

풍화암에 근입된 그라운드 앵커의 인발거동 연구

A Study on the Pullout Behavior of Ground Anchored in Weathered Rock

박 병 수^{*} 정 길 수^{*} 전 상 현^{**} 유 남 재^{***}
Park, Byung-Soo Jeong, Gil-Soo Jeon, Sang-Hyun Yoo, Nam-Jae

Abstract

This study is an numerical study of predicting the behavior of anchor embedded in weathered rocks, subjected to uplift loads, about ultimate pullout capacity and the failure mechanism.

Factors influencing the behavior of anchors were investigated by reviewing the data about in-situ anchor tests performing numerical modelling with changing the bondage length of anchor, diameter of anchor body and diameter of tenden, and by Correlations between those factors were evaluated to apply them to predict the behavior of anchors.

As results of numerical analysis, a linear relationship between bondage length, diameter of anchor body and diameter of tenden with ultimate pullout capacity was obtained on the one hand, from the result of numerical analysis changing the Young's modulus of weathered rock, this parameter was found to influence to load-displacement and ultimate pullout capacity within the range of 10%, which was not so significant to affect.

키워드 : 그라운드 앵커, 풍화암, 인발력

Keywords : Ground Anchor, Weathered rock, Pullout capacity

1. 서 론

오늘날 앵커는 사면, 토류구조물, 콘크리트 댐, 교량, 터널 등과 같은 토목구조물의 안정성을 확보하기 위하여 임시 또는 영구적인 기초로 광범위하게 사용되고 있다. 앵커가 실용화 된지는 약 30년 정도 이상으로 이러한 앵커공법은 가설 또는 영구적으로 구조물에 작용하는 외력에 저항하기 위하여 구조물과 지반과의 사이에 앵커를 정착시켜 프리스

트레스력을 부여하므로써 구조물에 생기는 응력, 변형, 변위에 대하여 저항시키는 것이다. 일반적으로 앵커는 토사지반에 정착될 경우 소일앵커라 하며 암반에 정착된 경우 락앵커로 일컬어지고 있다.

이러한 그라운드 앵커 시스템은 그 종류와 용도에 따라 적용범위가 확대되고 있으며 설계방법, 구성요소, 시공방법등의 개선이 점차 이루어 지고 있다. 외국의 경우 독일 DIN4125(Deutsche Industrie Normen, 1976), 미국 PTI(Post Tensioning Institute, 1996), 영국 BSI(British Standard Institution, 1989), 이외에도 일본 JSF D1-77 & JSF D1-88, 스위스 SN533-91 등과 같은 그라운드 앵커에 대한 시방 기준들이 제정되어 있으나(Nicholson 등, 1982, Otta 등, 1982, Pfister 등, 1982, Weatherby, 1982, Cheney, 1988, Long 등, 1997, Mueller 등, 1988) 국내에서는 아직

* 강원대학교 토목공학과 연구원, 공학박사

** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

앵커의 설계, 시공 및 시험방법에 관한 적절한 지침이 없는 상태이다. 현재 국내에서 앵커의 설계에 많이 인용하는 극한 마찰저항등은 1970~1980년대에 국외에서 이론적인 고찰과 시험을 수행하여 발표된 연구 결과이다. 그러나 현재에는 새로운 개념의 앵커들이 많이 개발되고 시공기술의 발전으로 인하여 여러 조건이 많이 달라졌기 때문에 국외의 연구자료 (Ostermayer와 Scheele, 1978., Ostermayer, 1974)를 사용할 때에는 많은 주의를 기울여야 하며 국내의 지반 조건에 따른 앵커의 거동 특성에 대한 연구가 요구되는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 풍화암 지반에 근입되어 인발하중을 받는 앵커의 극한 인발력 및 파괴메카니즘 등의 거동 예측을 목적으로, 풍화암 지반에 앵커를 시공하고 앵커의 정착깊이, 친공직경, 텐던직경을 변화시킨 현장 앵커시험 자료를 수집하고 이에 대한 유한차분의 수치모델링을 통하여 앵커거동에 영향을 주는 변수에 대하여 알아보았다. 또한 앵커의 거동을 주는 변수들 사이의 상관성을 분석하여 상관식을 제안하였으며 이 관계를 이용하여 앵커의 거동을 예측하고자 하였다.

2. 암반에 근입된 앵커의 파괴메카니즘

암반에 근입된 암반앵커의 파괴메카니즘은 아래와 같다.

- (1) 암반의 콘(Inverted Cone)이나 썰기(Wedge)가 있을 때의 암반의 파괴.
- (2) 그라우트와 암반에서의 경계면 전단파괴.
- (3) 텐던과 그라우트에서의 경계면 전단파괴.
- (4) 텐던의 파괴.

암반앵커의 인발력(Uplift capacity)은 앵커 정착부분(Anchor bond zone)의 상대적 깊이(h/D)에 의존한다. 여기서, h 는 앵커 정착 부분의 깊이, D 는 앵커 직경이다. $h/D > 15$ 인 경우, 암반앵커의 우세적인 파괴 메카니즘은 그라우트와 암반의 경계면에서의 파괴가 일반적으로 나타나고 있으며, 기존의 앵커시험 결과, 이암(Mudstone), 셰일(Shale)과 같은 연약한 암(Weak rocks)에서는 그림 1에 나타난 바와 같이 암반과 그라우트 경계면에서 파괴가 발생하는 반면에 강한 암(Strong rocks)에서는 텐던과 그라우트의 경계면에서의 파괴가 지배한다. 이암층과 같은 연약한 암층에 근입된 얇은 앵커(Shallow anchors)에서는 암반과 그라우트 경계면에서 경계면의 접합부가 전단되거나 콘 빠짐(Cone breakout)이 발생할 수 있다고 발표되고 있다.

얇은 앵커나 전반적으로 암반의 안정성이 우세한 경우, 암반 앵커는 일반적으로 그림 2에 보여진 것처럼 콘 또는 썰기로 형상화된 파괴메카니즘을 나타내고 있다.

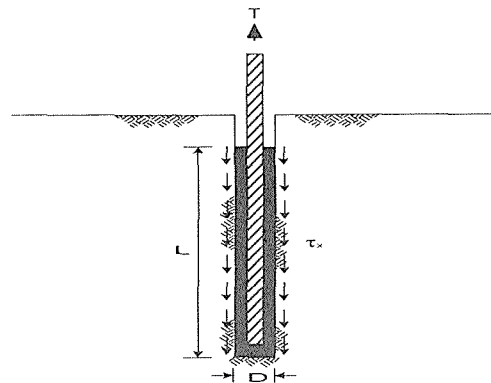
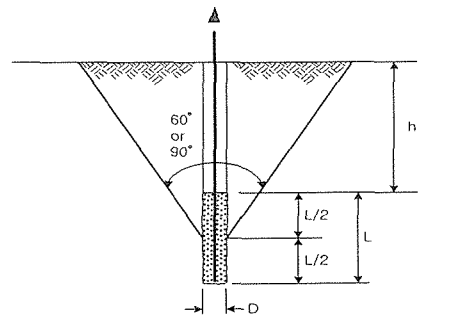


그림 1 암반-그라우팅 경계면에서의 전단응력



Note
60° used when rock mass is soft, heavily fissured or weathered
90° used in all other rock conditions

그림 2 콘의 기하학적 형상

콘 파괴 메카니즘(Cone Breakout Mechanism)의 설계에 있어서, 암의 전단강도는 종종 무시되며, 콘에 들어있는 암의 무게가 그라운드 앵커 하중 설계치보다 크면, 그 앵커는 암 전단강도를 무시해도 안전하다고 보고 있다. 일반적으로 파괴메카니즘의 정점(Apex)은 앵커 결합 부분의 상, 중, 하에 위치하여 60°~90°의 파괴메카니즘 범위의 각을 가지고 있으며, 앵커가 근입된 암층위에 상재 토사가 존재할 경우, 파괴메카니즘은 암반과 토사의 경계면 상부 모양은 원형으로 가정하고 있다.

3. 현장시험

3.1 개요

본 절에서는 앵커의 극한인발력 및 파괴메카니즘 등의 거동을 알아보기 위하여 고속철도 ○○역사 공사구간에서 실시된 현장앵커시험 내용을 정리하였다.

본 현장 앵커시험을 실시한 현장지반은 풍화암

풍화암에 근입된 그라운드앵커의 인발거동 연구

지반으로 공사구간 좌측에 항상 만수위 상태의 저수지가 위치하고 있어 지반굴착시 지하 5m 깊이에서 지하수면이 발생하는 구간이다. 시추조사결과 시험구간의 지층구성은 매립토와 퇴적토, 풍화토, 풍화암층으로 구성되어 있으나 그림 3에 나타난 굽은 실선과 같이 시험시 풍화암 상부지층을 굴착하고 시험을 실시하였다.

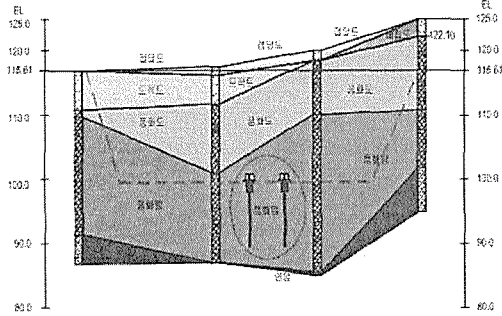


그림 3 시험구간의 지질주상도

3.2 현장시험 내용 및 방법

앵커의 극한인발력 및 파괴메카니즘에 미치는 영향을 알아보기 위하여 표 1에 나타난 바와 같이 앵커의 정착길이, 천공직경, 텐던직경의 세가지 변수를 변화시키는 매개변수 시험을 실시하였다.

표 1 현장시험의 종류

번호	총길이 (m)	정착길이 (m)	앵커직경 (mm)	천공직경 (mm)
A-1	5	2	50	165
A-2	5	3	50	165
A-3	5	5	50	165
A-4	5	7	50	165
A-5	5	3	36	165
A-6	7	3	50	125
A-7	9	3	50	108

한편, 본 앵커시험에 대한 사용된 앵커의 특성과 전체적인 현장시험 개요를 표 2와 그림 4에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 지표면에 Support Beam을 대칭되게 설치한 후 Support Beam 상부에 Main Beam을 설치하였고, Main Beam 상부에 인발력을 가하기 위한 Hydraulic Center Hole Jack을 설치하고 인발하중 측정을 위해 2451.66kN Load Cell을 설치하였다. 또한, Load Cell 상부에 Bearing

Plate를 설치한 후 상부에 Nut 를 체결하여 고정하고 텐던에 LVDT 측정을 위한 Jig를 부착하고 양쪽에 Reference Beam을 설치하여 0.01mm정도를 갖는 LVDT로 텐던의 변위를 측정하였다.

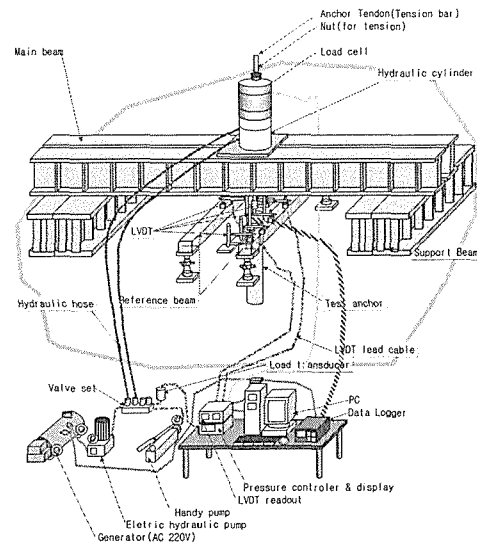


그림 4 앵커시험의 개요도

표 2 Bar Type 앵커의 특성

항 목	규 격
Bar 가닥수 (N)	1
Bar 외경 (φ, mm)	50.0
Bar 단면적 (A, cm ²)	19.635
탄성계수 (E), MPa	17.014×10 ³
항복강도 (P _y), MPa	83.553
극한강도 (P _u), MPa	103.068

3.3 계획 최대시험하중

앵커의 시험은 최종적인 파괴를 유도할 때까지 실시해야 하지만 일반적으로 안전등의 이유로 인장재 항복강도의 95% 또는 극한강도의 80% 중 작은 값을 한도로 하고 경우에 따라서는 비례한계 강도를 상한으로 한다. 따라서 본 시험은 현장조건 및 앵커의 조건에 따라 표 3.3에 나타난 바와 같이 항복강도 및 극한강도, 안전하중에 의해 계획 최대시험하중을 산정한 결과 계획 최대시험하중을 1303.28 kN으로 결정하였다.

표 3 강도조건에 따른 최대시험하중 산정

하 중 조 건		최대시험하중
설계하중(kN/본)		980.07
최대시험 하중(kN/본)	안전 하중 조건	$1.33 \times \text{설계하중}$ $= 1.33 \times 980.07 = 1303.28$
	항복 강도 조건	$0.95 \times P_y \times A \times N$ $= 0.95 \times 83.553 \times 19.635 \times 1$ $= 1558.53$
	극한 강도 조건	$0.8 \times P_y \times A \times N$ $= 0.8 \times 103.068 \times 19.635 \times 1$ $= 1618.99$

여기서, A=앵커단면적, N=앵커갯수

4. 수치해석 방법

현장에서 실시된 앵커시험 결과를 수치해석으로 검증하기 위하여 지반공학적 문제의 해석에 널리 사용되는 유한차분 범용 해석프로그램인 FLAC을 사용하였다. 해석은 현장 앵커시험 내용중 앵커의 정착길이 변화와 텐던직경, 천공직경 변화에 대한 내용을 수치해석적으로 검증하고 풍화암의 탄성계수를 변화시키는 조건으로 수치해석을 실시하였다.

4.1 해석 영역 및 유한차분 격자망

현장 앵커시험을 모사하기 위하여 그림 5에 나타낸 바와 같이 유한 차분 격자망을 구성하였다. 그림에 나타낸 바와 같이 해석영역의 크기는 수평방향을 1.5m 로 하여 인발에 의한 영향을 충분히 고려하였으며 수직방향은 앵커의 최대길이가 7m 인 점을 고려하여 8m로 설정하였다. 또한, 유한차분 격자망은 인발시험에 의한 지반의 국부파괴(Local Failure)를 반영하기 위해 앵커체 부분을 0.0125~0.31m의 아주 작은 크기로 격자망을 구성하였다.

한편, 인발시험을 모사하기 위해 Cable요소의 끝점에 미소한 크기의 일정속도 $v=1.0 \times 10^{-7} m/sec$ 를 작용시켰다.

4.2 지반물성

본 현장 앵커시험을 실시한 지역의 기반암은 화강편마암으로 지층구성은 매립토층, 퇴적토층, 풍화토층, 풍화암층으로 구성되어 있으나 현장 앵커시험은 상부 지반을 굴착하고 풍화암과 풍화토 지반에서 수행하였다.

본 지반의 단위체적중량 시험과 단위중량은 2.1~2.2 tf/m^3 으로 나타났고 내부마찰각은 35°, 암석과 그

라우트체의 마찰저항치는 현장여건을 고려하여 4.0 kgf/cm^2 을 적용하였다. 표 4에 해석에 사용된 지반 및 재료의 물성값을 나타내었다.

본 수치해석에서 모델링한 앵커의 규격은 다음표와 같이 텐던을 36, 50mm로 한 경우와 천공경을 108, 125, 165mm로 한 경우, 정착길이를 2, 3, 5, 7m로 한 경우등 7가지 경우로 해석을 실시하였으며 지반의 탄성계수의 영향을 파악하기 위하여 탄성계수를 10,000~30,000 tf/m^2 으로 변화시키는 해석을 실시하였다. 해석내역을 표 5에 나타내었다.

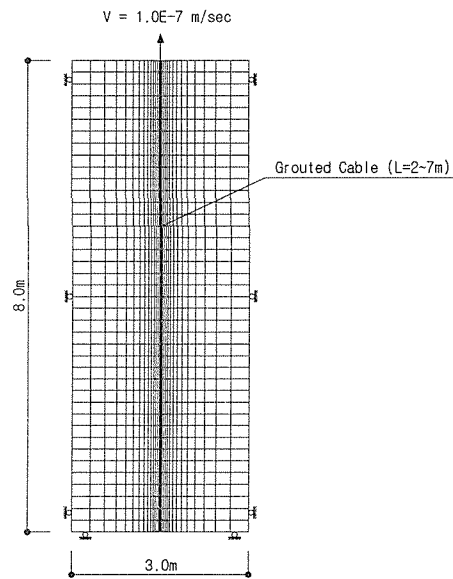


그림 5 해석에 사용된 유한차분 격자망

표 4 수치해석에 사용된 재료의 입력변수

구 분	풍화암	텐던	그라우트
탄성계수 (tf/m^2)	20,000 (10,000~30,000)	2×10^{-7}	2×10^{-6}
포아송비	0.2	-	-
단위중량 (tf/m^3)	2.1	-	-

표 5 수치해석 내역

매개변수			탄성계수 (tf/m^2)	비고
텐던직경 (mm)	천공직경 (mm)	정착길이 (m)		
36	165	3	10,000~30,000	
50	165	2	10,000~30,000	
50	165	5	10,000~30,000	
50	165	7	10,000~30,000	
50	165	3	10,000~30,000	기준
50	125	3	10,000~30,000	
50	108	3	10,000~30,000	

5. 해석결과 및 분석

전술한 바와 같이 현장앵커 시험을 실시하고 이를 유한차분법의 FLAC 프로그램으로 수치해석을 실시하여 정착길이, 천공직경 및 텐던직경이 앵커의 하중-변위 거동 및 파괴메카니즘에 미치는 영향을 비교 검토하였다.

5.1 정착길이 변화

앵커의 정착길이를 2, 3, 5, 7m로 변화시킨 현장 앵커시험과 수치해석의 하중-변위 결과를 비교하여 표 6과 그림 6~9에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 정착길이가 증가함에 따라 한계하중값이 증가하는 것으로 나타났으며 정착길이가 2, 7m일때는 수치해석의 극한하중값이 실험결과와 비교적 잘 일치하였으나 정착길이가 3, 5m일때는 수치해석 결과가 실험결과보다 약 33~67% 크게 나타났다.

한편, 정착길이에 대한 극한하중값을 회귀분석하여 그림 10에 나타내었으며 현장앵커시험에 대한 회귀분석은 앵커헤드부가 25.4mm(1 inch.) 침하하였을 때와($L_u > 25.4mm$) Creep 계수 $K_d > 2$ 이상일 때의($K_d > 2$) 조건에 대하여 극한하중-정착길이의 상관성을 나타낸 것이다.

그림에 나타낸 바와 같이 앵커시험결과에 의한 정착길이-한계하중의 관계는 $L_u > 25.4mm$ 인 경우 $R^2=0.945$, $K_d > 2$ 인 경우 $R^2=0.980$ 으로 매우 높은 상관성을 나타내었으며 앵커 그라우트체의 한계내에서는 앵커 정착길이의 3배급에 비례하여 증가되는 것으로 나타났다. 그러나, 수치해석에 의한 결과는 상관계수 $R^2=0.98$ 로 정착부의 길이에 극한하중이 선형비례하는 결과를 나타내었다.

$$P_{lim} = 1.4342 \times L^3 - 12.201 \times L^2 + 37.774 \times L \quad (1)$$

($K_d > 2$ 인 경우)

$$P_{lim} = 1.7377 \times L^3 - 15.876 \times L^2 + 48.722 \times L \quad (2)$$

($L_u > 25.4mm$ 인 경우)

$$p_{lim} = 212.374 \times L + 12.27 \quad (3)$$

$R^2 = 0.98$ (수치해석)

표 6 정착길이에 변화에 대한 한계하중의 비교

시험 번호	앵커 정착 길이 (m)	실험(한계하중,kN)		수치해석 (한계하중,kN)
		$L_u > 25.4mm$	$K_d > 2$	
D-1	2	392.27	235.36	397.3655
D-2	3	588.40	588.40	732.9490
D-3	5	588.40	549.17	1006.1623
D-4	7	1569.06	1569.06	1522.9727

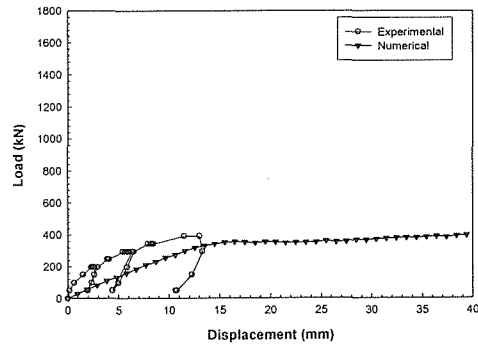


그림 6 하중-변위 곡선(정착길이 2m)

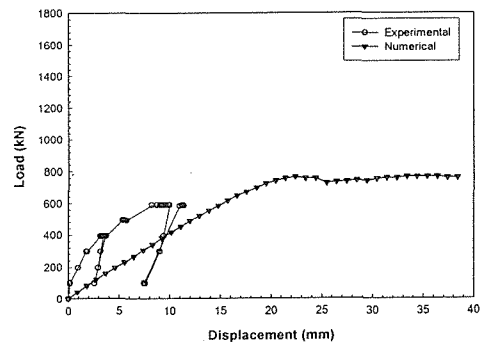


그림 7 하중-변위 곡선(정착길이 3m)

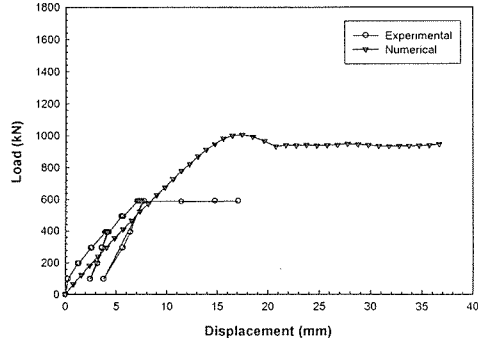


그림 8 하중-변위 곡선(정착길이 5m)

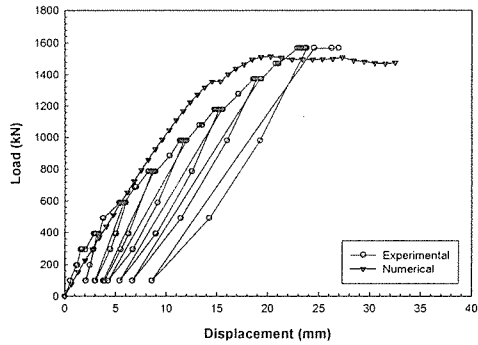


그림 9 하중-변위 곡선(정착길이 7m)

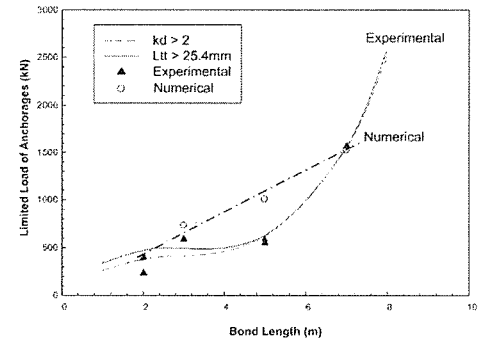


그림 10 정착길이-한계하중의 상관관계

5.2 천공직경 변화

천공직경을 108, 125, 165mm로 변화시킨 실험결과와 수치해석 결과를 비교하여 표 7과 그림 11에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 천공직경이 증가함에 따라 극한하중 값이 증가하였으며 실험과 수치해석의 극한하중값이 잘 일치하는 것으로 나타났으나 초기 접선기울기는 실험이 더 급하게 나타

났다.

한편, 앵커 헤드부에서의 변위량 25.4mm(=1inch.) 일때와 Creep 계수 K_d 가 2 이상일때의 천공직경별 극한 하중곡선을 선형회귀 분석하여 그림 12에 도시하였다. 상관성 분석 결과 현장 앵커시험은 $K_d > 2$ 일때는 $R^2=0.78$ 의 상관성을 나타내었으나 $L_u > 25.4$ mm일 때는 $R^2=0.99$ 의 아주 높은 상관성을 나타내어 천공직경에 비례하여 극한하중이 증가함을 나타내었으나 수치해석은 선형비례하는 결과를 나타내었고 상관계수 $R^2=0.99$ 로 매우 높은 상관성을 나타내었다. 이는 그라우트와 지반과의 주변마찰력이 선형적으로 증가함을 의미하는 것으로 본 앵커의 그라우트는 지반보다 강성이 상대적으로 크고 균질한 풍화암 지반에 설치되었음을 고려할 때 일정한 단위 주변마찰력을 갖는 지반에서의 앵커의 극한하중은 유효 그라우트 천공직경에 선형 비례하여 증가함을 확인 할 수 있었다.

$$P_{lim} = 0.4917 \times D \quad (K_d > 2 \text{인 경우}) \quad (4)$$

$$P_{lim} = 0.4788 \times D \quad (L_u > 25mm \text{인 경우}) \quad (5)$$

$$P_{lim} = 3.72 \times D + 157.93 \quad (R^2 > 0.99) \quad (6)$$

표 7 천공직경에 변화에 대한 한계하중의 비교

시험 번호	천공 직경 (m)	실험 (한계하중, kN)		수치해석 (한계하중, kN)
		$L_u > 25.4mm$	$K_d > 2$	
D-5	165	784.53	784.53	772.4698
D-6	125	588.40	558.98	624.4875
D-7	108	490.33	588.40	559.7636

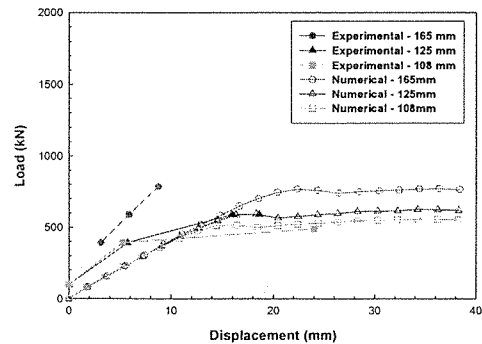


그림 11 천공직경에 따른 하중-변위 곡선

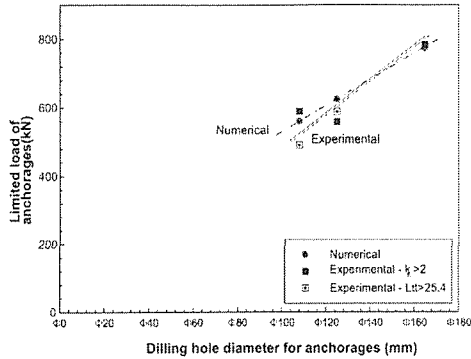


그림 12 천공직경-한계하중의 상관관계

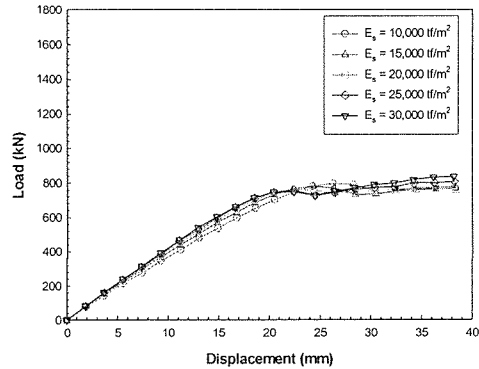


그림 14 탄성계수 변화에 따른 하중-변위 곡선

5.3 텐던직경 변화

텐던의 직경변화가 하중-변위 곡선에 미치는 영향을 알아보기 위하여 텐던의 직경을 36, 50mm로 변화시켜 실험과 수치해석을 실시하여 그림 13에 나타내었다.

그림에 나타난 바와 같이 실험 및 수치해석 결과가 텐던직경이 증가함에 따라 한계하중은 증가하였으나 하중 변위 곡선의 초기접선 기울기는 실험과 수치해석 결과가 많은 차이를 나타내고 극한하중은 비교적 잘 일치하였다.

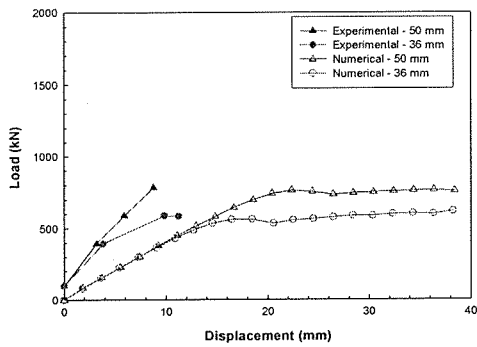


그림 13 텐던직경에 따른 하중-변위 곡선

5.4 탄성계수 변화

그림 14는 정착길이 3m, 천공직경 165mm, 텐던 직경 50mm일 때의 풍화암의 탄성계수를 10,000~30,000 tf/m^2 으로 5,000씩 증가시킨 수치해석 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 풍화암의 탄성계수가 증가함에 따라 극한하중은 약 10% 범위내에서 매우 작게 증가하였으며 하중-변위 곡선의 초기접선 기울기도 작게 변화하는 것으로 나타나 풍화암의 탄성계수 변화가 극한하중에 미치는 영향은 크게 나타나지 않았다.

5.5 파괴메카니즘 및 지반변형

그림 15~그림 18에 정착길이가 2, 3, 5, 7m일 때 각 하중단계별로 측정된 지반 변위와 수치해석에 의한 변위결과를 비교하여 도시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 앵커 시험결과는 전체적으로 앵커의 인발에 따라 지반의 용기가 방사상으로 진행되면서 파괴에 이르는 것으로 나타났고 정착길이가 짧은 2m 앵커에서는 텐던으로부터 수평방향으로 약 1.2m까지 지반의 용기가 발생하여 가장 넓게 수평방향으로 진행된 큰 파괴형태를 나타내었으나 정착길이가 길어짐에 따라 수평방향의 영향폭이 작아져 마찰파괴의 양상을 나타내었다. 또한, 수치해석 결과는 실험결과와 비교하여 정착길이의 변화에 따른 경향성은 유사하게 나타나 정착길이가 짧아짐에 따라 수평방향의 변위폭이 넓게 나타났으나 하중단계가 증가함에 따라 실험변위값과 큰 차이를 나타내었다.

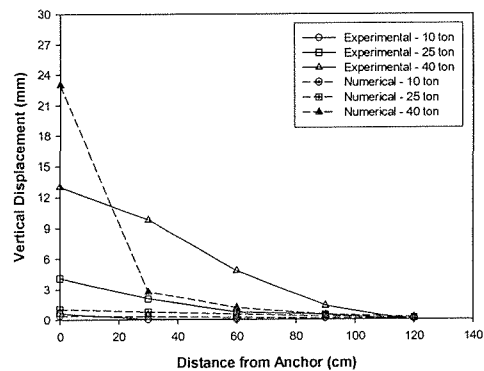


그림 15 정착길이 2m 일때 지반변위

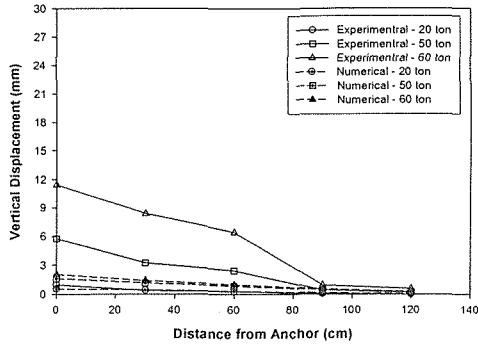


그림 16 정착길이 3m 일때 지반변위

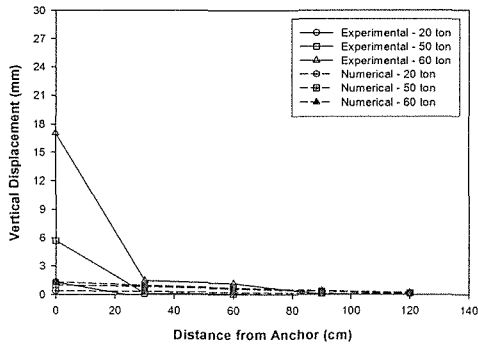


그림 17 정착길이 5m 일때 지반변위

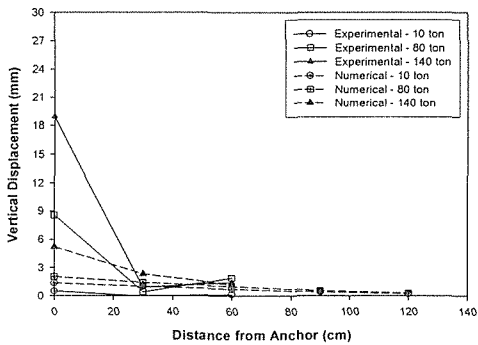


그림 18 정착길이 7m 일때 지반변위

한편, 그림 19는 수치해석에 의한 지반변위 벡터를 도시한 것으로 앵커체의 중심에서 25~30cm에서 집중적으로 변위가 발생하고 있으며 앵커 정착부의 주변에서 가장 큰 변위가 나타났다.

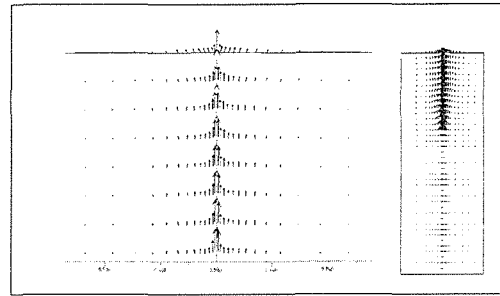


그림 19 수치해석에 의한 지반 변위벡터

또한 그림 20에 정착길이 3m, 천공직경 165mm, 텐던직경 50mm일때 앵커 인발에 따른 지반의 소성 상태와 수직응력 분포를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 앵커의 인발하중이 증가함에 따라 앵커체 주변으로 소성영역이 집중되었으며 텐던 중심으로부터 지반의 수평방향으로 밀어질수록 격자망의 변형이 작아짐을 나타내었다.

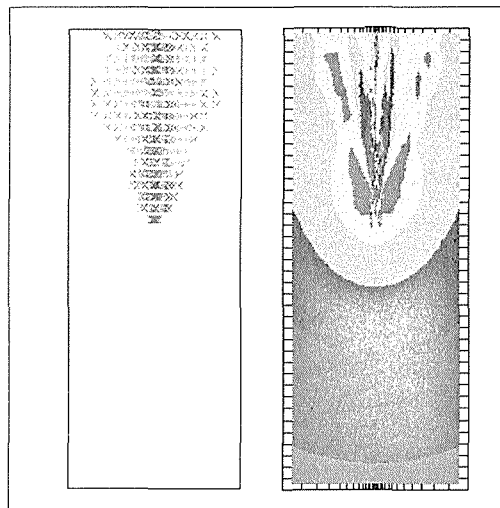


그림 20 수치해석에 의한 소성영역 및 수직응력 분포도

6. 결론

본 연구에서는 풍화대 지반을 선정하여 현장 앵커 재하시험을 수행하고 이에 대한 수치해석을 통하여 앵커의 거동에 영향을 주는 변수에 대해 고찰하고 이들 사이의 상관성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 풍화암에 근입되어 인발하중을 받는 그라운드 앵커에 대하여 유한차분의 수치모델링을 통하여 앵커의 한계하중 및 파괴메카니즘을 예측하였다.
- 2) 앵커의 정착길이-한계하중에 대한 상관성 분석 결과 실험은 앵커 정착길이의 3제곱에 비례하여 증가하는 것으로 나타났으나 수치해석결과 정착부의 길이에 극한하중이 선형비례하는 결과를 나타내고 있다.
- 3) 앵커체의 천공직경 및 텐던직경을 변화시킨 수치해석 결과 천공직경과 텐던직경이 증가함에 따라 선형 비례하는 결과를 나타내었다.
- 4) 풍화암의 탄성계수를 변화시킨 수치해석 결과 하중-변위 및 극한하중의 변화는 10% 범위이내의 값을 나타내어 탄성계수가 극한하중에 미치는 영향이 크지 않음을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] BS 8081, "Ground anchorages", British Standard Code of practice, *British Standard Institution*, pp. 77-84(1989)
- [2] Bureau Securitas, "Ground anchor", *French Code of Practice*, Editions Eyrolles, Recommendation TA., pp. 72(1972)
- [3] DIN 4125, "Ground anchorages design, construction and testing", pp. 341-389(1990)
- [4] Ostermayer, H., "Carrying behaviour and creep characteristics of ground anchors", *I.C.E Conference on diaphragm walls and anchorages*, London, pp 141-151(1974)
- [5] Post-Tension Institute, "Recommendations for prestressed rock and soil anchors"
- [6] SIA 19, "Ground anchors", *Swiss Society of Engineers and Architects*, pp. 10-241(1977)