

# 석션기초 Onshore Test 수행 사례



이규열

현대건설(주)  
연구개발본부 대리  
(markmac@hdec.co.kr)



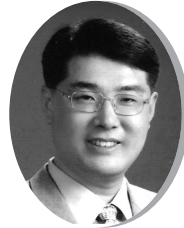
윤준웅

현대건설(주)  
연구개발본부 과장  
(juyoun@hdec.co.kr)



김동준

현대건설(주)  
연구개발본부 차장  
(djkim@hdec.co.kr)



지성현

현대건설(주)  
연구개발본부 부장  
(shjee@hdec.co.kr)



최재형

현대건설(주)  
연구개발본부 부장  
(jhchoi@hdec.co.kr)

## 1. 서론

석션기초 공법은 해양 구조물의 기초 또는 앵커로 널리 알려져 있다. 석션기초는 뒤집어진 버켓 모양의 기초구조물을 해저 지반에 내려놓은 후 내부의 물을 배수하여 내/외부 압력차로 지반에 관입 설치하는 기초를 말하며, 스커트기초나 버켓기초라고 불리기도 한다.

석션기초는 시공을 위한 대형 굴착 및 항타장비가 불필요하여 경제성이 우수하며, 상판 단면적에 비례하여 관입력이 크게 발생되므로 대형 기초설치에 유리하여 Oil & Gas 분야의 고정식 대형 Platform 기초 및 부유체 계류용 Anchor, 심해저 Subsea 장비의 기초로서 주로 활용되고 있으며, 해상풍력기초에 적용하

기 위한 기술개발이 수행되고 있다.

최근에는 심해저 해양플랜트용 기초에 활용하기 위하여 기존 모노포드 버켓기초에 매트가 결합된 복합형 버켓기초에 대한 연구가 수행되고 있다. 원심모형 실험을 통하여 다수의 버켓기초와 매트가 결합된 경우의 지지력에 대한 연구가 수행되었으며, 수치 모델링을 이용하여 지지력 거동에 대한 연구가 수행된 사례가 있다.

본 연구에서는 복합형 버켓기초의 성능 검증을 위하여 동일한 무게의 복합형 및 모노포드 버켓기초를 대상으로 수치해석과 육상실험을 수행하여 지지력 거동을 비교, 평가하였다. 이를 통해 복합형 기초의 지지력 성능 증가를 확인하였고, 수치해석과 현장실험이 동시에 병행된 연구사례에 대한 소개를 하고자 한다.

## 2. Onshore Test 수행

### 2.1 개요

Onshore test는 해상실험에 비하여 외부하중(조류 등)의 영향이 적어 실험데이터의 신뢰성이 높으며, 지반물성평가가 용이하고, 다양한 하중 재하 및 반복 실험의 수행이 용이한 장점을 가진다.


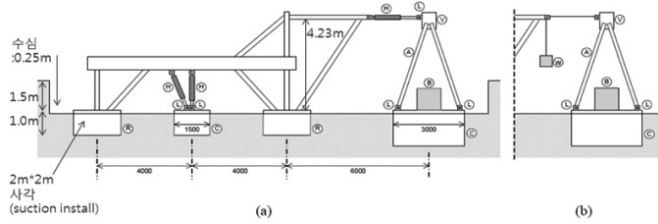
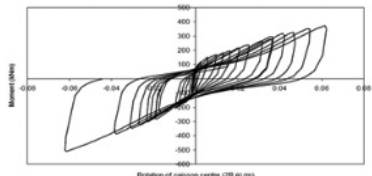
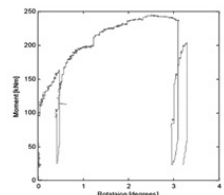
실험 수행 목적은 복합형, 일반형 석션 버켓기초의 현장 석션 관입 설치와 재하실험을 수행하여 지지력 성능을 평가하고 복합형 석션 버켓기초의 성능 향상을 검증하는 것이다.

현장 실험으로 평가한 지지력을 수치해석으로 평가한 지지력과 비교하고, 일반형 석션 버켓기초의 경우 관련 기준 및 선행연구에서 제시하고 있는 지지력 평가방법을 이용한 결과와도 비교함으로써 지지력 평가 방법의 적용성을 검증하고자 한다.

### 2.2 선행사례 검토

석션버켓기초의 관입설치 및 지지력 평가를 위한 대표적인 현장축소모형실험 수행사례는 표 1과 같으며, 이들 사례를 참조하여 부지조성, 재하 및 계측 등 세부 실험계획을 수립하였다.

표 1. Onshore test 선행사례 검토

수행기관	Oxford Univ, Furgo, Garrad Hassan 등	Aalborg Univ, MBD Offshore Power A/S
버켓제원(m)	모노포드(D/L=3/1.5), 트라이포드(D/L=1.5/1)	모노포드 (D/L=2/2)
지반조건	점토 / 사질토	사질토
하중재하	유압잭 / SEMV	유압잭
계측	clevis pin load cell / DWT / accelerometer / 간극수압계	load cell / DWT / 간극수압계
시험종류	관입/인발, 복합하중(H+M), 수직하중 반복하중(Low/Large ampl.), 동적하중	관입/인발, 복합하중(H+M)
시험구성	 	
시험결과 (예)	 <p>Figure 12: Moment-rotation curve for loading of 3.0m caissons, test LB_Jack_3.0_1</p>	

### 2.3 실험 현장

실험현장은 지하수위가 지표면에서 약 1m 이내에 위치하여 석션 관입 설치를 위한 트렌치 조성이 용이하고 지반조건 및 접근성 등 실험 여건이 우수한 곳이다.

지반조사 결과 50cm 두께의 매립토층 하부에 실트질 모래층이 약 7.5m 두께로 분포하고, 그 하부에 모래질 실트층이 7m 두께 이상으로 분포하는 것으로 나타났다.

### 2.4 실험모형 제원

모래질 지반에서 버켓기초의 관입성을 감안하여 일반형 버켓기초는 직경(D) 대 스킨트길이(L) 비(장경비, L/D)가 0.5~1.0 범위를 가지도록 하였으며, 일반형 및 복합형 버켓기초의 제원을 변경하며 수치해석을 통하여 지지력을 평가하였다.

모형 상판 및 스킨트 두께는 해당 부재의 직경 대비

동일한 비율을 갖도록 적용하였으며, 일반형과 복합형 버켓기초가 동일한 재료량을 갖도록 설계하였다. (표 2 및 그림 1)

### 2.5 석션기초 설치

재하시험 수행을 위해 일반형 및 복합형 버켓기초 사이에 반력용 석션 기초 1기(D 1.8m, L 2.4m)를 설치하였으며, 트렌치 굴착은 미굴착 지반에 의한 실험 모형의 영향 거리를 감안하여 16m×8m로 구성하였다. 그림 3은 현장에서 실험부지 구성과 석션기초를 설치하는 모습이다.

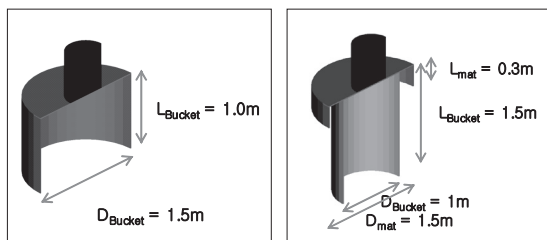
### 2.6 재하시험 수행

하중재하는 석션기초 상단 1.2m 지점에 유압잭을 이용하여 단계 재하하였으며, 로드셀을 사용하여 재하하중을 측정하였다. 기동용 강관에 경사계관을 설치하고 하중재하 가력지점 90° 방향에 LVDT를 설치

표 2. 일반형 및 복합형 버켓기초의 제원

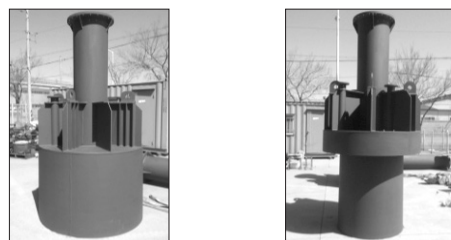
Type	(inner) Bucket		Mat		Weight (kgf)
	Dbucket(m)	Lbucket(m)	Dmat(m)	Lmat(m)	
일반형	1.55	1.035	-		1,570
복합형	1.02	1.5	1.55	0.3	1,530

\* D: 외경, L: 스킨트 돌출길이(상판 하단-스킨트 팁)



(a) 일반형 (b) 복합형

그림 1. 일반형 및 복합형 버켓기초의 제원



(a) 일반형 (b) 복합형

그림 2. 일반형 및 복합형 버켓기초 실제 모습

석션기초 Onshore Test 수행 사례



트렌치 조성

수위 조절

일반형 기초 설치

복합형 기초 설치

반력기초 설치

그림 3. 실험부지 조성 및 석션기초 설치



그림 4. 석션기초 설치 완료 모습

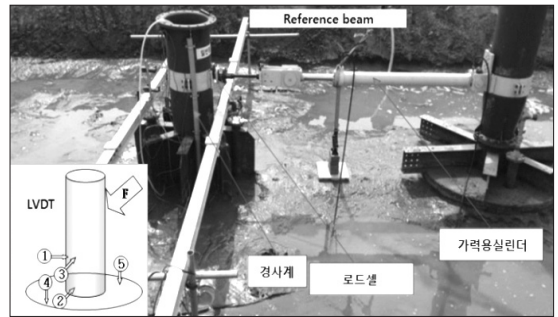


그림 6. 재하 및 계측 장치설치모습

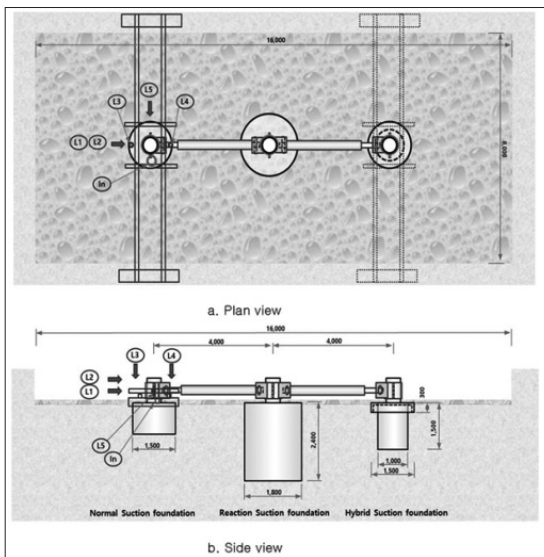


그림 5. 실험장치 배치도

하여 가력시 기동용 강관의 경사각과 좌우 변위를 측정하였다.

수평재하시험은 ASTM D3966의 반력말뚝을 이용한 시험방법을 따르며 동규정 6.1항의 표준재하방법에 준하여 시험을 수행하였다.

일반형 및 복합형 기초의 재하실험 수행 및 실험 후 지반변형 모습을 각각 그림 7, 8에 나타냈다. 2가지 기초 모두 모멘트-수평 조합하중 재하에 따라 회전이 발생하며 기초 배면이 들리면서 인발거동을 보이는 것을 확인하였다. 최종 실험 종료 후 펌프를 이용하여 버켓 기초 내부에 양의 압력을 발생시켜 모형을 인발, 회수하였다.



(a) 재하실험

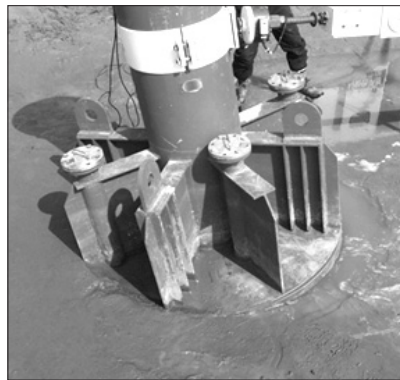


(b) 실험 후 지반 변형 모습

그림 7. 일반형 기초 재하실험



(a) 재하실험



(b) 실험 후 지반 변형 모습

그림 8. 복합형 기초 재하실험

## 2.7 실험 결과 분석

그림 9는 하중재하에 따른 모멘트-회전각 결과 그래프이다. 단계별로 하중재하 후 변위가 안정화 될 때까지 기다린 후 다음 단계 하중을 재하 하였으며, 안정화 단계에서의 변위 및 회전각 측정값을 결과정리에 이용하였다.

결과그래프에서 제하/재재하시의 탄성계수 값이 재하시의 탄성계수보다 큰것을 알 수 있으며 재재하시 초기 재하의 back-bone curve를 따라 가는 것을 확

인 할 수 있다.

현장실험 결과와 수치해석 수행결과 비교시 현장실험 결과값이 수치해석결과에 비하여 지지력이 과소 평가되어 있으나, 지반물성의 불균질성 및 수치해석에 적용된 지반물성 평가의 정확성을 감안할 때 비교적 유사한 결과를 얻은 것으로 판단된다.

현장실험 및 수치해석 결과 모두 복합형 기초의 지지능이 일반형기초에 비하여 우수한 것을 알 수 있으며, 회전각이 증가함에 따라 복합형 기초의 지지능이 보다 우수하게 나타났다.

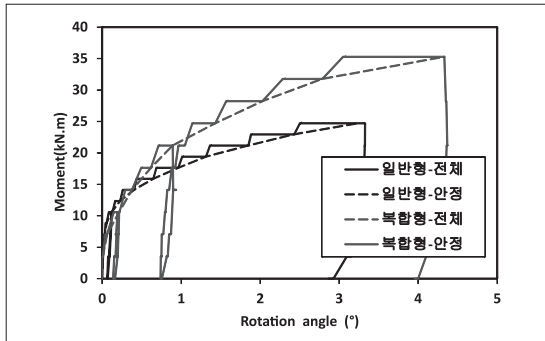


그림 9. 모멘트-회전각 관계

일반형 기초와 복합형 기초의 항복지지력을 비교하기 위해 tangent-intersection method를 사용하여 수치해석과 현장실험결과로부터 항복지지력( $H_y$ )을 평가하였다. 모멘트-회전각 곡선의 초기 및 후반 직선부 접선의 교점으로 평가하였으며, 일반형 및 복합형 기초 모두 초기 직선부는 회전각  $0\sim 0.1^\circ$  범위, 후반 직선부는  $2\sim 4^\circ$  범위를 적용하였다. 산출된 항복지지력은 표 3에 비교하였다. 현장실험의 경우 복합형 기초의 항복지지력이 일반형 기초에 비하여 40% 증가하는 것으로 나타났으며, 수치해석을 통한 지지력 증가 비율 57%에 비하여 다소 작으나, 복합형 버켓기초의 지지력 증가를 확인할 수 있었다.

### 3. 결론

본 실험에서는 수치해석과 현장실험을 통하여 지지력 평가방법의 적정성과 복합형 석션기초의 지지력 증

가율을 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 수평지지력을 평가한 결과 복합형 기초의 항복 지지력이 일반형 기초에 비해 40~57% 증가하였다. 따라서 복합형 버켓기초가 모멘트 및 수평 조합하중 지지력 성능을 증대시키기 위한 방법이 될 수 있음을 확인하였다.
- (2) 수치해석의 경우 복합형이 일반형에 비해 57%, 현장실험의 경우 40% 증가하는 것으로 나타났다. 현장실험 결과가 수치해석 결과보다 낮은 것은 대표지반 물성 산정의 정확성과 지반물성의 불균질성 때문으로 판단되며 수치해석과 현장실험 결과 비교시 이에 대한 고려가 필요할 것이다.

향후 석션 버켓기초의 관입성능 평가 및 지지력 향상을 위한 연구를 통하여 심해저 대상지반에 석션 버켓기초를 적용할 수 있는 기술을 확보하고자 한다. 이를 위해 3차원 수치해석기법과 원심모형실험, Onshore와 Nearshore에서의 현장실험을 통해 설치 및 시공관리 기술을 구축할 예정이다.

### 참고 문헌

1. Achmus, M., Akdag, C.T., and Thieken, K. (2013). "Load-bearing behavior of suction bucket foundations in sand." Applied Ocean Research, 43, pp.157-165.
2. Bienen, B., Gaudin, C., Cassidy, M. J., Rausch, L., Purwana, O. A., and Krisdani, H. (2012). "Numerical modelling of a hybrid skirted foundation under combined loading."

표 3. 일반형 및 복합형 지지력 결과 비교

수평하중	일반형		복합형		증가율 [⑥-⑤]/⑤
	$\theta_y$ (deg)	$H_y$ (kN) ⑤	$\theta_y$ (deg)	$H_y$ (kN) ⑥	
수치해석	0.80	17.6	0.98	27.6	57%
현장실험	0.82	14.0	1.26	19.6	40%

Computers and Geotechnics, 45, 127-139.

3. Houlisby, G. T., Kelly, R. B., Huxtable, J. & Byrne, B. W. (2006). "Field trials of suction caissons in sand for offshore wind turbine foundations." Geotechnique 56, No. 1, 3-10

4. Larsen, K. A., Ibsen, L. B., and Barari, A. (2013). "Modified expression for the failure criterion of bucket foundations

subjected to combined loading." Canadian Geotechnical Journal, 50(12), pp.1250-1259.

5. Zhu, B., Kong, D. Q., Chen, R. P., Kong, L. G., and Chen, Y. M. (2011). "Installation and lateral loading tests of suction caissons in silt." Canadian Geotechnical Journal, 48(7), pp.1070-1084.

## (사)한국지반공학회 동남권 지부 창립기념식 및 초청 강좌 안내

- 장소 부경대학교 대연캠퍼스 장보고관 리더십홀
- 일시 2016년 11월 23일(수) 14:30 ~ 18:30
- 대상 (사)한국지반공학회 회원, 동남권 토목공학전공자

시간	식순	행사내용
14:30 ~ 15:00	등록	
15:00 ~ 16:00	개회인사	사회자 : 홍석우 교수(동의대) - 국민의례
	개회사	
	개회사 경위 설명	- 정성교 동남권지부창립준비위원장(동아대)
	초대 지부장 선출	
	지부장 수락사	- 정진호 지부장(부경대)
	축사	- 한상숙 원로 : 전 부산공업대학교 총장 - 최용규 교수 : 한국지반공학회 회장 - 임종철 교수 : 대한토목학회 부·울·경지회 회장 - 권준안 본부장 : 부산광역시 건설본부장 - 강사 소개 및 인사 (정진호 지부장)
16:00 ~ 16:40	강좌 I	- 김진만 교수(부산대) / 한반도 지진위험성과 구조물 내진대책
16:40 ~ 17:00	coffee break	
17:00 ~ 17:40	강좌 II	- 김윤태 교수(부경대) / 산사태 민감도 지수와 취약성 평가
17:40 ~ 18:20	강좌 III	- 정두희 교수(목포해양대학교) / 섬유보강 시멘트 혼합토의 휨성능 평가
18:20 ~ 18:30	사진촬영, 폐회	
18:30 ~	만찬	

- 문의 부경대학교 정진호교수(geojh@pknu.ac.kr) / 동의대학교 홍석우교수(hongswoo@deu.ac.kr)