

## 풍화토 지반에 설치된 앵커의 인발 특성

### Pullout Capacity of Ground Anchors in Weathered Soil

김 낙 경\*

Kim, Nak-Kyung

#### Abstract

Various types of anchor are used for the uplift resistance of transmission tower, utility poles, aircraft moorings, submerged pipeline, tunnel, permanent earth retaining structures, waterfront structure and temporary excavation support. Anchor pull-out tests were performed on seven instrumented full-scale low-pressure grouted anchors installed in weathered soil at the Geotechnical Experimentation Site at ○○○ University in Suwon. Four anchors are the compression type anchors and three are the tension anchors. Performance test, creep test, and long term relaxation test were performed. From the measurements, maximum friction resistance, creep rate and relaxation characteristics of anchors are proposed for straight shaft low pressured grouted anchors in weathered soil.

#### 요 지

건설 현장에서 널리 사용되고 있는 그라운드 앵커의 거동 특성을 연구하기 위하여 계측기를 부착한 일곱 개의 그라운드 앵커를 국내에 널리 분포되어 있는 화강 풍화토 지반인 ○○○대학교 지반 시험장에 설치하여 인발 시험을 수행하였다. 저압 그라우트 인장형 앵커 3개와 압축형 앵커 4개를 시험하였고, 시험은 AASHTO 규정에 의거한 인발시험, 크리프시험, 장기거동시험을 수행하였다. 시험 결과로부터 화강 풍화토 지반에 설치된 저압그라우트 직선형 앵커의 지반과의 마찰계수, 크리프 변형율, 하중감소 특성을 평가하였다.

**Keywords :** Anchor relaxation, Compression anchor, Creep movement, Load test, Tension anchor, Ultimate load

#### 1. 서 론

그라운드 앵커는 여러 종류의 지반 구조물에 선행 하중을 가하여 지반과 구조물을 일체화시키는 효과를 낸다. 앵커는 정착되는 지반의 종류에 따라 암반앵커 또는 그라운드 앵커로 분류되며 설치되는 방향에 따라 타이백(tieback) 또는 타이다운(tiedown)으로 분류된다. 그라우트 압력에 따라 저압형 앵커 그리고 고압형 앵커로 분류되며, 앵커체의 모양에 따라 직선 샤프트형, 단구근형(single underreamed), 복구근형(multi-underreamed)으로 분류한다. 앵커의 긴장력을 가하는 방식에 따라 인장앵커 또는 압축앵커로 분류된다. 현재 앵커의 설계와 시공은 국외의 시방 기준에는 상세히 저술되어 있으나

(Nicholson et al., 1982., Otta et al., 1982., Pfister et al., 1982., Weatherby, 1982., Cheney, 1988., Long et al., 1997., Mueller et al., 1988), 국내에서는 아직 앵커의 설계, 시공 및 시험 방법에 관한 적절한 지침이 없는 상태이다. 현재 국내에서 앵커의 설계에 많이 인용하는 극한 마찰 저항등은 1970~1980년대에 국외에서 이론적인 고찰과 시험을 수행하여 발표된 연구 결과이다. 그러나 현재에는 새로운 개념의 앵커들이 많이 개발되고 시공 기술의 발전으로 인하여 여러 조건이 많이 달라졌기 때문에 국외의 연구 자료(Ostermayer & Scheele, 1978., Ostermayer, 1974)를 사용할 때에는 많은 주의를 기울여야 한다. 따라서 국내의 지반 조건에 따른 앵커의 거동 특성에 대한 연구가 요구되는 상황이다. 본

\* 정회원, 성균관대학교 건축·조경 및 토목공학부 조교수

논문에서는 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 인장형 앵커와 앵커 선단에서 하중을 가하는 방식으로 최근들어 많이 사용하게 된 압축형 앵커를 풍화토 지반으로 구성되어 있는 ○○○대학교 자연과학 캠퍼스 내에 있는 지반 시험장에 설치하여 현장 인발 시험을 수행함으로써 각각의 앵커에 대한 하중과 변형의 특성 및 시간에 따른 거동 특성을 연구하여 풍화토 지반에서의 극한 강도, 크리프 변형과 장기 하중 재하에 따른 하중 감소율 등에 대한 거동 특성을 제시하고자 한다.

## 2. 앵커의 이론적 배경

### 2.1 앵커의 종류

앵커에 하중을 가하는 방식에 따라 압축형 앵커와 인장형 앵커로 구분할 수 있다. 그림 1에서 (a)의 인장형 앵커는 선단부에 강선과 그라우트를 부착시킨 정착장과 쉬스관을 사용하여 그라우트와 강선을 비정착시킨 자유장으로 구분되어져 있으며 앵커 헤드에서 하중을 가할때 정착장을 통해 지반에 인장력을 가하게 된다. 비교적 근래에 사용되기 시작한 압축형 앵커는 그림 1(b)와 같이 앵커 선단에 강선을 고정하는 선단 재하판을 이용하고, 앵커 강선에 쉬스관을 사용함으로써 그라우트에 부착되지 않게 하여 앵커 전장에 자유장을 형성하고, 앵커 헤드에서 가해진 하중이 직접 앵커 선단에서 가해질 수 있도록 한다. 앵커 선단에서 가해진 하중은 앵커의 그라우트에 압축력을 발생하게 한다. 압축형 앵커는 인장형 앵커에서 발생하는 인장균열등이 없으며 강선이 쉬스관에 싸여 있으므로 부식에 대한 방지 역할

을 할 수 있어 영구앵커로 사용되는 경우가 많다.

### 2.2 앵커의 극한 인발력

인장형 앵커와 압축형 앵커의 극한 하중은 다음과 같은 사항들을 고려하여 계산하고 이중 가장 작은 값을 사용하여 극한 인발력으로 사용하게 된다(AASHTO, 1990, PTI, 1996).

그라우트와 지반과의 마찰력에 대한 극한 인발력 산정은 식 (1)과 같이 앵커의 정착장에서 발생하는 마찰력을 이용하여 계산할 수 있다.

$$Q_{uf} = \pi D L_a f_{\max} \quad (1)$$

$$f_{\max} = \alpha S_u \text{ (점성토)} \quad (2)$$

$$f_{\max} = K \sigma_{ov}' \text{ (사질토)} \quad (3)$$

여기서  $D$ 는 앵커 직경이고,  $L_a$ 는 앵커의 정착장의 길이이며 식(2)에서  $\alpha$ 는 점성토 지반의 점착계수이며  $S_u$ 는 비배수 전단강도이다. 또한  $K(=K_1 \tan \phi)$ 는 앵커 정착장에 작용하는 마찰 계수이며,  $\sigma_{ov}'$ 는 앵커 정착장 중심부까지의 유효 상재 하중이다. 일반적으로 많이 사용하는 사질지반의 저압 그라우트 앵커의 토압 계수  $K_1$ 은 지반의 상대 밀도에 따라 1.4~2.3을 사용하게 된다(Oosterbaan 등, 1972).

인장형 앵커의 정착장에서 강선과 그라우트의 부착 강도에 의한 영향을 고려하게 되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{up} = n \pi D_e L_a f_{bu} \quad (4)$$

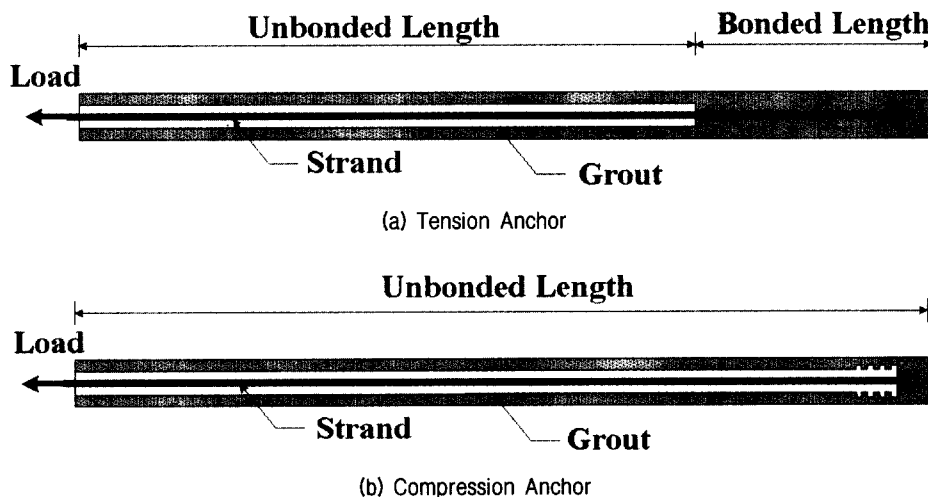


그림 1. 압축형 앵커와 인장형 앵커

여기서  $n$ 은 강선의 개수이며,  $D_e$ 는 강선의 유효 직경,  $L_a$ 는 강선의 정착 길이,  $f_{bu}$ 는 강선과 그라우트의 부착 응력이다.

인장재로 사용되는 강선 또는 강봉에 대한 인장강도는 식(5)와 같다.

$$Q_{us} = A_s f_{us} \quad (5)$$

여기서  $A_s$ 는 강선의 단면적이고,  $f_{us}$ 는 강선의 극한 인발 강도이다.

압축형 앵커의 경우에는 그라우트의 압축강도를 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{ug} = A_g f_{uc} \quad (6)$$

여기서  $A_g$ 는 설치된 앵커의 직경에서 강선의 단면적을 제외한 순수한 그라우트 단면적을 나타낸 것이며,  $f_{uc}$ 는 그라우트의 압축강도이다.

### 2.3 인발 시험의 종류

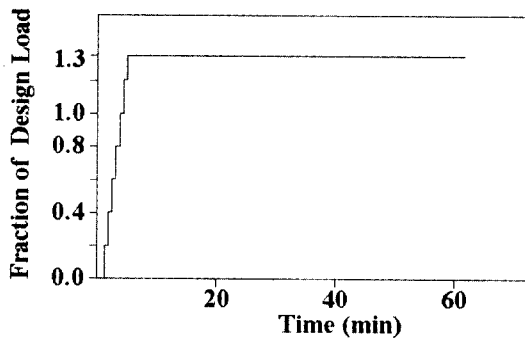
국내의 그라운드앵커의 인발시험은 시방규정이 아직 확립되지 못하였으므로 기업체의 경험과 가장 최근의

미국 AASHTO에서 제시하고 있는 앵커의 시방기준에 의한(AASHTO-AGC-ARTBA TF27, 1990) 확인시험, 인발 적성시험, 크립시험 및 장기 하중 재하 시험을 실시하게 된다.

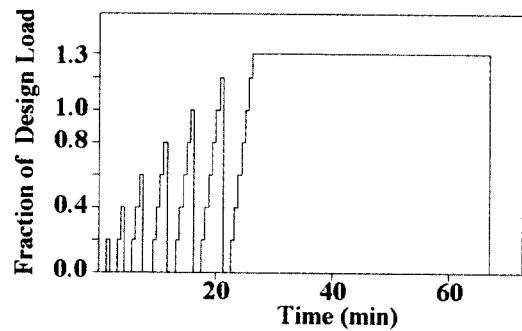
각각의 시험의 특징은 다음과 같다.

#### 2.3.1 확인시험

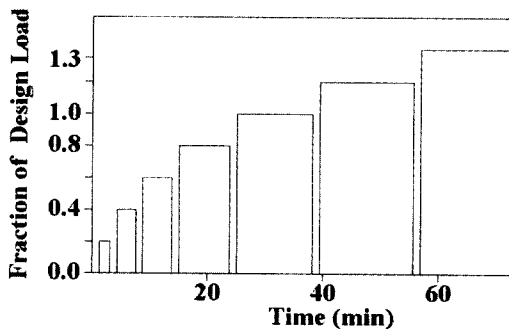
앵커의 확인 시험은 단기간의 재하 시험으로서 앵커의 설계 하중의 133%를 저항할 수 있는지를 확인하는 시험으로 설치되는 모든 앵커에 대하여 실시해야 한다. 시험을 위해 재하되는 하중은 초기 하중 AL(alignment load)에서부터 설계 하중 DL(design load)에 대한 일정 비율로써 10분 단위로 가하게 된다. 설계 내력에 대한 판정은 1.33DL의 하중을 10분 동안 lock-off 시켰을 때 1 mm이하의 변형이 발생했을 때 설계 내력이 있다고 판정을 하게 되고 변형이 이를 초과 할 경우에는 50분의 시간을 더 연장 시켜 2 mm이하의 변형이 발생하게 되면 설계 내력이 있는 것으로 판정하게 되고 이를 초과 할 때에는 재 설계해야 한다(그림 2-a).



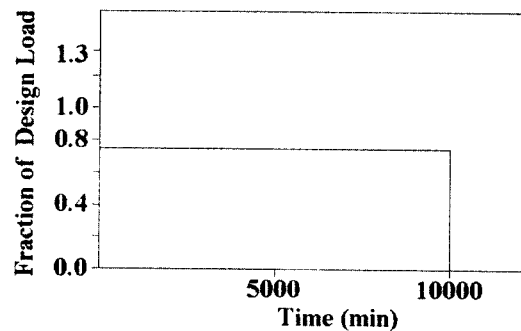
(a) Proof Test



(b) Performance Test



(c) Creep Test



(d) Relaxation Test

그림 2. 시험 종류에 따른 하중과 시간과의 관계

### 2.3.2 인발 적성 시험

앵커의 인발 적성 시험은 단기의 반복 하중에 대한 앵커의 설계 내력을 측정하여 확인하는 시험으로 각 하중 단계에 따른 하중 재하후에 다시 초기 하중으로 되돌아 다음 하중 단계로 반복 인발하는 것으로 하중단계는 초기하중에서부터 설계 하중에 대한 비율로써 각 하중 단계에 대하여 기준치보다 작은 변형이 발생하는 것을 확인한다. 또한 시험결과인 하중과 변형의 관계에서 비 정착장의 시공 여부를 확인할 수 있는 자료로 이용할 수 있다(그림 2-b). 최대 하중에서의 변형이 자유장의 탄성변형의 80%를 넘는 경우 또는 잔류소성변형이 직경의 10분의 일보다 적은 경우 설계내력이 있는 것으로 판정한다.

### 2.3.3 크리프 시험

앵커의 크리프 시험은 시간 변화에 따른 장기 거동을 측정하기 위한 것으로 영구 앵커로 사용되는 앵커나 소성지수 20이상의 지반에 설치되는 앵커에서는 크리프 변형에 대한 영향을 고려해야 한다. 크리프 시험은 인발 적성 시험과 같이 설계 하중의 일정 비율로 하중을 재하하나 인발 시간을 더 길게 주어 시간에 따른 크리프를 확인하는 시험이다(그림 2-c). 로그 싸이클 당 2mm 보다 적은 경우 설계내력이 있는 것으로 판단한다.

### 2.3.4 장기 하중 재하 시험

영구 앵커로써의 검토를 위하여 장기간 동안 일정 하

중을 재하한 후 하중 감소를 측정하는 시험이며 하중은 설계 하중의 75 % 정도를 초기 하중으로 사용하여 정착시킨다(그림 2-d).

## 3. 현장 앵커 시험

### 3.1 지반 조건

앵커 현장 시험장은 ○○○대학교 지반 시험장에 위치하고 있으며, 약 500m 떨어진 지점에 일월 저수지가 위치하고 있으며 부지의 지형은 정지되어 비교적 평탄하다. 또한 시험장의 지반 상태를 정확히 조사하기 위하여 3개의 흠을 천공하여 시추 조사를 수행하였으며, 각각의 흠에 피에조미터를 설치하여 지하수의 변동을 측정하였고 그 결과 시험 기간중 겨울 가뭄으로 인하여 지하수의 변동은 없었으며 지하수위는 평균 18.3 m였다. 그림3은 시추 조사를 수행하여 얻은 지층 단면도와 보정하지않은 표준 관입 시험 결과를 나타내고 있다.

### 3.2 앵커의 시공 및 앵커의 제원

시험장에 설치된 앵커는 직경이 165 mm이고, 앵커의 길이는 12 m (U-Turn type 앵커 11.5 m)인 앵커를 오거(hollow stem auger)를 사용하여 보정하지않은 N치가 30~50인 화강 풍화토 지반에 정착장이 위치하도록 수직으로 천공하여 설치하였으며 사용된 그라우트의 압력

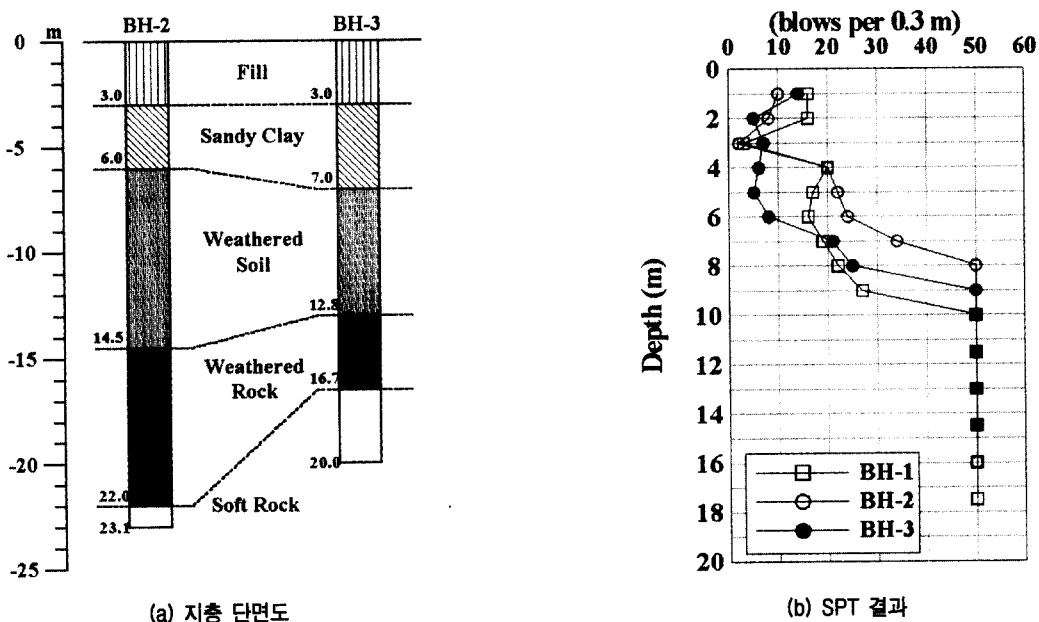


그림 3. 지층 주상도 및 N치

표 1. 설치된 앵커의 제원

Anchor No.	Type of the Anchor	Length of the Anchor (m)	Unbonded Length(m)	Bonded Length(m)	No. of strand
1	인장형	12	8	4	5
2	압축형	12	-	-	5
3	제거식 압축형	12	-	-	4
4	제거식 압축형	12	-	-	4
5	U-Turn Type	11.5	-	-	4
6	인장형	12	9	3	7
7	인장형	9	6	3	7

은 0.5 MPa이며 그라우트의 28일 압축강도는 24MPa이었다. 표 1은 설치된 앵커의 제원을 나타내고 있다.

직경 12.7 mm인 강선의 개수는 표 1에 나타나 있다. 앵커에 가해지는 하중은 증공형 유압기(hydraulic Jack)를 사용하였고 재하된 하중은 로드셀에 의해 기록되었으며, 인발 시험중 재하된 유압기의 지지대 역할을 할 수 있도록 반력지지대를 2개 제작하여 0.65 m의 깊이에 설치하였다. 앵커에서 두부에서 발생하는 변형의 측정에는 LVDT와 침하계(extensometer), total station을 사용하여 측정하였다. 그림 4는 앵커 시공이 완료된 시험장의 반력지지대와 설치된 앵커의 위치이며, 그림5는 인발 시험에 사용된 인발 시험 장치를 나타내고 있다.

#### 4. 인발 시험 결과

##### 4.1 하중-변형의 관계

지반시험장에 설치된 앵커에 대해 인발 적성 시험과

크리프 시험을 수행하였으며, 시험 결과는 하중과 변형의 관계로써 인장형 앵커는 그림 6, 압축형 앵커는 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 그림 6(a)의 그래프는 인장형 앵커(No.1)에 대하여 인발 시험을 수행하여 얻은 하중과 변위 관계 그래프이다. 또한 그림 6(b)의 그래프는 전체 변형을 앵커의 잔류변형과 탄성 변형으로 나누어서 나타낸 것으로써, 여기서 복원 가능한 탄성 변형은 대부분 앵커의 강선에서 발생하는 변형을 말하며, 잔류 변형은 복원이 불가능한 소성변형이다. 잔류 변형의 측정은 단계별 하중을 재하하며 하중과 변형을 측정된 뒤 초기 하중으로 하중을 감소할 때 복원이 되지 않는 변형을 측정하면 된다.

또한 탄성 변형은 전체 하중에서 잔류 변형을 제외한 변형이다. 이와 같이 분류된 잔류변형과 탄성변형은 앵커의 극한 강도를 산출하는데 사용되며 잔류 변형이 앵커 직경의 1/10 또는 전체 변형이 잔류 변형과 식에 의해 산정된 탄성 변형( $PL_e/AE$ )의 합을 초과 할 때의 하중을 극한 하중이라 한다(Briaud 등, 1998). 여기서  $L_e$

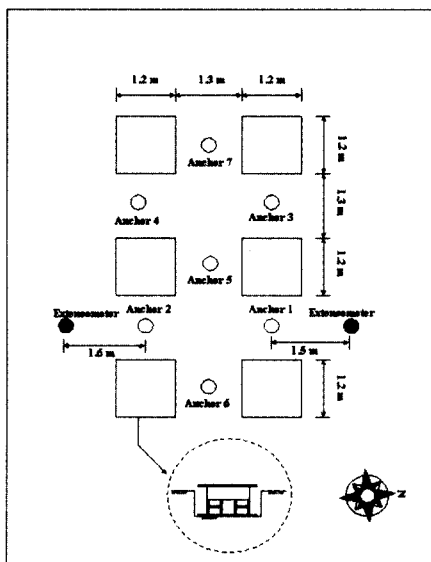


그림 4. 앵커 시험장 및 반력지지대

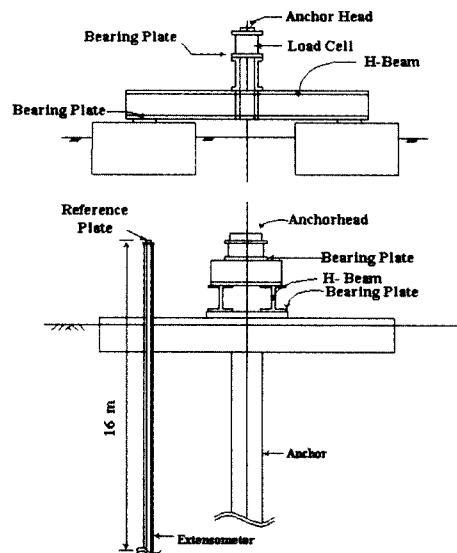
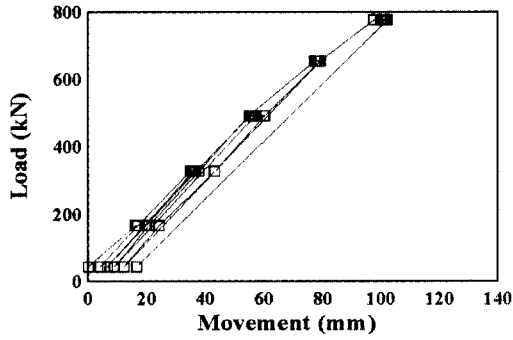
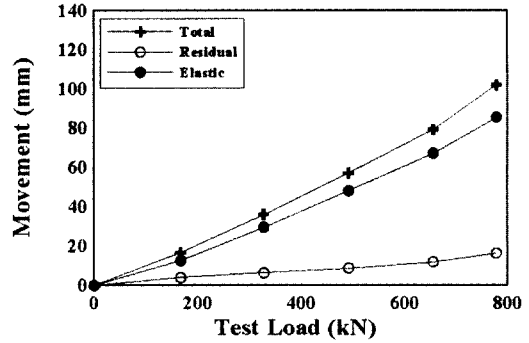


그림 5. 인발시험장치

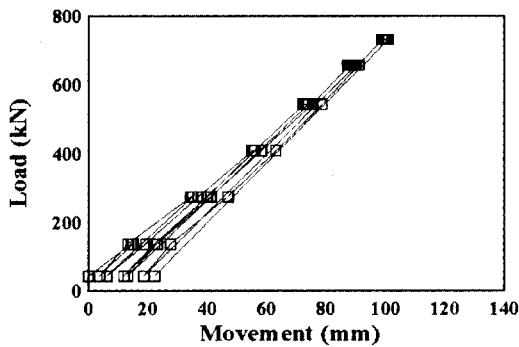


(a) 하중 변위 그래프

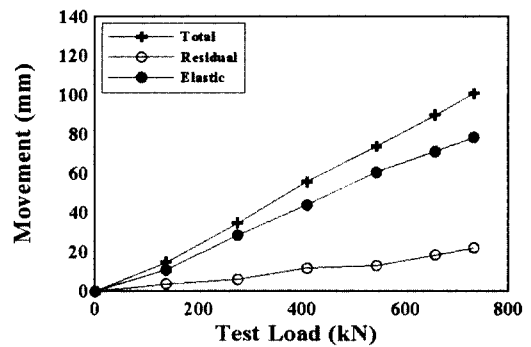


(b) 합성 변형 그래프

그림 6. 인장형 앵커(No.1)의 인발 시험 결과



(a) 하중 변형 그래프



(b) 합성 변형 그래프

그림 7. 압축형 앵커의 인발 시험 결과

는 시험을 통하여 얻어지는 강선의 탄성 길이(total elastic length)로써 설치된 앵커의 자유장 길이보다 약간 크게 계산되어진다.

표 2는 인발 시험에서 구한 극한 강도를 나타낸 것이며 이들 식(3)의 마찰계수는 유효 상재 하중과 최대 마찰력의 비로써 표현 할 수 있다. 지반 마찰 계수는 평균적으로 1.7을 구하였다. 시험결과로부터 구한 K 값은 식

(3)을 이용하여 극한하중을 산정 시 정착장 전체에 대한 평균값 개념의 K값으로서 제한적이거나 본 연구에 사용된 지반조건과 유사하다면 사용할 수 있다.

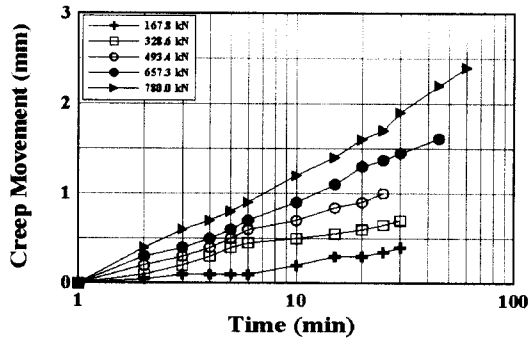
또한 압축형 앵커는 앵커의 정착장이 없기 때문에 정착장을 이용하여 지반과의 마찰력으로써 극한 강도를 표현하는 기존의 극한 강도 산정식들에 적용을 할 수 없는 문제점이 있다. 압축형 앵커의 하중전이는 앵커의

표 2. 앵커의 극한 강도

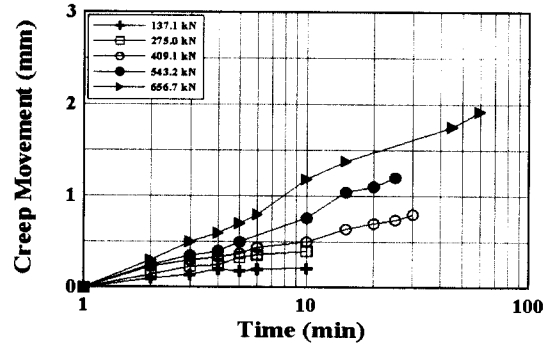
Anchor No.	Ultimate Load (kN)	Bonded Length (m)	$\sigma_{ov}$	$f_{max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$K = \frac{f_{max}}{\sigma_{ov}}$	$L_{bt}$ (m)
1	780	4	220	376	1.7	-
2	630	-	217	-	-	3.3
3	628	-	217	-	-	3.3
4	625	-	217	-	-	3.3
5	436	-	217	-	-	-
6	590	3	220	380	1.72	-
7	370	3	142	238	1.68	-

$\sigma_{ov}$ 는 앵커 정착장의 중앙에서의 유효 상재 하중

$L_{bt}$ 는 정착 전이 길이 (bonded transmission length)



(a) Anchor No. 1(인장형)



(b) Anchor No. 2(압축형)

그림 8. 크리프 시험 결과 그래프

끝단부터 전이되므로 인장형 앵커와는 상이하게 된다. 따라서 압축형 앵커에서 계산되어진 극한 강도를 이용하여 지반과의 관계를 나타내기 위하여 압축형 앵커의 선단에 마찰력이 전이되는 길이를 계산하여 정착 전이 길이(bonded transmission length)의 개념을 도입하였다. 정착 전이 길이란 압축형 앵커에서 마찰력이 지반으로 전이되는 등가의 정착길으로써 인발 시험을 통하여 산정한 압축형 앵커 극한 강도를 이용하여 앵커 선단에 산술적으로 계산한 등가의 정착장의 길이이다. 제안된 정착 길이는 식 (1)을 이용하여 압축형 앵커의 극한하중을 계산할 때 인장형 앵커의 정착길이에 해당하는 값으로서 실제 설계에 적용하기 위해서는 추후 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 4.2 앵커의 크리프 변형

크리프 변형은 일정한 하중을 재하한 뒤 시간에 따라 발생하는 변형을 의미하며 측정하는 방법은 하중을 일정하게 가하고 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60분 등 일정한 시간에서 변형을 측정한다. 크리프 변형은  $\Delta_t - \Delta_{t_1}$ 으로 표현할 수 있으며  $\Delta_{t_1}$ 은 하중 재하 후 1분후의 변형이며,  $\Delta_t$ 은 하중이 재하된 뒤  $t$ 분 후에 발생하는 크리프 변형이다. 크리프 시험에 대한 파괴 기준은 각 하중 단계에서 시간  $\log t - \log t_1$ 에 대하여 2 mm 보다 적은 변형이 발생하면 설계내력이 있는 것으로 판정하게 된다.

그림 8은 재하되는 하중에 따라 발생하는 크리프 변형을 나타낸 것으로서 그림에서 보는 것과 같이 재하된 하중에 비례하여 직선적으로 증가함을 알 수 있다. 크리프 시험을 통하여 앵커의 크리프 변형에 대한 일반식은

시간에 지배받는 함수로 표시되며 식(7) 및 (8)과 같이 일반식을 구할 수 있다.

$$\Delta_{creep} = \log\left(\frac{t}{t_1}\right)^{n_1}, \quad n_1 = 1.23 \frac{f}{f_{max}} \quad (7)$$

$$\Delta_{creep} = \log\left(\frac{t}{t_1}\right)^{n_2}, \quad n_2 = 0.96 \frac{f}{f_{max}} \quad (8)$$

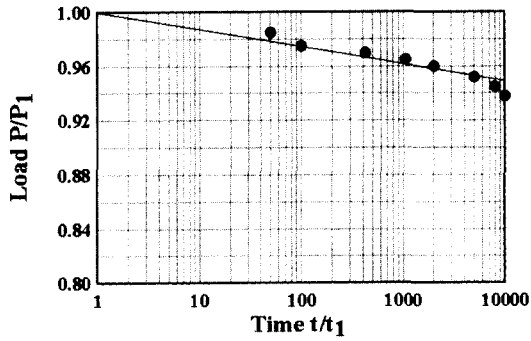
여기서  $f$ 는 재하되는 하중에 의한 마찰력이며,  $f_{max}$ 는 앵커체와 지반과의 최대 마찰력이다.

#### 4.3 앵커의 장기거동

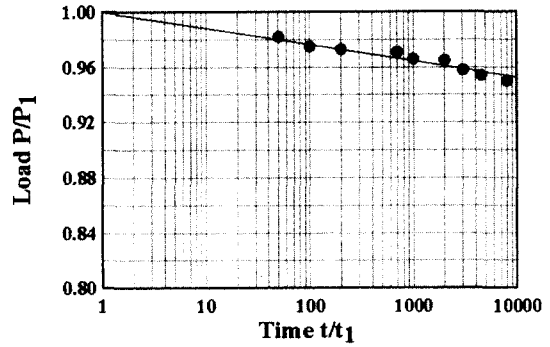
영구 앵커로 사용되는 앵커의 거동 특성을 확인하기 위해서는 앵커에 정착되어진 하중이 시간에 따라 감소되는 하중을 측정하게 된다. 본 연구를 위한 앵커의 장기 하중 재하 시험은 각 앵커의 극한 하중의 60-73%에 해당하는 하중에서 정착하여 시간에 따른 하중 감소율을 측정했다. 10000분(7일)동안 측정하여 앵커에 잔류되어 있는 하중을 나타낸 것은 그림 9과 같다.

그림 9(a)는 인장형 앵커로 10000분 후 초기 하중에 대하여 6.4%의 하중이 감소되었고, 압축형 앵커인 (b)에서 초기하중에 대하여 5%의 하중이 감소됨을 나타내고 있다. 앵커의 하중 감소는 앵커에서 발생하는 크리프 변형과 밀접한 관계가 있으므로 하중 감소량은 크리프 변형의 함수로써 표시할 수 있다. 감소되는 하중( $\Delta P_{loss}$ )는 크리프 변형이 시간의 로그스케일에 비례한다고 가정하면 식(9)과 같다.

$$\Delta P_{loss} = \frac{A_t E_t}{L_s} \Delta_{creep} = K \Delta_{creep} \quad (9)$$



(a) Anchor No. 1(인장형)



(b) Anchor No. 2(압축형)

그림 9. 장기하중 재하에 따른 하중감소

여기서,  $A, E_s$ 는 강선의 탄성 계수와 단면적이고,  $\Delta_{creep}$ 는 앵커에서 발생하는 크리프 변형이며,  $K$ 는 전체 하중과 변형 관계에서 얻을 수 있는 기울기이며, 현장 시험 결과 인장형 앵커는 9.0 kN/mm 이며 압축형 앵커는 8.0 kN/mm이다. 또한  $L_s$ 는 앵커의 탄성길이므로 앵커의 탄성 길이는 시험을 수행하여 얻는 값으로써 자유장보다 약간 길게 계산되어 진다. 시험에 사용된 인장형 영구 앵커의 경우 20년 설계기간 동안 정착하중의 19%, 압축형 앵커의 경우는 16% 감소한다.

## 5. 결론

본 연구는 국내에 대표적인 지반인 화강 풍화토 지반에서의 앵커의 인발 특성 및 압축형 앵커와 인장형 앵커의 비교 평가를 위한 시험으로 앵커에 인발 적성 시험, 크리프 시험, 장기 하중 재하 시험을 수행하여 각각의 데이터를 분석하고 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1)  $N$ 치가 30~50인 지반에 설치된 앵커에 대하여 인발 시험을 통해 각 앵커의 극한 강도는 유효 상재 하중과 비례 관계가 있음을 확인하였고 이를 통해 지반 마찰 계수  $K = f_{max}/\sigma_{ov}'$ 가 1.7임을 얻을 수 있었다. 또한 압축형 앵커에 지반과의 관계를 유도 하기 위하여 정착 전이 길이(bonded transmission length)의 개념을 적용한 결과 3.3m로 계산되었으며 본 시험 조건과 유사한 앵커의 설계에 사용할 수 있도록 제안 하였다.
- (2) 영구적으로 사용되는 앵커는 앵커의 크리프 변형과 하중 재하시 감소되는 하중의 양에 따라 성능이 좌우 된다. 따라서 영구 앵커에 대하여 화강 풍화토 지반

에서 크리프 시험과 장기 하중 재하 시험을 수행한 결과 인장형 앵커는 변형과 시간과의 관계에서 크리프 계수가  $1.23f/f_{mas}$ 였고, 압축형 앵커는  $0.96f/f_{mas}$ 였다. 또한 앵커의 장기 거동에 대한 평가로서 수행되었던 장기 하중 재하 시험 결과 인장형 앵커는 10000분후에 초기 하중에 대하여 6.4 %의 하중의 손실이 발생하였으며 압축형 앵커는 5%의 하중 손실이 있었다. 이는 20년 설계연한에 대하여 극한 하중의 75%로 정착하였을 경우 인장형 앵커는 19%, 압축형 앵커는 16%의 하중 감소를 예측할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 경기도 중소기업청과 (주)삼우기초기술의 연구비에 의해서 수행할 수 있었으며 이에 감사 드립니다.

## 참고 문헌

1. AASHTO(1990), "Tieback specifications", AASHTO-AGC-ARTBA TF27.
2. Briaud, J. L., Powers, W. F., Weatherby, D. E., (1998), "Should Grouted Anchors have Short Tendon Bond Length?", ASCE, J. of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol.124, No.2, pp.110-119.
3. Cheney, R. S. (1988), "Permanent Ground Anchors." Rep. FHWA /DP- 68-IR, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
4. Long, J. H., Weatherby, D. E., and Cording, E. J. (1997), "Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls", Vol.1, Current Practice and Limiting Equilibrium Analyses, Report FHWA-RD-98-065, FHWA, McLean, VA.
5. Muller, C. G., Long, J. H., Weatherby, D. E., Cording, E. J., Powers, W. F., and Briaud, J-L. (1998), "Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol.3, Model-Scale Wall and Ground Anchor Test", Report-RD-98-067, FHWA, McLean, VA.



6. Nicholson, P. J., Uranowski, D. D., and Wycliffe-Jones, P. T. (1982), "Permanent Ground Anchors: Nicholson design criteria." Rep. FHWA/RD-81-151, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
7. Oosterbaan, M. D., D. G. Gifford. (1972), "A Case Study of the Bauer Anchor", Proc. Spec. Conf.on Performance of Earth and Earth Supported Structures I, pp.1391-1400.
8. Ostermayer, H. and Scheele, F. (1978), "Research on Ground Anchors in Non-cohesive Soils", Speciality Session No.4, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp.92-97.
9. Otta, L., Pantueck, M., and Goughnour, R.R. (1982), "Permanent Ground Anchors: Stump design criteria." Rep. FHWA/RD-81-152, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
10. Pfister, P., Evers, G., Guillaud, M., and Davidson, R. (1982), "Permanent Ground Anchors: Stump design criteria." Rep. FHWA /RD-81-150, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
11. PII(1996), *Recommadations for Prestressed Rock and Soil Anchors* 3rd ed. Post Tensioning Institute, Phoenix, Arizona.
12. Weatherby, D. E. (1982), "Tiebacks", Report FHWA/RD-82/047, U.S. Dept. of Transportation, Fed. Hwy. Admin., Washington, D.C.

(접수일자 2001. 4. 9)