

# 스크류 제원이 스크류 앵커 파일의 인발저항 특성에 미치는 영향에 관한 축소모형실험

## Effect of Screw Geometries on Pull-out Characteristics of Screw Anchor Piles Using Reduced Scale Model Tests

유 충 식<sup>1</sup> Yoo, Chung-Sik

### Abstract

This paper presents the results of an investigation into the pull-out characteristics of screw anchor piles for use in braced excavation and cut-slope. A series of reduced-scale model tests were performed on model screw anchor piles with different geometric characteristics such as screw size and pitch length. The results indicated that the pullout resistance increases with decreasing the pitch length for a given screw size. It was also observed that the pullout capacity of a screw anchor pile increases with the screw size up to a certain size beyond which the increase becomes minimal. The results are presented in such a way that the pullout characteristics of screw piles with different screw geometric characteristics can be identified. Practical implications of the findings are discussed.

### 요 지

본 논문에서는 지하굴착 혹은 절토사면에 적용할 수 있는 스크류 앵커 파일의 인발저항 특성에 관한 연구내용을 제시하였다. 이를 위해 스크류의 크기(직경) 및 피치길이 등 스크류 앵커 파일의 기하적 특성을 달리하는 모형 스크류 앵커 파일을 이용하여 모형실험을 수행하였다. 실험 결과 분석내용을 토대로 할 때 일정한 스크류 크기를 갖는 스크류 앵커 파일의 인발 저항력은 피치길이가 감소할수록 증가하는 것으로 검토 되었다. 또한 일정한 피치길이의 조건에서 스크류 앵커 파일의 인발저항력은 스크류 크기가 증가하면 일정 크기까지는 선형적으로 증가하나 일정 크기 이상에서는 증가량이 거의 일정해지는 것으로 검토 되었다. 본 논문에서는 실험결과를 스크류 앵커 파일의 다양한 제원과 인발저항 특성에 대한 상관관계를 파악할 수 있도록 제시하였으며 연구결과의 실무적 관점에서의 검토 내용을 기술하였다.

**Keywords :** Pullout capacity, Reduced-scale model test, Screw anchor pile

### 1. 서 론

호주 및 북미에서는 헬리컬 스크류 앵커 파일(screw anchor pile, SAP) 형태의 인장부재를 개발하여 굴착 및 사면보강에 적용하고 있다. 이러한 헬리컬 스크류 앵커 파일은 기존의 앵커 혹은 네일에 비해 비용 대비 효율적일 뿐만 아니라 우수한 시공성으로 활발히 적용되고 있

다. 헬리컬 스크류 앵커 파일을 이용한 사면 보강공법의 대표적인 공법으로서 스크류 앵커 공법을 들 수 있는데 이 공법은 뉴질랜드 소재 Piletech社(Piletech, 1997)에서 특허를 갖고 있는 공법으로서 사면 보강 및 가시설 굴착 공사에 적용할 수 있는 것으로 알려져 있다(그림 1). 본 공법의 장점은 천공시 특별한 케이싱이 필요치 않으며 스크류 앵커 샤프트 자체가 천공시 필요한 케이싱 역할

<sup>1</sup> 정회원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수 (Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Sungkyunkwan Univ., csyoo@skku.edu, 교신저자)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2012년 7월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

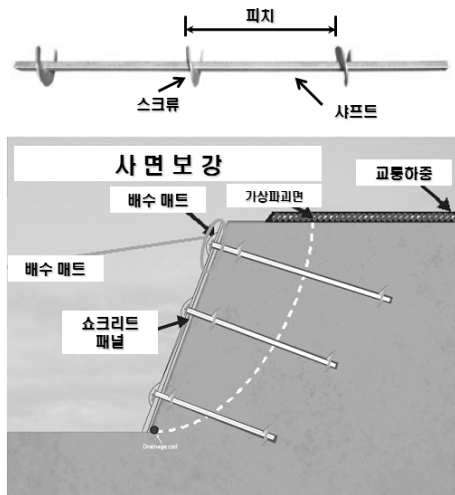


그림 1. 사면 보강용 스크류 앵커 공법 개요도(Piletech, 1992)

을 한다는데 있다. 이러한 스크류 앵커 파일은 다양한 형태로 개발되어 현장에 적용되고 있으며 일반적인 스크류 앵커 파일의 제원은 샤프트 직경이 88.9~100mm, 스크류 직경이 250~1000mm이다. 한편, 스크류간 피치는 약 50~250mm 정도이며 2~3개의 스크류가 설치되는 경우가 일반적으로 최대인발저항력은 1500kN 정도인 것으로 보고되고 있다.

현재 까지 진행된 스크류 앵커 파일에 관한 연구는 대부분 헬리컬 형태의 스크류 앵커 파일의 인발저항력에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 예를 들어 Mitsch와 Clemence(1985)와 Mooney 등(1985)은 각각 사질토와 점성토에 근입되어있는 단일 및 다중 헬리컬 스크류 앵커의 인발저항 특성에 대한 연구를 수행하고 그 결과를 토대로 헬리컬 스크류 앵커의 물침깊이, 스크류 날개의 직경, 그리고 지반 조건에 따른 인발저항력을 산정할 수 있는 경험식을 제안한 바 있다. 한편, Narasimha 등(1991)은 스크류 앵커 파일의 인발력을 결정하는 영향 인자인 스크류 날개의 수, 흙의 최적함수비, 스크류 간격 등이 인발력에 미치는 영향에 대한 연구를 통해 관련된 스크류 앵커 파일과 스크류 설치 제원과의 관계를 제안하였다. 아울러 Zhang(1999)과 Narasimha 등(1993a,b)은 스크류 앵커 파일의 인발파괴 메커니즘에 대한 연구를 수행한 바 있는데 특히 Zhang(1999)은 스크류 직경(D)에 대한 샤프트 물침깊이(H)의 비 H/D에 따라 얇은 혹은 깊은 스크류 앵커 파일로 분류하였으며  $H/D \geq 5$ 인 경우 깊은 스크류 앵커 파일로 규정하고 그에 따른 다양한 파괴 모델을 제시하였다. 한편, 최근에 들어서도 헬리컬 스크류 앵커의 인발저항력에 관한 연구들이 진행

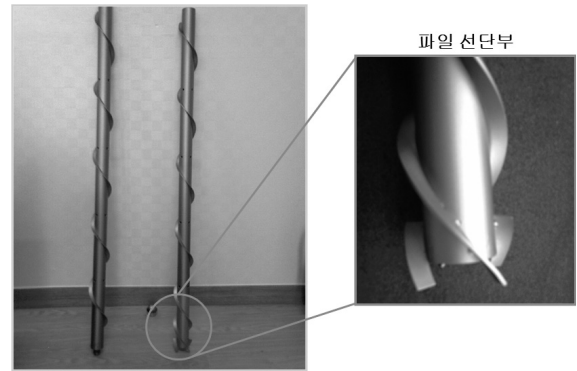


그림 2. 스크류 앵커 파일 개요도

되고 있는데 Merifield와 Smith(2010)은 점토에 설치되는 헬리컬 앵커 파일의 극한 인발저항에 관한 수치해석적 연구를 수행하고 그 결과를 토대로 극한 인발저항과 헬리컬 앵커의 설치 제원과의 관계를 고찰하였다. 가장 최근 들어 Merifield(2011)은 스크류 앵커 파일과 유사한 헬리컬 앵커의 인발저항에 관한 수치해석적 연구를 수행하고 그 결과를 토대로 인발저항력 산정에 관한 반경험식을 제안한 바 있다.

국내에서도 최근 들어 스크류 앵커 파일 형태의 인장 부재를 굴착사면 및 절토사면 보강공법의 일환으로 적용하기 위한 연구개발이 진행되고 있다. 국내에서 연구되고 있는 스크류 앵커 파일은 기존의 헬리컬 앵커 파일과는 달리 그림 2와 같이 강관에 스크류 날개를 부착하여 회전 관입시공이 가능하고 고압 시멘트 페이스트 주입이 가능하도록 개발되고 있다. 이러한 공법은 비배토 시공으로 주변지반의 교란을 최소화하고 시멘트 페이스트의 압력분사를 통해 주변지반의 간접 다짐효과 확보 및 구근형성이 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 이러한 공법 개발의 일환으로 실내 모형실험을 토대로 스크류 앵커 파일의 인발저항력을 결정하는 스크류의 제원 즉, 피치 및 날개 폭 등에 따른 인발저항 특성을 고찰하고 나아가서 스크류 설치 조건과 인발저항력과 상호관계로부터 스크류 제원을 최적화하기 위한 기초 연구를 시도하였다.

## 2. 축소모형실험

### 2.1 스크류 앵커 파일 시험조건

스크류 제원의 최적화를 최종 목표로 한 본 연구 목적을 달성하기 위해 수행한 모형실험에서는 다양한 스

크류의 피치 및 직경이 고려된 스크류 앵커 파일을 제작하여 인발실험을 실시하였다. 그림 3은 본 연구에서 사용한 스크류 제원을 나타내는 기호를 보여주고 있으며 표 1과 2는 각각 스크류 앵커 파일의 재료 특성과 본 연구에서 사용한 스크류 앵커 파일의 구체적 제원을 열

거하고 있다. 스크류 앵커 파일의 강관 두께는 6mm이며 스크류는 두께 4mm의 강관을 이용하여 제작한 후 스크류 효과를 유도할 수 있도록 강관에 부분 용접하여 부착하였다. 한편, 스크류파일과 인발용 로드셀의 볼트 조임식 체결을 위해 스크류파일 강관 두부의 내부에 너트를 용접하여 부착하였다. 표 3에서는 시험조건을 요약정리하고 있다.

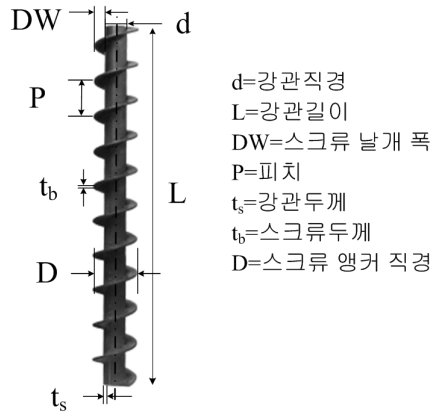


그림 3. 스크류 제원 표기 기호

## 2.2 인발시험

### 2.2.1 모형토조

그림 4는 축소모형실험에서 사용된 모형토조를 보여주고 있다. 이 그림에서 보이는 바와 같이 모형토조는 가로 800mm 세로 800mm 높이 1200mm의 제원을 가지며 전·후면은 30mm 두께의 아크릴판으로 제작하였다. 토조의 전·후면에는 브레이싱 빔을 설치하여 배부름이 발생하지 않도록 하였다. 본 연구에서 사용한 모형토조

표 1. 스크류 앵커 파일의 재료적 특성

스크류 앵커 파일구성	재 질	인장강도(MPa)	탄성계수(GPa)	포아송비( $\nu$ )
파일	S45C 일반구조용 탄소강재(봉강)	690	205	0.29
날개	SS400 일반구조용 탄소강재(강판)	400	206	0.3

표 2. 스크류 앵커 파일의 제원

파일 분류 기호	강관직경 $d(mm)$	길이 $L(mm)$	스크류 날개 폭 $DW(mm)$	피치 $P(mm)$	강봉두께 $t_s(mm)$	스크류두께 $t_b(mm)$	무게 (kg)
P45D45	30	600	15	45	6	4	2.47
P60D45	30	600	30	45	6	4	2.54
P45D60	30	600	15	60	6	4	2.72
P60D60	30	600	30	60	6	4	2.89
no screw	30	600	0	$\infty$	6	N/A	1.61

표 3. 축소모형시험 조건

SERIES	구분	물침깊이 ED(mm)	피치 간격 P(mm)	스크류 날개 폭 DW(mm)	비고
A	ED-1	150	P60	DW30	물침깊이에 따른 인발저항력 분석
	ED-2	300	P60	DW30	
	ED-3	500	P60	DW30	
	ED-4	600	P60	DW30	
	ED-5	300	P45	DW15	
	ED-6	600	P45	DW15	
B	no screw	500	P30	DW0	스크류 피치 및 직경에 따른 인발저항력 분석
	PT-1	500	P45	DW15	
	PT-2	500	P45	DW30	
	PT-3	500	P60	DW15	
	PT-4	500	P60	DW30	

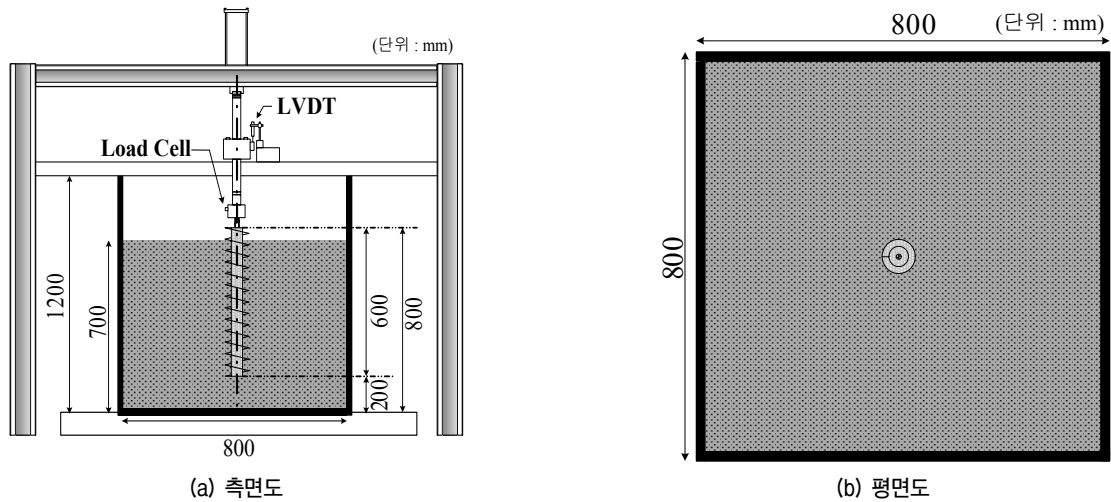


그림 4. 축소 모형실험에 사용된 토조

표 4. 실험장치의 세부사항

구성장치		세부사항
유압재하장치		정적 및 동적재하 변위제어/하중제어 가능 변위제어-재하속도 : 0.001~100mm/min 하중제어-재하속도 : 0.8~2kPa/min 최대재하능력 : 200.0kN 0.001~1.0Hz의 정현파형 구현
모형토조		800mm(가로) × 800mm(세로) × 1200mm(높이)
계측 센서부	수직인발하중 로드셀	정격용량(R.C.) : 20ton 정격출력(R.O.) 3.0mv/v ± 0.3% 비직선성 ≤ 0.1% R.O. 히스테리시스 ≤ 0.1% R.O. 연결부 : M12(13mm) 볼트 / 길이(60mm)
	인장변위 측정 LVDT	정격용량 : 50mm 비직선성 ± 0.2% FS - ± 0.4% FS 히스테리시스 ± 0.05% FS - ± 0.1% FS
정보 수집시스템	TDS-303 데이터로거	원격제어 및 데이터로거 시스템

의 좌우 측면 경계는 스크류 앵커 파일의 중심으로부터 25D 이상의 거리에 위치하므로 스크류 앵커 파일의 인발 저항에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었으며 예비시험 및 본 실험 수행 과정에서도 관찰을 통해 확인할 수 있었다.

인발시험에서는 표 4에서와 같이 단순재하하중(continuous monotonic loading, CML), 지속하중(sustained loading, SL) 및 반복하중(cyclic loading, CL)의 구현이 가능한 유압 재하 장치를 사용하여 스크류 앵커 파일에 인발하중을 가하였다. 또한 시험중 가해지는 인발하중은 그림 4에서와 같이 인발용 로드셀과 스크류 앵커 파일을 볼트 조임식으로 연결시켜 측정하였으며 용량 50mm의 LVDT를 설치하여 인발시 변위를 측정하였다. 한편, 인

발용 로드셀 및 LVDT 변위계로부터 측정되는 데이터는 TDS-303 데이터 로거를 활용하여 수집하였다.

### 2.2.2 모형지반

모형지반은 화강풍화토를 사용하여 조성하였으며 그림 5와 6은 각각 화강풍화토의 입도분포곡선과 다짐시험 KS F 2312(시험방법 A)에 의한 다짐곡선을 보여주고 있다. 이 데이터를 바탕으로 통일분류법(USCS)으로 분류한 결과 균등계수( $C_u$ )와 곡률계수( $C_c$ )가 각각 5.3 및 1.02인 입도분포가 좋지 않은 모래질 흙 SP로 분류되었으며 최대건조단위중량은 약  $\gamma_{d,max} = 19kN/m^3$  그리고 최적함수비는 약  $w_{op} = 12\%$ 로 측정되었다.

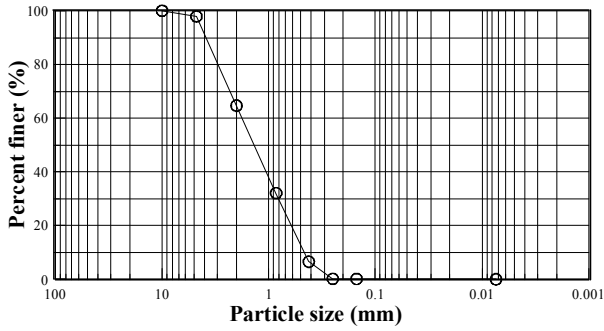


그림 5. 입도분포곡선

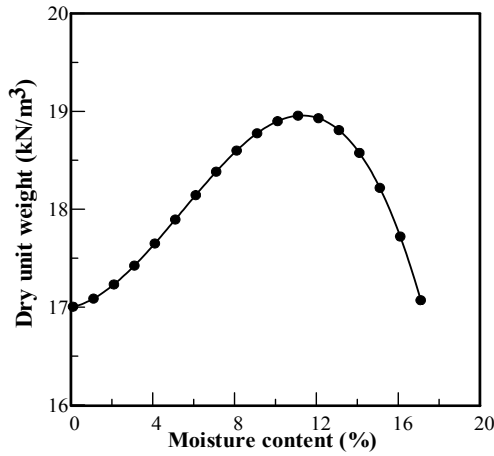


그림 6. 다짐곡선

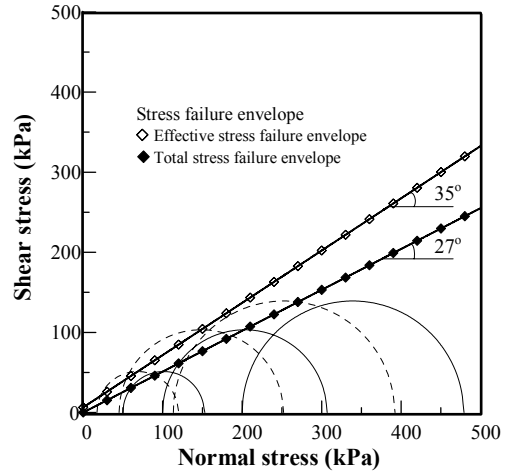
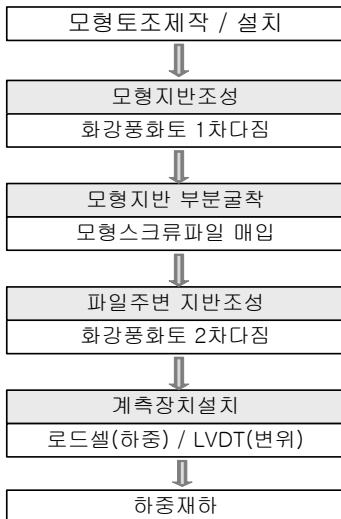


그림 7. CU 시험결과

### 2.2.3 시험방법

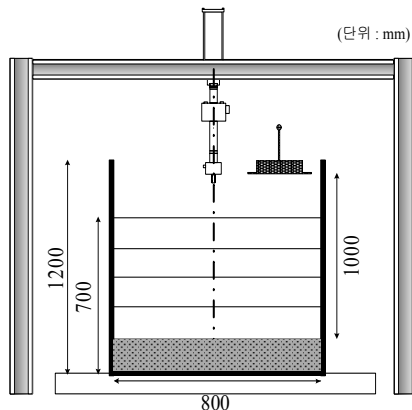
본 실험에서는 그림 8에서 같이 먼저 화강풍화토를 일정높이까지 1차 다짐하여 조성한 후 스크류 앵커 파일이 설치될 중앙부를 문힘깊이를 고려하여 부분적으로 굴착하고 스크류 앵커 파일 설치 후 되메우는 방법으로 지반을 조성하였다. 지반 조성시에는 굴착시 주변지반의 다짐도가 교란되지 않도록 정밀하게 작업하였으며 앞서 스크류 앵커 파일 설치 후 동일한 다짐도로 스



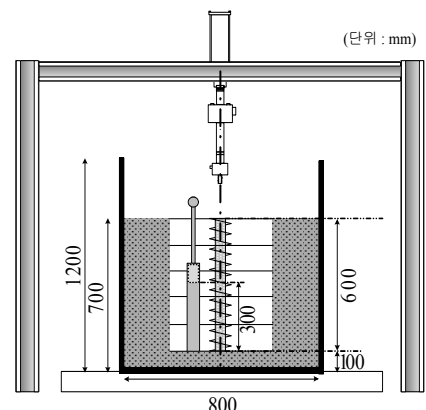
(a) 지반조성 및 스크류 앵커 파일 매입



(b) 되메움 및 인발



(c) 지반조성 개요도



(d) 되메움 및 인발 개요도

그림 8. 모형지반 조성 방법

표 5. 다짐방법 요약

1차 다짐(지반조성)	다짐기구	강판(추)	무게(kg)	10
			면적(m <sup>2</sup> )	0.05
	다짐방법	낙하높이(mm)	1000	
		타격횟수	40회/층, 5층 다짐	
다짐 부피(m <sup>3</sup> )			0.448	
2차 다짐(파일주변)	다짐기구	다짐봉	무게(kg)	2.5
			면적(m <sup>2</sup> )	0.007854
	다짐방법	낙하높이(mm)	300	
		타격횟수(CF)	100회/층, 5층 다짐	
다짐 부피(m <sup>3</sup> )			0.073947	

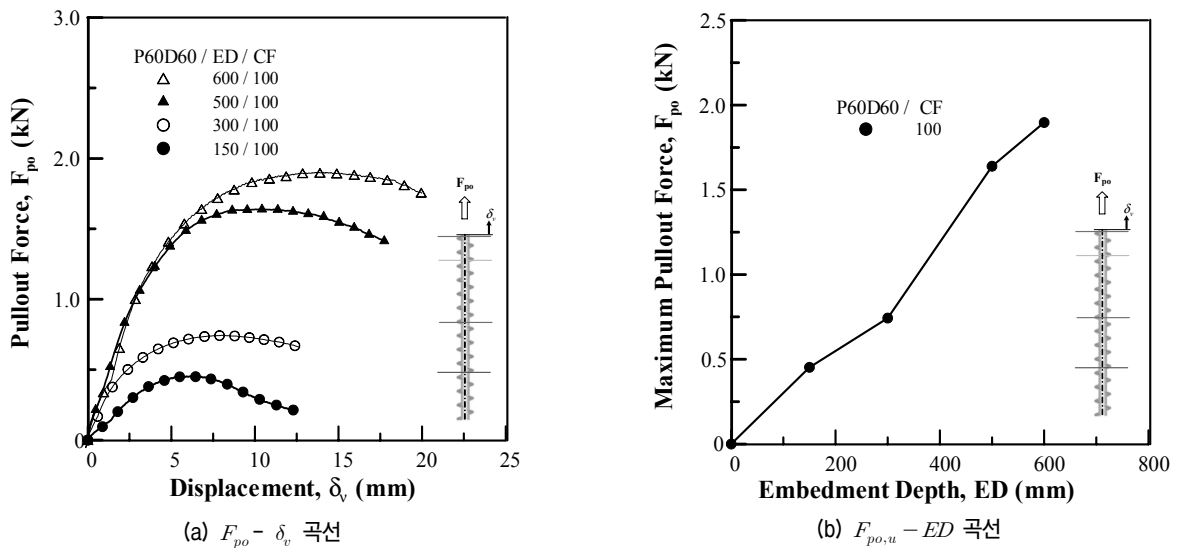


그림 9. 스크류 앵커 파일의 물림깊이에 따른 인발 특성

크류 앵커 파일 주변부를 3층 다짐을 통해 지반을 조성하였다. 특히, 스크류 앵커 파일의 주변에 대한 일정한 다짐도 확보를 위해 예비실험을 통해 다짐과정을 표준화하여 지반을 조성하였다. 모든 인발시험은 동일한 방법으로 조성된 지반을 대상으로 수행하였으며 반복 시험을 통해 시험결과의 반복성을 확보하였다. 조성된 모형지반의 시료에 대한 CU시험 결과는 그림 7과 같다. CU시험 결과 배수 점착력과 내부마찰각은 각각  $c' = 8kPa$ ,  $\phi' = 35^\circ$ 로 측정되었다.

이러한 지반조성 방법은 현장에서 스크류 앵커 파일을 회전 관입하여 시공하는 방법과는 다소 거리가 있으나 스크류 앵커 파일의 인발저항 특성을 상대적으로 확인하는 데는 큰 무리가 없을 것으로 판단되었다. 한편, 스크류 앵커 파일의 수직도 또한 인발저항력에 영향을 미치기 때문에 수직도를 유지하기 위해 층별 다짐시마다 수평계를 이용하여 수직도를 보정 및 유지하였다. 표 5에서는 시험과정을 지반조성 방법을 중심으로 상세히

요약·정리하고 있다. 한편, 인발하중은 Clouterre 연구 보고서(Schlosser, 1991)에 소개된 변위제어방식의 현장 인발시험 방법을 참고하여 1mm/min(허용오차  $\pm 10\%$  이내)의 속도로 작용시켰으며 인발력이 최대치를 지나 연화(softening) 경향을 나타내거나 일정한 값에 수렴한 이후 시험을 종료하였다.

### 3. 결과 분석 및 고찰

#### 3.1 물림깊이에 따른 인발저항력 변화 경향

그림 9에는 스크류 앵커 파일 제원 중 피치  $P$ 와 스크류 날개 폭  $DW$ 를 모두 고정한 실험조건에서 스크류 앵커 파일의 물림깊이  $ED$ 에 따른 스크류 앵커 파일 인발저항력  $F_{po}$ 와 인발변위  $\delta_v$ 의 관계에 대한 실험결과를 층당 다짐횟수  $CF=100$ 로 조성한 지반에 대해 나타내고 있다. 이 그림에서 관찰할 수 있는 바와 같이 스크류 앵

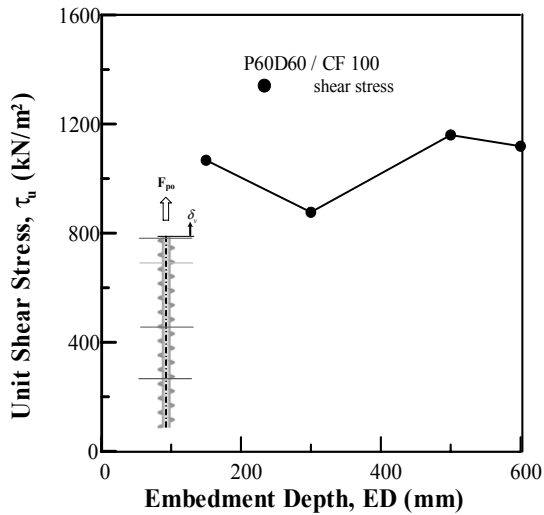
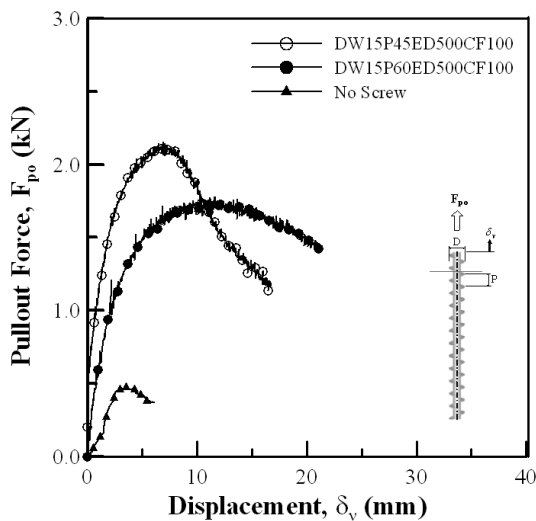


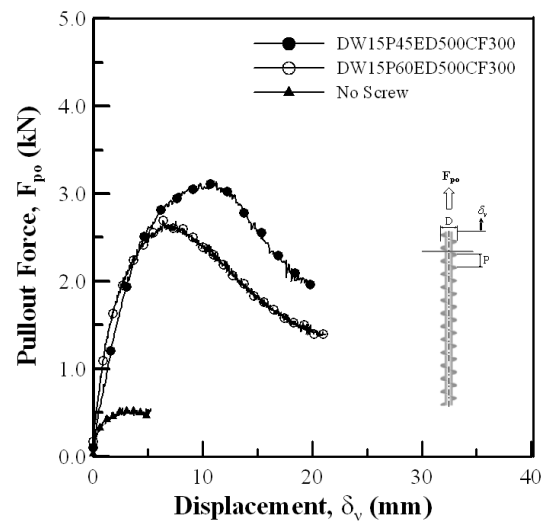
그림 10. 물힘깊이에 따른 단위전단저항력 변화경향

커 파일의 인발 저항력  $F_{po}$ 은 스크류 앵커 파일의 물힘 깊이가 깊어짐에 따라 증가하며, 최대 인발저항력  $F_{po,u}$  또한 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 한편 실험에서 얻어진 최대 인발저항력과 식 (1)을 이용하여 스크류로 인해 형성되는 원통형 구근 주변의 단위전단 저항력(unit shear resistance)  $\tau_u$ 를 역산한 결과 단위 전단력  $\tau_u$ 는 그림 10에서와 같이 약  $850 \sim 1200 \text{ kN/m}^2$ 의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 이 수치는 본 실험에 국한된 결과로서 현장적용을 위해서는 대형실험이 필요할 것으로 판단된다.

$$F_{po,u} = \tau_u \times D^2 \times \pi / 4 \times ED \quad (1)$$



(a)  $CF=100$



(b)  $CF=300$

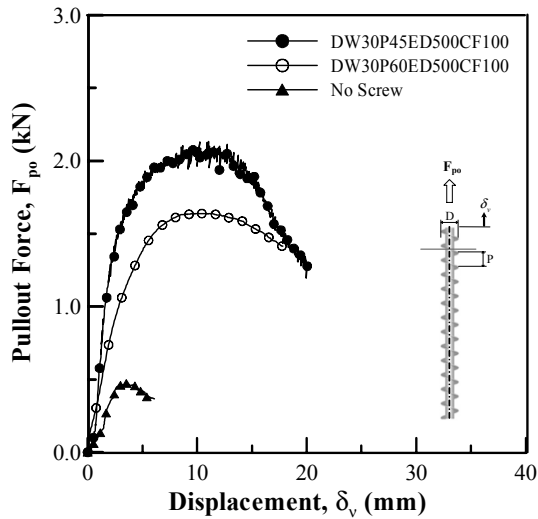
그림 11. 스크류 피치에 따른  $F_{po} - \delta_v$  곡선( $DW=15\text{mm}$ )

여기서,  $F_{po,u}$  = 최대인발저항력,  $\tau_u$  = 단위면적당 전단 응력,  $D$ (스크류 앵커 파일 직경) $=d+2DW$ ,  $ED$  = 스크류 앵커 파일의 물힘깊이를 나타낸다.

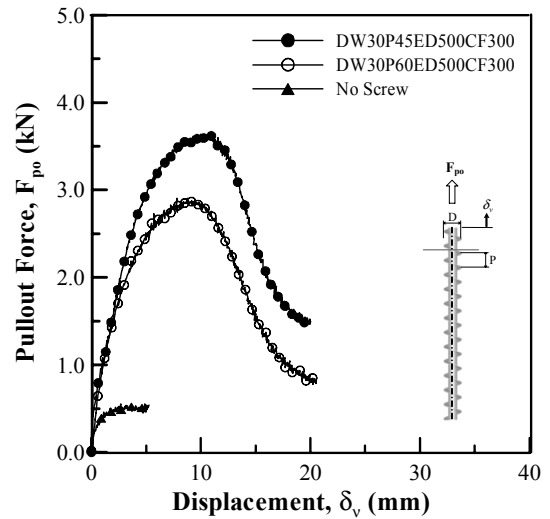
### 3.2 피치간격에 따른 스크류 앵커 파일의 최대인발하중 변화 경향

그림 11~13은 스크류 피치 간격  $P$ 에 따른 인발저항 특성을 보여주고 있다. 여기에서는 스크류 날개 폭  $DW=30\text{mm}$  및  $15\text{mm}$ 에 대해 물힘깊이  $ED$ 를  $500\text{mm}$ 로 고정시키고 스크류 피치를  $45\text{mm}$ 와  $60\text{mm}$ 로 변화시킨 결과를 도시하고 있다. 한편, 지반의 강성도(stiffness)에 따른 변화 경향을 간접적으로 확인하기 위해 지반조성시 층별 다짐 횟수( $CF$ )를 100회 및 300회로 변화시킨 결과도 함께 보여주고 있다. 또한 각각의 스크류 앵커 파일의 인발저항력을 스크류가 없을 경우와 비교하기 위해 스크류가 없는 일반강관, 즉,  $DW=0$ 에 대해서도 실험을 수행하여 비교하였다.

먼저 그림 11과 12는 스크류 날개 폭  $DW=15\text{mm}$  및  $DW=30\text{mm}$ 의 경우에 대한 결과를  $CF=100$  및  $CF=300$ 에 대해 하중-변위( $F_{po} - \delta_v$ ) 곡선의 형태로 보여주고 있다. 이 그림에서는 피치 간격이 감소함에 따라  $F_{po} - \delta_v$  곡선의 기울기가 다소 증가하고 최대인발저항력이 증가하는 경향을 관찰할 수 있다. 그림 13에서는 그림 11과 12에서 결정된 최대인발저항력( $F_{po,max}$ )을 도시하고 있는데 여기서 최대인발저항력은 시험항목별 최대값으

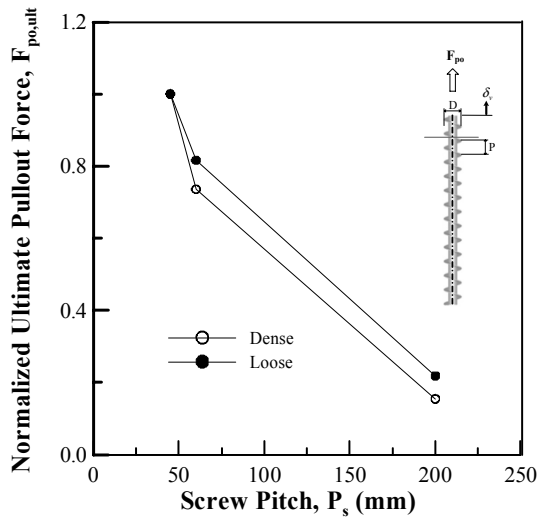


(a)  $CF=100$

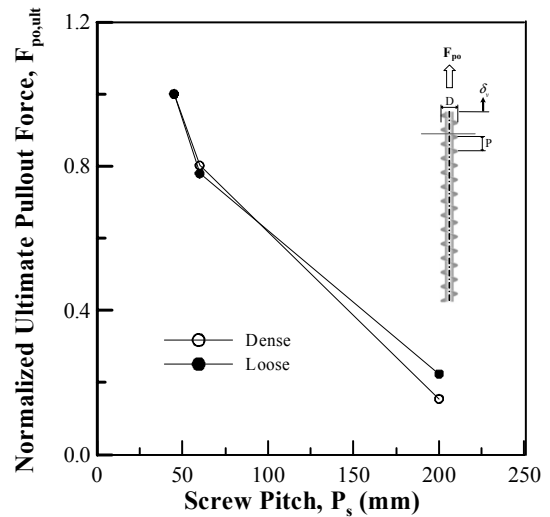


(b)  $CF=300$

그림 12. 스크류 피치에 따른  $F_{po} - \delta_v$  곡선( $DW=30mm$ )



(a)  $DW=15mm$



(b)  $DW=30mm$

그림 13. 스크류 피치에 따른  $F_{po,max}$  변화경향

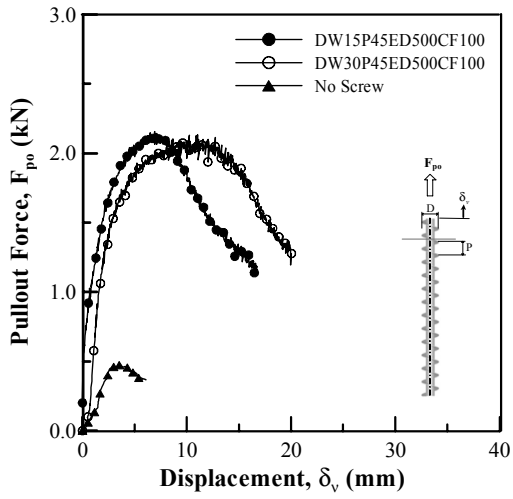
로 정규화하였다. 한편, 스크류가 설치되지 않은 일반 강관의 피치는 강봉자체의 길이인  $L=300mm$ 로 적용할 수도 있으나 횡축이 길어져 표현의 어려움이 있어 임의로  $P=200mm$ 으로 간주하여 표현하였는데 전반적인 경향을 관찰하는 측면에는 별 차이가 없는 것으로 검토 되었다. 여기서 관찰할 수 있는 바와 같이 각각의 실험조건에서의 최대인발저항력  $F_{po,max}$  이 스크류가 설치되지 않은 일반파일에 비해 평균적으로 약 4~5배 정도 증가하는 경향을 보여주고 있으며 피치가  $P=60mm$ 에서  $P=45mm$ 로 감소하면서  $F_{po,max}$ 가 급격히 증가되는 것으로 검토 되었다. 이와 같이 스크류 설치에 따라

인발저항력이 현저히 증가하는 현상을 뚜렷하게 관찰할 수 있었으며 이와 같은 경향은 지반조건 및 스크류 날개 폭( $DW$ )의 직경과 관계없이 거의 동일한 경향을 보이는 것으로 분석되었다.

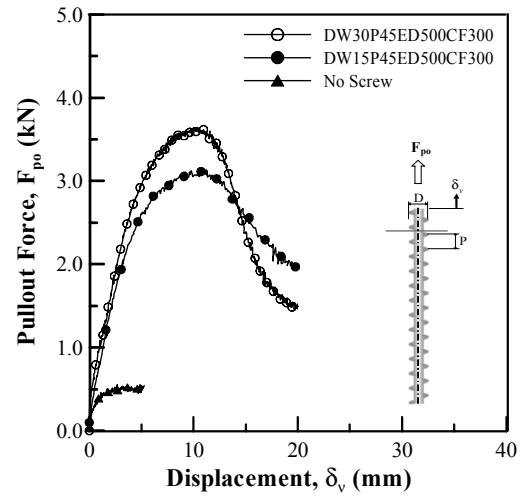
### 3.3 스크류 날개 폭에 따른 스크류 앵커 파일의 최대인발하중 변화 경향

스크류 날개 폭  $DW$ 에 따른 인발저항력 특성이 그림 14~16에 제시되어 있다. 여기에서는 스크류 피치와 지반의 강성도에 따른 변화 경향을 검토하기 위해 물함깊이  $ED$ 를 500mm로 고정시켰다. 먼저 그림 14와 15는



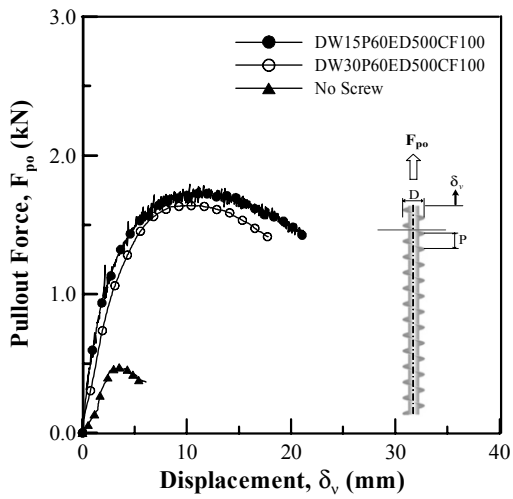


(a)  $CF=100$

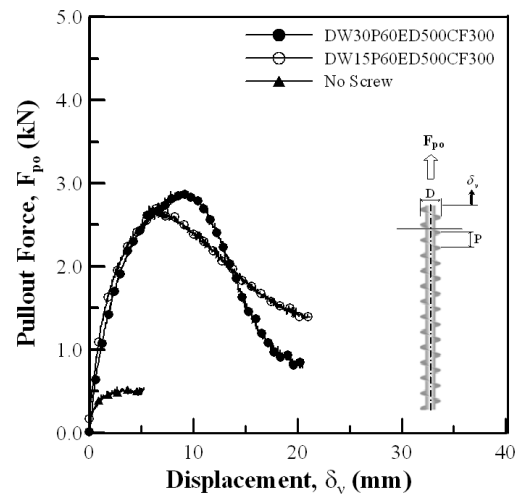


(b)  $CF=300$

그림 14. 스크류 폭에 따른  $F_{po} - \delta_v$  곡선( $P=45mm$ )

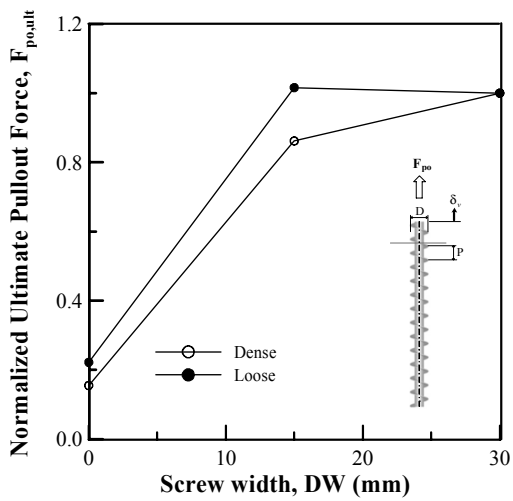


(a)  $CF=100$

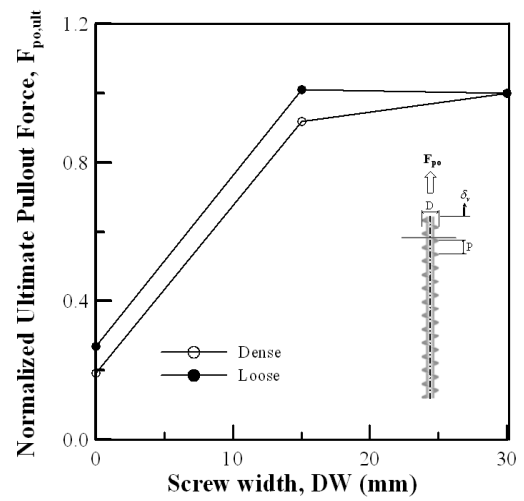


(b)  $CF=300$

그림 15. 스크류 폭에 따른  $F_{po} - \delta_v$  곡선( $P=60mm$ )



(a)  $P=45mm$



(b)  $P=60mm$

그림 16. 스크류 날개 폭에 따른  $F_{po,max}$  변화경향

$P=45mm$ 과  $P=60mm$ 에 대한  $F_{po}-\delta_v$  곡선을  $DW$  및  $CF$ 에 대해 보여주고 있는데 보이는 바와 같이, 피치간격 및 지반 강성도에 관계없이  $DW=15mm$ 와  $DW=30mm$ 의  $F_{po}-\delta_v$  곡선이 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 각 실험조건에 대해서 시험항목별 최대값으로 정규화한 최대인발저항력( $F_{po,max}$ )을 스크류 폭  $DW$ 에 대해 도시하고 있는 그림 16에서 잘 관찰할 수 있는데 보이는 바와 같이 스크류 날개 폭을  $DW=0mm$ 에서  $15mm$ 로 증가시킬 경우  $F_{po,max}$ 가 세배 정도 증가하나 그 이상에서는 스크류 날개 폭을 증가시켜도  $F_{po,max}$ 가 거의 일정한 값을 나타내는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 스크류 앵커 파일의 인발저항력과 스크류 날개 폭의 관계는 선형적인 관계가 아닌 비선형적인 관계를 나타냄을 의미하며 스크류 날개 폭의 효과를 최대로 하는 임계 스크류 날개 폭( $DW_{cr}$ )이 존재함을 암시한다고 하겠다. 이는 스크류 제원의 최적화에서 매우 중요한 시사점이 있으며 이에 관해서는 보다 다양한 조건의 실험 및 현장시험 등 추후 연구를 통해 확인할 필요가 있는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 스크류 앵커 파일 형태의 인장부재를 굴착사면 및 절토사면 보강용으로 적용하는 공법개발의 일환으로 실내 모형실험을 이용하여 스크류 앵커 파일의 인발저항력을 결정하는 스크류의 제원, 피치, 날개 폭 등에 따른 인발저항 특성을 고찰하고 나아가서 스크류 설치 조건과 최대인발저항력과의 상호관계를 분석하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약된다.

- (1) 스크류 앵커 파일 제원 중 피치  $P$ 와 스크류 직경  $D$ 를 모두 고정한 실험조건에서 스크류 앵커 파일의 물힘깊이  $ED$ 에 따른 인발저항력 변화 특성을 고찰한 결과 스크류 앵커 파일의 인발 저항력  $F_{po}$ 은 인발력 작용시 물힘깊이  $ED$ 가 깊어짐에 따라 증가하며, 스크류 앵커 파일의 최대 인장저항력  $F_{po,u}$  또한 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.
- (2) 스크류 앵커 파일의 피치 간격이 감소함에 따라  $F_{po}-\delta_v$  곡선의 기울기가 다소 증가하고 최대인발저항력이 증가하는 경향을 보였으며 최대인발저항력  $F_{po,max}$ 은 스크류가 설치되지 않은 일반파일 에 비해

평균적으로 약 4~5배 증가하는 것으로 나타났으며 스크류 피치가  $60mm$ 에서  $45mm$ 로 감소하면서 급격한  $F_{po,max}$  증가를 보이는 것으로 검토되었다. 한편, 이와 같은 경향은 지반조건이 강성도 및 스크류의 직경과 관계없이 거의 동일한 경향을 보이는 것으로 분석되었다.

- (3) 스크류 날개 폭  $DW$ 에 따른  $F_{po,max}$  변화경향을 검토한 결과 스크류 날개 폭을  $DW=0mm$ (no screw)에서  $15mm$ 로 증가시킬 경우  $F_{po,max}$ 가 세배 정도 증가하나 그 이상에서는 스크류 날개 폭을 증가시켜도  $F_{po,max}$ 가 거의 일정한 값을 나타내는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 스크류 앵커 파일의 인발저항력과 스크류 날개 폭의 관계는 비선형적인 관계를 나타냄을 의미하며 스크류 날개 폭의 효과를 최대로 하는 임계 스크류 날개 폭( $DW_{cr}$ )이 존재함을 암시한다고 하겠다. 이는 스크류 제원의 최적화에서 매우 중요한 시사점이 있으며 보다 다양한 조건의 실험이 필요한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주)이엑스티, (주)현대산업개발, (주)한라건설, (주)씨지이엔씨 연구비 지원과 한국연구재단 일반연구자 지원사업(과제번호 20100008227)에 의한 것이며 연구비 지원에 감사드립니다. 또한 실험을 수행한 신부남군의 노고에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Merifield, R. S. (2011), "Ultimate Uplift Capacity of Multiplate Helical Type Anchors in Clay", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.137, No.7, pp.1090-0241.
2. Merifield, R. S. and Smith C. C. (2010), "The ultimate uplift capacity of multiplate strp anchors in undrained clay", *Computers and Geotechnics*, Vol.37, No.4, pp.504-514.
3. Mitsch, M. P., and Clemence, S. P. (1985), "The uplift capacity of helix anchors in sand: Uplift Behavior of Anchor Foundations in Soil", *Proc., ASCE*, New York, N. Y., pp.26-47
4. Mooney, J. M., Adamczak, S., and Clemence, S. P. (1985), "Uplift capacity of helical anchor in clay and silt: Uplift Behavior of Anchor Foundation in Soil", *Proc., ASCE*, New York, N. Y., pp.48-72
5. Narasimha Rao, S., Prasad, Y. V. S. N. (1993a), "Estimation of uplift capacity of helical anchors in clays", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.119, No.2, pp.352-357.
6. Narasimha Rao, S., Prasad, Y. V. S. N., Shetty, M. D. (1991),

- “The behavior of model screw piles in cohesive soils”, *Soils and Foundations*, Vol.31, No.2, pp.35-50.
7. Narasimha Rao, S., Prasad, Y. V. S. N., Veeresh, C. (1993b), “Behavior of embedded model screw anchors in soft clays”, *Geotechnique*, Vol.43, No.4, pp.605-614.
8. Piletech (1997), “Anchors and Retaining Structures”, <http://www.piletech.co.nz>
9. Schlosser, F. (1991), *Recommendations Clouterre*, 1991 (English Translation), Federal Highway Administration, FHWA-SA-93-026
10. Zhang, D. J. Y. (1999), “Predicting Capacity of Helical Screw Piles in Alberta Soils”, M.S. Thesis, *Dept. of Civil and Environmental Engineering*, University of Alberta.

(접수일자 2010. 11. 22, 심사완료일 2011. 12. 26)