

풍화암에 근입된 영구 앵커의 극한인발력

Ultimate Uplift Capacity of Permanent Anchor Embedded in Weathered Rock

유 남 재* 박 병 수** 정 길 수*** 김 진 황****
Yoo, Nam-Jae Park, Byung-Soo Jeong, Gil-Soo Kim, Jin-Hwang

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate ultimate uplift capacity of permanent anchor which was cast into weathered rock. The ultimate uplift capacity was estimated from the load-displacement curve of four different anchors which have different bond length. The creep test was performed for 15minutes under the maximum load of each step in order to understand the load-transfer property of permanent anchor and to decide which anchor to choose.

The destruction range of soil due to the changes in load was estimated by installing dial gauge on the ground which was cast into the weathered rock.

Ultimately, the study on the behavior of the anchor case into the weathered rock was performed by comparing and analyzing the estimated result of the UUC obtained by the full scale pull out test in the field with the existing theoretical and practical results of soil and rock anchor.

키워드 : 영구앵커, 극한인발력, 정착길이, 텐던

Keywords : *Permanent Anchor, Ultimate Uplift Capacity, Bond Length, Tendon*

1. 서론

그라운드 앵커는 일시적인 굴착 보강을 위해 가설 구조물에 처음으로 사용되었고 1970년대말 이후 설계방법, 시공기술, 앵커재료, 현장시험등의 기술

개선으로 보다 경제적으로 많이 이용되어 영구 그라운드 앵커의 발전을 가져왔다. 일반적으로 그라운드 앵커는 천공된 지반에 인장재를 설치하여 시멘트 그라우트를 주입하는 방법으로 하중 작용시 텐던에서 그라우트 부분으로 전달되고 다시 주변 지반으로 전달되는 구조로 토류벽, 사면안정, 양압력을 받는 구조물, 콘크리트 댐 안정등 구조물의 안정성을 확보하기 위해 토사나 암반에 근입되어 장기간에 걸친 구조물의 변형에 저항하도록 시공되고 있다.

앵커의 파괴메카니즘을 규명하기 위한 연구가 이루어

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 강원대학교 토목공학과 연구원, 공학박사
*** 강원대학교 대학원 토목공학과, 박사과정
**** 강원대학교 대학원 토목공학과, 석사과정

어지면서 그라운드 앵커의 파괴메카니즘은 지반 상태에 따라 차이를 보이며, 그라운드 앵커(Ground Anchor)를 토사앵커(Soil Anchor)와 암반앵커(Rock Anchor)로 구분하여 발전되었다. 그러나, 대상 지반이 풍화암의 경우, 토사앵커와 암반앵커의 파괴메카니즘을 동시에 가지고 있어 극한 인발력 산정에 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 정착길이가 다르게 연직으로 타입된 그라우팅 앵커의 실험모인발 시험을 수행하여 앵커의 극한 인발력을 산정하였으며, 파괴시 지반 거동 양상을 분석하고 토사앵커와 암반앵커의 이론적, 경험적 산정 방법과 비교하여 풍화암 지반에 근입된 연구 앵커에 적용할 수 있는 자료를 제안하고자 한다.

2. 그라운드앵커공법

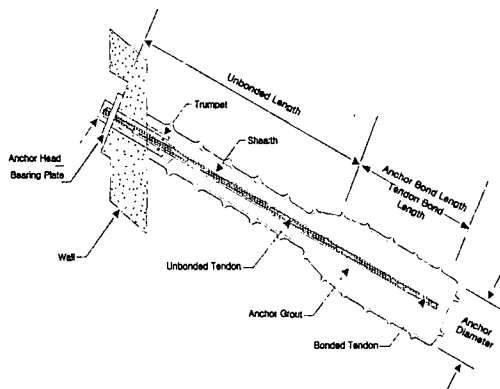


그림 1. 그라운드 앵커의 구성

그라운드 앵커는 토사나 암반에 근입되어 설치된 시멘트 그라우트(Cement Grout)와 프리스트레스 텐던(Prestressed Tendon)의 복합체로서 토류벽, 사면·산사태 안정시스템, 타이다운 앵커와 일체된 구조물의 안정에 사용되고 있다.

<그림 1>은 일반적인 그라운드 앵커의 구성요소를 나타낸다. 그라운드 앵커는 크게 (1) 앵커러지(Anchorage) (2) 프리스트레싱길이(Free Stressing Unbonded Length) (3) 정착길이(Bond Length)로 구분된다. 앵커러지는 지반이나 지지된 구조물의 표면에 프리스트레싱스틸로부터 긴장력(Prestressing Force)을 전달하는 능력이 있는 앵커두부(Anchor Head), 재하판(Bearing Plate), 트럼펫(Trumpet) 그리고 부식방지를 위해 결합된 시스템을 말하며 프리스트레싱 길이는 스트레싱 동안에 주변의 지반과 그라우트에 결합되지 않은 텐던의 길이를 말한다. 그리고 정착길이는 주변 흙이나 암에서 인장력을 전달할 수 있는 능력이 있고 초기 그라우트에 결합된 텐던의 길이를 의미한다.

3. 현장인발시험

3.1 지질조건

앵커가 근입된 현장 지반은 흑운모 호상 편마암질의 풍화암 지대로 풍화작용에 의해 모암의 조직은 남아있으나 망치의 가벼운 타격으로도 쉽게 부서지며 황갈색과 회갈색의 색조를 띄며 통일분류법상 파쇄입도 SW, 자연함수비 12.36%~15.68%, 비중 2.66, 단위체적중량 2.09~2.20 t/m³, 앵커 근입심도 부분 표준관입시험 N치는 50/16~50/3의 범위를 가진다.

3.2 앵커 시공 방법

현장인발시험을 위한 정착길이가 다른 4개의 앵커를 시공하기 위해 시공 계획을 수립하고 해당 지반을 소요 천공깊이보다 0.5m 더 천공하여 교란된 이물질이 낙하되어도 정착길이에 변화가 없도록 천공하였다. 천공장비로는 공기압축기(Air Compressor)를 동력원으로 하는 공압식 천공장비인 크롤러 드릴(Crawler Drill)을 사용하였고, 천공직경은 그라우트 직경의 여유치로 앵커체 직경+2.5cm 이상의 직경으로 천공하고, 천공경에 텐던이 중앙에 위치하도록 센터링 슬리브(Centering Sleeve)를 장착하였다. 텐던의 설치가 끝난후, 그라우트 믹서에 포틀랜드시멘트(Portland Cement)와 물을 혼합하고, 혼합제를 투입하여 약 5분정도 배합하여, 천공경에 그라우팅을 실시하였다. 시공순서에 관한 대략적인 순서는 <그림 2>에 나타내었다.

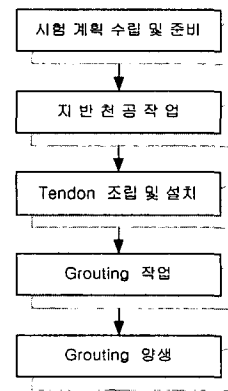


그림 4. 시공순서

3.3 시험개요

<그림 3>과 <그림 4>에 나타낸 바와 같이 현장에 중력식 타입으로 그라우트된 4개의 앵커에 대해 정착길이를 변화시켜 인발시험을 수행하였으며 사용된 텐던(Tendon)과 그라우트(Grout) 제원을 살펴보면 텐던은 직경 50mm의 Steel Bar Type Tendon

을 사용하였고, 천공후 중력식으로 타설한 그라우트는 직경 165mm, 배합강도 $\sigma_{28} = 270 \text{ kgf/cm}^2$ 이상의 강도로 배합하였다. 텐던과 그라우트에 대한 세부 내용은 <표 1>에 나타내었다. 앵커의 극한 인발력은 단계별 하중 조건에 따라 재하/제하를 반복하여 산정하였으며, 크리프 시험으로 검증하고 각 하중 단계별 탄성변위와 잔류변위로부터 앵커 파괴 거동 양상을 평가하였다. 한편, 앵커의 인발시험에 따른 지표 지반 거동을 측정하기 위해 텐던으로부터의 거리 30, 60, 90, 120cm 지표면에 다이얼 게이지를 부착하여 지표 지반 거동을 측정하였다.

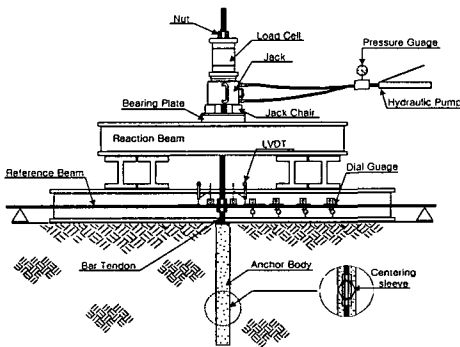


그림 3. 현장인발시험장치

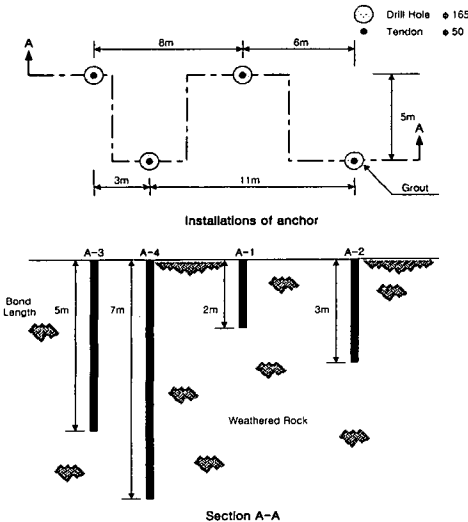


그림 4. 현장 앵커 설치 현황

표 1. Tendon & Grout 제원

Bar Tendon	Value
Nominal Dia (mm)	50
Characteristic Failing Load(Ton)	206.12
Nominal Steel Area (mm ²)	1963.5
Nominal Unit Weight (kgf/m)	16.02
Elastic modulus (kgf/cm ²)	1.735×10 ⁶
Grout	
Drill Hole (mm)	165
W/C (%)	45
배합강도 σ_{28} (kgf/cm ²)	270이상

그라우트 타설후 28일의 양생 기간을 거친 앵커에 대한 인발시험의 순서는 <그림 5>와 같은 방법에 의하여 시험을 실시하였다.

3.4 앵커의 극한인발력 산정 방법

Das (1983)는 토사에 근입된 토사 앵커의 경우, 한계근입길이, L_{cr} 까지는 지반 활동면에 의한 저항력, 그 이하 깊이에서는 앵커와 지반 사이의 마찰저항력에 의하여 앵커의 인발저항력이 산정되는 것으로 가정하여 아래와 같이 <식 1>을 제시하였다.

$$Q_u = \frac{\pi}{2} D \gamma L_{cr}^2 K_u \tan \delta + \pi D \gamma K_u \tan \delta (L - L_{cr}) \quad (1)$$

NAVFAC(1983)에서는 암반 앵커에 대하여 그라우트-지반 경계면에서의 전단 파괴시 유발되는 마찰저항력이 극한인발력으로 산정됨을 <식 2>로 제시하였다.

$$P_u = \pi \cdot d_s L_o \delta_{skin} \dots\dots\dots (2)$$

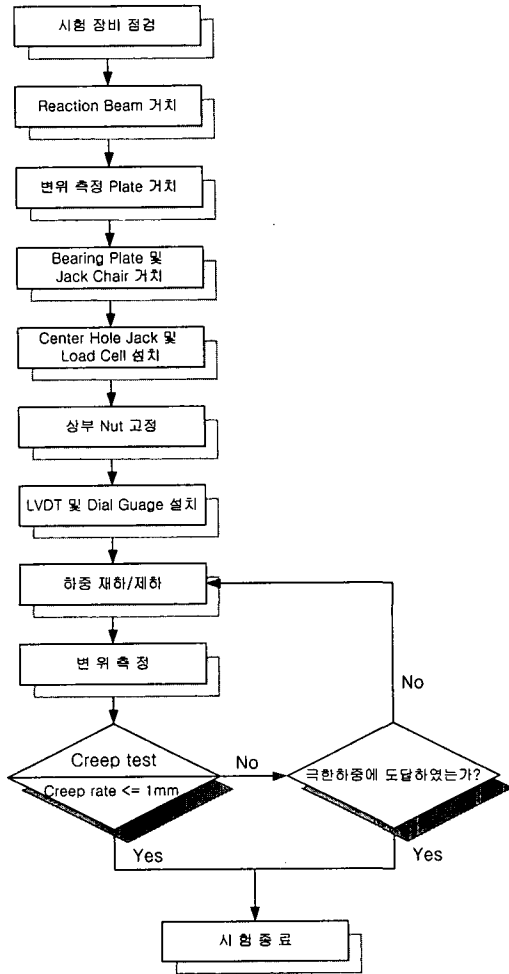


그림 7. 시험순서도

4. 시험결과분석

4.1 하중-변위 곡선

<그림 6>에서 <그림 9>는 정착길이(Bond Length)를 변화시킨 4개 앵커의 인발시험에 대한 하중-변위 곡선을 나타내며 시험 결과, 극한인발력의 범위는 <표 2>에 나타난대로 40ton~160ton의 범위를 가지며 정착길이가 증가할수록 높게 측정되었다. 그러나 정착길이가 5m 앵커의 극한인발력은 예상치보다 낮은 결과치를 나타냈다. 이것은 앵커의 극한인발력을 좌우하는 요소가 정착길이 뿐아니라 암석내 절리, 파쇄대, 균열내 점도와 같은 불연속면과 시공상의 불안정 요소를 감안한다면, 정착길이 5m의 앵커에서 낮은 값이 나타난 것으로 추정된다

표 3. 정착길이별 극한인발력

구 분	정착 길이 (Bond Length)			
	2m	3m	5m	7m
극한인발력	40ton	80ton	60ton	160ton

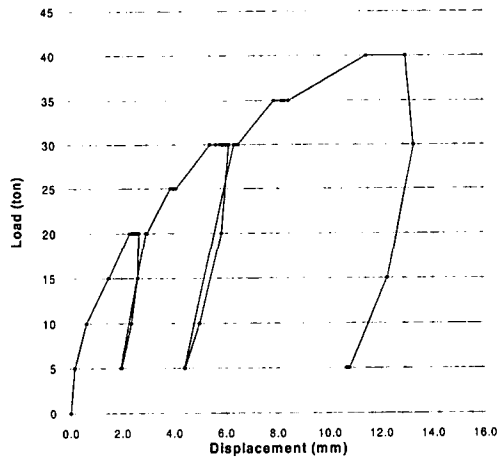


그림 6. 하중-변위 곡선 (정착길이 2m 앵커, A-1)

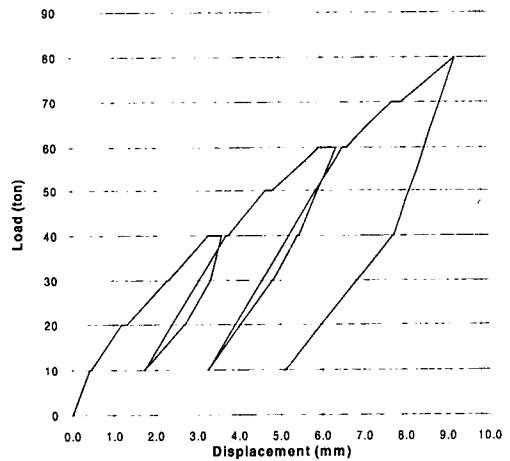


그림 7. 하중-변위 곡선 (정착길이 3m 앵커, A-2)

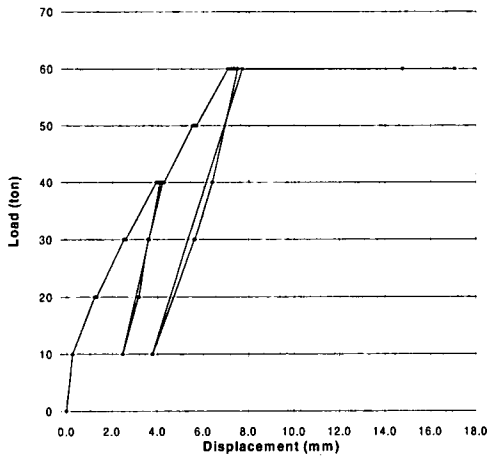


그림 8. 하중-변위 곡선 (정착길이 5m 앵커, A-3)

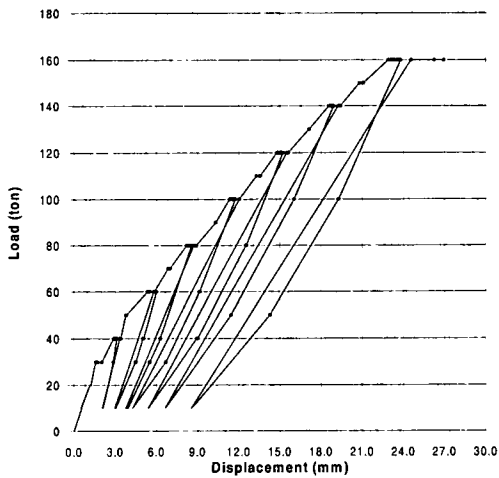


그림 9. 하중-변위 곡선 (정착길이 7m 앵커, A-4)

4.2 Creep Test

앵커에 인발하중 적용시에 있어서의 하중 전이 개념은 인발하중이 증가됨에 따라 정착길이의 하중 전달이 일정하게 전달한다는 개념을 기초로 하고 있다. 그러나 이러한 균일한 하중 전이의 개념은 토사 앵커에서는 타당하지 않고 대부분 암반 앵커의 거동과 유사하다고 정의하고 있다. 그래서 토사 앵커에서의 하중 전이는 일정한 하중 하에서 앵커체의 Creep 시험을 통해 전이 특성을 파악하고 앵커의 수용 여부를 결정하고 있다. 풍화암에 근입된 4개의 앵커에 대한 크리프 시험을 위해 단계별 최대하중에서 15분 동안의 크리프 시험 결과를 <그

림 10>에서 <그림 13>에 나타내었다. 시험 결과 1mm/log time 범위안에 분포하고 있어 크리프 기준치 1mm/log time에 만족하게 나타났으며, 극한하중까지의 하중 전이 동안 크리프에 대한 파괴 양상은 보이지 않은 것으로 추정되었다.

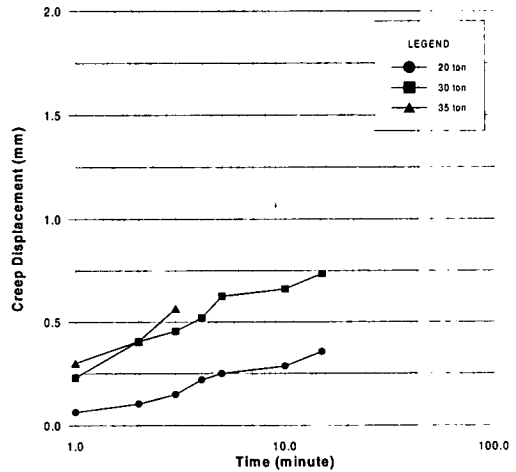


그림 10. Creep Test (정착길이 2m 앵커, A-1)

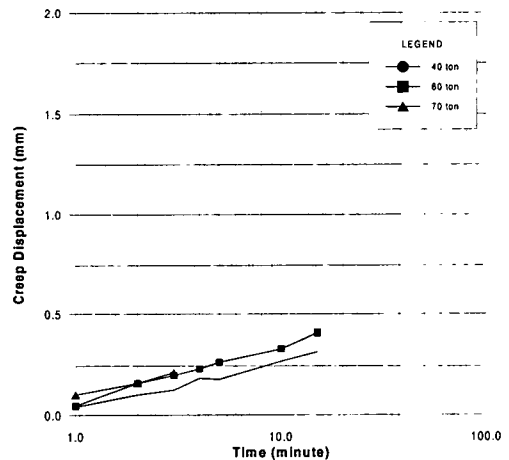


그림 11. Creep Test (정착길이 3m 앵커, A-2)

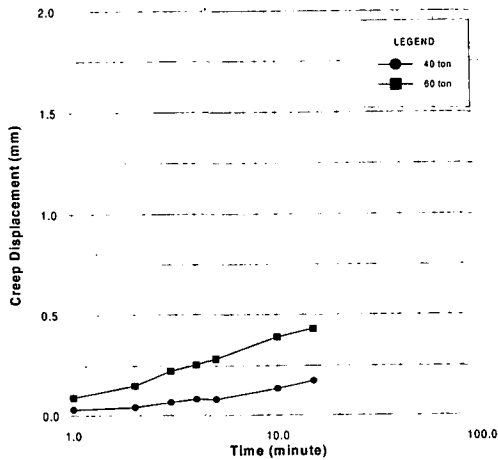


그림 12. Creep Test (정착길이 5m 앵커, A-3)

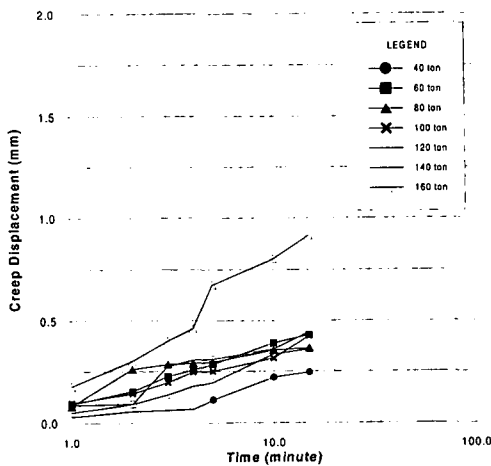


그림 13. Creep Test (정착길이 7m 앵커, A-4)

4.3 지표 지반 거동

지반 거동을 측정하기 위해 텐던으로부터의 거리 30, 60, 90, 120cm 이격된 지표면에 다이얼 게이지를 부착하여 지표 지반 거동을 측정하여 <그림 14>에서 <그림 17>에 나타내었다. 시험 결과, 시험 앵커중 정착길이가 가장 짧은 2m 앵커에서 앵커 주위에 히빙과 균열이 방사형으로 나타났으며 파괴 범위가 1.2m로 가장 큰 범위를 나타냈다. 한편, 2m 정착길이를 제외한 3, 5, 7m의 정착길이를 가진 앵커에서는 90cm 이격된 지점까지의 거동 범위를 보이나 앵커체의 변위에 비해 현저히 작은 값이 관측되었으며 지반거동은 앵커체 부근에서 집중되었다. 이것은 <표 3>에 나타난 파괴각을 보더라도 2m이하의 얇은 앵커에서는 큰 파괴 양상이 두드러지며

정착길이 2m를 초과하는 앵커에서는 파괴각 범위가 점차 작아지는 것으로 관측되었다. 일반적으로 규정하고 있는 암반 앵커의 콘파괴 표면은 <그림 18>에서 보이듯 90.로 가정하고 있으며, 심하게 균열되거나 풍화된 연약한 암반일 때 60.를 사용하고 있다.

표 4 지표 지반 거동에 의한 콘 파괴 범위

구 분	정 착 길 이 (Bond Length)			
	2m	3m	5m	7m
지반거동범위(m)	1.2m	0.9m	0.9m	0.9m
파괴각(°)	61.9	33.4	20.4	14.6

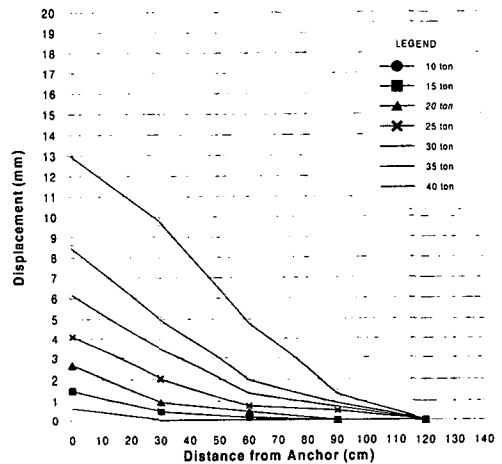


그림 14. 하중 단계별 지표지반거동곡선 (정착길이 2m 앵커, A-1)

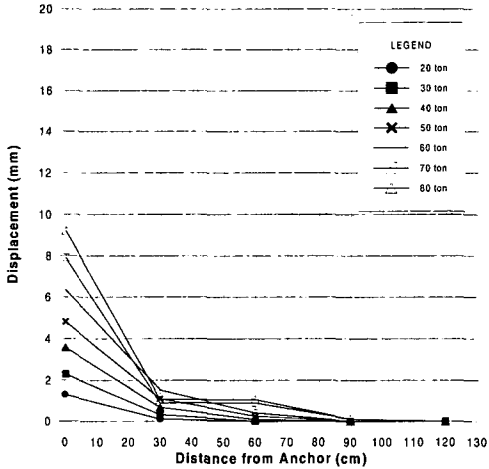


그림 15. 하중 단계별 지반거동곡선 (정착길이 3m 앵커, A-2)

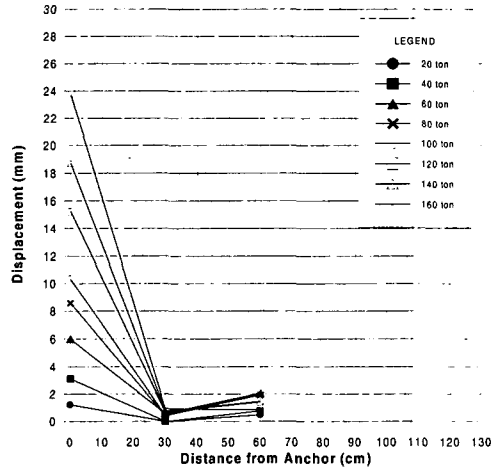


그림 17. 하중 단계별 지반거동곡선 (정착길이 7m 앵커, A-4)

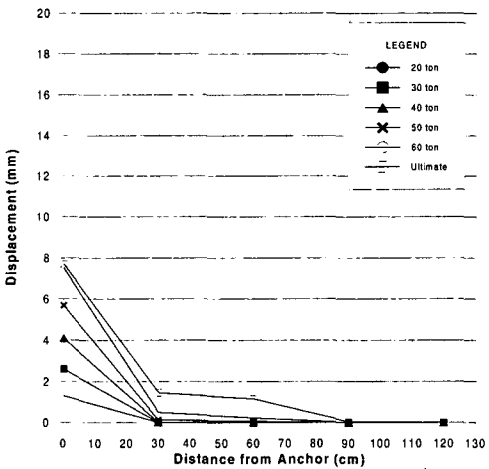


그림 16. 하중 단계별 지반거동곡선 (정착길이 5m 앵커, A-3)

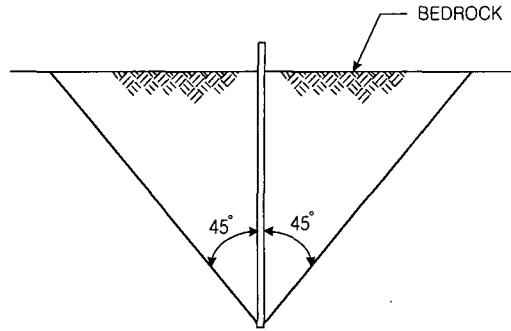


그림 18. 암반 앵커에 대한 파괴모드

4.4 앵커의 극한인발력

현장인발시험을 통하여 얻은 극한인발력의 결과로부터 정착길이 5m 앵커를 제외한 3개에 앵커에 대하여 <그림 19>에 나타난 앵커의 극한인발력과 정착길이와의 관계로부터 다음 상관식으로 추정하였다. <식 3>은 결정계수 0.99로 신뢰도가 높은 결과를 보였다.

$$Q_u = 95.579 \ln(L_b) - 25.7476 \dots\dots\dots (3)$$

여기서, Q_u = Ultimate Uplift Capacity (ton)

L_b = Bond Length (m)

<그림 20>은 Das(1983)가 제안한 식(1) 앵커의 극한인발력과 실험치를 비교한 것으로 실험 결과가 이론치에 비하여 상당히 크게 산정되었음을 알 수 있다. <그림 21>의 Ostermayer(1975)가 제시한 경

험적 토사별 영구 앵커 극한인발력 분포와 비교한 결과, 정착길이가 길어질수록 조밀한 모래질 자갈의 범위에 위치함을 알 수 있다. 이와같은 결과로 보아 풍화암 지반에 근입된 앵커는 Das가 제안한 토사지반에서의 파괴메카니즘은 적용하기 어려움을 알 수 있다.

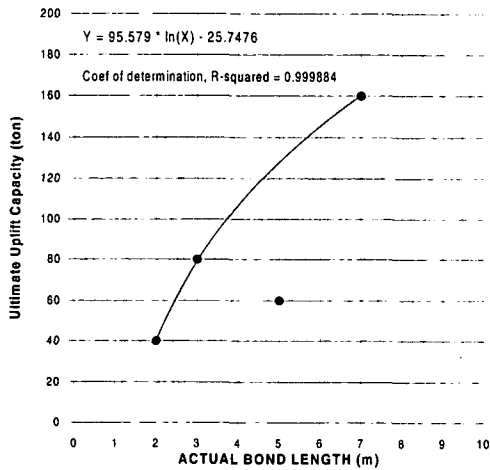


그림 19. 정착길이별 극한인발력

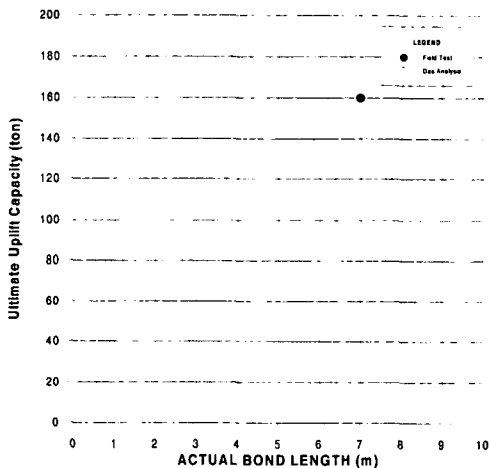
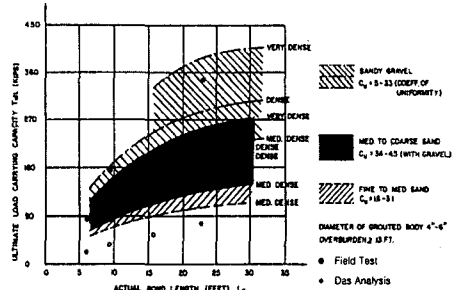


그림 20. Das 해석과 비교한 극한인발력



(A) EMPIRICAL ULTIMATE CAPACITY OF ANCHORS IN GRANULAR SOILS SHOWING INFLUENCE OF SOIL TYPE (COEFFICIENT OF UNIFORMITY), DENSITY AND BOND-TO-GROUND LENGTH.

그림 21. 토사별 극한인발력과의 비교. Ostermayer(1975)

<그림 22>은 암반에서의 그라우트-지반의 경계면 전단 파괴시 극한인발력 식 (2)를 이용하여 추정된 극한 인발력에 대하여 그라우트-지반의 결합강도 (Grout-Rock Bond Strength, δ_{skin})를 산정한 결과, 앵커 길이와 관계없이 23.15 t/m²~51.45 t/m²의 범위에 분포하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 풍화암 지반에 시공된 영구 앵커의 파괴 메카니즘은 그라우팅-지반의 경계면에서 전단 파괴가 지배적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

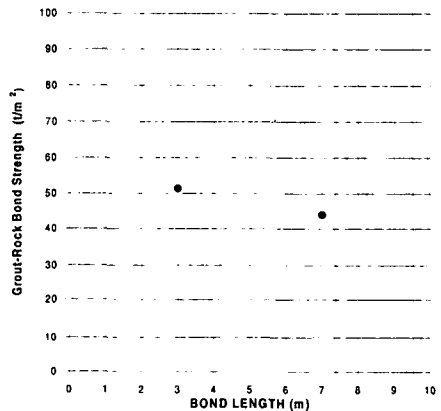


그림 22. 그라우트-지반의 결합강도

5. 결론

본 연구에서는 정착길이가 다르게 연속으로 타입된 그라우팅 앵커의 실규모 인발시험을 통하여 앵커의 극한 인발력을 산정하였으며 파괴시 지반거동 양상을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 정착길이를 변화시켜 풍화암 지반에 근입된 4개 앵커의 인발시험 결과, 앵커의 극한 인발력은 정착길이가 길어질수록 증가하는 경향을 보이나, 직선적인 증가보다는 정착길이가 길어질수록 점차 줄어

드는 경향을 나타냈다.

2) 지표면 파괴 양상을 파악하기위해 앵커로부터 지표 변위를 측정된 결과, 풍화암 지반에 근입된 영구 앵커의 파괴메카니즘은 정착길이 2m의 시험앵커에서는 큰 파괴메카니즘이 나타났으며, 2m를 초과하는 앵커에서는 그라우트-지반의 경계면 전단파괴 양상을 나타냈다.

3) 영구 앵커의 그라우트-지반의 결합강도는 앵커 길이와 관계없이 $23.15 t/m^2 \sim 51.45 t/m^2$ 범위를 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 일본그라운드앵커기술협회 (1986), "그라운드 앵커 공법", 윤지선역, 구미서관, pp. 44-64.
- [2] 한국지반공학회 (1997), "지반공학시리즈3 굴착 및 흙막이 공법", 구미서관, pp. 236-300.
- [3] Das, B. M. (1983), "Earth Anchors." *Elsevier Science*, Amsterdam, pp.193~204.
- [4] Ostermayer, H. (1975), "Carrying Behavior and Creep Characteristics of Ground Anchors" *Diaphragm Walls & Anchorages, Proceedings of the Conference Organized by the Institute of Civil Engineers*, London.
- [5] Duncan, C. W. (1992), "Foundations on Rock." *Chapman & Hall*, London., pp.254~282.
- [6] FHWA (1999), "Ground Anchors And Anchored Systems." *Geotechnical Engineering Circular No.4, Federal Highway Administration*, Washington, D.C.
- [7] Ismael, N. F. (1982), "Design of Shallow Rock-Anchored Foundations." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 19, pp. 463~471.
- [8] NAVFAC (1983), "Foundations and Earth Structures Design Manual 7.3." *Department of the Navy*, Alexandria, Virginia., pp. 87~99.