# 인장 및 압축형 앵커의 비교분석 (II)

ANCH

1차 기고에서는 앵커의 일반적인 내용을 기술하였고 본 기고에서는 현장실물시험을 통해
일반적인 그라운드 앵커의 크립 변형을 확인하고 정착방법의 특성상 영구 변형량과
2차 변형량이 큰 인장형 앵커와 상대적으로 크립 변형량이 적은 압축형 앵커를 비교,분석해보고자 한다.

**황철비**_ 토목기술부과장_02 - 3433 - 7774 _ hcb@ssyenc.com

## 제 1 장 현장 시험

### 1.1 현장시험개요

본 시험은 동해고속도로 동해-주문진간 4차로확장공사현장의풍화토, 풍화암지대에압축형앵커5개와인장형앵커3개를수직으로시공하여, 인발적성시험(Performance Test), 크립시험(Creep Test) 등을실시하였다. 압축형앵커는각각폴리에틸렌쉬스(덕트)의길이를다르게하여덕트에따른인발저항능력과 마찰특성, 크립특성 등에 대하여 확인하고, 인장형앵커는정착장의길이를다르게하여압축형앵커와같은특성을관찰하였다.

### 1.2 현장지반의특성

현장시험의위치로선정된곳은동해고속도로동해-주문진간4차로 확장공사현장으로터널의시점부전방500m 가량떨어진지점으로원지반절토구간이다.

<표1> 현장지반의특성

| 심도 (M) | 주상도 | 토질및 암석명 | 경사 ( ) | 기 재 | TCR (%) | RQD (%) | SPT (%) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 풍화토 | | 기반암의풍화대 점토, 실트, 약간의모래 황갈색 | - | - | | |
| 2 | 2.0 | | | | | | | |
| 3 | 3.0 | 풍화암 | | 기반암의풍화대 실트, 모래, 황갈색 | - | - | | |
| 4 | 4.0 | 경암 | | 사암, 세립질, 회갈색 | 9 | 0 | | |
| 5 | | 경암 | | 사암, 중립질, 상회색 심한파쇄(F-5) | 13 | 0 | | |
| 6 | 5.5 6.0 | 중경암 | | 사질세일, 황갈색, 심한파쇄 | 17 | 0 | | |
| 7 | | 경암 | | 사암, 중립질, 암회색 심한파쇄(F-5) | 7 | 0 | | |
| 8 | 8.1 | | | | | | | |
| 9 | 9.4 | 중경암 | | 사질세일, 황갈색, 심한파쇄 | 19 | 0 | | |
| 10 | | 경암 | | 사암 중립~조립질 암회색, 부분적으로담회색 철리발달로심한파쇄(F-5) | 8 | 0 | | |
| 11 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | 33 | 0 | | |
| 13 | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | |
| 16 | | | | | 7 | 0 | | |
| 17 | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | |

### 1.3 앵커반력기초및시험앵커체의제원

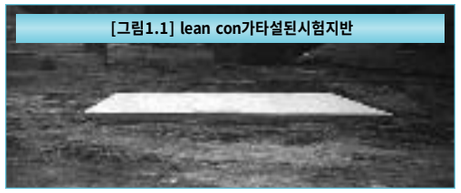
연직으로 앵커체가 설치되는 지반에 대해 앵커체의 압축력을 지지해줄 반력 기초를 형성하였으며, 이반력기초와본시험에적용된8개의앵커의제원은아래와같다.

#### 1.3.1 앵커체반력기초

시험 앵커체는 수직으로 천공하여 설치하는 타이다운(tiedown)로진행되었으며이를위한앵커체 반력기초는앵커체에의해발생되는하중을충분히 지지할수 있도록 설계하였으며 다음과 같이 설계, 시공되었다.

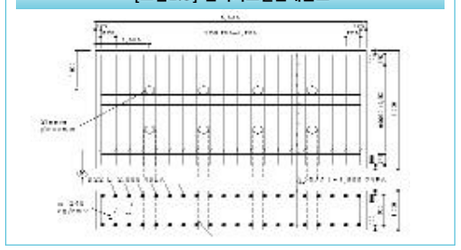
원지반을표층다짐하고난뒤6 m x 4 m 의넓이에Lean concrete를 두께 20cm로 타설하여 양생하였다.[그림 1.1] Lean concrete 기초 타설7일 후, 150mm의천공경으로총8개의홀천공을그림 1.3과같은지점에보링하였으며<표1.1> 에서보는바와같은깊이로천공되었다.[그림1.2]

[그림1.1] lean con가타설된시험지반



[그림1.2] 크롤러드릴로타리천공기천공모습

[그림1.3] 반력기초철근배근도



#### 1.3.2 시험앵커의제원

본시험에사용된앵커는총8개로, 압축형앵커5개, 인장형앵커3개에대하여실시되었으며소요의 시험장소에타설된Lean concrete 위에크롤러드릴 방식의 로타리 타입의 천공기를 이용하여 직경 150mm의천공경으로보링하고[그림 1.6]와같은 위치에8개의앵커가설치되었다. 앵커는지반에수직으로천공, 설치되었으며앵커의제원은<표 1.1> 과같다.

1번앵커는2번앵커와동일한상태로앵커체전체에폴리에틸렌쉬스(덕트)를씌웠으며덕트속으로1차주입이이루어지고폴리에틸렌쉬스밖으로외부주입호스를넣어2차주입이실시되었다. 앵커천공깊이는 6.5m이며, 스트레인 게이지는 붙이지 않은 상태로설치되었다.

1번앵커와동일한방법으로 앵커체전체에폴리에틸렌쉬스를씌운2번앵커는진동현식매설형스트레인게이지를별도의 6m의직경10mm 강봉에 부착하여설치, 폴리에틸렌쉬스속으로앵커강선과 함께 넣어서 시공하였다. 천공깊이는 11m이나 지표면에서 높이 1m의 반력 기초가 타설되었으므로 앵커전장은 12m이다. 주입방법은1번앵커와동일하다.

3번과4번앵커는 1.2m의 sheath을폴리에틸렌쉬스대신설치하고3번앵커에대해서만스트레인게이지가 앵커체와 함께 매설 되었다. 5번 앵커의 경우폴리에틸렌쉬스(덕트)와강재sheath을씌우지않고2번, 3번앵커와동일한 방법으로스트레인게이지가설치되었다.[그림 1.8]

인장형앵커인 6, 7, 8번앵커는경험적현장시험을 통해최소정착장인 3m를기준으로 6.7m의정착장을갖도록설치하였다.(7번앵커체매설형스트레인게이지장착매설)

<표1.1> 시험앵커체제원

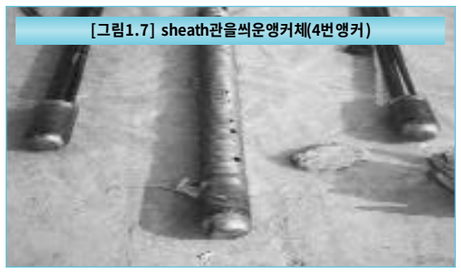
| No. | Anchor Type | Boring Length | Anchor Length | Bonded Length | Unbonded Length | No.of Strand | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Compression | 6.5m | 7.5m | - | - | 5 | Duct covering (6.5m) |
| 2 | Compression | 11m | 12m | - | - | 5 | Duct covering (11m) |
| 3 | Compression | 11m | 12m | - | - | 5 | Sheath (1.2m) |
| 4 | Compression | 11m | 12m | - | - | 5 | Sheath (1.2m) |
| 5 | Compression | 11m | 12m | - | - | 5 | - |
| 6 | Tension | 11m | 12m | 3m | 9m | 5 | - |
| 7 | Tension | 11m | 12m | 6m | 6m | 5 | - |
| 8 | Tension | 11m | 12m | 7m | 7m | 5 | - |

[그림1.4] 압축형앵커

[그림1.5] 인장형앵커

[그림1.6] 시험앵커설치위치도

[그림1.7] sheath관을씌운앵커체(4번앵커)



[그림1.8] 아무것도씌우지않은5번앵커체삽입

### 1.4 시험앵커의설계강도

인발시험을위해필요한앵커의설계강도(Design Load)는지반의극한인발력에대한이론식과강선과그라우트의부착강도, 강선의인장강도및그라우트의 압축강도에의해 산정된 값중 작은 값을 극한설계강도(Ultimate Design Load)로결정한다.

#### 1.4.1 인장형앵커의설계강도

인장형 앵커의 강도는 크게 지반과 그라우트와의 마찰저항과강선과그라우트와의부착강도, 그리고 강선의항복강도에의해결정된다. 이중작은값이 인장형앵커의극한설계강도로설계강도는극한설계강도의75 ~ 80%로적용된다.

인장형 앵커의 경우 그라우트에서 인장력을 받기 때문에그라우트의압축강도는고려할필요가없다.

1.4.1.1 지반과그라우트의마찰저항에의한극한인발력

인장형앵커가설치되는지반의조건에따라그라우트와의마찰저항값은차이를보이며이것은바로 앵커의 저항력에 영향을 미치게된다. 앵커 정착부에 발생하는 전단강도(마찰응력)을 이용하여 극한인발력($Q_{ult}$)을산정하는식은다음과같다.

Rock : $Q_{ult} = \pi D L_a \tau_{ult}$ (Little John, 1975, 식1.1)

Cohesionless Soil : $Q_{ult} = \pi D L_a K \sigma'_{ov}$ (Oosterbaan,et.al, 1972, 식1.2)

Cohesive Soil : $Q_{ult} = \pi D L_a \alpha S_u$ (Peck, 1958, 식1.3)

여기서, D: 앵커직경, $L_a$: 정착장길이, $\tau_{ult}$: 암반과그라우트사이의전단강도, K: 마찰계수($K_i \tan\Phi$), : $\sigma'_{ov}$ 앵커정착장중심부까지의유효상재하중, α 지반에따른점착계수, $S_u$: 비배수전단강도

**위의관계식에관련된파라메타에대한참고표는 아래와같다.**

파라메타에대한참고표

| D | $L_a$ | $\tau_{ult}$ | $K_i$ | $\sigma'_{ov}$ | α | $S_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 95mm | <표 1.1> | <표 2.2> (1차기고) | <표 1.2> | <표1.3> | <표 1.4> | |

<표1.2> 그라우트주입압에따른토압계수(Earth pressure coefficient)

| $K_i$ | Soil Type | Injection Pressure |
|---|---|---|
| 0.5 ~ 1.0 | Fine sand and silt for low and high relative density | Low grout pressure |
| 1.4 | Dense Sand | Low pressure |
| 1.4 ~ 2.3 | Meduum to dense sandy gravel with cobbles | No grout injection pressure |

<표1.3> 시험지반에대한물성치(동해-주문진간확장공사제6공구,쌍용건설)

| Soil | γ(ton/m³) | $\gamma_{sub}$ | C(ton/m²) | Φ(°) |
|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 1.8 | 0.8 | 1.0 | 33.0 |
| 풍화암 | 1.9 | 0.9 | 2.0 | 35.0 |
| 연암 | 2.0 | 1.0 | 5.0 | 37.0 |

<표1.4> 비배수전단강도에따른점착계수

| Soil Type | Shear Strength (kPa) | α | Reference |
|---|---|---|---|
| Stiff London Clay | 90 | 0.3-0.35 | Littlejohn, 1968 |
| Stiff Overconsolidated Clay at Taranta Italy | 270 | 0.28-0.36 | Sapio, 1975 |
| Stiff to Very Stiff Marl at Leicester, England | 287 | 0.48-0.6 | Littlejohn, 1970 |
| Stiff Clayey Silt at Johnnesburg, South Africa | 95 | 0.45 | Neely et al., 1974 |
| Heavily Overconsolidated Clay in Sweden | 50 | 0.5 | Broms, 1968 |

위의관계식을이용하여인장형앵커의극한설계강도를산정하였으며, 본시험장의지질조건상점토지반은없으므로(식 1.1)와(식 1.2)을이용하여<표 1.3>의시험장의물성치를적용하여산정한 6,7,8번 인장형앵커의지반과그라우트의마찰저항으로인해발생되는극한인발력은<표1.5>와같다.

<표1.5> 지반-그라우트의마찰력(인장형앵커)

| No. | Anchor Type | Anchor Diameter (mm) | Bond Length(m) | Ultimate Load by Soil-Grout friction (kN) |
|---|---|---|---|---|
| 6 | Tension | 95 | 3 | 352.3 |
| 7 | Tension | 95 | 6 | 704.6 |
| 8 | Tension | 95 | 7 | 822.0 |

1.4.1.2 강선과그라우트의부착강도에의한극한인발력

**인장형 앵커의 정착장과 그라우트 사이에서 발생되는 부착강도에 의해서도 인장형앵커에 가해지는 하중이결정되므로충분한부착강도를확보해주어야한다.**

**다음은정착장에서강선과그라우트의부착강도를 계산하는식이다.**

$$Q_{ult} = \pi D L_b f_{ub} \quad (식1.4)$$

여기서, n : 강선의개수, De: 강선의유효직경, Lb: 정착장길이, fub: 강선과그라우트의부착강도이다.

**<표 1.6>, <표 1.7>은 강선과 그라우트에 허용되는 최대부착강도를나타낸것으로현재국내에는적절한 지침이 없으므로 British Code (Xanthakos, 1991)와일본지반공학회지침의기준을인용하였다.**

<표1.6> 그라우트-강봉의허용부착응력(British Code)

| Type of Bar | | Maximum Bond Stress (Mpa) | |
|---|---|---|---|
| | | Plain | Deformed |
| Characteric Strength Of Grout ($f_{ub}$, Mpa) | 20 | 1.2 | 1.7 |
| | 25 | 1.4 | 1.9 |
| | 30 | 1.5 | 2.2 |
| | 45 | 1.9 | 2.6 |

<표1.7> 정착부시스를사용하지않은경우및구속효과가낮은시스를 사용하고있는경우의허용부착강도(일본지반공학회지침)

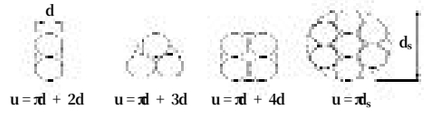
| Type of Soil | Allowable Bond Stress (Long-term) | | Allowable Bond Stress (Short-term) | |
|---|---|---|---|---|
| | kg/cm² | MPa | kg/cm² | MPa |
| Sand | 4 | 0.392 | 7 | 0.686 |
| Rock | 7 | 0.686 | 10 | 0.98 |

두지침에서제시된값은서로다른조건에대한값들이므로단적으로비교할수없으며, 일반적으로사용되는British code의값인용에비중을크게두었다.

그라우트와강선의부착면적에있어서(식 1.4)는 PC강선 한가닥이 접하는 면적에 강선의 가닥수를

곱하여 산정하였으나 일본지반공학회 지침에 따르면, PC강선의 묶음 주변장을 별도로 제시하고 있다.[그림1.9] 이는인장형앵커정착장의강선이다발묶음의형태로삽입되므로강선과강선사이에그라우트가침투하여충분한부착력을발휘하지못한다는개념에서유효부착주변장을제시한것이다.

[그림1.9] 유효부착주변장(Effective bonding field)의 계산예(일본지반공학회지침)




따라서 다음의 식을 적용하여 강선과 그라우트와의부착강도에의한극한인발력을계산하였다.

$$Q_{ult} = u l_b f_{ub} \quad (식1.5)$$

(식 1.5)를이용하여계산되어진인장형앵커의강선과그라우트와의부착강도에의한극한인발력은<표1.8과같다.

<표1.8> 그라우트-강선의극한부착력

| No. | Anchor Type | No. of Strand | Effective Bonding field (mm) | Bond Length (m) | Ultimate Load by Bond Stress (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | Tension | 5 | 103.4 | 3 | 496 |
| 7 | Tension | 5 | 103.4 | 6 | 993 |
| 8 | Tension | 5 | 103.4 | 7 | 1158 |

1.4.1.3 PC강선의항복강도에대한극한인발력

앵커두부에 작용하는 긴장력은 인장재, 주입재를 거쳐서주변지반으로전달된다. 따라서인장재와주입재, 주입재와지반의 제각기 경계면에 있어서 충분한안전성이발휘되는동시에인장재에작용하는하중이인장재의허용긴장력을상회하지않도록설계를해야한다. 인장재에작용하는인장응력도가인장재의허용인장응력도에대하여안전하도록 PC강재의 본수와 지름을 결정한다. 설계앵커력, 인장재의파단하중, 항복하중와의관계는다음과같다.

긴장중, $P_a = 0.8 P_{stb}$ $P_a = 0.9 P_y$

긴장직후, $P_a = 0.7 P_{stb}$ $P_a = 0.8 P_y$

설계하중작용시, $P_a = 0.6 P_{stb}$ $P_a = 0.7 P_y$ (식1.6)

(식 1.6)에서가장 큰하중을 나타내는긴장중의하중을강선의인장강도에의한극한인발력으로보면그값은<표 1.9과같다.

<표1.9> 강선의극한항복(인장형앵커)

| No. | Anchor Type | No. of Strand | Diameter of Pcstrand (mm) | Area of Pcstrand (cm2) | Ultimate Load by PC strand yielding (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | Tension | 5 | 12.7 | 4.936 | 703 |
| 7 | Tension | 5 | 12.7 | 4.936 | 703 |
| 8 | Tension | 5 | 12.7 | 4.936 | 703 |

위와같이인장형앵커에서발생할수있는3가지경우에대해극한인발력을계산하였으며종합하여나타내면<표1.10와같다.

<표1.10> 인장형앵커의극한인발력

| No. | Anchor Type | Ultimate Load by Soil-Grout friction (kN) | Ultimate Load by Bond Stress (kN) | Ultimate Load by PC strand yielding (kN) |
|---|---|---|---|---|
| 6 | Tension | 352.3 | 496 | 703 |
| 7 | Tension | 704.6 | 993 | 703 |
| 8 | Tension | 822.0 | 1158 | 703 |

### 1.4.2 압축형앵커의극한인발력설계

인장형앵커와달리압축형앵커는정착장이없기때문에앵커와그라우트사이에서발생되는마찰력으로지지력을나타내지않는다. 앵커헤드에서가해진하중이자유장을따라앵커선단으로이동하고이하중이앵커선단에서부터가해져앵커전장에는압축력이발생하는구조로이루어져있다.

따라서 압축형 앵커의 지지력은 순수히 그라우트의압축강도에서발휘되며이때강선의인장강도와함께 고려해주어 극한 인발력을 설계하게된다. 앵커시공시앵커에주입되는그라우트에대한공시체를현장에서제작하여압축강도를측정해야하며이를통해계산되는압축강도는(식 1.7)와같다.

본시험앵커에타설된그라우트는물- 시멘트비가 0.5로써타설시현장에서공시체를3개제작 28일습윤양생하여일축압축강도를측정하였다.

$$Q_{ult} = \sigma_k A_g \quad (식1.7)$$

여기서, 6ck : 재령 28일콘크리트압축강도, Ag:앵커의전체단면적에서강선의총단면적을제외한순수한그라우트의단면적이다.

또한 추후 스트레인 게이지에서 읽어들인 변형율을이용하여깊이별하중분포를파악하기위해콘크리트탄성계수 Ec를계산하였다.

$$Es = 15{,}000\sqrt{\sigma_k}\ (kg/cm^2) \quad (식1.8)$$

여기서, $\sigma_k$는 28일압축강도이다

강선의인장강도에의한극한인발력은인장형앵커와동일한방법으로산출된다.

<표 1.11은압축형앵커에있어서의극한인발력을 산정하기위한그라우트 압축력에의한극한 인발력과강선에의한극한인발력을정리한표이고, <표 1.13는위에서계산된인장형앵커와압축형앵커에서고려되는극한인발력을요약정리하였다.

<표1.11> 그라우트압축강도에의한극한인발력(압축형)

| No. of Specimen | Compressive Stress (kN/m2) | Elastic Modulus of Grout ( Eg, kN/m2) | Ultimate Load By compressive strength(kN) |
|---|---|---|---|
| 1 | 21654 | $2.18*10^7$ | 373.18 |
| 2 | 22986 | $2.25*10^7$ | 396.14 |
| 3 | 23269 | $2.26*10^7$ | 401.01 |
| 4 | 21989 | $2.20*10^7$ | 378.95 |
| 5 | 21803 | $2.19*10^7$ | 375.75 |

<표1.12> 압축형앵커의극한인발력

| No. | Anchor Type | Ultimate Load By compressive strength(kN) | Ultimate Load by PC strand yielding (kN) |
|---|---|---|---|
| 1 | Compression | 373.18 | 703 |
| 2 | Compression | 396.14 | 703 |
| 3 | Compression | 401.01 | 703 |
| 4 | Compression | 378.95 | 703 |
| 5 | Compression | 375.75 | 703 |

<표1.13> 시험앵커의극한인발력

| No. | Anchor Type | Ultimate Load By compressive strength(kN) | Ultimate Load by PC strand yielding (kN) | Ultimate Load by Soil-Grout friction (kN) | Ultimate Load by Bond Stress (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Compression | 373.18 | 703 | 703 | - |
| 2 | Compression | 396.14 | 703 | 703 | - |
| 3 | Compression | 401.01 | 703 | 703 | - |
| 4 | Compression | 378.95 | 703 | 703 | - |
| 5 | Compression | 375.75 | 703 | 703 | - |
| 6 | Tension | - | 703 | 703 | 496 |
| 7 | Tension | - | 703 | 703 | 993 |
| 8 | Tension | - | 703 | 703 | 1158 |

## 제 2 장 현장시험 결과분석 및 해석

### 2.1 개요

제1장에소개된바와같이화강풍화토와연암으로이루어진분포를가지는대상지반에총8개의앵커를수직으로시공하였다. 이에각각의앵커의특성을연구하기위하여인발적성시험, 크립시험, 장기거동하중재하시험등의3가지의현장시험을실시하여인장형앵커와압축형앵커의설계내력및거동특성을파악하였다. 본기고에서실시된앵커현장시험의방법들은모두 AASHTO와 PTI(Post Tensioning Institute, United States, 1990)에서규정하는기준들에준하여실시되었으며, DIN(Deutche Industrie Normen, Germany), BSI(British Standards Institution, United kingdom)과는실험방법에있어다소차이가있음을밝혀둔다. 하지만 앵커의 해석에 관련해서는 AASHTO와 PTI, DIN4125(1990), BS8081(1989), 일본지반공학회기준(Japanese Ground anchor Association, Japan, 1990)의내용을참고하여해석하였다. <표2.1은본시험에실시된8개의앵커에대한각종시험내역이다.

### 2.2 적성시험( Performance Test)의결과분석

이 시험목적은 앵커가 인장, 인발 과정에 있어서 설계시방서에표시한성능을가지고주어진조건을만족하는지아닌지를조사, 실증하는데있다. 이시험결과는설계에피드백되어불합리한점이있다면설계조건의수정에이용된다.

<표2.1> 현장시험앵커제원

| Anchor No. | Type of Anchor | Strain gauge | Ultimate Pullout Test | Proof Test | Perfor-mance Test | Creep Test | Long-Term Test | Load Cell | Refer. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Comp. | | | O | | | O | O | Duct |
| 2 | Comp. | O | | | O | | O | O | Duct |
| 3 | Comp. | O | | | | O | O | O | Sheath |
| 4 | Comp. | | | | O | | O | O | Sheath |
| 5 | Comp. | O | | | O | | O | O | - |
| 6 | Tension | | O | | O | | | O | Lb = 3m |
| 7 | Tension | O | | | | O | O | O | Lb = 6m |
| 8 | Tension | | | | | O | O | O | Lb = 7m |

본 연구에서 실시된 인발적성시험은 설계앵커력의타당성을고려하기위한시험이라기보다는비교적단기의반복하중에대한앵커의설계내력을측정하여확인하는시험이라는측면에접근하고자하였다.

인발적성시험에서 하중의 재하는 AL(Alignment Load, 초기하중) → 0.25DL(Design Load) → AL (Cycle 1) →0.25DL →0.5DL →AL (Cycle 2) → 0.25DL →0.5DL →0.75DL →AL (Cycle 3) → 0.25DL → 0.50DL → 0.75DL → 1.00DL → AL (Cycle 4) → 0.25DL → 0.5DL → 0.75DL → 1.00DL → 1.33DL (가설앵커의 경우 1.20DL) (Cycle 5) (AASHT 기준) 순서로이루어지며각단계에서1분의하중유지시간을주었다.

마지막 1.33DL단계에서는 10분간의하중유지시간을주고1, 2, 3, 4, 5, 6, 10분 간격으로크립변형량을체크하였다. 별도의크립변형및장기거동에 따른 하중감소와 크립변형에 대한 시험이 실시되었다.

인발적성시험은 설계 내력에 대한 파괴규정이 1.016mm/log⊿t이고본시험에서는하중유지시간을 10분으로잡았으므로 1.016mm이내의변형이면 설계내력이있다고판정된다.

<표 2.2>는각앵커에대한크립변형량결과을나타낸것이고[그림 2.3]은 2, 6번앵커에대한인발적성시험의하중-변형그래프이다.

[그림2.1.a] 2번압축형앵커의적성시험

[그림2.1.b] 6번인장형앵커의적성시험

인발적성시험데이터시트를토대로하여하중-변형량의 그래프를 나타내었으며 총침하량은 탄성침하량과잔류침하량의합으로써현장시험에서우리가직접 LVDT로측정가능한앵커의변형량을의미한다. 탄성침하량은주로앵커강선체에서발생하는 침하량으로하중을재하하고다시원상태로제하하였을때강선에서발생되는탄성적변형량으로써전체침하량에서잔류침하량을뺀값이다. 잔류침하량은 그라운드앵커체의 그라우트에서 발생되는 변형량으로써, 하중의재하와제재하의과정에서회복되지않는영구변형량이다.

2번앵커의경우Cycle 4에서총침하량이큰폭으로 증가하였으며 그위치에서의 잔류침하량 역시 47.61mm로써 전단계에 대비하여 지나치게 큰 침하량을나타낸다. 이하중단계에서앵커체가인발되었을가능성을크게나타내고있다. 반면6번앵커체의 경우 아주 전형적인 적성시험 결과를 보여주고 있으며총침하량과탄성, 소성침하량하중등을살펴볼때충분한저항력을발현하고있다고볼수있다.

또한 6번앵커의 경우 인발시험과 함께 극한 인발시험을 실시하여 설계에 반영할 계획이었으나 70.22ton 에서PC 강선이파단되었다. 5개의 PC강선의 항복강도(yielding strength)는 79.5ton <표 1.9>이나상부 재하판의 웨지(Wedge)로 인해강선 표면에흠집이생기면서그부분에서파단되었다.

<표2.2> 적성시험결과

| Anchor No. | Anchor Type | Design Load (Jack / load cell) (ton) | Residual displ. (mm) | Elastic displ. (mm) | Creep displ. (mm) for 10min |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Compression | 50 | 47.61 | 55.64 | 0.07 |
| 4 | Compression | 50 | 50.16 | 51.57 | 0.08 |
| 6 | Tension(Lb=3m) | 50 | 9.66 | 48.28 | 1.41 |

[그림2.4]는인발적성시험을통한각하중단계에서의 total displacement 및 residual displacement, elastic displacement를 도시한 것이다. 6번 앵커의 경우 일정한 증가율을 가지는 residual displacement를나타내는반면, 2번앵커의경우마지막하중단계(Cycle 4)에서residual displacement가급속히증가하는점으로미루어그라우트에서의변형이라기보다는마지막단계하중에서앵커체가인발되었다고볼수있다.

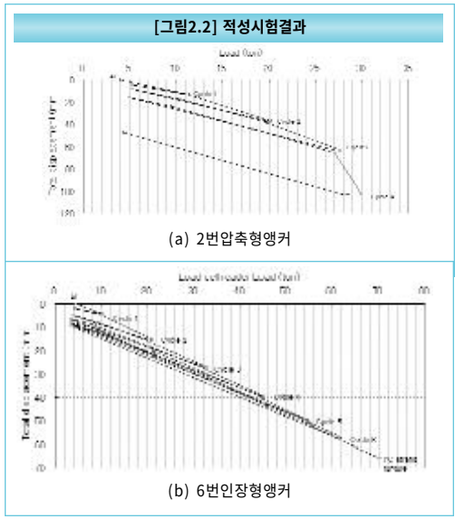
[그림 2.3]은적성시험의단계별하중증분을나타내는 것으로써 Hydraulic Jack load와 Load cell load를 나타낸 것이다. 앞서 residual displacement량으로써 예상했듯이 2번앵커의 load stage에서 point C 에서 jack load에 훨신 못 미치는 하중이 load cell에전달되었음을알수있다. Point A와B는 같은 하중단계로써 거의 비슷한 값을 나타내지만 point C에서는 충분한 소요의 하중 증가를 보이지 못하고미소하중증가를보이다가더이상의하중증가없이수렴해버린다.

즉, point C 하중 29.73ton에서앵커체가인발되었음을추측할수있으며이하중은residual displacement가급격히증가하는point와일치함을볼수있다. 이같이낮은하중에서인발되는것은압축형앵커처럼앵커선단부의그라우팅강도에지지력을의존하는경우그라우트의 w/c의 비가 45%이내로관리 시공되어야하나 2번앵커의 경우 w/c의 비가 53%정도의 저가압 그라우팅이 이루어졌기 때문에 그라우트의압축강도의부재라고할수있겠다.

6번앵커체의 경우[그림2.3 (b)]에서보듯이 일정한하중증분이충분히 이루어 지고 있으며, 극한인발시험의load stage 도함께나타내었다.

극한인발시험과정중75~80ton 사이에서강선이 파단되었다. 강선의 긴장중 허용인장하중이 71.6ton 임을 감안할 때 6번앵커는 과그라우트 된 것으로예상된다.

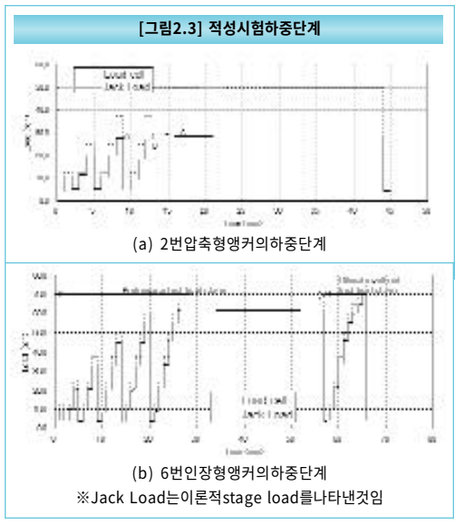
[그림2.2] 적성시험결과



(a) 2번압축형앵커

(b) 6번인장형앵커

[그림2.3] 적성시험하중단계



(a) 2번압축형앵커의하중단계

(b) 6번인장형앵커의하중단계

※Jack Load는이론적stage load를나타낸것임

### 2.2.1 한계하중산정

한계하중(Plim)은 인장형 앵커의 극한 강도를 산정하기위해필요한하중값으로하중재하중앵커체가인발되었을때의최대하중을의미한다.

하지만6번인장형앵커와같이극한인발시험을실시하였으나앵커체가인발되지않고강선이먼저파단되는경우혹은극한인발시험을실시하지않고서도 하중의 재하 중 일정한 하중유지시간에 대한 크립변형량과 유지하중의 관계도를 이용하여 그값을 추정할수 있다. 즉, creep coefficient를 계산하여 그값이 2mm되는위치에서의하중을한계하중으로 결정하는방법이다.(DIN4125, 1988) [그림2.4]

하지만 6번 앵커의 경우 앵커체의 인발없이 강선이파단된경우creep coefficient값으로는2mm 까지 계산이안되므로강선이파단된하중을한계하중으로 보면 6번앵커에 대한 한계하중(Plim)은 61.93ton으로결정될수있다.

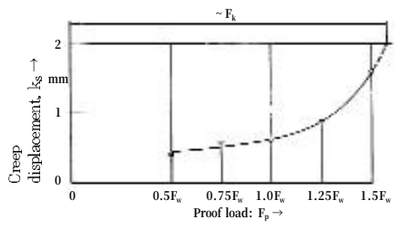
### 2.2.2 극한인발저항산정

극한인발시험을통해서나위에서구한한계하중(Plim을)이용하여인장형앵커에있어서의극한인발력을다음의식에의해산정할수있다.

$$\tau_{lim} = \frac{P_{lim}}{\pi \times D \times L_b} \qquad (식\ 2.1)$$

여기서, Plim: 한계하중
D : diameter of drilling hole
Lb: bond length

[그림2.4] 크립계수도표(DIN4125, 1988)




극한인발저항(Plim)의분포양상은정착길이전체에걸쳐서 균일하게분포할수는 없지만이분포는 하중레벨에따라다른형태로분포하기때문에함수로근사적으로접근하기는힘들다.

따라서가정착길이전장에대하여균일하게분포한다고가정해야한다. 또한D의값역시천공직경과 동일하고가정해야한다. 정착길이부의파괴가그라우트와강재의부착끊김, 그라우트의인장파괴혹은 주변지반의파괴일수있기때문에천공직경으로가정한다.

(식 2.1)에 따라 6번 앵커에 대한 극한 인발저항(Plim)를계산하면아래와같다.

$$P_{lim} = \frac{61.93 \times 1000}{\pi \times 15 \times 300} = 4.38\ kg/cm^2$$

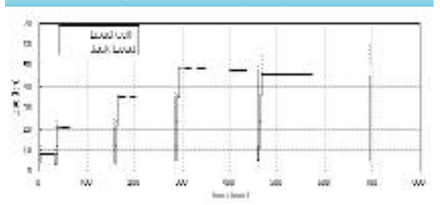
앵커체의인발저항은최소한4.38 kg/cm² 이상으로 나타났지만 한계하중(Plim)의 산정 방법이 극한인발시험을통한실측치가아니므로정확한인발저항값을알아내기위해서는파괴시까지의시험이요구되나강선탄성한계이상의하중에서강선이파단되어정확한극한인발저항치는알수없다하겠다.

## 2.3 크립시험(Extended Creep Testing)의결과분석

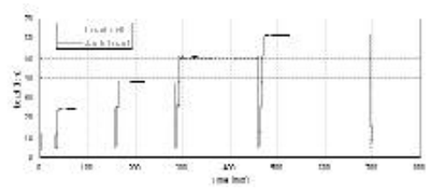
크립은 시간의존성 거동을 의미한다. 시간의존성 거동이란각하중단계에대한유지시간중의앵커신장의 변화를 가리킨다. 이 신장의 경시는 앵커정착부의주입재와지반의크리프, 앵커인장재와주입재의 크리프, 앵커부재간의 상대변위, 인장재의 릴랙세이션등도포함되지만일반적으로는이들을총칭해서 앵커의 크립이라 일컬을 때가 많다. 인발적성시험을통해서간단한크립변형을체크할수있으나 크립에대한 우려가발생할경우 지금과같은별도의크립시험을실시하게된다.

본시험에서는3번, 7번, 8번앵커에대해 Extended Creep test를실시하였으며그결과를정리하였다.

[그림2.5] 크립시험의하중단계

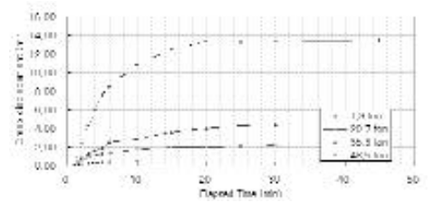


(a) 3번압축형앵커의하중단계

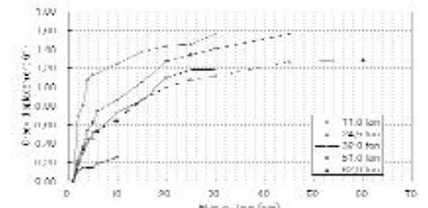


(b) 7번인장형앵커의하중단계

[그림2.6] 크립변형량-시간관계곡선



(a) 3번압축형앵커의크립변형량-시간곡선



(b) 7번인장형앵커의크립변형량-시간곡선

[그림2.5]는3번, 7번앵커의load stage를나타낸것으로3번의경우마지막하중단계에서인발되었을가능성을보이며7번의경우충분한인발저항을나타내고있다

### 2.4.1 앵커종류별크립변형을통한앵커성상의양부판정

크립시험은인발적성시험과재하되는하중단계는 인발시험의단계와같으나각단계별로일정하중을 가한후에발생되는크립변형을측정하기위하여재하되는시간을점차증가시키게된다.

즉초기하중에서 0.25DL에서, 하중을가한후하중을 Lock-off하고10분을재하한후시간을다른변형을 측정하고AL로하중을제하한후다시 0.5DL에서30분, 0.75DL에서30분, 1.00DL에서45분, 1.2DL에서 60분동안 인발하중을 가하고 변형을 측정한다. 3번 압축형앵커와7번인장형앵커에대한시간에따른 크립변형량을나타내면[그림2.6]과같다.

일반적으로앵커의크리프는경시크리프증가율이 서서히 감소하는 1차크리프영역과 같은 증가율이 거의 일정해지는 2차크리프영역, 다시 크리프증가율이급격하게늘기시작하는3차크립영역으로나눠진다. 이가운데유지시간중에빠지는(크립파괴) 앵커에서는반드시2차크립이나타난다.

[그림 2.6]에서 보듯이각하중단계에서 1.2차 크립형태를보이며3차크립양상은나타나지않기때문에Creep 파괴양상이보이지않는것같지만3번 앵커의경우48.5 ton에서creep량이 13mm의상급격히증가하는것으로보아앵커체는인발되었을가능성이높으며elapsed time을 더늘릴경우 3차 크립이분명이발생할것으로추측할수있다.

한편 빠지지 않는 앵커에서는 2차 크리프 그대로 수속하지만이때도이 크립도가크다면장래에 크립파괴할 가능성이 있다. 이 크립으로부터 앵커의 양부를정량적으로판단하는방법으로써DIN 4125 Teil 2 (DIN : Deutshe Industrie Normen)에표시한방법이있다.

크리프도(Creep displacement) $K_\Delta$는

$$K_\Delta = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\log t_2 / t_1} \qquad (식2.2)$$

여기서, $\Delta_1$는하중재하후1분후앵커헤드에서발생되는변형, $\Delta_2$는하중재하후t분후의변형이다.

<표2.3는(식2.2를이용하여3번, 7번앵커에대한 크리프도(Creep displacement)를 계산한 값이다. 3번앵커의Cycle 4에서크리프도가8.14로써7번앵커의최대값1.0보다8배이상큰값을보인다. 2차크립그대로수렴하는경우에도크리프도가크면장래에파괴할가능성이높으므로3번앵커는장래에인발의가능성이매우높다.

<표2.3> 3번, 7번앵커의크리프도(DIN 4125 Teil 2)

| | Cycle | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Anchor 3 | $K_\Delta$ | 0.43 | 1.48 | 3.01 | 8.14 | 0.04 |
| Anchor 7 | $K_{\Delta 0}$ | 0.25 | 1.05 | 0.80 | 0.94 | 0.72 |

$K_\Delta$를이용하여$K_\Delta$ = 2mm에해당하는하중을한계하중(Pmin)으로규정하는것이나앵커3번의경우약 30ton에서결정이되며, 7번앵커의경우 25ton 정도에서결정이 되는것으로나타나나 이값은지반의타입에의해변하고일정하게는결정이안된다는 문제가 있다. 또한 한계하중의 의미로 볼 때 이값으로결정짓기에는앵커의내력을지나치게과소평가하게된다.

또한 Creep Test에 있어서 단계별 일정하중을 Lock-off 시켜서크립량을check 하게되는데시간이지남에 따라.hydaulic Jack의 하중이 점차 빠지게되며, 이값을보정하기위해지속적으로operator가 jacking을하게되고하중이들락거기게된다. 다시말해일정한하중을지속적으로정확하게유지하지못하게되고, 이것은하중에의한강선의늘음량, 즉 그라우트에서발생되는크립의양이라기보다는미소의강선의elastic 변형량에 가깝다고볼수있다. 위와같이현시점에서의크립테스트는정량적으로 판단하기보다는정성적으로그경향을파악하는쪽에주안을둘수밖에없다.

### 2.5 장기하중재하시험(Long -Term relaxation test)

앵커 인발 시험에 의해 계산되어진 극한강도의 70 ~ 75%의하중을앵커에Lock-off 시켜시간에따른 하중감소량을 측정하였다. 장기 하중 재하 시험은 장기간 구조물을 지지하는 앵커에 대한 거동을 예측하여성능을확인하는시험으로본연구에서는 풍화암지반에서의앵커의거동을예측하고자하는 목적으로1번, 2번, 3번, 4번, 7번, 8번앵커에대하여본시험을수행하였다. 유압인장기에의해서강선에가해진하중은앵커헤드에고정웨지를사용하여고정하고약2000분 (13 ~ 1일)동안일정시간에따라잔류하중을측정하였다. 잔류하중은설치된 load-cell의해 측정되어지며, 잔류하중비율은 하중을 lock-off 시킨 뒤 1분 후의 하중(P1)과 잔류하중(P)에대한비율(P/P1)로써구해진다.

표2.4은각앵커에대한장기하중재하시험을정리한표이다. [그림2.7]은각앵커에대한장기하중재하시험을수행한결과를나타낸그래프이다.

시험결과에 따르면 압축형 앵커의 하중감소율이 오히려인장형앵커보다크게나타났다. 이것은앞서 분석된바대로압축형앵커가인발된상태로 Lock-off되었기 때문으로 분석된다. 인장형 앵커의 경우 14일동안 약 3 ~ 10%정도의 장기하중저하를 압축형앵커의경우 13 ~ 17%의하중저하를보인다.

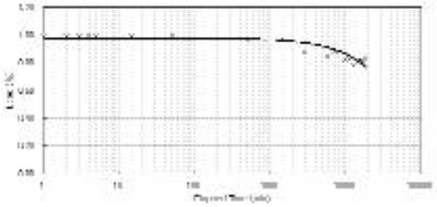
<표2.4> 장기하중재하시험결과

| Anchor No. | Anchor type | Lock-off time (min) | Lock-off Load(ton) | Load ratio (P/P1) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Compression | 18720 | 27.01 | 0.83 |
| 2 | Compression | 20160 | 24.21 | 0.87 |
| 4 | Compression | 18720 | 37.18 | 0.81 |
| 7 | Tension | 17280 | 42.81 | 0.97 |
| 8 | Tension | 20160 | 53.14 | 0.90 |

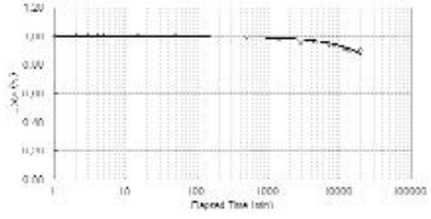
즉, 인장형앵커의경우과그라우트 되어잘시공된 상태라해도그라우트의 크립변형으로인해 하중저하가 압축형 앵커보다 크게 나타났을 것이다. 압축형앵커의경우인발하중을그라우트의압축력에의지하므로압축형앵커에있어서의그라우트의 압축강도가앵커의양부를결정짓는다하겠다.

압축형 앵커에 있어서의 그라우트 압축강도를 증대시키는보조장비의개발이시급하다하겠다.

[그림2.7] 장기하중재하시험결과



(a) 1번압축형앵커



(b) 8번인장형앵커

## 제 3 장 결론

본 연구에서는우리나라의 대표적인 지층인 화강풍화토지반에 대해 총 8개(압축형 앵커 5개, 인장형앵커3개)의그라운드앵커를실물현장시험을실시하였다.

외국의 기준(FIP. France. 1973., DI4125 .Germany. 1972., PTI. United states. 1974., BSI DD81.United kingdom. 1982., JSF D1-77 & JSF D1-88. Japan. 1977(1988).)을 참고로 하여 앵커를설계하고시험하였으며, 본 시험을 통해 그라운드앵커의시공성및 앵커의양부판정에 사용되는 현장 계측의 문제점을 고찰하였다. 또한, 현장실물시험의 결과를 토대로 우리나라 화강풍화토에서의 거동및변형에대한단기거동특성을분석하였다.

현장실물시험을 통해 일반적인 그라운드 앵커의 크립변형을확인하고정착방법의특성상영구변형량과2차변형량이큰인장형앵커와상대적으로크립변형량이적은압축형앵커를비교,분석해보았으며,본연구를통해다음과같은결론을얻을수있다.

1. 본 시험에서 적용된 압축형앵커5개가 모두 예상된설계하중을 발휘하지 못하였다. 압축형 앵커는 그라우트의 압축응력을 바탕으로 설계된 것이므로 앵커의 그라우트 압축파괴로 볼수는없으며가압주입이이루어지지못한앵커체구근형성이미미했기때문이다. 즉, 압축형앵커의타설에있어서충분한가압주입이이루어질수있는팩커와같은장비의개발과 더블어압축형앵커의개선점이필요하다.

2. 각종시험을통해앵커의양부를판정해보았으나크립시험의경우각하중단계별로하중을 lock-off시키는데있어장비의신뢰성과작업자의숙련도에따라그값이차이가나타나게 된다. 이점을 보안하기 위해 하중을 지속적으로 유지하여 줄수 있는장비가 필요하며, 현상태에서의 크립변형량은정량적인기준으로 사용되기힘들고정성적인판단기준으로만해석해야만한다.

참고문헌

①Ground Anchor 기술협회(日)(1996),“ 그라운드앵커공법설계시공지침 ”,그라운드앵커기술협회(日)편, pp258-282
②김낙경(2000)"Load Transfer of Ground Anchors in Clay ", 한국지반공학회논문집, VOL.16, NO3, pp145-155
③김낙경(2001)"압축형앵커의개발및성능평가 ", 한국지반공학회2001 봄학술발표회논문집, pp339-346
④김성규(2001),“ 압축형그라운드앵커의하중전이에관한연구 ”, 성균관대학교대학원석사학위논문, pp24-27
⑤석영철(1998),“ 영구앵커의인발특성에관한연구 ”, 한양대학교산업대학원석사학위논문, pp2-12
⑥한국산업규격(1995),“ PC 강선및 PC강연선, KS D 7002 ”, 한국산업표준협회