한국지반공학회논문집 제30권 11호 2014년 11월 pp. 61 ~ 69
JOURNAL OF THE KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY
Vol.30, No.11, November 2014 pp. 61 ~ 69

ISSN 1229-2427 (Print)
ISSN 2288-646X (Online)
http://dx.doi.org/10.7843/kgs.2014.30.11.61

모래지반에 설치된 병렬식 그룹석션앵커의 인발하중에 대한 수치해석 연구

Numerical Analysis of Group Suction Anchor of Parallel Arrangement Installed in Sand Subjected to Pullout Load

김 수 린[1] Kim, Surin　　추 연 욱[2] Choo, Yun Wook
권 오 순[3] Kwon, Osoon　　김 동 수[4] Kim, Dong-Soo

Abstract

In this study, the performance of group suction anchors installed in sand and subjected to pullout loading was investigated by numerical analysis. The group suction anchors consist of two or three units rigidly connected to each other in parallel array and the pullout resistances were compared with that of a single anchor. Parametric study was performed using numerical models to study the effect of the physical conditions of the group anchor. The parameters include the skirt length to diameter ratio of a unit suction anchor, the pad-eye location, inclination of loading and the spacing between unit suction anchors. The analysis shows that the ratios of the pullout capacity of double suction anchor and triple suction anchor to that of single anchor are 1.7 and 2.4, respectively. The ratio increases with the increase in the spacing between the unit anchors. The other parameters such as the skirt length to the diameter ratio, the location of the pad-eye and the loading inclination have negligible effect on the ratio of pullout resistances of the group anchor to the single anchor.

요 지

본 연구에서는 수치해석을 이용하여 모래지반에 설치된 병렬식 그룹석션앵커의 인발하중에 대한 거동을 분석하였다. 단일형과 병렬식 그룹석션 앵커에 대한 수치 모델을 구성하고 인발하중을 재하하여 하중재하점의 위치, 길이/직경비, 하중경사 및 단위앵커간 간격에 따른 그룹형 석션앵커의 인발지지력에 대한 영향을 연구하였다. 더블형과 트리플 그룹앵커의 인발지지력은 단일앵커의 인발지지력 대비 1.7배와 2.4배로 나타났고, 설치간격이 증가함에 따라 그 증가율은 증가하였다. 하중재하점, 하중경사, 단위앵커의 형상비의 차이는 그룹앵커의 인발저항력 증가비에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Keywords : Suction anchor, Pullout load, Ultimate capacity, Numerical analysis

1 정회원, 한국과학기술원, 건설및환경공학과 박사과정 (Member, Student Member, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engrg., KAIST)
2 정회원, 국립공주대학교 건설환경공학부 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Kongju National Univ., Tel: +82-41-521-9314, Fax: +82-41-568-0287, ywchoo@kongju.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)
3 정회원, 한국해양과학기술원 연안공학연구본부 책임연구원 (Member, Principal Researcher, Coastal & Environmental Engrg. Division, Korea Institute of Ocean and Technology)
4 정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., KAIST)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2015년 5월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

Copyright © 2014 by the Korean Geotechnical Society
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

석션앵커는 상판이 막혀 있는 원통형 실린더 형상의 구조물로서 해저 지반에 설치하여 부유식 해상구조물의 계류를 위한 앵커로 사용된다. 석션앵커는 자중에 의해 해저지반에 관입되면서 선단부가 막히고, 상판에 설치되어 있는 밸브를 통하여 앵커 내부의 물을 뽑아내면 내·외부에 수압차이가 발생하여 앵커가 해저지반에 관입되는데, 이러한 시공 원리로 인하여 '석션앵커'로 불리며, FPSO(Floating Production storage and offloading)와 같은 부유식 해저석유자원채취선의 계류를 위해 널리 사용되고 있다(Tjelta, 2001; Colliate et al., 2002; Randolph and House 2002; Cho and Bang 2002; Aubeny and Murff 2003; Anderson et al., 2005). 최근 인공섬, 부유식 풍력발전 플랫폼과 같은 인프라시설들을 연안에 설치하기 위한 연구가 진행 되고 있어, 석션앵커의 효율성 및 경제성을 고려한 형식 연구가 요구되고 있다.

석션앵커는 단일형 또는 다양한 배치의 그룹 형태로 적용할 수 있는데, 단일 대구경의 석션앵커는 제작과 운반 그리고 체인과 같은 부대장비의 대형화 등, 현장 적용에는 어려움이 수반되므로, 충분한 지지력을 확보하기 위해 작은 직경의 석션앵커를 그룹으로 조합하여 적용하는 경우가 많다. 그룹형 석션앵커는 클러스터(cluster pile)형 또는 Tripod/Tetrapod라는 이름으로 제안되어 북해 Snorre TLP(Tension Leg Platform) 플랫폼을 정착하기 위해 최초로 적용된 바 있는데, Dyvik et al.(1993)과 Anderson et al.(1993)의 연구에서는 4개의 석션앵커를 정사각형으로 맞붙여 제작한 그룹앵커를 점토지반에 설치하여 지지력을 연구하였다. TLP 계류형식의 하중형태를 모사하여, 인발하중이 주로 수직방향으로 석션앵커 상판에 작용하였다. 또한, 해양환경하중으로 인한 계류선의 수평적인 흔들림으로 인하여 인발하중이 경사조건으로 작용되는 경우에 대한 파괴메커니즘을 분석하였다. 이외에도 Gulf of Tailand의 Bualuang Field와 서아프리카 Equatorial Guinea의 Ceiba Field 필드에 적용된 사례가 있다(SPT offshore, 2014). 3개의 석션앵커를 정삼각형으로 맞붙어 있는 배치로 만든 그룹으로 점토지반에 적용되었다. 국내에서는 Lee et al.(2012)과 Lee et al.(2013)에 의해 부유식 해상풍력발전기 지지를 위한 그룹석션앵커가 연구된 바 있다. 이 연구에서는 점토와 모래지반에 설치된 3×3열 배치의 그룹석션앵커로 콘크리트 파일캡으로 연결한 그룹형 앵커가 파일캡에 하중이 작용하는 경우를 연구하였다. 석션앵커간 간격을 단위앵커의 직경의 2배에서 5배로 달리 배치되는 경우에 따른 지지력의 변화가 분석되었다.

Kim et al.(2013a)과 Choo et al.(2014)은 고정식 해상풍력발전기의 지지를 위하여 사용하는 그룹형 석션 기초에 대한 연구를 수치해석과 원심모형실험을 이용하여 수행한 바 있다. 이 연구에서는 3개의 석션 기초의 상판중심이 상판중심의 1.5배 길이를 변의 길이로 하는 정삼각형으로 배치한 그룹석션기초을 대상으로 하였다. 국내 서해안에 있는 세립사질토(통일분류법으로 SM)에 설치된 조건을 연구하였다. 작용하중은 수평하중이 지표면 위로 높은 편심위치에 작용하여 큰 모멘트가 함께 작용되는 조건에서의 거동을 분석하였다. 이 연구에서는 큰 직경의 단일 석션기초로 지지하는 모노포드 형식과 대비하여 지지력의 효율성이 분석되었고, 석션기초 제작을 위해 사용되는 강재량을 고려할 때 이점이 있음을 밝혔으나, 다양한 하중 조건과 형상조건에 대한 분석이 추가로 필요하다.

국내 연안지역에서는 연약점토 뿐 아니라, 세립사질토 등이 다수 분포하는 것으로 알려져 있는데(Kim et al., 2013b)이러한 지역에 석션앵커를 이용하기 위해서는 모래지반에 설치된 그룹형 석션앵커의 거동을 분석하는 것이 필요하다. 또한 하천에 설치되는 부유식 구조물의 경우에도 하상 모래지반에서 석션앵커 적용성을 검토할 필요가 있다. 모래지반에 설치된 석션앵커 또는 매립형 석션앵커의 인발지지력에 대한 연구는 수치해석적 기법과 원심모형실험을 이용하여 수행된 바 있는데(Bang et al., 2011; Kim and Jang, 2011; Kim et al., 2013b; Na et al., 2014), 이들 연구결과는 단일형 석션앵커의 인발지지력에 대한 분석을 다루고 있다. 모래지반에 적용된 그룹형 석션앵커에 대한 연구는 Lee et al.(2013)에 의해 수행된 바 있으나 석션 앵커의 배치를 3×3열에 대해서 간격을 변화시키면서 거동을 분석하고 있다.

본 연구에서는 병렬식 배치를 갖는 그룹형 석션앵커를 대상으로 하였으며, 형식은 Fig. 1(a)에 나타낸 바와 같이, 2개 또는 3개의 단위 석션앵커를 병렬로 이어 붙인 형식을 대상으로 하였다. 모래지반에 설치된 병렬식 그룹형 석션앵커가 현수선식 계류선에 의하여 수평방향의 인발하중을 지배적으로 받는 경우를 분석하기 위하여 수치해석연구를 수행하였다. 상용 수치해석 프로그램인 ABAQUS 6.13을 사용하여 단일 및 그룹석션앵커의 3차원 수치 모델을 구성하였고, 인발하중을 재하하여, 각 앵커의 인발지지력을 비교 분석하였다. 또한,

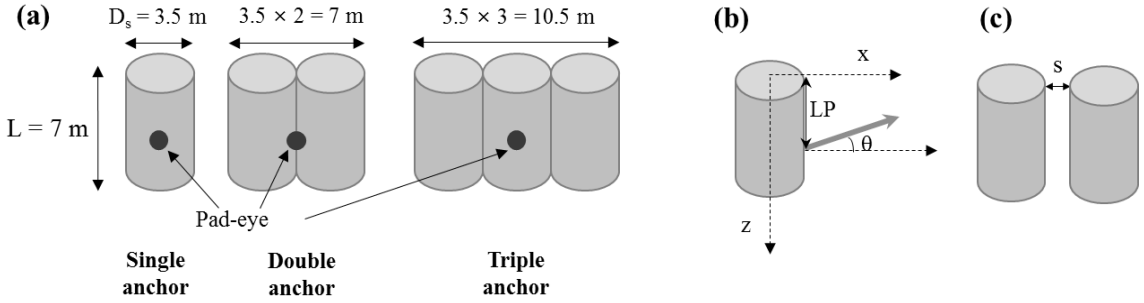

Fig. 1. (a) Dimensions of suction anchors in this study, (b) loading condition, and (c) distance between unit suction anchors

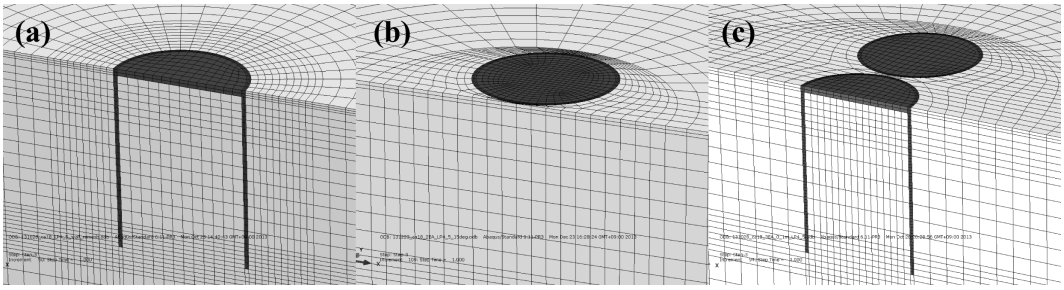

Fig. 2. Finite element meshes (a) single suction anchor, (b) double suction anchor, and (c) triple suction anchor

Table 1. Input properties for soil and suction anchor

Items		Soil	Suction anchor
Model		Mohr-Coulomb	Elastic
Submerged unit weight (kN/m^3)		8.9	66.7
Poisson's ratio		0.3	0.3
Drained shear strength parameters*	c′ (kPa)	7	–
	φ′ (°)	32	–
	ψ′ (°)	8	–
Young's modulus, E_s (MPa)	0 m ≤ z** < 2 m	1.94	210,000
	2 m ≤ z < 7 m	3.36	
	7 m ≤ z < 12 m	4.41	
	12 m ≤ z < 14 m	4.95	
	14 m ≤ z < 16 m	5.21	
	16 m ≤ z < 30 m	5.57	

* c' = effective cohesion, φ′= effective internal friction angle, ψ′=effective dilatancy angle
** z = depth profile from the seabed surface

실제조건에서 발생 가능한 하중조건과 형상조건의 변화를 고려하기 위하여 추가적인 매개변수연구를 수행하여 그룹석션앵커의 지지력 증가율에 대한 영향을 분석하였다.

2. 수치모델

2.1 석션앵커 모델

본 연구에서는 직경(D_s) 3.5m 길이(L) 7m, 두께(t) 0.105 m의 단위앵커를 연결하여 그룹석션앵커를 구성하였다. 석션앵커의 재원은 Kim et al.(2013b)과 Kim et al.(2014)의 기존 연구결과에서 사용된 석션앵커의 재원을 차용하였으며 Table 1에 입력물성을 나타내었다. 하중 재하는 정해진 깊이의 석션앵커 벽체의 한 점에 인위적인 변위를 재하하였다. 앵커의 형상과 하중작용이 x-z평면에 대칭이기 때문에, x-z평면을 따라 잘려진 반단면을 구성하였다. 구성된 수치해석 메쉬는 Fig. 2와 같다. 석션앵커는 8절점을 갖는 3차원 연속체 요소를 사용하여 모델링하였고, 응력과 변형률의 계산을 위해 저감적분

을 채택하였다.

앵커 내·외측과 지반 사이의 접촉면은 surface-to-surface contact를 적용하여 gapping과 slippage가 발생하도록 모사하였다. 접촉면의 마찰특성은 Coulomb의 파괴 이론에 따르며, 마찰계수(μ)는 지반의 내부 마찰각의 약 2/3에 해당하는 0.41을 적용하였다. 또한, 접촉면은 Hard contact 기능을 사용하여 인장이 작용하는 경우 앵커 벽체와 지반이 떨어지는 것을 허용하였다.

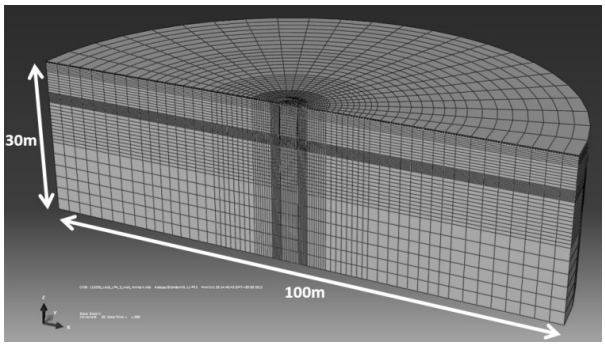

Fig. 3. Domain and boundary of the soil model

2.2 지반 모델

대상 지반은 서해안에 분포하는 세립사질토가 깊게 분포하는 것으로 가정하였으며, Kim et al.(2013b)과 Kim et al.(2014)이 해당 지역에서 조사한 지반 물성을 사용하였다. 지반은 Mohr-Coulomb모델을 사용하여 모델링하였고 배수 조건의 물성을 입력 물성으로 선정하였다. 해저면 지반의 깊이에 따른 특성 차이를 고려하기 위해 30m 깊이의 모형 지반을 총 6개의 층으로 나누어 탄성계수(E_s)를 다르게 적용하였다. 해석에 사용된 지반 물성은 Table 1에 나타내었다. 경계의 영향을 줄이기 위해 해석영역은 직경 100m, 깊이 30m까지 모사하였다(Fig. 3).

2.3 해석조건

본 연구에서 수행된 해석조건은 Table 2에 정리된 바와 같으며, 두 가지를 목표로 해석케이스를 계획하였다.

Table 2. Analysis conditions performed in this study

CASE ID	Objective of parametric cases	L/D_s	# of anchors	Location of padeye		Inclination of loading, θ (°)	Distance between distance	
				LP (m)	LP/L		s (m)	s/D_s
CASE 1	Comparison with single and group anchors	2	1	4.5	0.64	0	–	–
CASE 2			2					
CASE 3			3					
CASE 4	Distance between unit anchors	2	2	4.5	0.64	0	0.2	0.06
CASE 5							1.75	0.50
CASE 6							3.5	1.00
CASE 7							7	2.00
CASE 8							10.5	3.00
CASE 9							14	4.00
CASE 10	Location of loading point (padeye)	2	1	0	0.00	0	–	–
CASE 11				1	0.14			
CASE 12				2	0.29			
CASE 13				3	0.43			
CASE 14				4	0.57			
CASE 15				5	0.71			
CASE 16				6	0.86			
CASE 17				7	1.00			
CASE 18			2	0	0.00			
CASE 19				1	0.14			
CASE 20				2	0.29			
CASE 21				3	0.43			
CASE 22				4	0.57			
CASE 23				5	0.71			
CASE 24				6	0.86			
CASE 25				7	1.00			

* L, D_s, LP, s, θ are denoted in Fig. 1

Table 2. Analysis conditions performed in this study (Continued)

CASE ID	Objective of parametric cases	L/D_s	# of anchors	Location of padeye		Inclination of loading, θ (°)	Distance between distance	
				LP (m)	LP/L		s (m)	s/D_s
CASE 26	Inclination of loading	2	1	4.5	0.64	5	–	–
CASE 27						10		
CASE 28						15		
CASE 29			2			5		
CASE 30						10		
CASE 31						15		
CASE 32			1	3.5	0.5	0		
CASE 33						5		
CASE 34						10		
CASE 35						15		
CASE 36			2			0		
CASE 37						5		
CASE 38						10		
CASE 39						15		
CASE 40			1	5.5	0.79	0		
CASE 41						5		
CASE 42						10		
CASE 43						15		
CASE 44			2			0		
CASE 45						5		
CASE 46						10		
CASE 47						15		
CASE 48	L/D of suction anchor	1	1	4.5	0.64	0	–	–
CASE 49			2					
CASE 50			3					
CASE 51		3	1					
CASE 52			2					
CASE 53			3					

* L, D_s, LP, s, θ are denoted in Fig. 1

첫 번째로, 인발하중에 대한 단일석션앵커와 그룹앵커의 지지거동을 비교하고, 그룹앵커의 단위앵커간 배치간격(s)의 영향을 분석하여 그룹앵커의 특성을 보고자 하였다. 두 번째로는 다양한 조건 변화에 따른 지지거동의 차이를 분석하고자 하였다. 하중재하점의 위치(Location of Padeye), 인발하중의 경사각(θ), 단위석션앵커의 형상(길이/직경=L/D_s)이 달라지는 조건 따라, 단위석션앵커의 인발지지력에 대비하여 그룹석션앵커의 지지력 증가효율에 대한 영향을 분석하고자 하였다.

3. 해석 결과

3.1 수평하중에 대한 그룹형앵커의 인발저항 거동

Fig. 4는 단일형 앵커 및 그룹형 앵커의 하중-변위 곡선의 비교를 나타낸다. 변위는 석션앵커의 상판 중앙점에서의 변위를 나타내었다. 하중-변위곡선은 극한지지력으로 수렴하지 않는 경향을 보인다. 따라서 인발지지

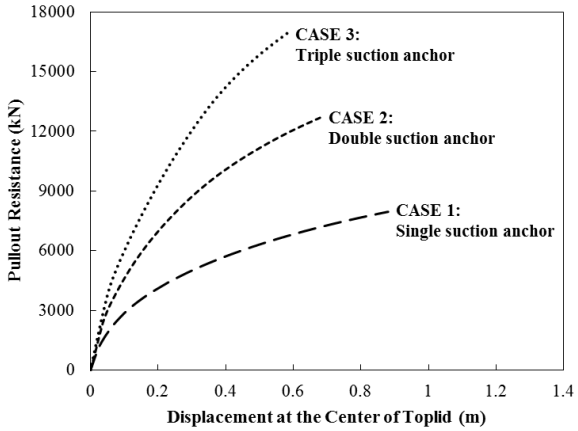

Fig. 4. Comparison of load-displacement curves of suction anchors

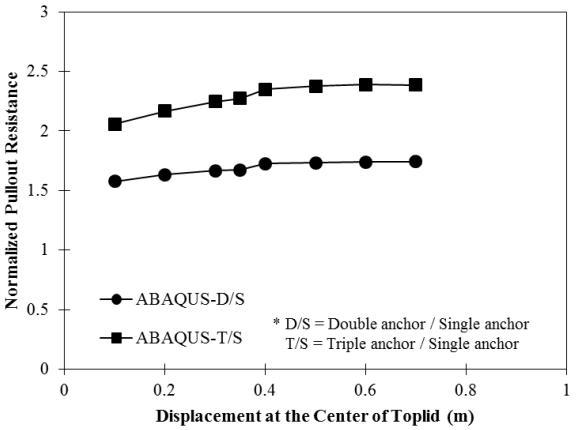

Fig. 5. Pullout resistance of group anchors normalized by that of the single anchor

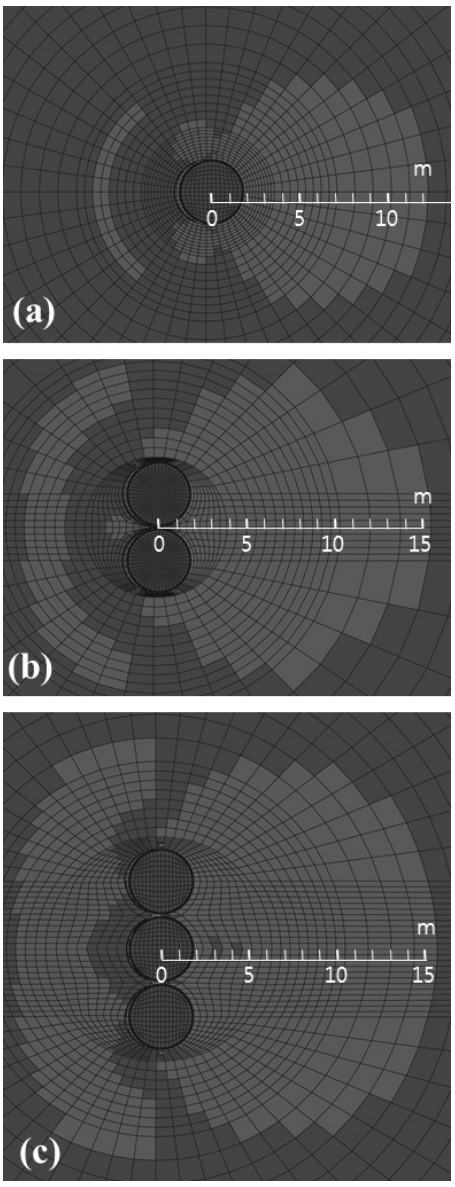

Fig. 6. Yielding elements of seabed soil in the vicinity of suction anchors at a displacement of $0.1D_s$: (a) single anchor, (b) double anchor, and (c) triple anchor

력은 석션앵커 상판 중앙점이 단위석션앵커 직경의 10% 만큼 변위가 발생한 시점에서의 지지력을 기준으로 산정하였다.

Fig. 4로부터 그룹앵커의 인발지지력을 단일형 앵커의 저항력에 대한 비로 수평변위에 따라 나타내면 Fig. 5와 같다. 단일앵커 대비 더블앵커의 지지력 비는 1.7배로 수렴하고, 트리플앵커의 경우에는 약 2.4배로 수렴한다. 그룹앵커의 지지력 증가 비는 단위앵커의 수량보다 작은 값을 보여 효율이 떨어짐을 나타낸다. 석션앵커 주변 지반요소에 항복이 발생한 요소를 Fig. 6에 비교하였다. Fig. 6에서 확인되는 바와 같이, 앵커의 수평변위로 인한 영향은 지반의 변위로 나타난다. 또한, 영향반경의 크기를 구하면, 단일앵커 대비 더블앵커는 1.6배, 트리플앵커는 2.2배로 Fig. 5의 저항력 비의 수렴하는 값과 유사하게 나타났다. 따라서 효율의 감소는 단위앵커의 영향반경이 겹쳐지는 것에 따른 영향영역의 감소로 판단된다.

3.2 그룹영향 분석

3.1절에서 토의한 바와 같이 앵커를 인접하여 사용하는 경우, 그 지반의 영향영역이 중첩되어 효율이 떨어지는 현상을 확인하였다. 이러한 영향을 명확히 확인하기 위하여 단위앵커의 사이 간격이 벌어지는 경우에 대한 추가적인 해석(Case 4~9)을 수행하였다. 이는 시공 조건에 따라 단위앵커의 배치간격을 달리하는 경우에 해당하며, 결과는 Fig. 7과 Fig. 8과 같다.

Fig. 7은 CASE 2와 CASE 8의 지반의 항복요소를 나타낸다. 단위앵커가 인접한 경우에는 Fig. 7(a)와 같은 영향영역을 보이나, 단위앵커가 멀어진 경우에는 Fig. 7(b)와 같이 단위앵커의 영향영역이 분리되면서 전체 영향영역이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 단위앵커 사이의 간격에 따른 인발지지력의 변화를 나타낸다. 여기서, 인발지지력(P_u)은 변위$0.1D_s$에서의 저항력으로 정의하였다. 앵커 간의 거리가 증가함에 따라 인발지지력이 증가하며, 앵커 간의 거리가 약 10m 이상($3D_s$ 이상)일 때에는 인발지지력이 단일앵커 지지력의 2배에 수렴한다. 즉, 단위앵커의 배수에 수렴함을 의미한다. 따라서, $3D_s$미만의 간격을 두고 앵커가 설치되는 경우, Fig. 8을 이용하여 저항력의 감소를 고려하여 설계하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

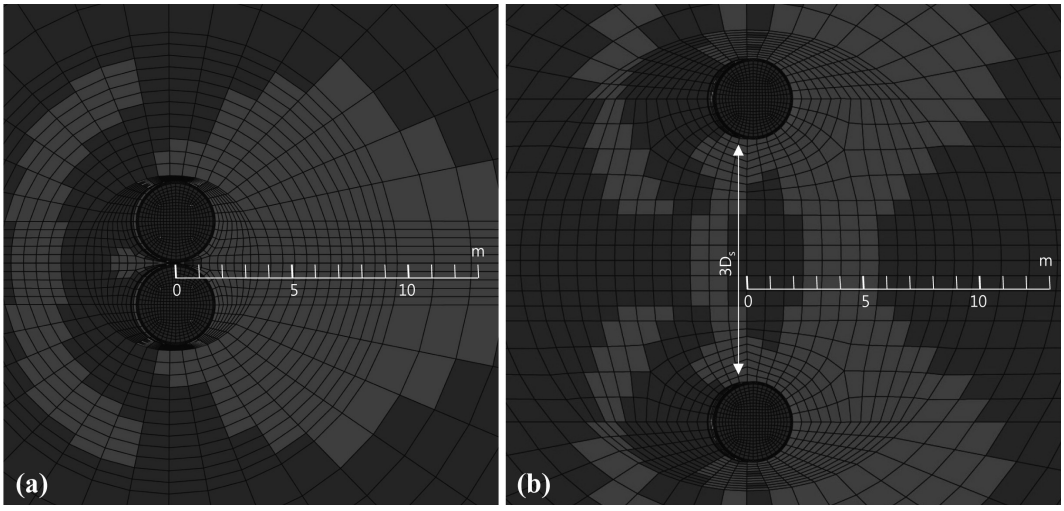

Fig. 7. Yielding elements of the seabed soils of (a) CASE 2, and (b) CASE 8 at a displacement of $0.1D_s$

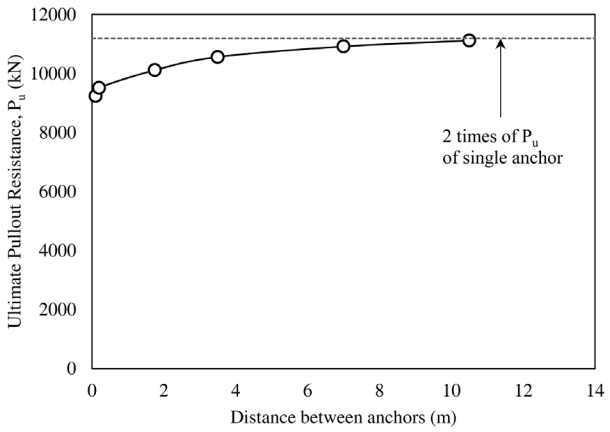

Fig. 8. Variations in pullout capacity with distance between anchors

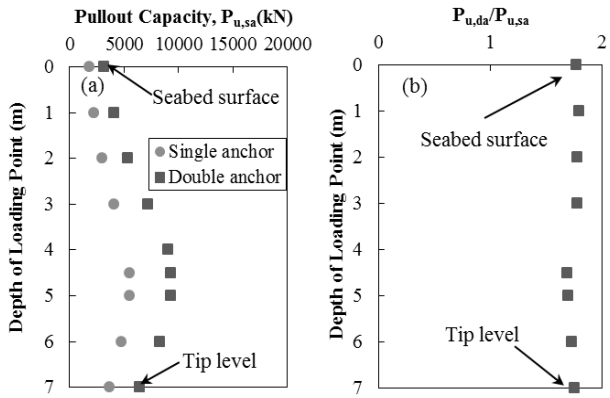

Fig. 9. Pullout capacity of single and double anchors loaded at different padeye locations

4. 매개변수 연구

4.1 하중재하점(Padeye)의 위치에 따른 영향

하중재하점(Pad-eye)의 위치에 따른 영향을 분석하였다(CASE 10～25). Fig. 9(a)은 하중재하점의 위치에 따른 단일앵커와 더블앵커의 인발지지력 변화를 나타낸다. 인발지지력은 수평변위가 $0.1D_s$가 발생했을 때로 산정하였다. 각 하중재하점에서의 단일앵커와 더블앵커의 지지력 비를 나타내면 Fig. 9(b)와 같고, 1.68～1.77로 차이가 근소한 것을 알 수 있다. 따라서 그룹앵커의 효율에 미치는 하중재하점 위치의 영향은 미미하였다. 본 연구에서는 하중이 석션앵커의 벽체에 직접 재하된 경우로, 실제조건에서는 지중을 지나는 계류선에 의해 재하되기 때문에 조건의 차이가 있다. 따라서, 본 연구결과는 지중계류선으로 인한 교란 효과는 고려하지 않은 결과이다.

4.2 하중경사에 따른 영향

현수선식 계류선(Catenary mooring line)을 지지하는 석션앵커의 경우, 인발하중은 수평방향이 지배적이기는 하나, 일반적으로 수평면에 대해서 0°에서 15° 미만의 경사하중으로 작용한다(Randolph and House, 2002). 따라서, 0°에서 15°범위에서 하중 경사에 따른 그룹앵커의 효율을 분석하였다(CASE 26～47). 단일형과 더블형의 인발지지력을 수평분력과 수직분력으로 나타내면 Fig. 10과 같고, 수평-수직상관도의 일부를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 경사변위를 재하하여 인발하중을 모사하였기 때문에, 동일한 경사하중에 대해서 수직분력의 크기가 차이를 보인다. 단일앵커의 경사인발지지력($P_{u,sa}$)와 더블앵커의 경사인발지지력($P_{u,da}$)의 비는 Fig. 11과 같다. 경사인발지지력의 비는 1.68-1.70사이로 큰 차이를 보이지 않아, 0°에서 15° 범위에서는 효

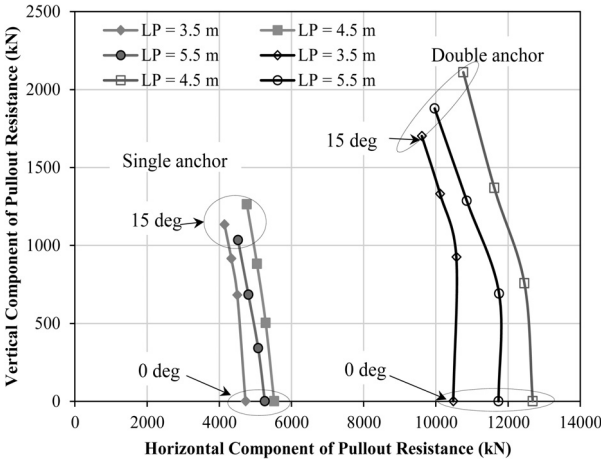

Fig. 10. Pullout capacity of single and double anchors loaded with different loading inclination

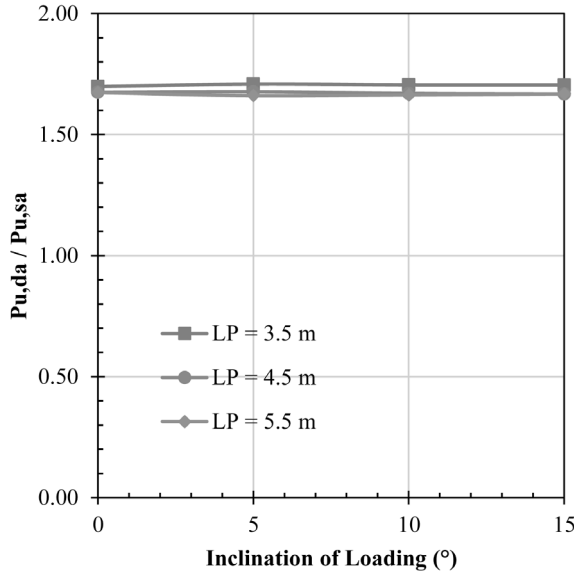

Fig. 11. Ratio of pullout capacity of the double anchor to the single anchor loaded with different loading inclination

율의 변화가 크지 않은 것으로 판단된다.

4.3 단위석션앵커의 L/D_s비에 따른 영향

L/D_s의 비에 따른 영향을 살펴보기 위하여, L/D_s의 비가 다른 단위석션앵커로 구성된 그룹앵커의 인발지지력(P_u)를 비교하였다(CASE 48~53). L/D_s가 1, 2, 3인 단위석션앵커를 사용하는 그룹앵커에 대한 해석을 수행하였다. 인발지지력은 단위앵커 직경의 10%에 해당하는 변위(D_s = 0.35m)에서의 지지력으로 산정하였다. Fig. 12(a)는 다른 L/D_s를 가지는 단일앵커의 인발지지력($P_{u,sa}$), 더블앵커의 인발지지력($P_{u,da}$), 트리플앵커의 인발지지력($P_{u,ta}$)을 사용된 단위앵커의 수량에 따라 나타낸 것이다. 단위앵커의 길이가 증가하고, 단위앵커의 수량이 증가함에 따라 인발지지력이 증가하였다. Fig. 12(b)는 단일앵커와 그룹앵커의 지지력 비를 나타낸다. 단위앵커의 수량이 증가하면, 길이가 짧은 앵커(L/D_s = 1)보다 길이가 긴 앵커(L/D_s = 3)의 증가비가 다소 낮은 값을 보이지만, L/D_s = 1~3의 범위 내에서는 단위앵커수량에 따른 그룹앵커의 지지력 증가율의 차이는 미미한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 수치해석을 이용하여 모래지반에 설치된 병렬식 그룹석션앵커에 대하여 앵커간격, 하중재하점 위치, 하중경사, 직경과 길이비에 따른 거동차이를 분석하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 더블앵커와 트리플앵커는 단일앵커보다 각각 1.7배

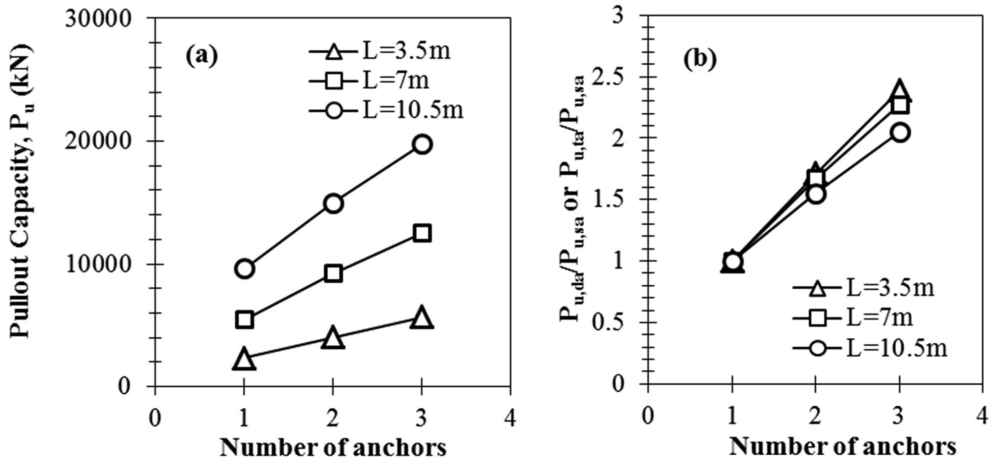

Fig. 12. (a) Pullout capacity of single, double and triple suction anchor for various L/D ratio; (b) Normalized capacity

및 2.4배의 인발지지력이 증가하는 것으로 나타났다. 그룹앵커의 인발지지력 증가율은 단위앵커 개수가 많아질수록 감소하는데 이는 단위앵커간 근접설치로 인하여 겹쳐지는 영향영역 때문으로 분석되었다. 단위앵커 사이의 간격을 늘림에 따라 그룹앵커의 인발지지력 증가비는 증가하고, 단위앵커 사이 간격이 약 10m 이상($3D_s$ 이상)이 되면 단위앵커 수량에 수렴하였다.

(2) 하중재하점(Pad-eye)의 위치에 따른 단일앵커와 더블앵커의 인발지지력의 증가비는 1.68～1.77로 나타났다. 또한, 수평면으로부터 0°～15° 범위의 하중경사로 인한, 단일앵커에 대한 더블앵커의 인발지지력 증가비는 1.68～1.70로 좁은 범위를 보였다. 따라서, 하중재하점과 0°에서 15°의 하중경사각의 변화에도 그룹앵커의 효율 변화는 미미하였다.

(3) 길이가 짧은 앵커(L/D_s = 1)보다 길이가 긴 앵커(L/D_s = 3)의 인발지지력 증가비가 낮은 값을 보이지만, L/D_s = 1～3의 범위에서는 단위앵커수량에 따른 그룹앵커의 지지력 증가비 변화는 미미하였다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 해양청정에너지개발사업 “10MW급 부유식 파력-해상풍력 연계형 발전시스템 설계기술 개발”과제의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌 (References)

1. Achmus, M., Kuo, Y. S., and Abdel-Rahman, K. (2009), behavior of monopile foundations under cyclic lateral load. Comput. Geotech., Vol.36, pp.725-735.
2. Andersen, K.H., Dyvik, R., Schroder, K., Hansteen, O.E., and Bysveen, S. (1993), Field tests of anchors in clay. II: Predictions and interpretation. Journal of Geotechnical Engineering, Vol.119, No.10, pp.1532-1549.
3. Andersen, K.H., Murff, J.D., Randolph, M.F., Clukey, E.C., Erbrich, C.T., Jostad, H.P., Hansen, B., Aubeny, C., Sharma, P., and Supachawarote, C. (2005), Suction anchors for deepwater applications. In Susan Gourvenec & Mark Cassidy (ed.), Frontiers in offshore geotechnics, ISFOG2005; Proc. the 1st intern. symp., Perth, Australia, 19-21 September 2005, 3-30. London: Taylor & Francis Group.
4. Atkinson, J.H. (2000), Nonlinear soil stiffness in routine design. Geotechnique, 50 (5), 487-508.
5. Aubeny, C. and Murff, J.D. (2003), Simplified limit solutions for undrained capacity of suction anchors. In: Proceedings of International Symposium Deepwater Mooring Systems, Houston, pp.76-90.
6. Bang, S., Jones, K.D., Kim, K.O., Kim, Y.S., and Cho, Y. (2011), Inclined loading capacity of suction piles in sand. Ocean Eng, Vol.38, pp.915-924.
7. Cho, Y. and Bang, S. (2002), Inclined loading capacity of suction piles. In: Proceedings of 12th International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan, pp.180-185.
8. Choo, Y.W., Kim, S., Kim, J.H., Lee, H.Y., Kim, D.S., Kim, D.J., Youn, J.U., Jee, S.H., and Choi, J. (2014), Centrifuge test of a clustered bucket foundation for offshore wind towers. In: Proceedings of 8th International Conference of Physical Modelling in Geotechnics, Perth, Western Australia, pp.529-535.
9. Dyvik, R., Andersen, K.H., Hansen, S.B., and Christophersen, H.P. (1993), Field tests of anchors in clay. I. Description. Journal of Geotechnical Engineering, Vol.119, No.10, pp.1515-1531.
10. Kim, D.J., Choo, Y.W., Lee, J.S., Kim, D.S., Jee, S.H., Choi, J., Lee, M.S., and Park, Y.H. (2013a), Numerical analysis of cluster and monopod suction bucket foundation. Ocean, offshore and arctic eng.; Proc. of the OMAE 2013 32nd in-tern. conf., Nantes, France, 9-14 June, 2013.
11. Kim, S., Choo, Y.W., and Kim, D.S. (2014). Pullout capacity of horizontally loaded suction anchor Installed in silty sand. Marine Georesources and Geotechnology, DOI:10.1080/1064119X.2014.961622.
12. Kim, S., Choo, Y.W., Kim, D.S., and Sung, H.G. (2013b), Capacity of horizontally loaded suction anchor installed in silty sand, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol.27, No.1, pp.59-66.
13. Kim, Y.S. and Jang, Y.S. (2011), Analysis of load capacity and deformation behavior of suction pile installed in sand, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol.27, No.11, pp.27-37.
14. Lee, J.H., Chang, I., Park, J.H., Kim, D.W., Kwak, K.S., and Jung, Y.H. (2012), Evaluation of the lateral resistance of group-type suction anchors for floating wind turbine, Korea Wind Energy Association 2012 Fall Conference, Jeju, Korea, 16-18 May, 2012.
15. Lee, J.H., Kim, D.W., Chung, M.K., Kwak, K.S., and Jung, Y.H. (2011), Numerical analysis of the suction pile behavior with different lateral loading locations, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol.27, No.4, pp.67-76.
16. Lee, J.H., S.H., Lee, and Kim, S.R. (2013), Horizontal bearing behavior of group suction piles by numerical analysis, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol.29, No.11, pp.110-127.
17. Na, S.H, Jang, I.S., Kwon, O., and Lee, S.H. (2014), Study on Pullout Behavior of Embedded Suction Anchors in Sand using ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) Technique, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.34, No.1, pp.167-173.
18. Randolph, M.F. and House, A.R. (2002), Analysis of suction caisson capacity in clay, Offshore Technology Conference, Huston, Paper 14236.
19. SPT offshore (2014), http://www.sptoffshore.com, Accessed in 12 Oct, 2014.
20. Tjelta, T.I. (2001), Suction piles: there position and application today, Proceedings of 11th International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger, Norwary.

Received : October 20th, 2014
Revised : November 6th, 2014
Accepted : November 26th, 2014