

그라운드 앵커의 인발거동 및 파괴메카니즘에 대한 수치해석

Numerical Analysis for the Pullout Behavior and Failure Mechanism of Ground Anchor

박병수* · 심도식**

Park, Byung-Soo · Shim, Do-Sik

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 tendon, 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 tendon 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.

Key words : Ground anchor, Tendon, Ultimate pullout capacity, Failure mechanism

요 지

본 연구는 풍화암 지반에 근입되어 인발하중을 받는 앵커의 극한인발력 및 파괴메카니즘 등의 거동 예측에 관한 수치해석적 연구이다. 풍화암 지반에 앵커를 시공하고 앵커의 정착길이, 친공직경, 텐던직경을 변화시킨 현장 앵커시험 자료를 수집하고 이에 대한 유한차분의 수치모델링을 통하여 앵커의 거동에 영향을 주는 변수에 대하여 알아보았다. 또한 앵커의 거동에 영향을 주는 변수들 사이의 상관성을 분석하여 상관식을 제안하였으며 이 관계를 이용하여 앵커의 거동을 예측하고자 하였다. 수치해석 결과 앵커의 정착길이 및 친공직경, 텐던직경이 증가할수록 극한하중이 선형 비례하는 결과를 나타내었다. 한편, 풍화암의 탄성계수를 변화시킨 수치해석 결과 하중-변위 및 극한하중의 변화는 10% 범위 이내의 값을 나타내어 탄성계수가 극한하중에 미치는 영향이 크지 않음을 나타내었다.

핵심용어 : 그라운드 앵커, 텐던, 극한인발력, 파괴메카니즘

1. 서 론

앵커는 구조물에 작용하는 외력에 저항하기 위해 구조물과 지반과의 사이에 앵커를 정착시키고 프리스트레스를 가함으로써 구조물의 안정성을 도모하는 것으로써 사면, 터널 등과 같은 토목구조물의 안정성을 확보하기 위하여 임시 또는 영구적인 기초로 광범위하게 사용되고 있다. 앵커가 실용화 된 지는 약 30년 정도 이상으로 앵커 시스템은 그 종류와 용도에 따라 적용범위가 확대되고 있으며 설계방법, 구성요소, 시공방법 등의 개선이 점차 이루어 지고 있다.

외국의 경우 독일 DIN4125(Deutsche Industrie Normen, 1990), 미국 PTI(Post Tensioning Institute, 1996), 영국 BSI(British Standard Institution, 1989) 이외에도 일본 JSF D1-77 & JSF D1-88 등과 같은 그라운드 앵커에 대한 시

방 기준들이 제정되어 있으며 각 나라에 맞게 서로 상이한 기준과 설계 방법을 적용하고 있는 실정이다.

국내에서의 앵커에 대한 연구로는 터널과 암 사면등의 안정을 위한 연구가 주로 수행되어 왔다.

신방웅 등(1998)은 지반조건에 따른 헬리컬 앵커의 실내모형실험을 통하여 지반특성과 근입비에 따른 헬리컬 앵커의 극한인발력과 한계근입비를 제시하였으며, 조용선 등(1997)은 모래지반에 묻힌 나선형 앵커에 대한 실내모형실험으로부터 얇은 기초의 파괴모양을 근거로 인발력 산정식을 제안하였고 김래현 등(2002)은 그라운드 앵커에 대한 적절한 지침을 제시하기 위하여 풍화토 지반에 그라운드 앵커의 현장시험을 수행하여 압축형 앵커와 인장형앵커에 따른 하중전이 양상을 보고하였다.

그러나 국내에서는 아직 앵커의 설계, 시공 및 시험방법에

*정회원 · 강원도립대학 건설토목과 조교수 (E-mail : bspark@gangwon.ac.kr)
**정회원 · 강원도립대학 건설토목과 부교수

관한 적절한 지침이 없는 상태이며 현재에는 새로운 개념의 앵커들이 많이 개발되었고 시공기술이 발전하였기 때문에 국내의 지반 조건에 따른 앵커의 거동 특성에 대한 연구가 요구되는 상황이다.

한편, 지반에 근입된 앵커의 극한인발력은 현장 인발시험에 의해 얻어지는 하중-변위로 결정하는 것이 가장 좋은 방법이나 현장 인발시험은 비용과 장비의 한계성을 가지기 때문에 수치해석을 통하여 앵커의 극한인발력을 예측할 수 있다면 실제 설계에 매우 유용할 것이다.

이를 위하여 본 연구에서는 먼저 풍화대 지반에 근입되어 인발하중을 받는 앵커의 극한 인발력 및 파괴메카니즘 등의 거동을 예측하기 위하여 현장 앵커시험 결과와 비교하고 이에 대한 유한차분의 수치모델링을 통하여 앵커거동에 영향을 주는 변수에 대하여 알아보았다. 또한 이들 변수 사이의 상관성을 분석하여 상관식을 제안하였으며 이 관계를 이용하여 앵커의 거동을 예측하고자 하였다.

2. 암반근입 앵커의 파괴메카니즘

암반에 근입된 앵커의 파괴 형태는 4가지로 암반의 콘이나 썩기가 있을 때의 암반의 파괴, 그라우트와 암반에서의 경계면 전단파괴, 텐던과 그라우트에서의 경계면 전단파괴, 텐던의 파괴이다.

암반앵커의 인발력(Pullout Capacity)은 앵커 정착 부분(Anchor Bond Zone)의 상대적인 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 앵커에서는 암반과 그라우트 경계면에서 경계면의 접합

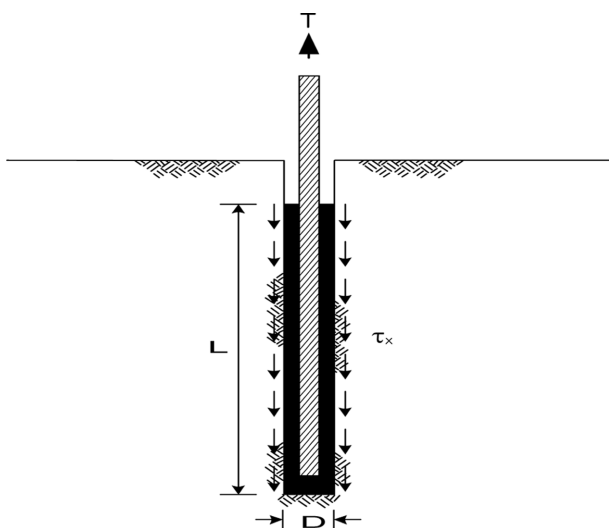
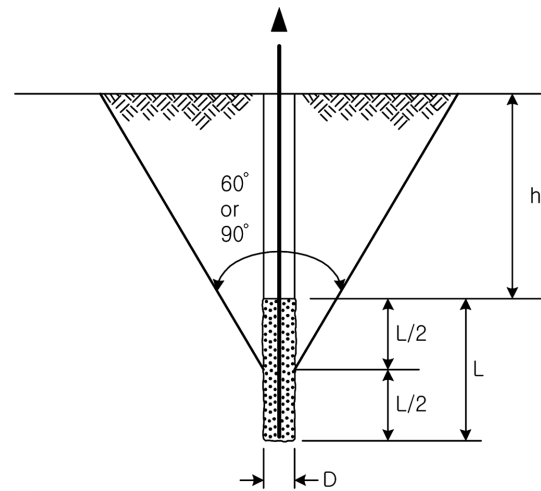


그림 1. 암반-그라우팅 경계면에서의 전단응력



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

그림 2. 콘의 기하학적 형상

부가 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(Cone) 또는 썩기(Wedge)로 형상화된 파괴메카니즘을 나타내고 있다.

그러나 설계시 콘 파괴 형태를 보이는 경우 암의 전단강도는 무시되는 반면, 콘에 들어있는 암의 무게가 그라운드 앵커 하중 설계치보다 크면 그 앵커는 암 전단강도를 무시해도 안전하다고 보고 있다. 일반적으로 파괴메카니즘의 정점(Apex)은 앵커 결합 부근의 상, 중, 하에 위치하여 60~90°의 파괴메카니즘 범위의 각을 가지고 있으며, 앵커가 근입된 암층위에 상재 토사가 존재할 경우, 파괴 메카니즘은 암반과 토사의 경계면 상부 모양은 원형으로 가정하고 있다.

3. 현장시험

본 장에서는 앵커의 극한인발력 및 파괴메카니즘 등의 거동을 알아보기 위하여 고속철도 ○○역사 공사구간에서 실규모로 실시한 현장앵커시험 내용을 정리하였다.

앵커시험을 실시한 현장지반은 풍화암 지반이며, 공사구간 좌측에 항상 만수위 상태의 저수지가 위치하고 있어 지반굴착시 지하 5 m 깊이에서 지하수면이 발생하여 부력저항 앵커를 사용하였다.

3.1 현장시험 내용 및 방법

현장앵커시험은 표 1에 나타난 바와 같이 앵커의 정착길이, 천공직경, 텐던 직경의 세가지 변수를 변화시키는 매개변수 시험을 실시하였으며 사용된 앵커는 Bar Type으로 표 2에 앵커의 특성을 정리하였다.

3.2 최대계혁 시험하중

앵커의 시험은 최종적인 파괴를 유도할 때까지 실시해야 하지만 일반적으로 안전 등의 이유로 인장재 항복강도의

표 1. 현장 앵커시험의 종류

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

표 2. Bar Type 앵커의 특성

항목	규격
Bar 가닥수(N)	1
Bar 외경(Φ)	50.0
Bar 단면적(A)	19.635
탄성계수(E), MPa	17.014×10 ³
항복강도(P _y), MPa	83.553
극한강도(P _u), MPa	103.068

표 3. 강도조건에 따른 최대시험하중

하중 조건		최대시험하중
설계하중 (kN/본)		980.07
최대 시험 하중 최대	안전하중 조건	1.33×설계하중=1.33×980.07=1303.28
	항복강도 조건	0.95×P _y ×A×N =0.95×83.553×19.635×1=1558.53
	극한강도 조건	0.8×P _u ×A×N =0.8×103.068×19.635×1=1618.99
여기서, A=앵커단면적, N=앵커갯수		

95% 또는 극한강도의 80% 중 작은 값을 한도로 하고 경우에 따라서는 비례한계 강도를 상한으로 한다. 따라서 본 시험은 현장조건 및 앵커의 조건에 따라 표 3에 나타난 바와 같이 항복강도 및 극한강도, 안전하중에 의해 계획 최대시험하중을 산정한 결과 계획 최대시험하중은 1303.28 kN이다.

4. 수치해석

본 장에서는 앵커의 극한인발력 및 파괴메카니즘 등의 거동을 알아보기 위하여 지반공학적 문제의 해석에 널리 사용되는 유한차분 범용 해석 프로그램인 FLAC을 사용하였다. 해석은 현장 앵커시험 내용 중 앵커의 정착길이 변화와 텐던 직경, 천공직경 변화에 대한 내용을 수치해석적으로 검증하고 풍화암의 탄성계수를 변화시키는 조건으로 수치해석을 실시하였다.

4.1 유한차분 모델링

본 해석에서 사용된 구성 모델은 지반에 적합한 것으로 알

그라운드 앵커의 인발거동 및 파괴메카니즘에 대한 수치해석

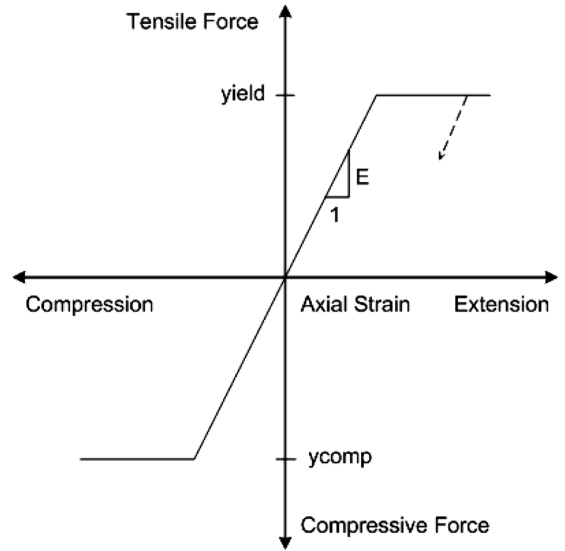


그림 3 Cable요소의 거동

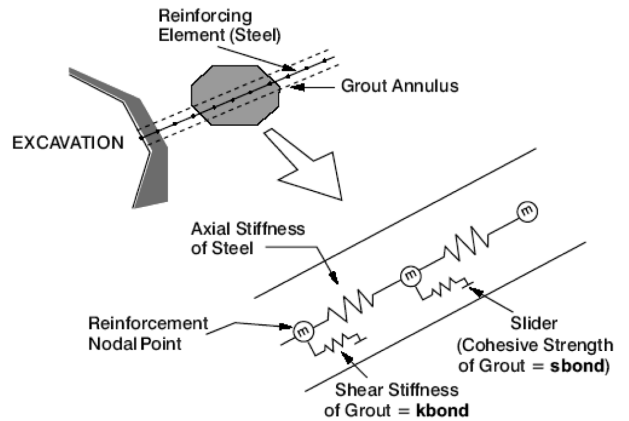


그림 4. 전단거동에 대한 개념도

려진 Mohr-Coulomb 의 탄소성 모델을 사용하였으며 이에 대한 파괴규준을 따랐다. 또한 앵커의 인발저항에 대한 거동을 모사하기 위하여 그림 3과 같은 Cable 요소를 사용하였다.

Cable요소는 그라우트와 Cable사이 또는 원지반과 Cable사이의 전단저항(점합력)으로 앵커의 전단저항을 모델링하였다. Cable요소는 보강재의 전체길이에서의 변형에 대한 저항력을 고려할 뿐 아니라 그라우트 체의 부분적 전단파괴를 모델링하는데 적합하다.

그라우트의 전단방향 거동은 다음 식(1)과 그림 4에 나타난 것과 같이 전단스프링으로 모델링하였으며 보강재와 그라우트/원지반 사이의 상대변위에 의해 유발되는 그라우트체의 전단방향 거동은 그림 5, 6과 같이 그라우트 강성에 의해 수치적으로 표현된다.

$$\frac{F_s}{L} = K_{bond}(u_c - u_m) \quad (1)$$

여기서, F_s = 그라우트체에 발생하는 전단력, K_{bond} = 그라우트의 강성, u_c = cable의 축방향 변위, u_m = 원지반의 축방향 변위, L = cable의 길이이다.

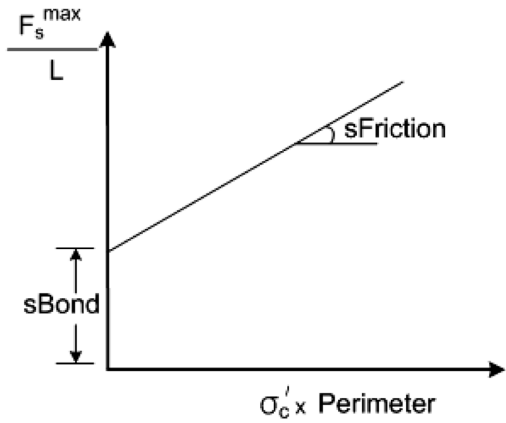


그림 5. 그라우트 강도

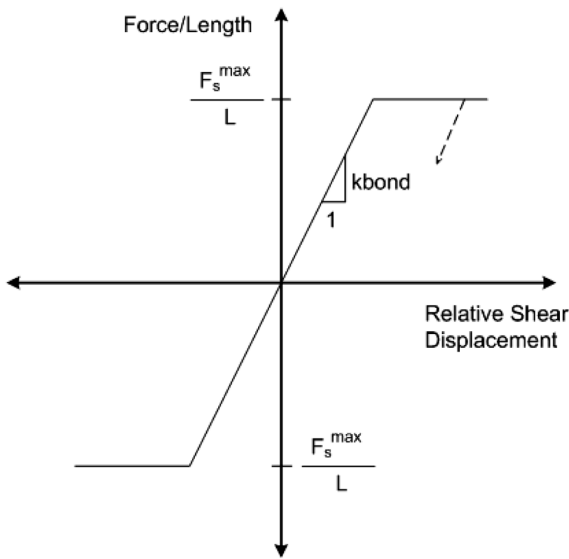


그림 6. 전단력과 변위 관계

그라우트체내 단위 길이당 최대전단력은 그라우트의 전단 강도와 그라우트 응력에 따른 저항력으로 구성되며 최대전단력은 다음 식 (2)와 같다.

$$\frac{F_s^{max}}{L} = S_{bond} + \sigma_c' \tan(S_{friction}) \cdot perimeter \quad (2)$$

여기서 S_{bond} = 점착력, σ_c' = 부재직각 방향 평균 유효응력, $S_{friction}$ = 내부마찰각, $perimeter$ = 부재의 주변장.

4.2 해석영역 및 유한차분격자망

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

한편, 인발시험을 모사하기 위해 Cable요소의 끝점에 미소한 크기의 일정속도 $v = 1.0E-0.7$ m/sec를 작용시켰다.

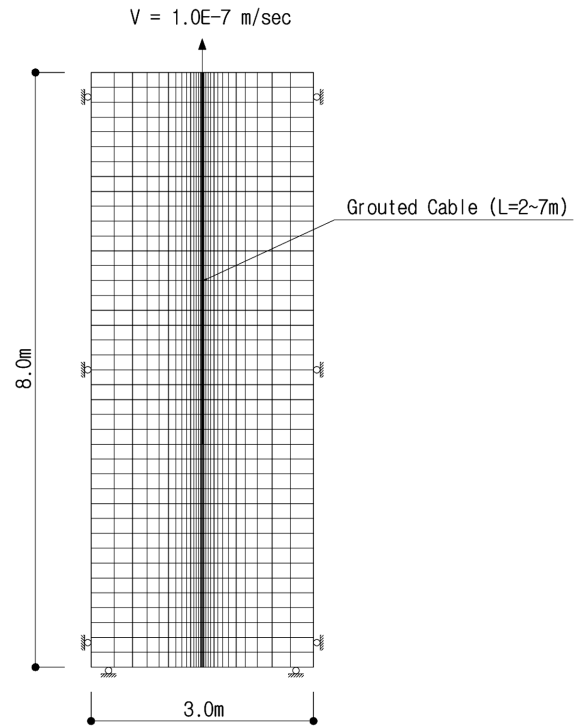


그림 7. 해석에 사용된 유한차분 격자망

4.3 지반물성입력자료

본 현장 앵커시험은 상부 지반을 굴착하고 풍화암과 풍화토 지반에서 수행하였으며 지반의 단위중량은 20.6 kN/m^3 으로 나타났고 내부마찰각은 35° , 암석과 그라우트체의 마찰저항치는 현장여건을 고려하여 392.3 kN/m^2 을 적용하였다. 표 4에 해석에 사용된 지반 및 재료의 물성값을 나타내었다.

본 수치해석에서 모델링한 앵커의 규격은 다음 표 5와 같이 텐던을 36, 50 mm로 한 경우와 천공경을 108, 125,

표 4. 수치해석에 사용된 재료의 입력변수

구분	풍화암	텐던	그라우트
탄성계수 (tf/m^2)	20,000 (10,000~30,000)	2×10^{-7}	2×10^{-6}
포아송비	0.2	-	-
단위중량 (kN/m^3)	20.6	-	-

표 5. 수치해석 내역

매개변수			탄성계수 (tf/m^2)	비고
텐던 직경 (mm)	천공 직경 (mm)	정착 길이 (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	

165 mm로 한 경우, 정착길이를 2, 3, 5, 7 m로 한 경우등 7가지 경우로 해석을 실시하였으며 지반의 탄성계수의 영향을 파악하기 위하여 탄성계수를 10,000~30,000 tf/m^2 으로 변화시키는 해석을 실시하였다.

5. 해석결과 및 분석

5.1 정착길이 변화

앵커의 정착길이를 2, 3, 5, 7 m로 변화시킨 현장앵커시험과 수치해석의 하중-변위 결과를 비교하여 표 6과 그림 8~11에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 정착길이가 증가함에 따라 한계하중값이 증가하는 것으로 나타났으며 정착길이가 2, 7 m일때는 수치해석의 극한하중값이 실험결과와 비교적 잘 일치하였으나 정착길이가 3, 5 m일때는 수치해석

표 6. 정착길이에 변화에 대한 한계하중의 비교

시험 번호	정착 길이 (m)	실험(한계하중, kN)		수치해석 (한계하중, kN)
		$L_t > 25.4\text{mm}$	$K_d > 2$	
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

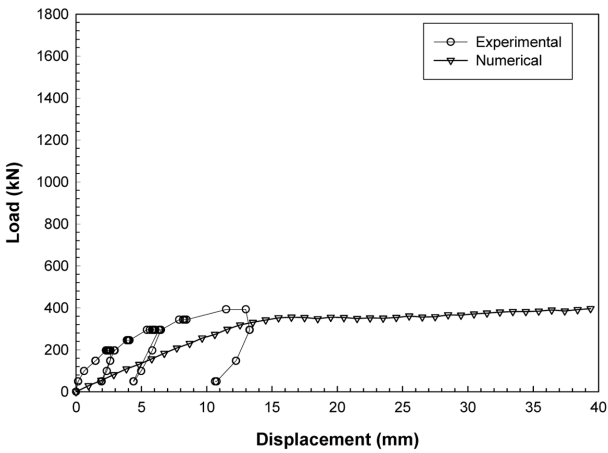


그림 8. 하중-변위 곡선(정착길이 2 m)

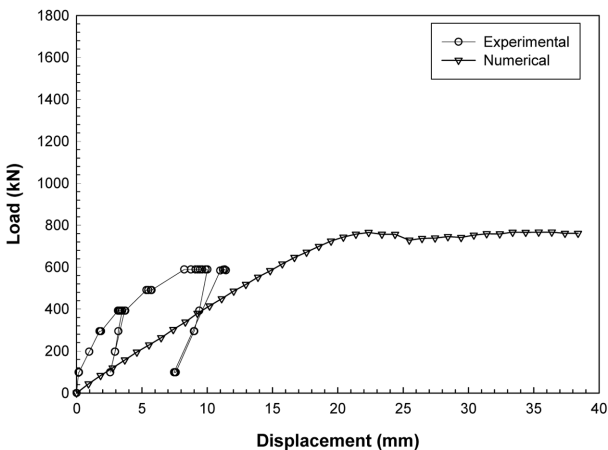


그림 9. 하중-변위 곡선(정착길이 3 m)

결과가 실험결과보다 약 33~67% 크게 나타났다.

한편, 정착길이에 대한 극한하중값을 회귀분석하여 그림 12에 나타내었으며 현장앵커시험에 대한 회귀분석은 앵커헤드 부가 25.4 mm(1 inch.) 침하하였을 때와($L_d > 25.4\text{mm}$) Creep 계수 K_d 가 2 이상일 때의($K_d > 2$) 조건에 대하여 극한하중-정착길이의 상관성을 나타낸 것이다.

그림에 나타낸 바와 같이 앵커시험결과에 의한 정착길이-한계하중의 관계는 $L_d > 25.4\text{mm}$ 인 경우 $R^2=0.945$, $K_d > 2$ 인 경우 $R^2=0.980$ 으로 매우 높은 상관성을 나타내었으며 앵커 그

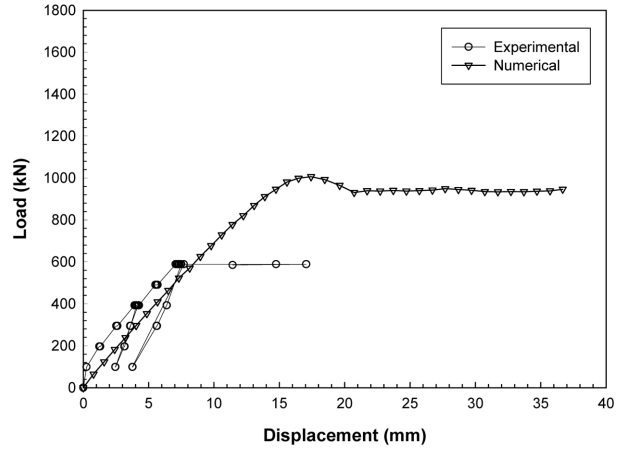


그림 10. 하중-변위 곡선(정착길이 5 m)

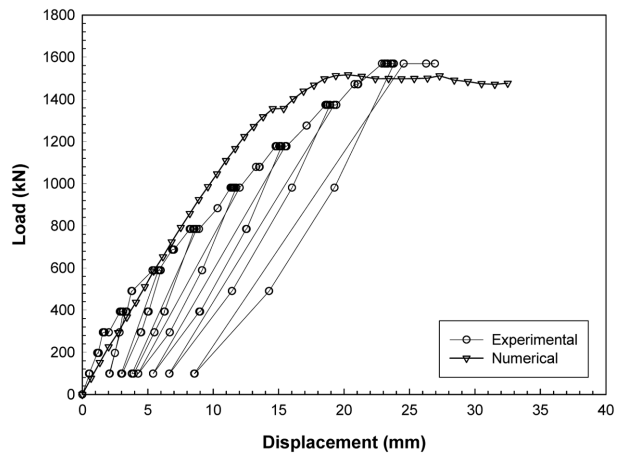


그림 11. 하중-변위 곡선(정착길이 7 m)

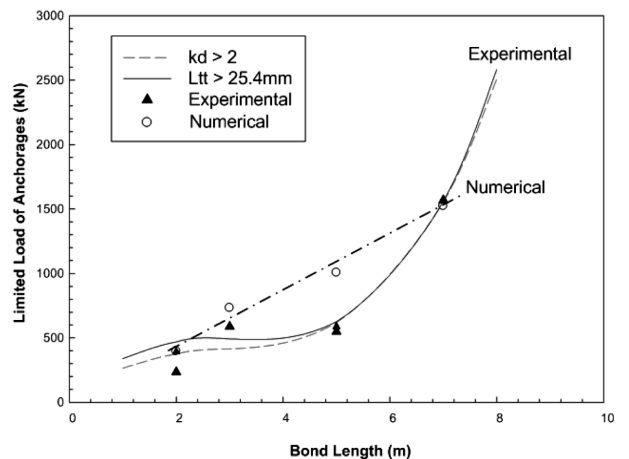


그림 12. 정착길이-한계하중의 상관관계

라우트체의 한계내에서는 앵커 정착길이의 3제곱에 비례하여 증가되는 것으로 나타났다. 그러나, 수치해석에 의한 결과는 상관계수 =0.98로 정착부의 길이에 극한하중이 선형비례하는 결과를 나타내었다.

1) $k_d > 2$ 인 경우

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

2) $L_d > 25.4$ mm인 경우

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

3) 수치해석 $R^2 = 0.98$

$$P_{lim} = 212.374 \times L + 12.27$$

5.2 천공직경 변화

천공직경을 108, 125, 165 mm로 변화시킨 실험결과와 수치해석 결과를 비교하여 표 7과 그림 13에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 천공직경이 증가함에 따라 극한하중 값이 증가하였으며 실험과 수치해석의 극한하중 값이 잘 일치하는 것으로 나타났으나 초기 접선기울기는 실험이 더 급하게 나타났다.

한편, 앵커 헤드부에서의 변위량 25.4 mm (=1inch.)일때와 Creep 계수 K_d 가 2 이상일때의 천공직경별 극한 하중곡선을 선형회귀 분석하여 그림 14에 도시하였다.

상관성 분석 결과 현장 앵커시험은 $K_d > 2$ 일때는 $R^2 = 0.78$ 의 상관성을 나타내었으나 $L_d > 25.4$ mm일때는 $R^2 = 0.99$ 의 아주 높은 상관성을 나타내어 천공직경에 비례하여 극한하중이 증가함을 나타내었으나 수치해석은 선형 비례하는 결과를 나타내었고 상관계수 $R^2 = 0.99$ 로 매우 높은 상관성을 나타내었다.

표 7. 천공직경에 변화에 대한 한계하중의 비교

시험 번호	천공 직경 (m)	실험 (한계하중, kN)		수치해석 (한계하중, kN)
		Lt > 25.4 mm	$K_d > 2$	
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

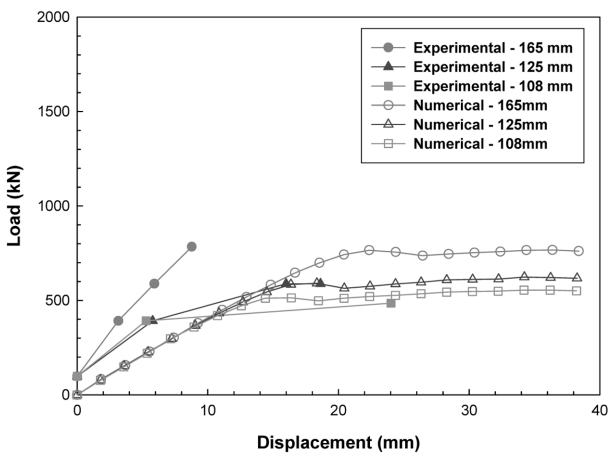


그림 13. 천공직경에 따른 하중-변위 곡선

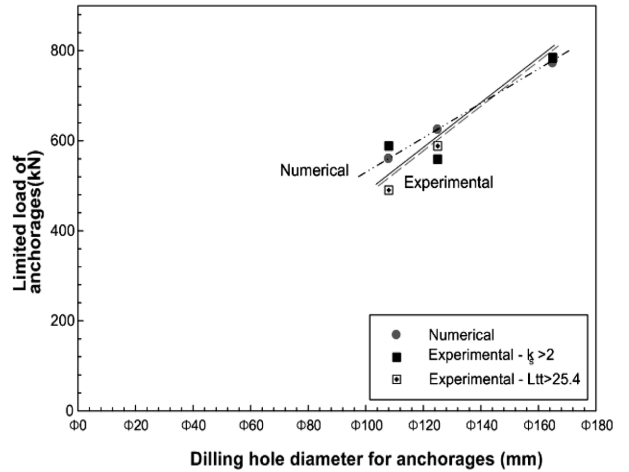


그림 14. 천공직경 한계하중의 상관관계

이는 그라우트와 지반과의 주면마찰력이 선형적으로 증가함을 의미하는 것으로 본 앵커의 그라우트는 지반보다 강성이 상대적으로 크고 균질한 풍화암 지반에 설치되었음을 고려할 때 일정한 단위 주면마찰력을 갖는 지반에서의 앵커의 극한하중은 유효 그라우트 천공직경에 선형 비례하여 증가함을 확인 할 수 있었다.

1) $K_d > 2$ 인 경우

$$P_{lim} = 0.4917 \times D$$

2) $L_d > 25.4$ mm인 경우

$$P_{lim} = 0.4788 \times D$$

3) 수치해석 = 0.99

$$P_{lim} = 3.72 \times D + 157.93$$

5.3 텐던직경 변화

텐던의 직경변화가 하중-변위 곡선에 미치는 영향을 알아보기로 고자 텐던의 직경을 36, 50 mm로 변화시켜 실험과 수치해석을 실시하여 그림 15에 나타내었다.

그림에 나타난 바와 같이 실험 및 수치해석 결과가 텐던직경이 증가함에 따라 한계하중은 증가하였으나 하중-변위 곡

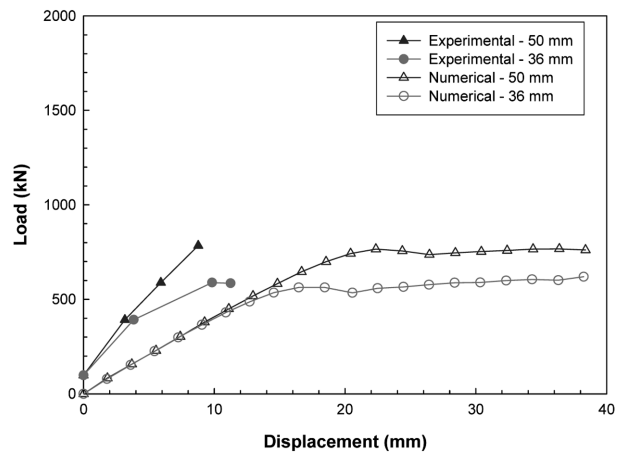


그림 15. 텐던직경에 따른 하중-변위 곡선

선의 초기접선 기울기는 실험과 수치해석 결과가 많은 차이를 나타내고 극한하중은 비교적 잘 일치하였다.

5.4 탄성계수 변화

그림 16은 정착길이 3 m, 천공직경 165 mm, 텐던직경 50 mm 일때 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 초기 접선 기울기도 작게 변화하는 것으로 나타나 풍화암의 탄성계수 변화가 극한하중에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

5.5 파괴메카니즘 및 지반변형

그림 17~20에 정착길이가 2, 3, 5, 7 m일때 각 하중단계 별로 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 2 m 앵커에서는 텐던으로부터 수평방향으로 약 1.2 m 까지 지반의 용기가 발생하여 가장 넓게 수평방향으로 진행된 콘 파괴형태를 나타내었으나 정착길이가 길어짐에 따라 수평방

향의 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 실험 변위값과 큰 차이를 나타내었다.

한편, 그림 21은 수치해석에 의한 지반변위 벡터를 도시한 것으로 앵커체의 중심에서 25~30 cm에서 집중적으로 변위가 발생하고 있으며 앵커 정착부의 주변에서 가장 큰 변위가 발생함을 알 수 있다.

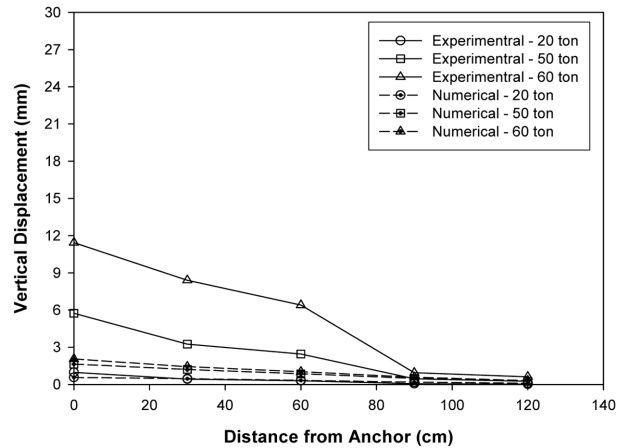


그림 18. 정착길이 3 m 일때 지반변위

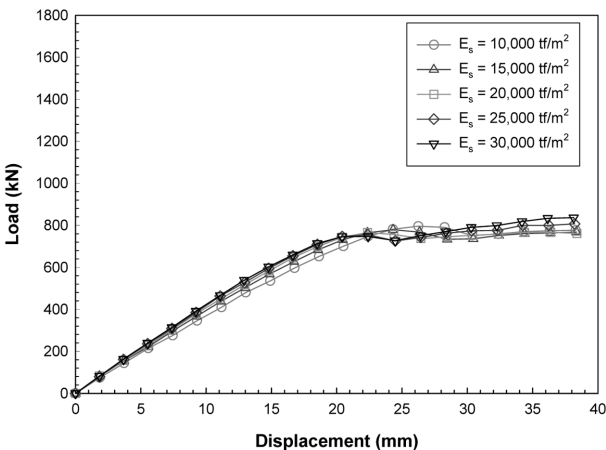


그림 16. 탄성계수 변화에 따른 하중-변위 곡선

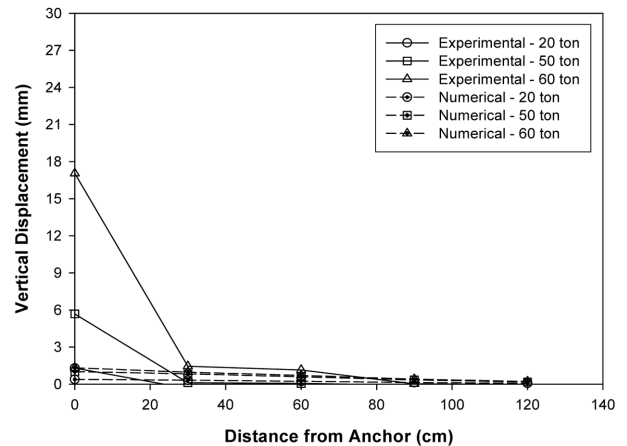


그림 19. 정착길이 5 m 일때 지반변위

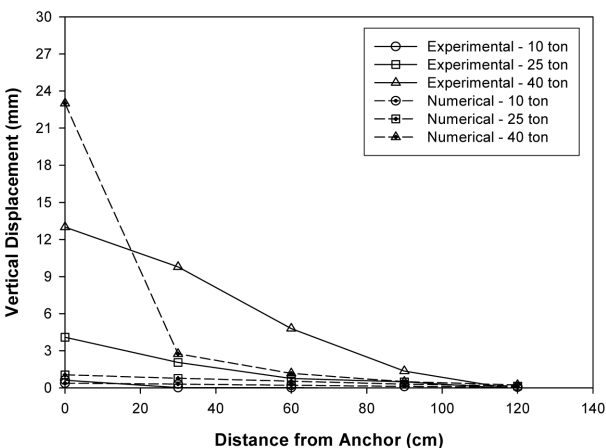


그림 17. 정착길이 2 m 일때 지반변위

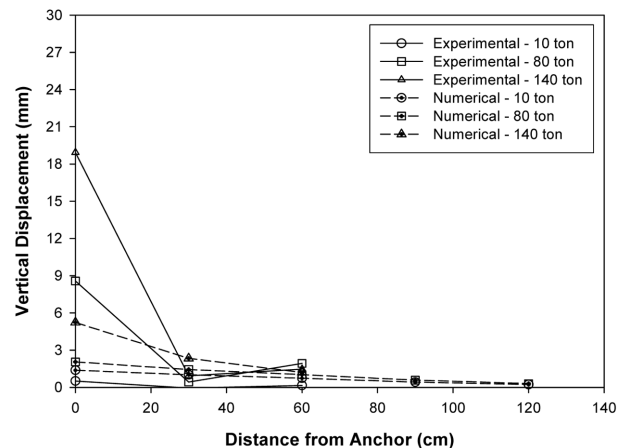


그림 20. 정착길이 7 m 일때 지반변위

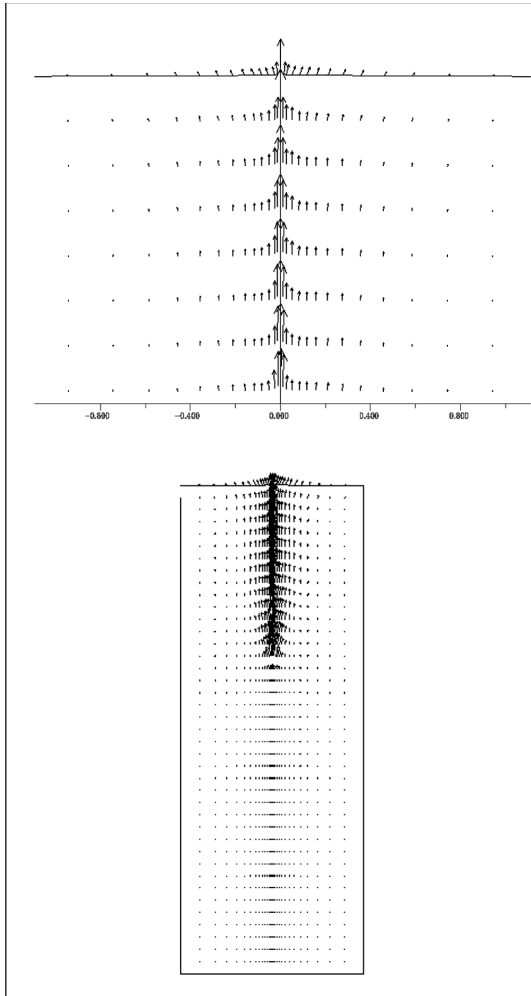


그림 21. 수치해석에 의한 지반 변위벡터

4. 결 론

본 연구에서는 풍화암 지반에 근입된 그라운드 앵커에 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 분석결과 실험은 한계하중이 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 한계하중이 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.

참고문헌

김래현, 이기환, 이우진, 김대규, 김낙경 (2002) 현장시험에 의한 그라운드 앵커 시스템의 크리프 및 단기거동 특성 연구, 대한토목학회 논문집, 제22권, 제6-C호, pp.585-594.

신방웅 (1998) 지반특성에 따른 헬리컬 앵커의 극한인발력에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, Vol.18, No. III-6, pp.911-920.

조용선, 권오엽 (1997) 단일 나선형 앵커의 인발 저항력에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, Vol.17, No. III-3, pp.275-283.

BSI. (1989) *Ground Anchorages*, BS 8081, British Standard Code of Practice, pp.77-84.

DIN4125. (1990) *Ground Anchorages Design, Construction and Testing*, Deutsche Industrie Norm, pp.341-389.

PTI. (1996) *Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors*, Post-Tension Institute.

◎ 논문접수일 : 10년 01월 12일
 ◎ 심사의뢰일 : 10년 01월 15일
 ◎ 심사완료일 : 10년 02월 01일