하중의 변화는 그라우트체와 암반 사이의 주면 저항력에 기인하며, 자유장 부분에서의 심도에 따른 축하중 분포로부터 현재의 설계개념과는 달리 이 구간에서도 주면저항력이 발현됨을 알 수 있다. 인장부와 압축부의 최대축하중은 각각 8~20 ton과 5 ton 정도이나, 이는 변형률게이지 부착 위치에서의 값이며 인장에서 압축으로 변화하는 구간에서는 이보다 큰 축하중이 발생할 것으로 판단된다. 한편, 인장부 최대 축하중이 두부하중에 비해 매우 작은 점으로 미루어 강선과 그라우트체 사이의 부착 파괴 후에는 마찰저항이 작용하는 것을 알 수 있다. 또한, 재하하중의 증가에 따라 강선의 부착길이는 점차 감소하는 반면에 그라우트체와 암반 사이의 부착력은 자유장부분에서도 발현되는 점으로 미루어 볼 때, 현재의 설계개념은 실제에 비하여 강선의 부착길이 결정과정에는 과소설계의 우려가 있으며, 그라우트체와 암반 사이의 부착길이 결정과정에는 과대설계의 우려가 있는 것으로 판단된다.

3.4 크리프 시험

앵커력을 완전정착(lock-off)한 후 6일간 두부하중의 변화 정도를 측정하였으며 그 결과는 그림 13과 같다. 6일동안의 하중손실량은 4ton 정도로 매우 미소하며, 3일 경과후부터는 하중손실이 거의 없게 일정한 앵커의 creep은 거의 발생하지 않는 것으로 볼 수 있다. 따라서 암반에 시공된 앵커는 영구앵커로서의 기능을 충분히 발현할 수 있는 것으로 판단된다.

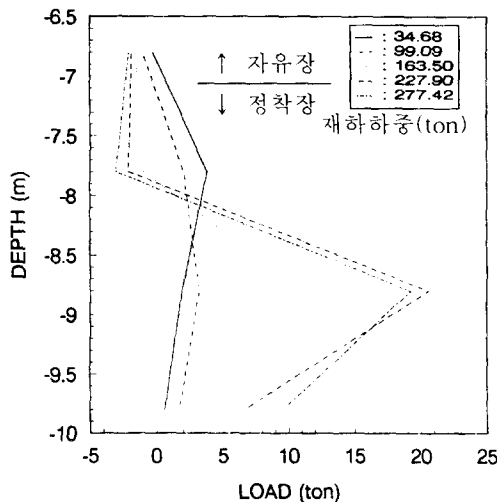


그림 10 앵커깊이에 따른 축하중분포(앵커 1)

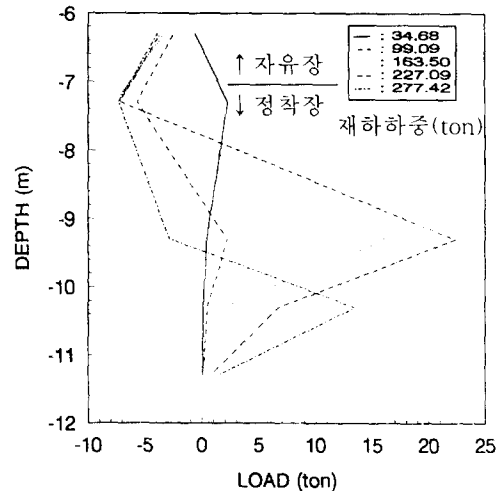


그림 11 앵커깊이에 따른 축하중분포(앵커 2)

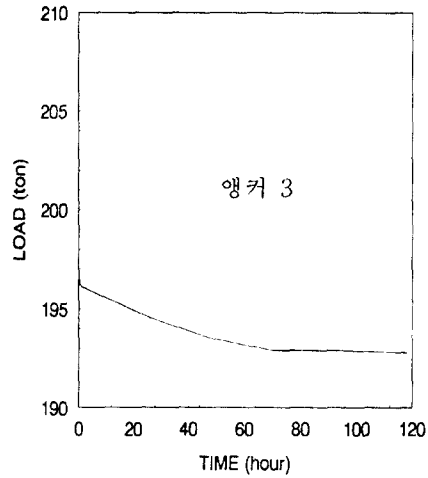
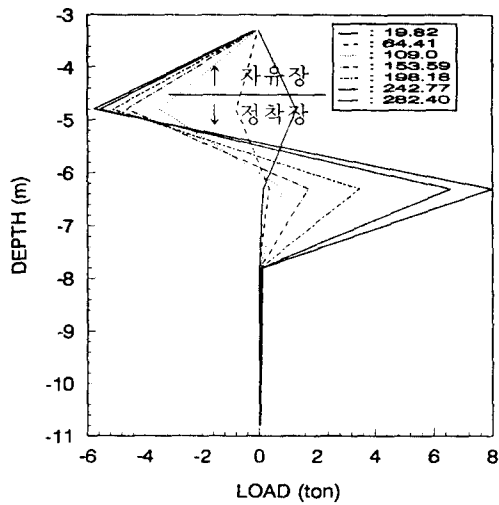


그림 12 앵커깊이에 따른 축하중분포(앵커 3) 그림 13 lock-off후 시간경과에 따른 두부하중 변화

4. 결론

본 연구에서는 현장실험을 통하여 경암층에 근입한 영구앵커의 거동을 분석하였다. 앵커의 설계지력에 큰 영향을 미치는 요소인 정착부 (3.5m, 5m, 7m)와 자유장(6m, 8.5m)의 길이를 변화시키며 최대 인장하중을 265ton까지 인발하여 암반층에 근입된 앵커의 하중-전달 메카니즘, 부착파괴 그리고 creep 거동 등을 살펴보았다. 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인발하중의 작용에 의해 정착부에는 인장응력이, 자유장부분의 그라우트체에서는 압축응력이 발생하며, 인발하중의 증가에 따라 강선과 그라우트체 사이의 부착파괴(debonding)로 정착부의 상단으로부터 임의의 깊이까지는 압축을 받는 부분이 발생한다.
2. 강선과 그라우트체 사이의 부착이 파괴된 후에도 마찰저항에 의해 인발하중의 일부가 그라우트체에 전달되며, 설계하중의 1.5 배 이하의 하중 재하시 정착장의 중간 이하에서는 이러한 부착파괴는 거의 발생하지 않는다.
3. 그라우트체를 통한 자유장 부분으로의 하중전달로 인해 자유장 부분의 주면에서도 부착저항이 발생하며, 암반 앵커의 하중지지능력은 그라우트체와 암반 사이의 부착저항능력 보다는 강선과 그라우트체 사이의 부착저항능력에 의해 지배된다.

5. 참고문헌

1. Benmokrane, B. and Bailivy, G.(1991), "Five Year Monitoring of Load Losses on Prestressed Cement Grouted Rock Anchors", *Can. Geotech. J.*, 28(5), pp.668-677.
2. Benmokrane, B., Chekired, M. and Xu, H.(1995), "Monitoring Behavior of Grouted Anchors using Vibrating-Wire Gauges", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol.121, No 6, pp.1183-1196.
3. Franklin, J. A. and Denton, P. E.(1973), "The Monitoring of Rock Slopes", *J. Engrg. Geology*, 6(3&4), pp.259-286.
4. Hutchinson, D. J. and Grabinsky, M. W.(1992). "Back Analysis of Stope Stability at Ansil Mine using Instrumentation Data and Numerical Modeling", *Proc., Int. Symp. on Rock Support in Min. and Underground Constr.*, Sudbury, Ontario, Canada. pp.167-176.

5. Littlejohn, G. S. and Bruce, D. A.(1977), "Longterm Performance of High Capacity Rock Anchors at Devonport", *Ground Engrg.*, 12(7), pp.25-33.
6. Littlejohn, G. S. and Xu, H.(1993), "The Service Behavior of Ground Anchors at Pen y Clip Tunnel(1990-1992)", *TRRL Ground Anchor Monitoring Proj. Rep.*, University of Bradford, Bradford, England.
7. Ostermayer, H. and Scheele, F.(1977), "Research on Ground Anchors in Noncohesive Soils", IXICSMFE, Tokyo, Special Session 4.
8. Shields, D. R., Schnavel, J. and Weatherby, D. E.(1978), "Load Transfer in Pressure Injected Anchors", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, No. GT9, pp.1183-1196.