한국지반공학회논문집 제21권 10호 2005년 12월 pp. 123 ~ 131

나선형 앵커의 실내인발시험을 이용한 무리효과 평가기법

The Method of Estimating Group Effect with Small Pull-out Tests of Screw Anchors

박 시 삼[1] Park, Si-Sam
이 형 규[2] Lee, Hyung-Kyu

Abstract

In the present study, laboratory pull-out tests with screw anchors are carried out to investigate behavior characteristics of the anchors used in foundation system of underground structures which are applied to uplifting seepage forces. Small scaled pull-out tests in sand under saturated condition and dry condition were carried out. For estimating the group effects of the anchors, the upward displacement and the pullout load varied with spacing of the anchor were observed. The test results were compared with theoretical equation for the ultimate pull-out force. Also, the result of tests can be used to the finite element analysis program, *PENTAGON* ^{2D}.

요 지

본 연구에서는 양압력을 받는 기초구조물의 보강공법으로 앵커를 시공할 경우, 이에 대한 파괴메카니즘 및 안정해석법의 개발에 기초적인 자료를 제공하기 위해 나선형 앵커에 대한 실내인발시험 및 유한요소해석을 수행하였다. 실내인발시험은 강우시 지하수위 상승으로 인해 기초구조물에 양압력이 작용하는 경우를 고려하기 위해 포화사질토내에서의 하중-변위특성을 분석한 후, 이를 건조시의 경우 등에 대해 유한요소 해석결과와 비교·분석하였으며, 앵커의 극한인발저항력에 미치는 영향인자 및 앵커의 인발에 따른 거동특성 등을 평가하였다. 또한, 군형태 앵커의 설치간격을 변화시켜가면서 하중-인발변위 특성을 비교한 후, 나선형 앵커의 무리효과에 의한 간섭영향 요인을 분석하였다.

Keywords : Group effect, Laboratory pull-out test, Screw anchor, Uplift seepage force

1. 서 론

앵커는 수직 또는 경사로 지중에 설치하여 옹벽이나 토류구조물의 안정에 주로 사용하고 있으며, 앵커체의 형상에 따라 판(disk) 앵커, 나선형(screw) 앵커, 그라우트 앵커 및 앵커파일 등 그 종류가 매우 다양하다. 특히, 나선형 앵커의 경우에는 설치과정이 쉽고 타입 후 즉시 현장시험이 가능하여 최근 활발한 연구가 진행되어 왔다. 또한, 최근에는 송전탑, 교대구조물 등의 안정 및 양압력을 받는 기초구조물의 대책공법으로 앵커가 사용되고 있는 등 그 적용범위가 확대되고 있는 추세이다. 그러나, 지하수위의 영향을 받는 구조물의 기초와 연약지반상에 설치된 송전탑 및 송신탑 기초 등에 앵커를 사용할 경우, 앵커의 인발저항 메카니즘에 따라 구조물의 안정성이 좌우되며, 이에 대한 규명작업은 현장시험을 토대로 실시되는 것이 바람직하지만 현장

1 정회원, GS건설(주) 기술본부 토질및기초팀 과장 (Member, Ph.D., Manager, Technical Division, GS E&C Corp., parkss7@gsconst.co.kr)
2 정회원, 서일대학 토목공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Seoil College)
* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2006년 6월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

시험을 위한 현장접근이 용이하지 않고 흙의 교란정도가 심하여 현장시험이 어렵다는 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 나선형 앵커가 포화토 등의 지반에 설치되었을 경우 나선형 앵커의 거동특성 등을 파악하기 위하여 앵커 설치 간격 및 포화도 등을 변화시켜 가면서 실내인발시험을 실시하였다. 실내인발시험 결과는 기존의 극한인발저항력 산정이론 및 비선형 탄소성 구성모델을 이용한 유한요소법에 의한 수치해석결과와 비교·분석하였다.

2. 앵커체의 극한인발저항력 평가기법

2.1 개요

일반적으로 사질토 내에 설치되어 있는 앵커체의 극한인발저항력(Q_{ult})은 앵커체의 종류, 파괴모드 및 가상파괴면의 형태를 단순화하여 도식화한 후 한계평형해석법을 토대로 근사적인 예측이 가능하다. Ghaly 등(1991a)은 사질토 지반에 매설되어 있는 나선형 앵커의 거동특성을 파악하기 위한 실험적, 이론적 연구를 발표한 바 있으며, 다음과 같은 몇 가지 가정사항 등을 제시하고 있다. 우선, 지반은 균질하고 등방성이며, 응력-변형률 관계곡선은 비선형적 특성을 갖는다. 또한, 나선형 앵커판은 얇은 강체로 간주하여 앵커판 자체의 변형량 및 스크류(screw)의 마찰각은 무시한다. 이와 같은 가정사항과 함께 앵커체의 중량은 인발력에 영향을 미치지 않는다는 전제조건을 토대로 그림 1과 같은 파괴모드를 가정할 수 있다.

그림 1과 같이 사질토 지반에 설치된 앵커체는 지반의 상대밀도와 매설깊이-앵커판의 폭의 비율(H/B)에 따라서 얕은 앵커 및 깊은 앵커 등으로 분류할 수 있으며 (Ghaly 등, 1991b), 절두원추형태의 파괴면에 작용하는 모든 힘들의 정적평형조건을 토대로 각각의 앵커에 대한 극한인발저항력(Q_{ult})은 식 (1) 및 식 (2) 등과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{ult} = P_p + W \quad \text{(얕은 앵커)} \tag{1}$$

$$Q_{ult} = P_p + W + N \quad \text{(깊은 앵커)} \tag{2}$$

여기서, $P_p = P_p'[\pi(b+r)\tan\delta]$, $W = \frac{\pi}{3}\gamma H(b^2+r^2+br)$,

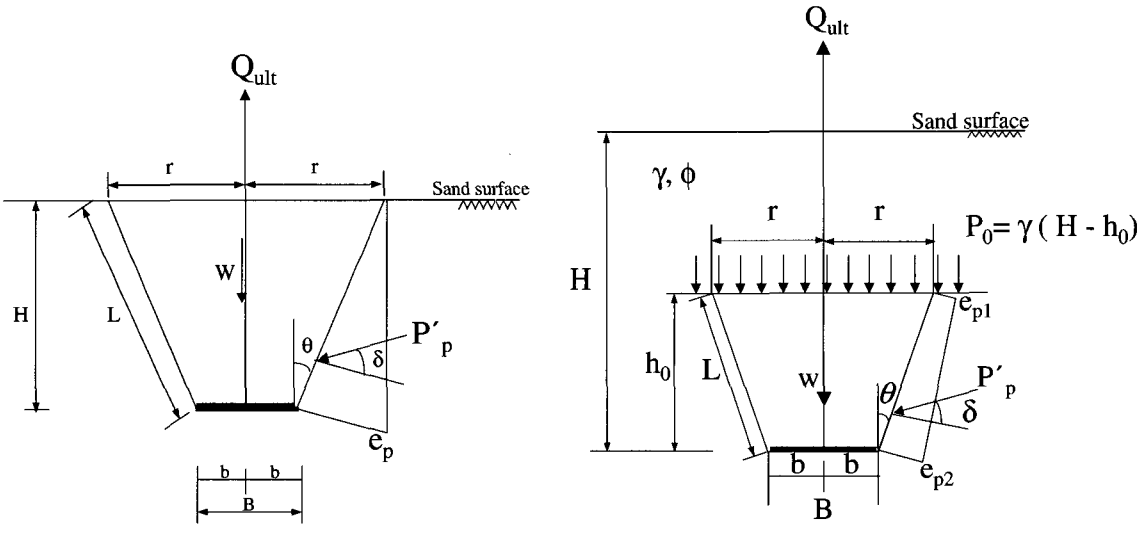
$N = P_0 \pi r^2$, $\theta^\circ = \tan^{-1}\frac{r-b}{H} \leq \frac{2\phi}{3}$, $r = b + H\tan\theta$

등을 의미한다.

Murray 등(1987)도 대수나선 형태의 실제 파괴면을 그림 1과 같은 절두원추형태로 단순화한 후, 이를 토대로 원형 판앵커의 극한인발저항력을 식 (3)과 같이 제안하고 있다.

$$\frac{Q_{ult}}{\gamma A H} = 1 + 2\frac{H}{B}\tan\phi\left(1+\frac{2}{3}\frac{H}{B}\tan\phi\right) \tag{3}$$

여기서, A는 원형 앵커판의 단면적을 의미한다.



(a) 얕은 앵커 (b) 깊은 앵커

그림 1. 얕은 앵커와 깊은 앵커의 파괴면

2.2 무리효과(Group Effect)

앵커에 인발력을 가하는 경우, 앵커체와 주변 흙사이의 상호작용적 거동특성뿐만 아니라 수평방향으로 인접해서 설치되는 앵커체와 앵커체간의 간섭효과가 예상되며, 이는 주변흙과의 전단변형 거동특성을 나타내는 영향원의 중첩효과와 서로 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다. 일반적으로 무리형태의 나선형 앵커에 인발력을 작용시킬 경우, 단일 앵커에 비해 극한인발저항력은 작게 평가된다. 이는 지반내에 발생한 각 앵커의 파괴영역이 서로 간섭효과를 유발시킴으로써 앵커당 저항할 수 있는 극한인발저항력은 감소하게 된다(Hanna & Ghaly, 1994). 현재 무리효과의 영향을 고려할 수 있는 설계법의 정립은 아직까지 미흡한 실정이지만 기존 연구를 토대로 근사적인 예측은 가능하다. 즉, 단일 앵커의 극한인발저항력을 Q_{ult} 라 할 때 무리효과를 고려한 군형태 앵커의 극한인발저항력(Q_{ult}')은 감소율(α)을 고려하여 식 (4)와 같이 표현할 수 있다(日本土質工學會, 1990). 즉, 이러한 무리효과의 영향은 앵커의 설치간격, 근입깊이, 앵커체 직경, 지반조건 등에 영향을 받는다.

$$Q_{ult}' = \alpha \cdot Q_{ult} \tag{4}$$

여기서, $Q_{ult} = \frac{EA\alpha}{k_s}\tau \tanh(\alpha \cdot H)$, $\alpha = 2\sqrt{k_s/(E/B)}$,

k_s=지반반력계수 등을 의미한다.

3. 실내인발시험

3.1 시험장치

실내인발시험에 사용된 앵커는 그림 3과 같이 스크류의 직경이 50mm, 앵커축 지름은 14mm, 전체길이가 650mm인 나선형 앵커를 특수 제작하였다. 앵커 스크류는 1.5mm의 스테인레스 강판을 축에 용접하여 나선형으로 제작하였으며, 앵커축은 100mm 간격으로 설치깊이에 따라 연결하여 사용할 수 있도록 고안되었다. 또한, 길이 1300mm, 높이 600mm, 폭 600mm로 제작된 강제토조 내부에 앵커를 일정한 간격으로 3 본(本)을 설치하였으며 각각의 앵커마다 로드셀(load cell)과 LVDT를 설치한 후, 인발-변형특성 관련 데이터를 매 30초 간격으로 수집하였다.

이밖에 토조내 분사된 시료의 다짐도 및 밀도조정을 위해서 개폐구의 열림정도와 속도조절이 가능한 자동강사장치를 이용하였으며, 토조내 시료의 포화도 조절은 20mm 다공질 동파이프 3개를 토조바닥에 200mm 간격으로 배치하여 유속(0.5m/sec)을 일정하게 유지시킨 후, 유량을 조절하는 방식을 사용하였다. 아울러 피에조미터(piezometer)를 설치하여 측정수위를 지표면 수위와 비교하는 방식으로 포화조건을 조절할 수 있도록

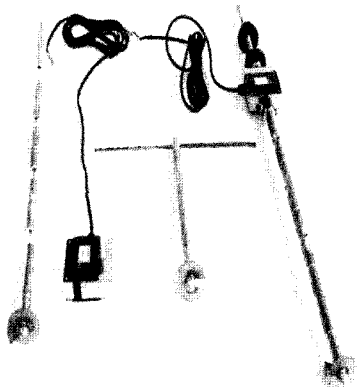
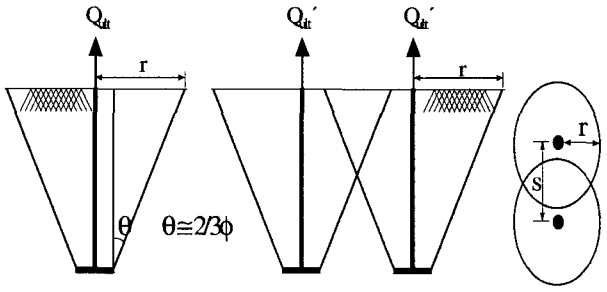


그림 3. 나선형 앵커형상



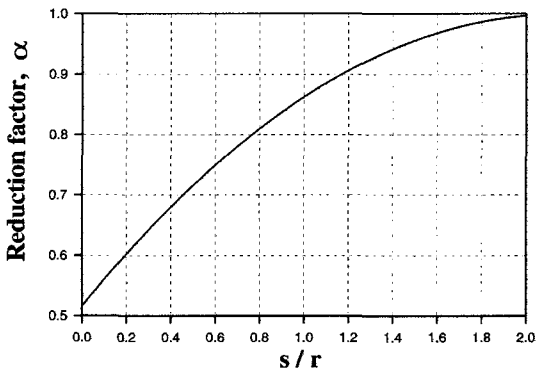
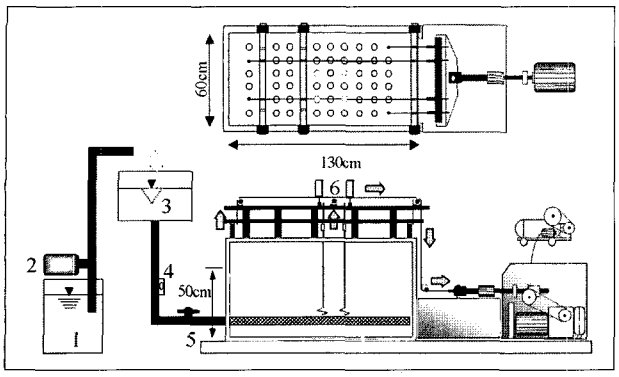


그림 2. 무리효과를 고려한 앵커의 극한인발저항력 감소율(日本土質工學會, 1990)



1.저수조 2.양수모터 3.급수조 4.유속 5.유량조절밸브 6.LVD

그림 4. 앵커인발시험기 개요도

하였으며 전반적인 시험장치의 개요도는 그림 4에 도시되어 있다.

3.2 모형지반

토조내의 모형지반은 주문진 표준사를 공기건조 시킨 후, 낙하고 500mm를 유지시켜가면서 자동강사장치로부터 표준사를 낙하시켜 균등한 밀도의 모래지반을 조성하였으며, 실내인발시험 내내 일정한 다짐도와 밀도를 유지할 수 있도록 하였다(김홍택 등, 2000; 조용선 1998). 표준사의 기본 물성치는 표 1과 같으며, 직접전단시험을 실시하여 포화시와 건조시 표준사의 내부마찰각을 측정하였다.

3.3 시험방법

나선형 앵커에 대한 실내인발시험은 자동강사장치를 이용하여 일정한 상대밀도(73%)를 갖는 지반포설을 완료한 후, 일정 근입깊이(500mm)까지 나선형 앵커를 설치하는 순으로 수행되었다. 특히 포화사질토에 대한 실내인발시험의 경우, 토조 바닥면에 다공질 동파이프를 200mm 간격으로 배치하여 지하수 유입시와 동일한 상향침투조건을 조성하였으며 피에조미터(piezometer)의 수위와 지표면에 수위가 동일하게 되었을 경우를 완전

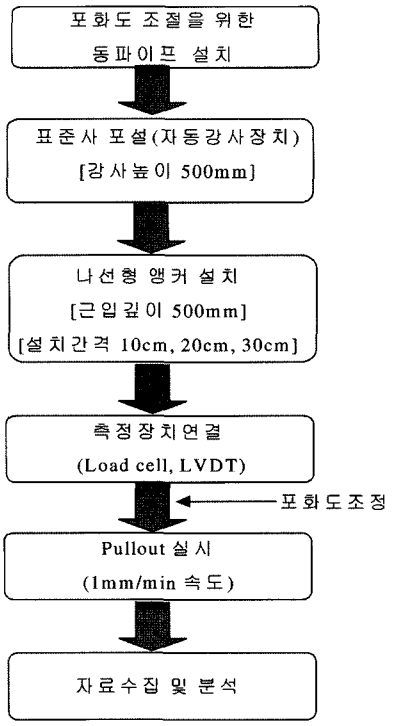


그림 5. 실내인발시험 순서도

포화상태로 가정하였다.

실내인발시험은 건조시와 포화시 모두 변위제어방식으로 인발속도 2.5mm/min을 유지하며 실시되었으며, 인접하여 설치되어 있는 앵커체간의 무리효과의 간섭정도를 관찰하기 위하여 설치간격(S)을 10cm, 20cm 및 30cm 등으로 조절해가면서 무리앵커 연결보와 일체화된 각 앵커체를 동시에 인발하였다. 참고로 본 연구에서 대상으로 하고 있는 모형 앵커체는 조성지반의 상대밀도와 매설깊이-앵커판 폭의 비율(H/B) 등에 따라서 얕은 앵커로 분류된다(Ghaly 등, 1991b).

4. 유한요소해석

4.1 해석개요

본 해석에서는 실내인발시험결과 나타난 나선형 앵커의 인발거동특성을 비교해보기 위한 목적의 일환으로

표 1. 표준사의 기본 물성치

시료	비중 (G_s)	건조단위중량 γ_d (kN/m^3)	간극비 (e)	내부마찰각(ϕ)		투수계수 k_s (cm/sec)	pH	유기물 함유율 (%)
				건조시(°)	포화시(°)			
표준사	2.62	14.90	0.724	41	39	1.459×10−3	6.08	0

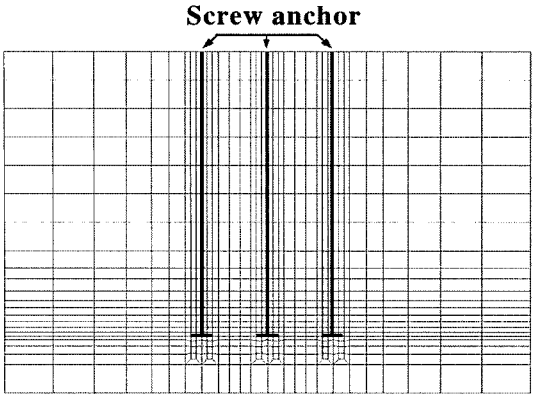


그림 6. 해석에 사용한 유한요소격자망

지반-구조물 관련거동 해석프로그램인 *PENTAGON* ^{2D}를 사용하여 평면-변형률 해석을 실시하였다. 본 해석에서는 실내모형실험과 동일한 지반조건을 구성하여, 건조시 및 포화시 각각에 대해 단위중량을 변화 시켜가면서 해석이 수행되었으며, 해석에 사용한 격자망의 형태는 그림 3과 같다. 특히, 포화토 모델링시 침투단계(seepage stage)를 고려하여 침투류 해석을 수행함으로서, 하중단계(load stage)에서 유발되는 새로운 불평형력 계산에 적용된다. 이러한 경우 침투수의 유입으로 유발되는 침투력 및 자중변화(수중단위중량에서 습윤단위중량으로의 변화, 또는 그 반대효과) 등을 고려 할 수 있게 된다.

그림 6에 나타낸 바와 같이 나선형 앵커체는 선형탄성의 트러스요소, 주변지반은 Mohr-Coulomb 모델을 적용하여 8절점 4각형 요소로 모델링하였으며, 본 해석에 적용된 각 요소의 제원은 표 2와 같다. 아울러 실제 실험에 있어서 강성 연결보를 이용한 무리앵커의 경우 일체거동을 실시하였으나, 모델링에서는 일체거동이 아닌 각각 앵커에 동일하중을 적용하였다. 이러한 영향으로 인해, 각각의 앵커에서 유발되는 상향변위가 다소 상이하게 나타나 상향변위의 평균값을 적용하여 비교하였다.

5. 분석 및 고찰

5.1 하중-인발변위 특성

본 분석에서는 사질토내에 설치되어 있는 나선형 앵커체의 실내인발시험 결과를 토대로 건조시 및 포화시의 앵커의 무리효과 및 극한인발저항력의 변화양상 등

표 2. 유한요소해석에 적용된 각 요소의 제원

지반조건	체적탄성계수(K)	16344.45 kPa			
	전단탄성계수(G)	3502.35 kPa			
	건조단위중량(γ_d)	14.90 kN/m^3			
	포아슨비(ν)	0.4			
	내부마찰각(ψ)	건조	41°	포화	39°
	점착력(c)	0 kPa			
앵커	탄성계수 (E_i)	1.187E+07 kPa			
	단면적 (A)	0.0019625 m^2			

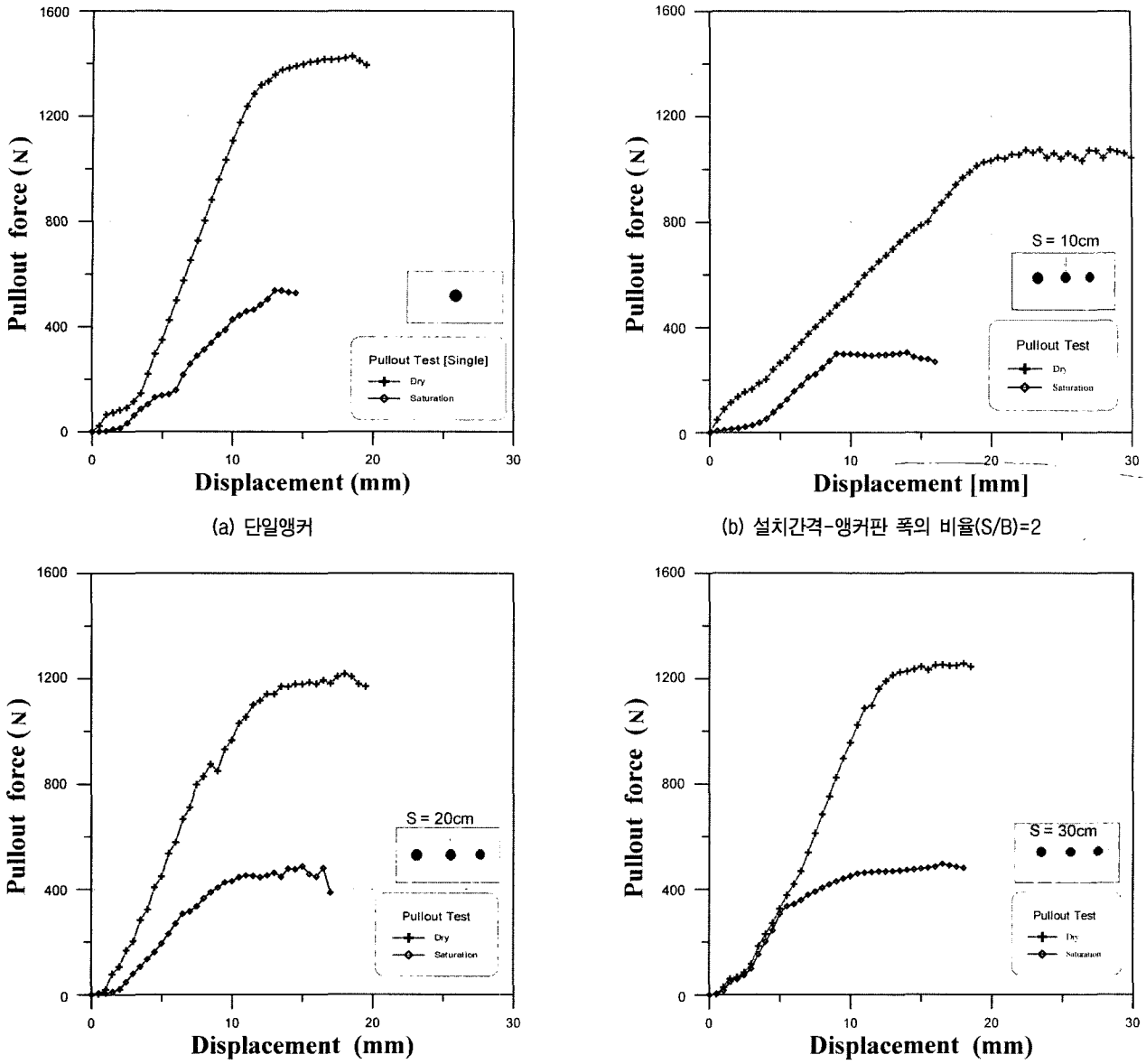
을 살펴보기 위한 목적으로 하중-인발변위 관계곡선을 각 조건별로 도시하였다. 그림 7에는 나선형 앵커의 실내인발시험 진행과정 동안에 측정된 하중과 인발변위량 등이 포화조건 및 설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B) 등에 따라서 명시되어 있다. 분석결과, 건조지반내에 설치된 나선형 앵커의 극한인발저항력에 비해 포화시의 극한인발저항력이 일부 작게 평가됨을 확인할 수 있으며, 완전포화시 약 60~70% 정도의 극한인발저항력 감소가 설치간격별로 확인되었다.

따라서, 본 분석결과를 토대로 유추해볼 때, 지반의 포화정도가 앵커체의 극한인발저항력에 큰 영향을 미치는 요소임을 간접적으로 확인할 수 있다. 또한, 나선형 앵커의 설치간격이 증가함에 따라 무리효과에 의한 간섭영향 정도가 점차로 감소하여 나선형 앵커 한 본당 저항할 수 있는 극한인발저항력이 단일 나선형 앵커의 극한인발저항력 값에 점증적으로 근접해 감을 알 수 있으며, 설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B)이 6 이상 확보되어야 무리효과에 의한 간섭효과를 일부 배제시킬 수 있을 것으로 예상된다.

5.2 유한요소해석 결과

5.2.1 검증

유한요소해석 프로그램인 *PENTAGON* ^{2D}를 이용하여 실내모형시험결과와 인발저항력-변위 관계를 비교·검증하였으며, 앵커인발실험 및 수치해석프로그램 해석결과를 통해 얻은 인발저항력-상향변위 관계곡선은 그림 8과 같다. 본 해석에서 나선형 앵커를 트러스요소, 주변지반은 Mohr-Coulomb 모델로 가정하였기 때문에 변위가 증가함에 따라 인발저항력은 증가되지만, 극한인발저항력이 발생한 이후에는 변위가 증가함에도 불구하고 인발저항력은 감소되는 것으로 나타났으며, 실험결과와도 대체적으로 일치하는 경향을 나타



(a) 단일앵커 (b) 설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B)=2

(c) 설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B)=4 (d) 설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B)=6

그림 7. 하중-인발변위 관계곡선 비교(H/B=10)

내고 있다.

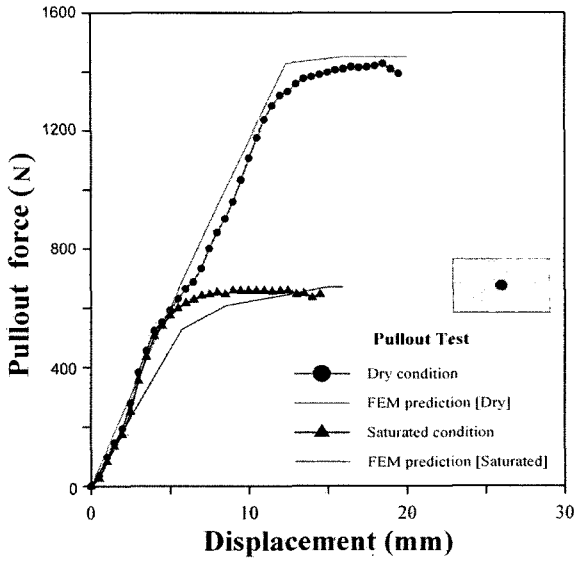
5.2.2 예상파괴형상

유한요소해석을 통하여 나선형 앵커와 지반사이의 파괴형상을 예측할 수 있었으며, 예상파괴형상은 그림 9와 같다. 그림 9를 살펴보면 최대인발저항력이 발휘될 경우 나선형 앵커의 예상파괴형상은 단순한 절두원추형의 파괴형상보다는 대수나선(log-spiral) 파괴형상(Ghaly, 1994)에 가까운 것으로 나타났으며, 근입심도비(H/B) 10 이하인 얕은 앵커의 경우 그 파괴면이 지표면까지 영향을 미친다는 Ghaly(1991)의 연구결과와도 일치하는 것으로 나타났다.

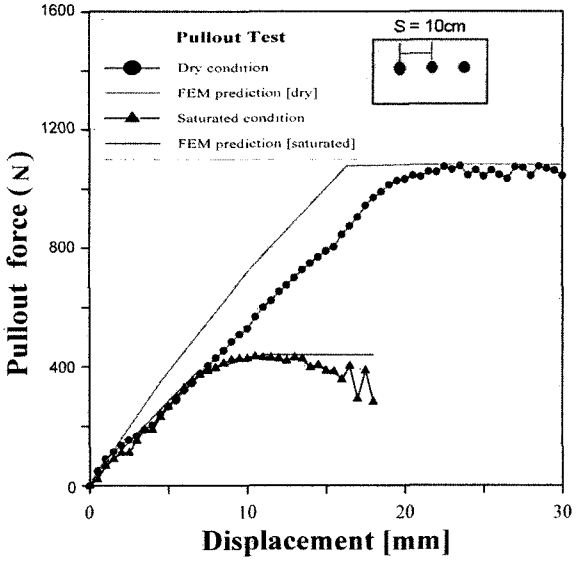
또한 무리앵커의 경우 타입간격의 영향으로 인한 상호간섭효과 즉, 앵커 인발시 파괴범위내 중첩영역을 대략적으로 확인할 수 있었다.

5.3 기존 연구결과와의 비교

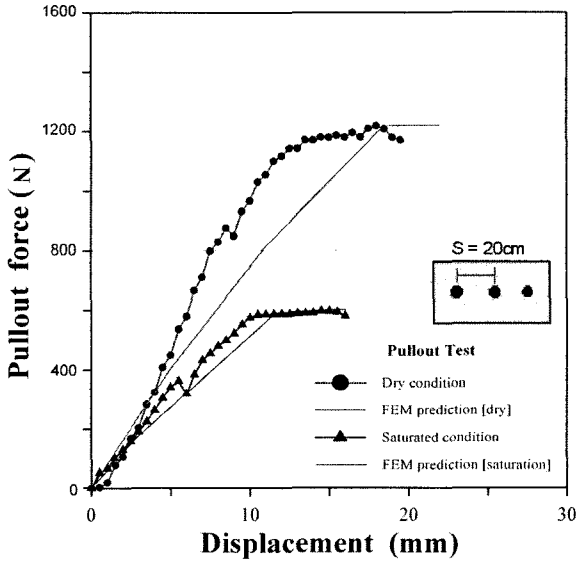
본 연구에서 대상으로 하고 있는 모형 앵커체는 인공으로 조성된 지반의 상대밀도 및 매설깊이-앵커판 폭의 비율(H/B) 등에 따라서 얕은 앵커로 분류된다. 기존의 연구에서 포화정도에 따른 무리앵커의 이론적, 실험적 연구는 아직 미흡한 실정이나 얕은 앵커에 대한 기존 연구결과를 토대로 본 연구에서 실시한 실험결과와의



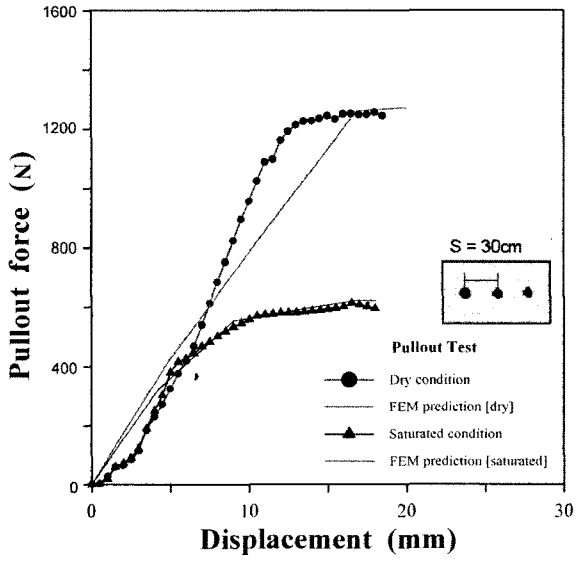
(a) 단일앵커



(b) 설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B)=2



(c) 설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B)=4



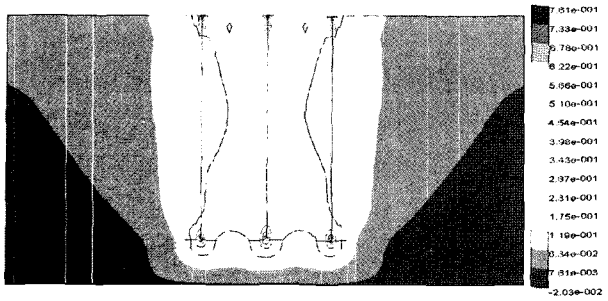
(d) 설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B)=6

그림 8. 유한요소해석 및 실내모형시험 결과 비교(H/B=10)

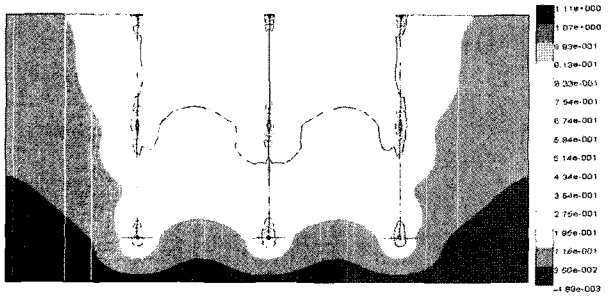
비교·분석을 실시하였다. 지반조건, 포화조건 및 앵커의 제원 등은 앞서 언급한 내용(3장 참조)과 동일한 조건으로 적용한 후, 각 연구자의 제안식에 따라 단일앵커 및 무리앵커의 극한인발저항력을 산정하였으며 이를 요약·정리하면 표 3과 같다.

포화시료인 경우, 본 연구 실험치와 제안식에 의한 예측치가 건조시료에 비해 다소 큰 차이를 보이고 있으며, 실제로 양압력이 작용하는 구조물 기초에 앵커를 시공할 경우 포화정도에 따라 극한인발저항력 값의 감소가 발생할 수 있으므로 이에 대한 이론적·실험적 규명과 함께 적합한 설계기준 마련이 필요하다는 판단이다. 참고로 그림 10은 표 3에 의해 산정된 극한인발저항력 값을 토대로 무리앵커의 설치간격에 따른 극한인발저항력 감소율을 비교·도시한 내용이다.

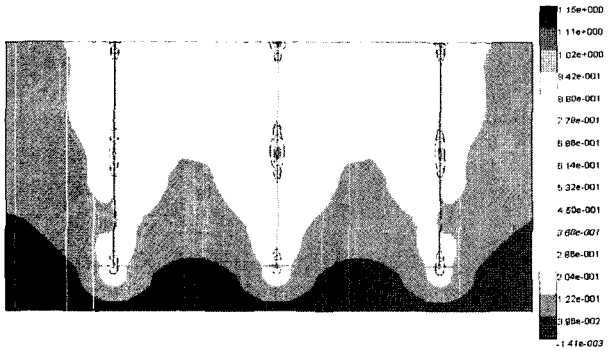
상기와 같은 분석결과를 종합해 볼 때, 실험치와 기존 연구에 의한 예측치간에 결과의 차이가 존재하나, 실험치-예측치 간의 오차발생 원인에 대해 몇 가지 의견을 정리하면, 첫째로 대상토질이 사질토인 경우 인발에 의한 전단파괴는 흙과 앵커체 사이에서 발생하며, 둘째 가정된 절두원추형태의 파괴면과 대수나선 형태로 발생하는 실제 파괴면의 형상은 다소 차이가 있으며, 셋째 실내인발시험 자체에서 고려하지 못한 요인 및 발생가



(a) H/B=10, S/B=2



(b) H/B=10, S/B=4



(c) H/B=10, S/B=6

그림 9. 최대인발저항력 작용시 예상간섭효과

능한 실험오차(앵커설치시나 지반포화시 시료의 교란에 의한 영향) 등을 완전히 배제시키기는 어렵기 때문에 이중 일부 요인이 오차의 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 특히, 무리앵커인 경우 기존의 제안식 자체가 정

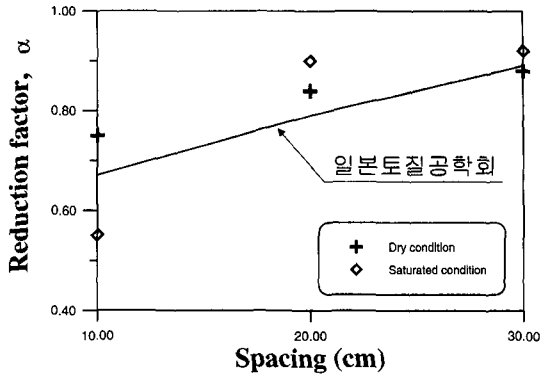


그림 10. 무리앵커의 설치간격에 따른 극한인발저항력 감소율 비교

방형 또는 직사각형 배치인 경우가 많으며 본 실험에서 사용한 무리앵커의 배열과는 다소 차이가 있다.

6. 결론 및 제언

본 연구에서는 포화 사질토내의 무리앵커의 거동특성을 파악하기 위해서 상대밀도 및 근입깊이 등을 일정하게 유지시킨 후, 설치간격을 변화시켜가면서 실내인발시험을 수행하였으며 그 결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

(1) 건조지반내에 설치된 나선형 앵커의 극한인발저항력에 비해 포화시의 극한인발저항력이 일부 작게 평가됨을 알 수 있으며, 나선형 앵커 설치간격별로 완전포화시 약 60~70% 정도의 극한인발저항력 감소되는 것으로 확인되었다.

(2) 지반의 포화정도가 앵커체의 극한인발저항력에 큰 영향을 미치는 요소임을 간접적으로 확인할 수 있으며, 나선형 앵커의 설치간격이 증가(설치간격-앵커판 폭의 비율(S/B)이 6 이상)함에 따라 무리효과에 의한 간섭영향 정도가 점차로 감소하여 나선형

표 3. 극한인발저항력 비교

(단위 : kN)

조 건			본 연구 실험치	Murray 등 (1987)	Ghaly 등 (1991a, 1991b)	日本土質工學會 (1990)
건조시료	단일앵커		1.400	1.743	1.564	1.626
	무리앵커	S=10cm	1.054	–	–	1.089
		S=20cm	1.187	–	–	1.284
		S=30cm	1.231	–	–	1.431
포화시료	단일앵커		0.527	0.946	0.913	1.028
	무리앵커	S=10cm	0.295	–	–	0.689
		S=20cm	0.479	–	–	0.822
		S=30cm	0.486	–	–	0.915

앵커 한 본(本)당 저항할 수 있는 극한인발저항력이 단일 앵커의 극한인발저항력 값에 점점 근접해 감을 알 수 있다.

(3) 최대인발저항력이 발휘될 경우 나선형 앵커의 예상 파괴형상은 단순한 절두원추형의 파괴형상보다는 대수나선(log-spiral) 파괴형상(Ghaly, 1994)에 가까운 것으로 나타났으며, 근입심도비(H/B) 10 이하인 얕은 앵커의 경우 그 파괴면이 지표면까지 영향을 미친다는 Ghaly(1991)의 연구결과와도 일치하는 것으로 나타났다.

(4) 포화시료인 경우, 본 연구 실험치와 제안식에 의한 예측치가 건조시료에 비해 다소 큰 차이를 보이고 있으며, 실제로 양압력이 작용하는 구조물 기초에 앵커를 시공할 경우 포화정도에 따라 극한인발저항력 값의 감소가 발생할 수 있으므로 이에 대한 이론적·실험적 규명과 함께 적합한 설계기준 마련이 필요할 것으로 사료된다.

(5) 본 연구는 포화토내 설치되어 있는 나선형 앵커의 인발거동 특성을 예측하기 위한 기초적인 연구성격을 지니고 있으며 향후 적용가능성을 검증하기 위해 보다 다양한 종류의 배치형태, 근입깊이 및 지반조건 등에 대해서 추가적인 실내인발시험을 실시할 예정이다. 아울러, 이를 토대로 응력-간극수압 연계해석을 적용한 수치해석 및 현장시험 등의 지속적인 검증작업을 시행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 서일대학 학술연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김홍택, 권영호, 박사원, 최영하 (2000), "포화토내 나선형 앵커의 무리효과에 관한 연구", *한국지반공학회 봄학술발표회 논문집*, pp.387-394.
2. 조용선 (1998), "모래 지반에 매입된 나선형 앵커의 인발저항력에 관한 연구", 건국대학교 박사학위 논문
3. 日本土質工學會 (1990), グラウンドアンカー設計·施工基準, 同解說.
4. Ghaly, A., Hanna, A., and Hanna, M. (1991a), "Uplift Behavior of Screw Anchors in Sand, I: Dry Sand", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol.117, No.5, pp.775-793.
5. Ghaly, A., Hanna, A. and Hanna, M. (1991b), "Uplift Behavior of Screw Anchors in Sand, II: Hydrostatic and Flow Conditions", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol.117, No.5, pp. 794-808.
6. Hanna, A. and Ghaly, A. (1994), "Ultimate Pullout Resistance of Groups of Vertical Anchors", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.31, pp.673-682.
7. Murray, E. J. and Geddes, J. D. (1987), "Uplift of Anchor Plates in Sand", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol.113, No.3, pp.202-215.

(접수일자 2005. 10. 11, 심사완료일 2005. 12. 31)