

압축형 제거 앵커의 개발 및 성능 평가

Development of Removable-Strand Compression Anchor

김낙경¹⁾, Nak-Kyung Kim, 김성규²⁾, Sung-Kyu Kim

¹⁾ 정회원, 성균관대학교 토목공학과 조교수, Ass. Prof., Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

²⁾ 성균관대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

SYNOPSIS : For temporary excavation support in private land area, the strand of ground anchor should be removed in order to get permission to install anchors. The extractable or removable-strand compression anchor system was developed and evaluated by a series of pull-out load tests. 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 Sungkyunkwan University. Four anchors are the compression type anchors and three are the tension anchors. Performance test, creep test, and long term relaxation test were performed and presented. Load distributor was developed in order to distribute large compressive stresses in grout.

Key words : Tension Anchor, Compression Anchor, Weathered Soil, Load Test, Load Distributor

1. 서론

앵커 공법은 토목이나 건축 구조물을 지반에 정착시키기 위하여 고강도의 강재에 높은 긴장력을 도입하여 구조물에 횡 방향 또는 연직 방향의 구속력 또는 선행 하중을 가하기 위한 효과적인 공법으로 가설 토류벽의 지보공, 영구앵커 토류벽, 송전탑 기초, 댐의 보강, 지하 구조물의 부력 앵커, 사면 보강 등에 사용되고 있으며 많은 연구자들에 의해 연구되었다(Kim, 2000, Ostermayer et al, 1978; Littlejohn, 1968, 1970, Nicholson et al, 1982; Otta et al, 1982; Pfister et al, 1982; Weatherby, 1982; Cheney, 1988; Long et al, 1997; Mueller et al, 1998; Weatherby et al, 1997; Weatherby, 1998).

도심지 굴착 현장에서 인장형 앵커의 경우 그라우트와 강선이 지반에 잔류되어 인접 지역의 굴착 공사 시 문제가 발생하게 되고, 최근 들어 이러한 문제로 인한 대민 대관의 문제가 빈번해지게 되었다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 시공 후 강선을 제거 할 수 있는 앵커의 개발이 시급한 상태이며 도심지 공사에서는 제거식 앵커가 필수적인 요소가 되었다. 본 연구에서는 최근 개발된 강선 제거식 압축형 앵커의 성능 및 강도 특성을 파악하기 위하여 성균관대학교 지반시험장에서 계측기가 장착된 3개의 저압 그라우트 인장형 앵커와 4개의 압축형 앵커에 대해 인발 시험, 크립 시험, 장기 하중 재하 시험 및 강선 제거 시험을 수행하였다. 그리고 그라우트에 작용하는 과도한 압축응력을 분산시키기 위하여 하중분산 정착체를 개발하여 적용하였다.

2. 압축형 제거 앵커(Removable-Strand Compression Anchor)

2.1 압축형 제거 앵커의 필요성

그라운드 앵커는 앵커에 하중을 가하는 방식에 따라 압축형 앵커(Compression Anchor)와 인장형 앵

커(Tension Anchor)로 구분할 수 있다. 인장형 앵커는 선단부에 강선과 그라우트를 부착시킨 정착장과 쉬스관을 사용하여 그라우트와 강선을 비정착시킨 자유장으로 구분되어 있으며 앵커 두부에 가해지는 인발력은 정착장을 통해 그라우트에서 지반으로 전이된다. 인장형 앵커는 시공 및 관리가 편리하여 공사 현장에서 많이 사용하고 있으나 앵커에 인발력을 가하게 되면 그라우트에 발생하는 인장력에 의해 인장 균열이 발생되고 지하수의 유입으로 강선의 부식이 발생된다. 강선에 발생한 부식은 하중을 감소시켜 앵커의 성능을 저하시키는 문제가 발생하게 되므로 인장형 앵커를 장기간 사용할 목적으로 설계할 때에는 부식 등에 대한 대책이 반드시 세워져야 한다.

1970년대 후반부터 개발되어 사용되기 시작한 압축형 앵커는 강선을 고정하기 위해서 선단 재하판(End Plate)을 이용하고, 강선의 전장을 플라스틱 쉬스관으로 보호함으로써 그라우트와 강선의 부착을 방지한다. 따라서 압축형 앵커는 전장이 자유장을 형성하게 되어 앵커 두부에서 가해진 하중이 직접 앵커 선단에서 가해질 수 있도록 한다. 앵커 선단에서 가해진 하중은 앵커의 그라우트에 압축력을 발생시켜 정착장에서 발생하는 인장균열에 의한 강선 부식이 우려되는 인장형 앵커와 달리 부식 방지에 탁월하여 영구앵커로 많이 사용된다.

도심지 굴착 현장에서는 가설 토류벽에 그라운드 앵커가 많이 사용되고 있으나 인장형 앵커의 경우 지반에 강선이 잔류하게 되며 인접 지역의 굴착 공사 시 잔류된 강선으로 인한 문제가 발생되고 이러한 문제를 해결하기 위해서는 도심지 굴착 공사 시에는 강선을 제거할 수 있는 강선 제거식 앵커를 사용하여 시공 후 반드시 강선을 제거 해야한다.

2.2 압축형 제거 앵커의 제거 원리

국내에서는 인장재를 제거할 수 있는 방법으로 U-Turn Type(그림 1) 이 개발되어 있다. 이는 쉬스관에 싸여있는 강선이 U자 형태로 정착체를 휘어 감게 되어있고 사용 후에는 한쪽 끝을 잡아당겨서 제거할 수 있게 되어 있으나 강선이 휘어 있으므로 고강도의 앵커에는 사용할 수 없고 인장재의 파단 시 별다른 대책이 없는 것이 큰 단점이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 앵커처럼 시공이 간편하고 고인장력을 가할 수 있으며 시공 후에도 인장재를 손쉽게 제거하여 재 사용할 수 있는 압축형 제거 앵커를 개발하였다. 제거식 압축형 앵커는 그림 2에서 보는 바와 같이 일반 압축형 앵커에서 사용하는 선단 재하판을 사용하지 않고 높은 하중에서 앵커가 파괴되지 않으며 하중을 효과적으로 지반에 분산시키고, 또 손쉽게 강선을 제거 할 수 있도록 하중 분산 정착체를 사용하였다.

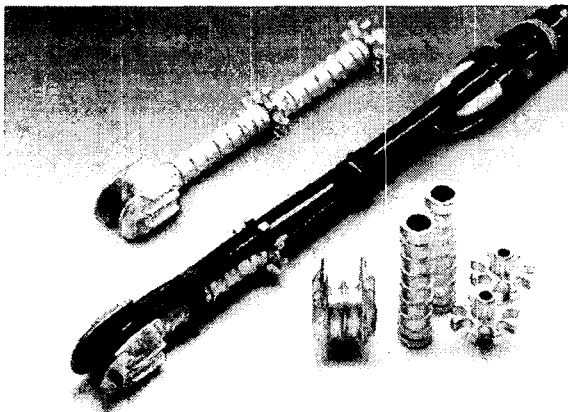


그림 1. U-Turn Type 앵커

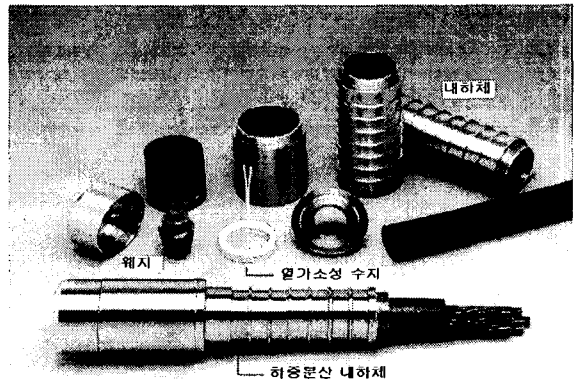


그림 2. 제거식 압축형 앵커

U-Turn Type 앵커는 먼저 긴장되어 있는 강선의 하중을 감소시키고 U자로 연결된 강선 두 가닥 중 한쪽 끝을 잡아 당겨서 제거하는 원리이다. 그러나 개발되어진 압축형 제거 앵커는 그림 2와 같이 멀티 웨지, 열가소성수지로 된 플레이트, 웨지외통 및 보호관 등으로 구성되어있다. 강선 제거식 앵커의 핵심 부품은 웨지통을 구속하는 열가소성 합성수지 플레이트이며 이 플레이트에는 열선이 삽입되어 있어서

전류를 이용하여 쉽게 용해 될 수 있다. 그림 3-(a)와 같이 열가소성수지가 녹기 전에는 정착되어진 웨찌외통과 멀티웨찌에 의해 강선은 단단히 고정되어 있다. 강선을 제거하기 위해서는 웨찌외통을 받치고 있는 열가소성수지에 24Volt의 전압을 약 1분간 가하여 이를 용해시킴으로써 웨찌외통이 밀려 강선이 멀티웨찌로부터 이탈되는 원리이다. 또 이탈된 강선은 U-Turn Type 앵커와 다르게 중장비를 사용하지 않고 인력에 의해 쉽게 제거 될 수 있다.

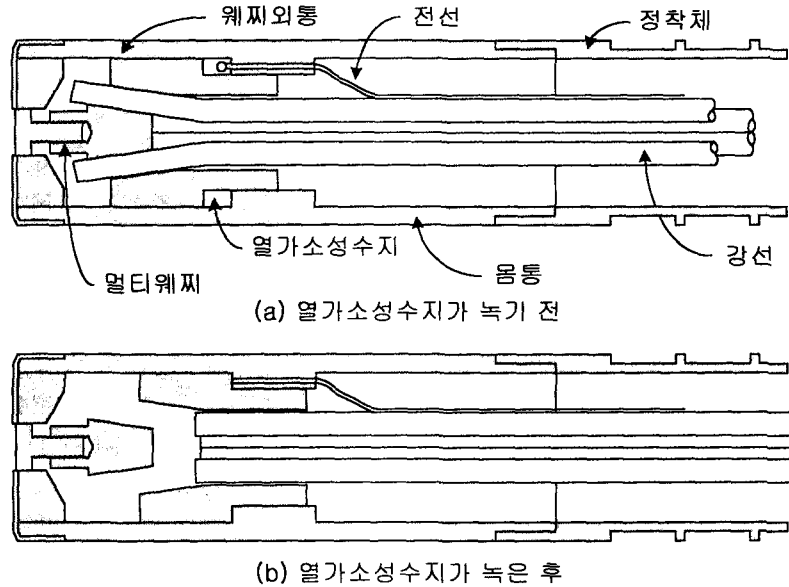


그림 3. 압축형 제거 앵커의 제거 원리

3. 그라운드 앵커의 극한 설계력(Ultimate Anchor Capacity) 산정

인장형 앵커의 극한 설계력은 지반과 그라우트의 마찰응력, 그라우트와 강선의 부착강도, 강선의 인장강도 중 가장 작은 값을 사용하며, 압축형 앵커의 극한 인발력은 지반과 그라우트의 마찰응력, 강선의 인장강도, 그라우트의 압축강도 중 가장 작은 값을 사용하게 된다(AASHTO, 1990; PTI, 1996).

지반과 그라우트 극한 마찰저항력(Q_{uf})은 식(1)과 같다.

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

$$f_{max} = K \sigma_{ov}' \quad (\text{사질토}) \quad (2)$$

$$f_{max} = \alpha S_u \quad (\text{점토}) \quad (3)$$

여기서, D 는 앵커 직경, L_a 는 정착장 길이, f_{max} 는 지반과 그라우트 사이의 최대 마찰응력, K ($K_1 \tan \phi$, Littlejohn, 1980)는 마찰 계수(Coefficient of Friction), σ_{ov}' 는 앵커 정착장 중심부까지의 유효 상재 하중, α 는 점착 계수, S_u 는 비배수 전단강도이다.

강선의 인장력(Q_w)은 식(4)와 같다.

$$Q_w = A_s f_{ts} \quad (4)$$

여기서, A_s 는 강선의 면적, f_{ms} 는 강선의 극한 인장강도 이다.

강선의 부착력(Q_{ub})은 식(5)와 같다.

$$Q_{ub} = n\pi D_c L_b f_{ub} \quad (5)$$

여기서 n 은 강선의 개수이며, D_c 는 강선의 유효 직경, L_b 는 강선의 정착 길이, f_{ub} 는 강선과 그라우트의 부착응력이다.

그라우트의 극한 압축력(Q_{ug})은 식(6)과 같다.

$$Q_{ug} = \sigma_{ck} A_g \quad (6)$$

여기서 σ_{ck} 는 콘크리트 압축 강도, A_g 는 앵커의 전체 단면적에서 강선의 총 단면적을 제외한 순수한 그라우트의 단면적이다.

4. 현장시험

4.1 지반시험장

앵커 지반 시험장은 경기도 수원시 장안구 천천동 성균관대학교에 위치하며 약 300m 떨어진 지점에 일월 저수지가 위치하고 있으며 부지의 지형은 시험전 정지작업을 하여 비교적 평평한 지형을 이루고 있다. 시험장의 지반을 조사하기 위하여 시험장에 3개의 홀을 천공하여 표준 관입 시험을 실시하였으며 지반시험장의 지층 단면도 및 표준관입시험에서 구한 N치는 그림 4과 같다. 또 지하수위를 측정하기 위해 표준관입시험을 수행한 천공 홀에 피에조미터를 설치하여 측정한 결과 지표로부터 18.3 m에 지하수가 위치하고 있는 것으로 확인되었으며 지속적으로 지하수위 변동을 측정하였다. 표준관입시험 결과 지표에서 4m까지는 중간 조밀한 실트질 모래(매립층)로 이루어져 있고, 5.8m까지는 중간 조밀한 모래질 점토, 12m까지는 풍화토, 12m 아래는 풍화암으로 구성되어 있다.

4.2 앵커 시공 및 계측

직경이 165 mm이며 길이가 9~12 m (U-Turn Type 앵커는 11.5 m)인 7개의 앵커는 오거(hollow stem auger)를 이용하여 지반을 수직으로 천공하여 삽입하였다. 그라우트는 물/시멘트 비가 0.5이고 0.5 MPa의 저압으로 주입하였으며 재령 28일 압축강도는 2.25×10^4 kN/m²이다. 강선 5개인 앵커의 그라우트의 단면적은 20688 mm², 탄성계수는 2.25×10^7 kN/m²이고, 15.2 mm 강선의 단면적은 715 mm², 탄성계수는 2.07×10^8 kN/m²이다. 각 앵커의 길이 및 특징들은 표 1과 같다.

앵커 설치 후 앵커에 가해지는 하중에 대한 재하대 역할을 할 수 있도록 2개의 H빔과 강철판을 이용한 하중 재하대를 설치하였으며 가해지는 하중에 대하여 충분한 강도와 처짐에 대해 안전할 수 있도록 설계하였다. 또한 하중에 대한 반력대로 사용될 반력 지지대는 철판과 H빔으로 구성된 1.2 m × 1.2 m의 직사각형의 형태이며 지반에 0.65 m의 깊이에 설치하였다. 지반 침하와 H빔의 처짐으로 발생하는 변위를 측정하기 위해 extensometer를 1번과 2번 앵커로부터 1.5m 떨어진 지점에 설치하였고 이외의 앵커 변형도 광과측정기를 이용하였다.

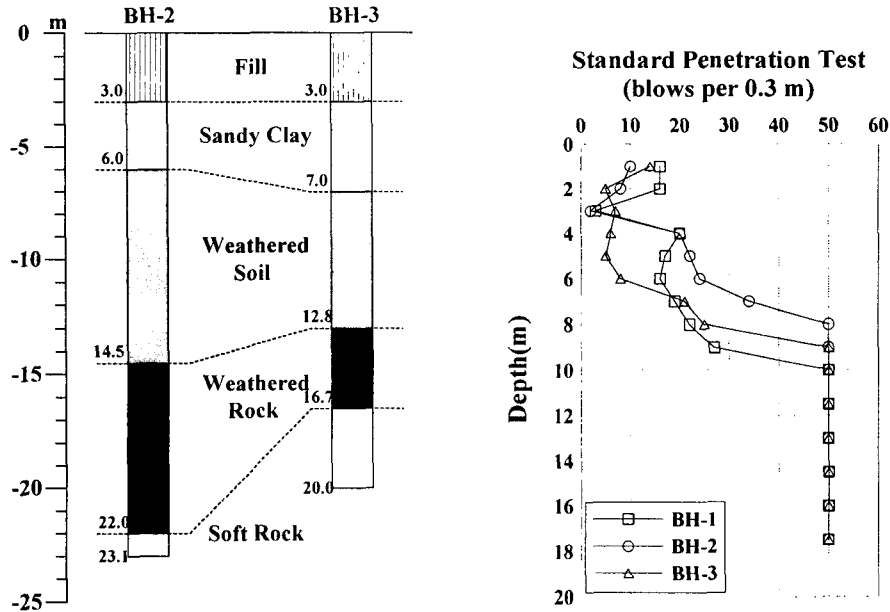


그림 4. 지층 단면도 및 N-Value

표 1. 시험 앵커의 재원

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

4.3 인발시험

미국의 AASHTO(AASHTO, 1990)와 FHWA(Weatherby, 1998)에서 제시하고 있는 그라운드 앵커의 시방 기준에서는 확인 시험(Proof Test), 인발적성시험 (Performance Test) 및 크립시험(Creep Test), 장기하중 재하시험(Long-Term Relaxation Test)등을 수행하여 앵커의 설계에 대한 적합성을 평가하도록 하고 있다(그림 5).

앵커의 확인 시험은 단기간의 재하 시험으로서 앵커의 설계 하중의 133%를 저항할 수 있는지를 확인 하는 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 Lock-off 시켜 2 mm이하의 변형이 발생하게 되면 설계 내력이 있는 것으로 판정하게 되고 이를 초과 할 때에는 재설계 해야 한다.

앵커의 인발 적성 시험은 일반적으로 설치되는 앵커의 5%에 해당하는 앵커 개수에 대하여 시험을 수행한다. 인발 적성 시험은 단기의 반복 하중에 대한 앵커의 설계 내력을 측정하여 확인하는 방법으로서,

각 하중 단계 재하 후에 다시 초기 하중으로 되돌아와서 다음 하중 단계로 반복 인발 하는 특징이 있다. 시험 수행 시 재하되는 하중은 초기 하중 AL(Alignment Load)에서부터 설계 하중 DL(Design load)에 대한 비율로써 증가시키며 발생하는 변형을 측정하게 된다. 앵커 극한 하중은 총 변형량이 자유장 탄성변형의 80%를 넘는 경우 또한 소성변형인 잔류변형이 앵커 직경의 10분의 1보다 적은 경우에 해당되는 하중이다.

크립 시험은 앵커의 보강에 대한 장기적인 효과를 평가하는 시험으로써 정적인 하중이 재하되었을 때 시간에 따라 발생하는 변형량을 측정하는 시험이며 장기간 사용되는 앵커에서 반드시 수행하여 앵커의 장기 거동을 예측하고 적합성을 평가해야 되며, 소성 지수가 20이상인 점성토 지반에서는 특히 중요하다. 크립 시험은 인발 적성 시험(Performance Test)과 시험 단계는 같으나 각 단계별로 인발 시간이 점차 증가된다. 크립변형이 시간의 로그 싸리클당 2mm 변형보다 적으면 설계내력이 있는 것으로 간주한다.

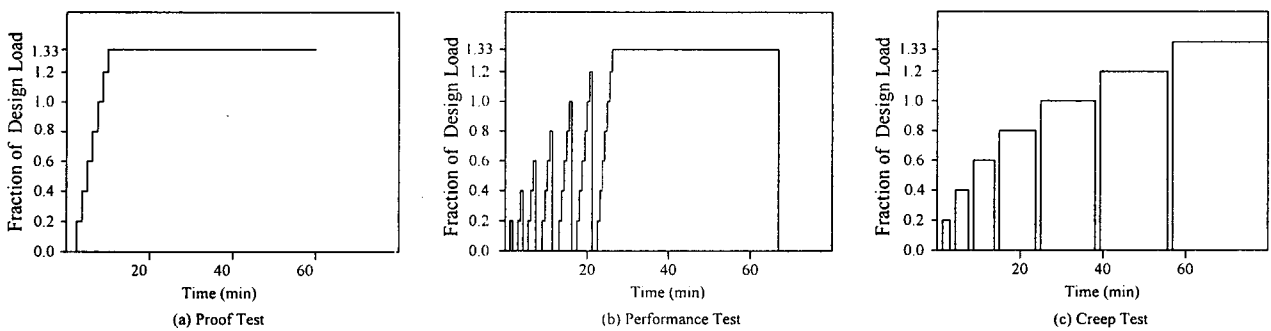


그림 5. 앵커 인발 시험

5. 현장시험 결과

5.1 극한 하중 및 최대 마찰 응력

앵커의 극한 하중은 잔류변형이 앵커 직경의 10분의 1일 때의 하중 또는 전체 변형이 앵커 직경의 10분의 1과 탄성변형의 합일 때의 하중이다. 회복 불가능한 잔류변형은 일정한 정적하중에서 크립변형을 측정하고 난 뒤 AL하중으로 하중을 감소시켰을 때 발생하는 변형이며 탄성변형은 전체 변형에서 잔류 변형을 뺀 변형이다. 이와 같은 방법으로 극한 하중을 구하면 표 2에 나타난 것과 같다.

표 2 하중-변형 곡선에 의한 극한 하중

Anchor No.	Q_{ult} (kN)	L_a (m)	σ_{ov} (kPa)	f_{max} (kPa)	K (f_{max}/σ_{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	-

인장형 앵커의 극한 하중은 인발시험을 통해서 얻을 수 있고 최대 마찰 응력과 마찰계수(K)는 식(2)를 이용하여 구할 수 있다. 표 2에서와 같이 풍화토 지반에서 마찰계수 값 1.7을 얻었다. 압축형 앵커는

앵커의 정착장 없기 때문에 기존의 이론식을 적용하는데 한계점이 있다. 따라서 압축형 앵커의 극한 강도를 예측할 수 있는 관계식을 도입하기 위해서 정착 전이 길이(Bonded Transmission Length) 개념을 도입하였다. 정착 전이 길이란 일반 인장형 앵커는 정착장을 통해 마찰력이 전이되지만 정착장이 없는 압축형 앵커는 마찰력이 전이되는 길이를 알 수 없기 때문에 압축형 앵커의 극한 강도를 이용하여 압축형 앵커의 선단에서 산술적으로 계산한 정착 길이이다. 각각의 앵커에서 구한 풍화토 지반 특성치들은 표 2와 같다. 여기서, σ_{ov} : 정착장 중심에서의 유효 상재 하중, K : 마찰계수, L_a : 인장형 앵커의 정착장 길이 L_{bt} : 압축형 앵커의 정착 전이 길이이다.

5.4 강선 제거 시험

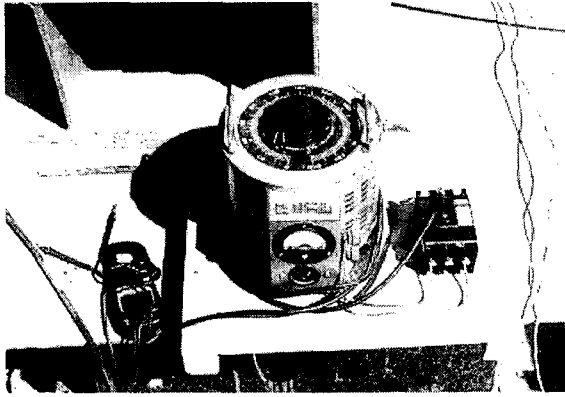


그림 6. 전원공급장치

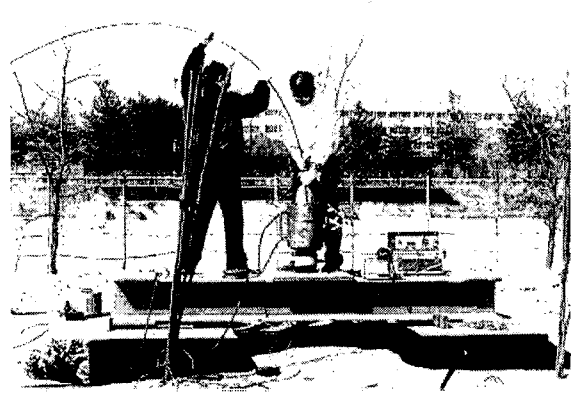


그림 7. 인력에 의한 강선 제거

강선 제거 시험은 3, 4번 앵커와 U-turn type 앵커에서 실시했다. 강선 제거 방법은 2.2절에서 설명한 것과 같이 U-turn type 앵커는 U자 형태로 된 강선 한 가닥을 중장비에 연결하여 제거를 하며 본 연구에서 개발된 압축형 제거 앵커는 강선을 고정하고 있는 열가소성 수지에 24volt를 1분 동안 가해 수지를 용해시켜 웨저로부터 강선을 이탈시키는 원리이다. 그림 6은 열가소성 수지를 녹이기 위한 전원공급장치로 무게와 부피가 작아서 휴대가 용이하며 이탈된 강선은 그림 7과 같이 쉽게 인력으로 제거되어진다.

6. 결론

본 연구는 앵커의 인장재를 제거할 수 있는 압축형 제거 앵커를 개발하여 국내의 대표적인 화강 풍화토 지반에서 적용하여 압축형 제거 앵커의 성능을 평가하기 위한 시험으로 인발시험 및 강선 제거시험을 수행하였다.

본 시험을 통해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. N치가 25~50인 풍화토 지반에 설치된 앵커에 대하여 인발 시험을 통해 각 앵커의 극한강도는 유효상재하중과 비례 관계가 있음을 확인하였고 이를 통해 각 앵커의 극한강도는 유효상재하중과 비례관계가 있음을 확인하였고 이를 통해 지반 마찰계수 K 가 1.7이 됨을 알 수 있었다.
2. 본 연구에서 개발한 압축형 제거 앵커의 인장재를 제거하기 위하여 약 24 Volt의 전압을 가하여 정착체 내의 열가소성 수지를 용해시켜 쉽게 제거 할 수 있었다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Ostermayer, H., Scheele, F (1978). Research on ground anchors in non-cohesive soils , *Revue Franciase de Geotechnique* (3), pp92-9959.
2. Littlejohn, G.S. (1968). Recent Developments in Ground Anchor Construction , *Ground Engineering*, Vol.1, No.3, pp32-36.
3. Littlejohn, G. S. (1970). Soil Anchors , *Ground Engineering, Proceedings of an ICE Conference*, June 16, 1970, ICE, London, pp11-15.
4. Nicholson, P.J., Uranowski, D., and Wycliffe-Jones, P.T. (1982). Permanent Ground Anchors : Nicholson Design Criteria , *FHWA/RD-81/151*, U.S. Dept. of Transportation, Fed. Hwy. Admin., Washington, D.C.
5. Otta, L., Pantueck, M. and Goughnour, R.(1982). Permanent Ground Anchors : Stump Design Criteria , *Rep. FHWA/RD-82/152*, U.S. Dept. of Transportation, Fed. Hwy. Admin., Washington, D.C.
6. Pfister, P., G. Evers, M. Guillaud, and R. Davidson.(1982). Permanent Ground Anchors, Soletanche Design Criteria , *FHWA/RD-81/150*, U.S. Dept. of Transportation, Fed. Hwy. Admin., Washington, D.C.
7. Weatherby, D.E. (1982). Tiebacks , *Report FHWA/RD-82/047*, U.S. Dept. of Transportation, FHWA, McLean, VA.
8. Cheney, R.S. (1988). Permanent Ground Anchors , *Report FHWA/DP-68/1R*, U.S. Dept. of Transportation, Fed. Hwy. Admin., Washington, D.C.
9. 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.
10. Mueller, 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 Tests and Ground Anchor Tests , *Report FHWA-RD-98-067*, FHWA, McLean, VA.
11. Weatherby, D.E., Chung, M., Kim, Nak-Kyung, Briaud, J-L. (1997). Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol.2, Full-Scale Wall Tests and a Soil-Structure Interaction Model , *Report FHWA-RD-98-066*, FHWA, McLean, VA.
12. Weatherby, D.E. (1998). Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol.4, Conclusions and Recommendations , *Report FHWA-RD-98-068*, FHWA, McLean, VA.
13. Briaud, Jean-Louis.(1998). Should Grouted Anchors Have Short Tendon Bond Length? , *ASCE, J. of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, Vol.124,No.2, pp110-119.
14. Littlejohn, G.S. (1980). Design Estimation of the Ultimate Load-Holding Capacity of Ground Anchors , *Ground Eng., Found. Publ.*(Nov.), Essex, England.
15. AASHTO. (1990). Tieback Specifications , AASHTO-AGC-ARTBA TF27.
16. PTI(1996), *Recommadations for Prestressed Rock and Soil Anchors* 3rd ed. Post tensioning Institute, Phoenix, Arizona.