

## 비배수 전단강도에 따른 압입식 경량강재앵커블록의 거동 특성 Characteristics of Behavior of Pressurized light-weight steel Anchor according to undrained shear strength

허 열<sup>1)</sup>, Heo, Yol, 안광국<sup>2)</sup>, Ahn, Kwang-Kuk, 박경수<sup>3)</sup>, Park, Kyoung-Soo, 이용준<sup>4)</sup>, Lee, Yong-Jun, 강홍식<sup>5)</sup>, Kang, Hong Sig

<sup>1)</sup> 충북대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University

<sup>2)</sup> 충북대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University, E-mail: akk@chungbuk.ac.kr

<sup>3)</sup> 포스코건설 R&D센터 토목연구그룹 차장, POSCO E&C R&D Center Civil Research Group

<sup>4)</sup> 포스코건설 R&D센터 토목연구그룹 차장, POSCO E&C R&D Center Civil Research Group

<sup>5)</sup> 충북대학교 대학원 석사과정, Graduate Student, Graduate School, Chungbuk National University

**SYNOPSIS** : In this study, the characteristics of pullout behavior of Pressurized light-weight steel Anchor was investigated through centrifuge model tests considering pull-out angle  $0^\circ$  with changing undrained shear strength(0~1, 2~4, 5~7kPa) of clay. According to the results of tests, the yield pullout load of clay ground was gradually increased up to 30% as undrained shear strength was increased. Therefore, it was known that the yield pullout load was affected by increasing the undrained shear strength, in addition, the pattern of behavior was not changed.

**Key words** : Pressurized light-weight steel Anchor, Undrained shear strength, Yield pullout load

### 1. 서론

최근 해안 및 해안에서 사용되고 있는 친환경적인 부유식 구조물은 다양한 분야에 대하여 활용되고 있으며, 또한 지속적으로 연구 및 개발이 활발하게 진행되고 있다. 특히, 부유식 구조물에 대한 연구 및 개발은 해안 및 해양에 부유되고 있는 부유체인 상부 구조물에 대하여 집중적으로 연구되고 있는 반면 하부구조물에 대해선 기존에 사용되고 있는 계류방식과 계류를 위한 앵커블록기초형식을 고수하고 있는 상황으로 연구 및 개발이 미비하게 진행되고 있는 실정이다.

기존, 부유식 구조물의 하부구조물로 사용되고 있는 앵커블록기초형식은 중력식 앵커블록, 닻가지형 앵커블록, Force embedment 앵커블록로 크게 3가지로 분류되며 중력식앵커블록인 콘크리트앵커블록인 경우 연약지반 보강처리의 경제성 및 매설 깊이가 얕아 계류력의 저감의 단점을 가지며 닻가지형 앵커블록인 경우는 계류력을 위한 예인거리 확보 및 매설 깊이가 얕아 계류력의 저감 및 그 효율성이 떨어지는 단점을 가지고 있으며 석션앵커블록인 경우 시공성이 힘들며 장비 및 시공비가 고가이므로 경제성이 저감되는 단점을 가지고 있어 앵커블록의 설치 시 지반조건 및 경제성과 시공성을 고려하여 앵커블록기초형식을 선택하여야 한다.

본 연구에서 제시한 압입식 경량강재앵커블록은 기존의 앵커블록기초형식의 단점들을 보완한 새로운 앵커기초형식으로 압입식 경량강재앵커블록의 활용성을 검토하고자 원심모형실험기를 이용하여 압입식 경량강재앵커블록의 인발거동 특성을 파악하여 활용성을 검토하였다.

## 2. 앵커 계류 시스템의 특징

### 2.1 중력식 앵커

중력식 앵커는 앵커가 가지고 있는 자체중량과 미끄러짐에 대한 마찰저항 및 수직력으로 인한 앵커 밑면의 흡입력으로 파괴력(파지 용량)을 확보하는 가장 단순한 형태의 앵커이다.

### 2.2 예인매설식 앵커

예인매설식 앵커는 수평방향의 예인동안에 앵커의 플루우크(fluke)가 해저지반에 관입되어 파괴력을 확보하는 앵커이다.

### 2.3 강제매설식 앵커

강제매설식 앵커는 앵커에 램과 해머 등의 보조 장비와 장약 등을 이용하여 강제적으로 충분한 깊이 만큼 해저지반에 관입시켜 수평 및 수직방향의 파괴력을 확보하는 특수한 형태의 앵커이다. 강제매설식 앵커의 대표적인 앵커는 Driven plate anchor와 Suction Anchor로서 기존의 Deadweight나 Drag Anchor가 자중으로 지중에 관입되기 때문에 매설깊이가 얕아 충분한 계류력을 발휘하지 못하는 단점을 보완하고자 개발된 것이다.

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 시료의 물성치

본 연구에서 모형실험 시 지반형성 재료로는 남해안 지역에 걸쳐 널리 분포하고 있는 점성토를 불순물을 제거한 후 재 성형하여 사용하였으며, 표 1은 실험에 사용된 대상 시료에 대한 물성시험결과를 나타낸 것이다.

표 1. 실험에 사용된 점토의 물성치

Physical properties	Quantity
Specific gravity , Gs	2.637
Natural water content, Wn(%)	93.61
Percent passing through the No.200 sieve(%)	78.3
Liquid limit, LL(%)	30.40
Plasticity index, PI(%)	54.82
USCS(Unified soil Classification System)	CH

### 3.2 실험장치 및 기구

#### 3.2.1 원심모형시험기

지반공학에 있어서 원형구조물에 대한 거동을 규명하기 위해서 실물크기의 원형시험이 요구되나 일반적으로 규모가 매우 크기 때문에 비용이나 시간, 계측 면에서 어려움이 상당하여 제한적이다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 간편하고 경제적인 축소 모형을 사용할 수 있다. 그러나, 기존의 축소 모형시험은 토립자의 자중에 의한 응력의 효과가 무시되거나 상사법칙이 고려되지 않는 상태에서 시험이 수행되므로 그 결과의 신뢰도 또는 실물구조물에 대한 적용성에 대하여 문제점이 제기되고 있다. 이와 같은 원형과 모형간의 상사성을 유지하기 위하여 중력장을 이용한 원심모형 실험을 실시하고 있다.

원심모형시험기는 모형의 가속에 의해 현장 응력상태를 재현시킬 수 있는 유용한 장비로 원형구조물의 모델링, 새로운 현상의 조사, 매개변수적 연구, 파괴거동 및 수치모델의 검증 등에 활용된다. 그러나, 복잡한 응력경로 및 시공과정의 재현이 어려우며, 소형의 모형구조물 설치에 따라 모형지반의 입자크기가 미치는 영향을 고려하기 어렵다는 문제점이 있다

본 연구에서 사용한 원심모형시험기의 최대원심가속도는 40g-level, 최대용량은 25g·ton이고, 중심축에서 힌지까지의 거리가 920mm, 스윙바스켓 저면까지의 거리는 1280mm로 제작되었다.

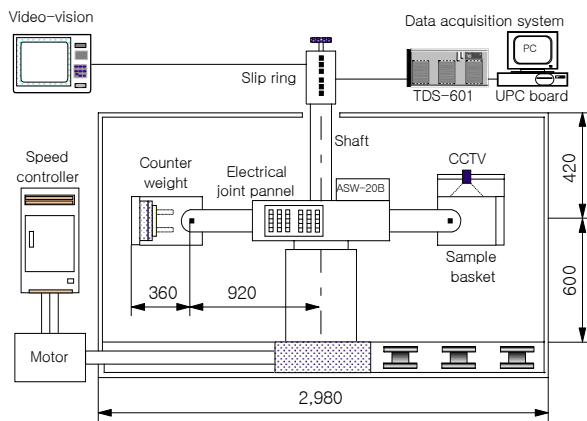


그림 1. 원심모형시험기의 개요도(unit:mm)

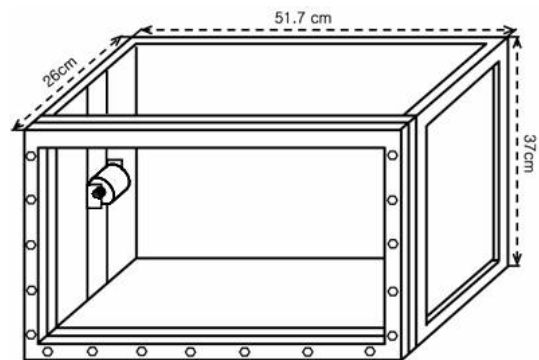


그림 2. 모형토조의 개요도(unit:mm)

원심모형시험기는 그림 1과 같이 기본 구조를 이루는 shaft와 boom, 2개의 swing basket, slip ring으로 이루어져 있으며, 주요 장치로 구동장치, 자료 획득장치, 속도제어장치, 모니터링 장치로 구성되어 있다.

#### 3.2.2 모형토조

2차원 평면변형률 조건을 모사하기 위한 모형토조는 그림 2와 같이 3면과 밑면은 2mm 두께의 스테인레스로 제작되었고, 실험 중 측방을 관찰할 수 있도록 모형토조의 전면은 20mm 두께의 투명아크릴 판으로 제작하였다. 본 실험에서 사용한 모형토조의 내부 크기는 가로 517mm, 세로 260mm, 높이 370mm이다. 모형토조 측면에는 모형앵커블록에 인발하중을 적용하기 위하여 도르래를 설치하였다.

### 3.2.3 계측장치

본 실험에서는 부유식앵커의 변위를 측정하기 위하여 LVDT를 사용하였으며, 이 LVDT의 최대 측정 길이는 30mm이고, 0.01mm까지 측정이 가능하다. 로드셀을 사용하여 지반에 안치된 축소모형경량강재앵커블록의 인발하중을 측정하였으며, 여기서 사용한 로드셀의 측정용량은 500kgf이며, 약 0.1kgf의 정도까지 측정할 수 있다. 인발모터는 회전속도가 1450rpm인 모터를 사용하였으며, 회전속도가 빠른 관계로 회전속도를 감속할 수 있는 감속기를 장착하여 인발모터의 회전속도를 1450rpm에서 0.97rpm으로 낮게 설정하였다. 본 실험에서 계측기로부터 측정 자료를 기록하기 위하여 TDS 601 자료획득장치를 사용하였다.

### 3.3 실험내용 및 방법

본 실험에서는 표 2와 같이 비배수전단강도(0~1, 2~4, 5~7kPa)를 변화시키면서 중력수준40g-level으로 인발각도 0°의 조건으로 3회의 원심모형실험을 수행하였다. 모형실험은 우선 동일한 모형지반의 조성을 위하여 60G의 중력수준으로 각각의 비배수전단강도가 발휘될 때까지 자중압밀을 실시하였다. 지반 조성 이후 그림 3과 같이 지반에 축소모형경량강재앵커블록을 장착하였으며 인발하중을 적용시키기 위하여 인발모터와 축소모형경량강재앵커블록에 와이어를 연결하였고 와이어와 인발모터사이에 로드셀을 설치하여 인발하중을 계측하였다. 또한 모델박스 좌측벽면에 롤러를 설치하여 수평변위를 계측할 수 있게 하였다. 설치완료 후 LVDT를 정해진 위치에 거치하고 원심모형시험기의 스윙바스켓에 탑재하여 원심모형실험을 수행하였다.

표 2. 원심모형실험 조건

중력수준	인발각도	비배수 전단강도
40g-level	0°	0~1kPa
		2~4kPa
		5~7kPa

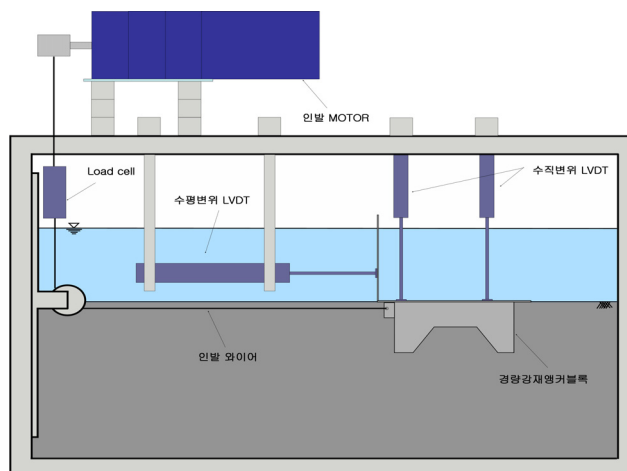


그림 3. 모형지반 단면의 개요

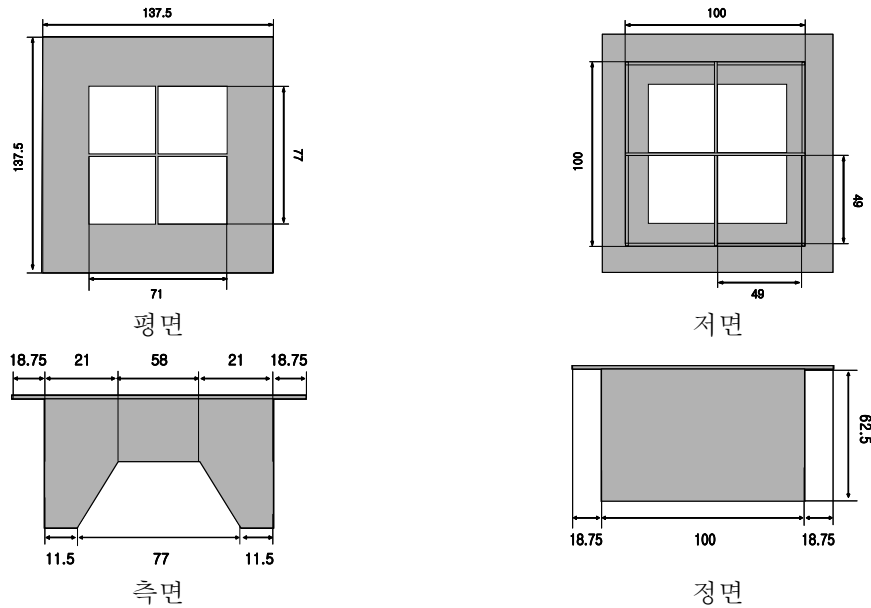


그림 4. 모형경량강재앵커블록의 평면도(unit:mm)

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 하중-변위 관계

각 실험에서 비배수전단강도 증가에 따라 인발하중과 변위를 측정하였으며, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5는 비배수전단강도 증가에 따라 인발하중-변위 곡선을 나타낸 것으로 비배수전단강도가 증가할수록 모형경량강재앵커의 인발하중이 증가한다는 것을 알 수 있고, 전체적으로 거동양상이 유사함을 보이고 있다. 또한 지반의 변위가 발생한 시점을 항복인발하중으로 분석하였으며, 항복인발하중이 도달하는 지점부터는 지반의 소성변형으로 인하여 인발하중-변위 곡선이 완만하게 증가하는 경향을 보이고 있다.

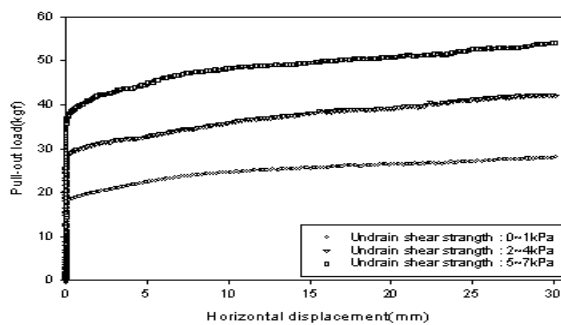


그림 5. 비배수전단강도의 변화에 따른 하중-변위 곡선

### 4.2 항복인발하중 특성

그림 6은 모형경량강재앵커블록의 인발실험을 수행한 결과 중력수준이 40g-level이며 인발각도가 0°인 경우, 비배수전단강도의 증가에 따른 각각의 항복인발하중에 대한 곡선을 나타낸 것으로 비배수전단강

도가 증가함에 따라 항복인발하중이 증가하고 이에 따라 지반저항력이 크게 나타났다. 표 3은 비배수전단강도의 증가에 따른 항복인발하중과 상사에 따른 현장인발하중을 나타낸 것이다.

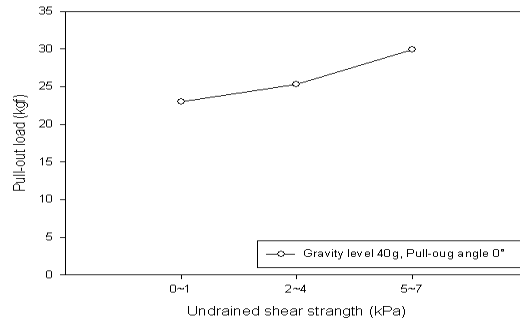


그림 6. 비배수전단강도의 변화에 따른 항복인발하중 비교 곡선

표 3. 비배수전단강도 증가에 따른 항복인발하중

비배수 전단강도(kPa)	항복인발하중	
	모형실험(kgf)	상사에 따른 현장인발하중(tf)
0~1	23.0	36.8
2~4	25.3	40.5
5~7	29.9	47.8

## 5. 결론

본 연구에서는 연약지반 계류를 위한 압입식 경량강재앵커블록의 개발 및 활용기술연구로 해상점토의 비배수전단강도(0~1, 2~4, 5~7kPa)를 변화시키면서 원심모형 실험을 실시하였으며. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모형실험결과 비배수전단강도가 증가할수록 항복인발하중은 점진적으로 증가하였으며, 비배수전단강도가 0~1kPa인 경우에 비해 5~7kPa로 증가함에 따라 항복인발하중은 10~30%정도 크게 평가되었다.
2. 비배수전단강도의 증가에 따라 항복인발하중에는 영향을 받으나 거동양상에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 향후 다양한 변수에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 권기철, 홍남식, 송무효, 최창규 (2003), “천해역 점성토 지반에 적합한 오타방지막 기초앵커”, **한국해양공학회지**, 제17권, 제3호, pp7~12
2. Bang, S., and Cho, Y. (2002) Ultimate Horizontal Loading Capacity of Suction Piles, **Int Journal of Offshore and Polar Eng**, Vol 12, pp 56-63
3. Bang, S., Boonyong, S. and Cho, Y. (2004) Field Installation and Pullout Tests of Embedment Suction Anchor, **Journal of TRB Record**, Submitted
4. Taylor, R. (1987). Single and Tandem Anchor Performance of the New Navy Mooring Anchor: The Navmoor Anchor, Technical Note N-1774, **Naval Civil Engineering Laboratory**, Port Hueneme, CA, USA