

점토 지반에서 인발속도에 따른 판앵커의 극한 인발저항력 분석

서영교* · 유동만*

*한국해양대학교 해양공학과

Analysis of Ultimate Capacity of Plate Anchor on Loading Rate Capacity in Clay

Young-Kyo Seo* and Dong-Man Ryu*

*Ocean Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea

KEY WORDS: Plate anchor 판앵커, Horizontal plate anchor 수평 판앵커, Uplift behavior 인발 거동, Embedment ratio 근입비, Uplift load 인발력, Loading rate 인발속도

ABSTRACT: Anchors are primarily designed and constructed to resist outwardly directed loads imposed on the foundation of a structure. These outwardly directed loads are transmitted to the soil at a greater depth by the anchors. Buried anchors have been used for thousands of years to stabilize structures. Various types of earth anchors are now used for the uplift resistance of transmission towers, utility poles, submerged pipelines, and tunnels. Anchors are also used for the tieback resistance of earth-retaining structures, waterfront structures, at bends in pressure pipelines, and when it is necessary to control thermal stress. In this research, we analyzed the uplift behavior of plate anchors in clay using a laboratory experiment to estimate the uplift behavior of plate anchors under various conditions. To achieve the research purpose, the uplift resistance and displacement characteristics of plate anchors caused by the embedment ratio, plate diameter, and loading rate were studied, compared, and analyzed for various cases.

1. 서 론

일반적으로, 앵커는 지상구조물에서 인발력을 받는 기초의 건설에 사용되어 왔다. 주로 가설구조물을 건설하는데 사용되어 왔으며, 이러한 가설구조물이 자체적으로 안정성을 충분히 확보하기 어려운 경우에 앵커를 사용하여 외부에 작용하는 힘들을 가설구조물에서 멀리 떨어진 지반 속으로 전달하여 구조물들을 안정시키게 하였다. 최근에는 가설구조물 뿐만 아니라, 인간의 활동영역 확장에 따른 해저공간의 개발에 따라 각종 해양플랜트의 안정에 이용됨으로써 그 사용이 더욱 증가되고 있는 추세이다. 해양플랜트에서 폭풍우는 커다란 인발력을 발생시키며 해양플랜트의 기초를 통해 흙으로 전달된다. 그리하여 해양플랜트의 기초를 시공하는 데에 있어 여러 가지 공법이 제시되고 있다. 그 중 앵커를 사용하여 흙의 강도를 높이는 공법을 이용해 해양플랜트의 안정을 찾기도 하였다. 따라서 인발력을 받는 해양플랜트의 기초설계에서는 동역학적 인발하중을 받는 흙의 저항과 앵커의 장·단기 거동을 검토할 필요가 있다. 특히, 앵커 전반의 이해와 시공 기술은 효과적인 설계에 있어서 중요한 요소이다.

지금까지 국내에서는 앵커의 극한 인발저항력에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 현장실험을 통해 말뚝이 근입비와 인발 속도가 콘크리트 말뚝과 점토의 부착계수에 미치는 영향에 대하여 연구가 진행되기도 하였으며, 직매형 앵커기초를 대상으로 앵커기초를 대상으로 앵커기초의 인장 설계기준에 대한 적정성을 검토하기 위하여 수치해석이 수행되기도 하였다. 또한, 표면거칠기와 근입비, 직경에 따른 파이프형 앵커의 인발거동을 평가하기 위하여 실내모형실험이 실시되었다(Shin et al., 2005; Jang and Suh, 2005; Bae et al., 2008).

본 연구에서는 인발하중을 받는 판앵커의 필요성과 그 저항메카니즘, 파괴모드를 고려한 극한 인발저항의 합리적 평가를 위하여 점토 지반 내에서 일어나는 판앵커의 거동에 대한 실내모형 실험을 실시하였다. 실내모형실험은 근입비와 함수비, 판의 지름, 인발 속도를 변화시켜 인발하중 및 인발변위를 관찰하고 기존의 판앵커의 이론치와 실험치를 비교분석하였다. 또한, 실험치를 통하여 산정식을 제안하였으며, 3차원 유한요소해석 프로그램 Plaxis 3D v2.0(Plaxis foundation V2.0, 2006)을 사용하여 판앵커의 실내모형실험에 대한 벽체구속효과를 검토하였다.

Received 8 January 2013, revised 16 April 2013, accepted 10 June 2013

Corresponding author Young-kyo Seo: +82-51-410-4683, yseo@hhu.ac.kr

© 2013, The Korean Society of Ocean Engineers

It is noted that this paper is based on proceedings of the Korea-japan joint young researcher forum 2012 in Busan.

2. 기존 이론

앵커의 극한 인발저항력은 앵커의 인발에 따라 앵커체 표면의 영향 범위 내에 위치한 인접지반에서 파괴가 발생할 경우, 이때의 저항력을 말한다. Meyerhof 이론(Meyerhof, 1973), Vesic 이론(Vesic, 1971), Das 이론(Das, 1978)등에서는 모형실험과 현장 실험을 통하여 앵커의 극한 인발력에 관한 식들을 제안한 바 있다. 이들은 앵커에 대한 이론적 접근과 파괴 형태에 따라 얇은 앵커와 깊은 앵커로 구분하였고, 또한 원형 앵커와 스트립 앵커, 사각형 앵커로 구분하여 설명하였다. 그 중 본 연구에서는 Vesic (1971)과 Meyerhof(1973)에 대한 이론과 비교분석하고자 한다.

2.1 Vesic

Vesic(1971)은 지반의 파괴메카니즘을 공동(중공)확장 이론으로 설명하였다. 이 때 앵커의 인발력과 관련된 지반은 반무한체이고 균질하며 등방성이라 가정하였다. 또한, Vesic(1971)은 판 앵커의 근입비가 한계근입비 미만일 때를 얇은 앵커, 한계근입비 이상일 때는 깊은 앵커라 정의하였다. 얇은 앵커에 대한 Fig. 1과 같이 앵커의 근입 깊이 H 가 상당히 작다면, 공동위에 있는 흙을 밀어낼 극한압력 P_o 가 발생한다. 이 때 공동 지름은 D 이고, 공동에 대한 파괴포락선 경사 ab 와 cd 는 공동 지름에 접하며, 지표면까지 도달한다. 여기에서 지표면과 파괴포락선이 만나는 점은 b 와 d 이며, 서로 이루는 각 $\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$ (ϕ =흙의 내부마찰각)이다. 이 흙의 점착력은 c 이고 단위중량은 γ 이다. 평형방식에 따라 파괴면에 작용하는 수직방향에 대한 힘의 요소들을 합하면 공동 안에서의 극한압력 P_o 를 구할 수 있다. 그리고 공동 안에서 일어나는 수직방향에 대한 힘 요소 P_v 와 흙의 자중($W_3=W_1+W_2$), 내부의 힘에 의해 발생한 수직요소 F_v 를 고려하면 P_o 는 다음 식

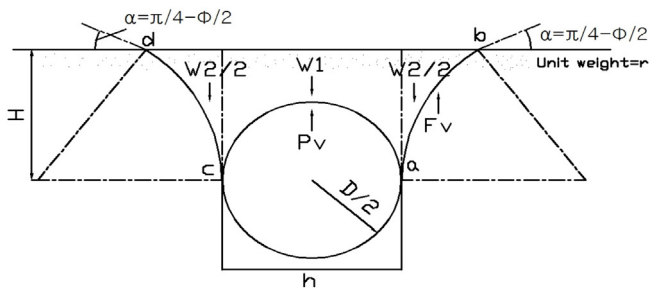


Fig. 1 Vesic's theory of expansion of cavities

Table 1 Breakout factor(F_q) for circular anchors

Soil friction angle, ϕ (deg)	Embedment ratio(H/h)				
	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.18	1.37	1.59	2.08	3.67
20	1.36	1.75	2.20	3.25	6.71
30	1.52	2.11	2.79	4.41	9.89
40	1.65	2.41	3.30	5.45	13.0
50	1.73	2.61	3.56	6.27	15.7

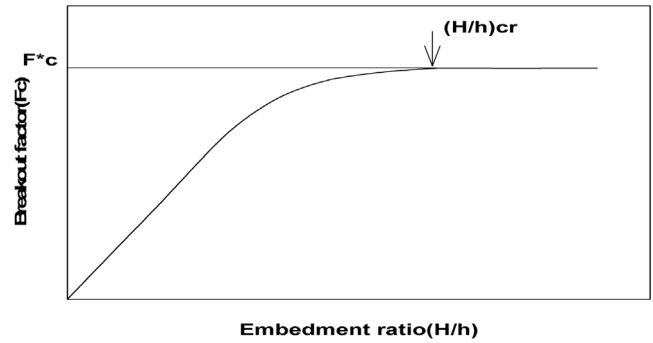


Fig. 2 Nature of variation of F_c with H/h

Table 2 Variation of F_c ($\phi=0$ condition)

Soil friction angle, ϕ (deg)	Embedment ratio(H/h)				
	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
Circular (diameter = h)	1.76	3.80	6.12	11.6	30.3
Strip ($h/B \approx 0$)	0.81	1.61	2.42	4.04	8.07

(1)과 같다. 그리고 점토에서는 $\phi=0$ 이기 때문에 Table 1에서 보여주는 것과 같이 $F_q=1$ 이다.

$$P_o = A(cF_c + \gamma HF_q) \tag{1}$$

여기서 A 는 앵커 판의 면적을 나타내며, F_c 는 점토지반의 점성력과 관련된 파괴계수이며, F_q 는 사질토 지반에서의 토질의 무게와 파괴면에서의 전단저항력을 결합한 파괴계수를 나타낸다(Das, 2007).

Vesic(1971)은 실내모형실험을 실시하여 점토에서 얇은 앵커일 때, 근입비에 따른 파괴계수 F_c 의 값을 Table 2와 같이 나타내었다. 또한, 깊은 앵커에서는 Fig. 2와 같이 $H/h = (H/h)_{cr}$ 일 때, $F_c = F_c^*$ 이다.

2.2 Meyerhof 이론

Meyerhof(1973)은 실내모형실험과 현장실험을 통하여 스트립 앵커, 사각형 앵커, 원형 앵커들의 극한 인발저항력을 추정하는 경험식을 유도하였다. 다음 식 (2)에서 A 는 판의 면적을 나타내고 있으며, γ 는 흙의 단위중량, H 는 근입 깊이를 나타내고 있다. 그리고 F_c 와 c 는 파괴계수와 점착력을 나타내고 있다.

$$Q_u = A(\gamma H + cF_c) \tag{2}$$

여기에서 파괴계수 F_c 는 원형 앵커와 사각형 앵커일 때 식 (3)과 같다.

$$F_c = 1.2 \left(\frac{H}{h} \right) \leq 9 \tag{3}$$

그리고 스트립 앵커일 때는 식 (4)와 같다.

$$F_c = 0.6 \left(\frac{H}{h} \right) \leq 8 \tag{4}$$

식 (3)과 식 (4)를 이용하여 원형 앵커와 사각형 앵커, 스트립 앵커의 한계근입비를 구하였다. 따라서 한계근입비는 식 (5)와 식 (6)처럼 나타내고 있다. 여기에서 식 (5)는 원형 앵커와 사각형 앵커의 한계근입비를 나타내고 있으며, 식 (6)은 스트립 앵

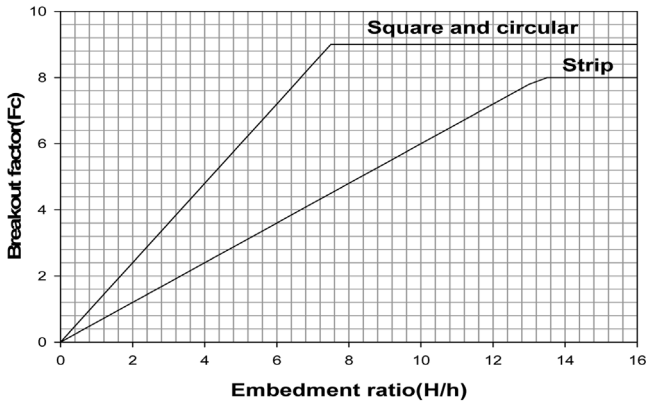


Fig. 3 Variation of F_c with H/h

커의 한계근입비를 나타내고 있다.

$$\left(\frac{H}{h}\right)_{cr} = \frac{9}{1.2} = 7.5 \quad (5)$$

$$\left(\frac{H}{h}\right)_{cr} = \frac{8}{0.6} \approx 13.5 \quad (6)$$

Fig. 3은 식 (3)과 식 (4)를 그래프로 나타낸 것이다.

3. 실내모형실험

3.1 실내모형실험장치

실내모형실험에 사용된 모형토조는 500mm×500mm×600mm(가로×세로×높이)의 크기로 벽체는 10mm 두께의 아크릴로 제작되었다. Fig. 4는 실내모형실험의 개요도를 나타내고 있다.

모형실험에 사용된 판앵커는 강철 재질로 판과 강봉으로 연결되어 있으며, 판의 지름은 25mm, 50mm, 75mm로 3종류를 사용하였다. 두께는 5mm로 동일하게 제작하였고, 강봉의 길이는 각 지름에 대하여 근입비 1:3 ~ 1:7에 맞게 제작하였다. 판 중심부에는 강봉을 연결하였으며, 이음부는 나사를 이용하여 연결부의 파손과 이탈을 방지하였다. 그리고 판앵커의 한쪽 끝에 간선을 연결하여 도르레를 이용하여 하중 전달 장치에 연결하였다. 실내모형실험을 실시하는 동안 모터와 기어박스를 이용하여 1mm/min, 6mm/min, 12mm/min의 인발 속도로 인장하중을 발생시켰고, 인장하중을 전달할 수 있는 하중 전달 장치를 사용하였다. 그리고 판앵커 상부에 인발하중을 측정할 수 있는 하중 센

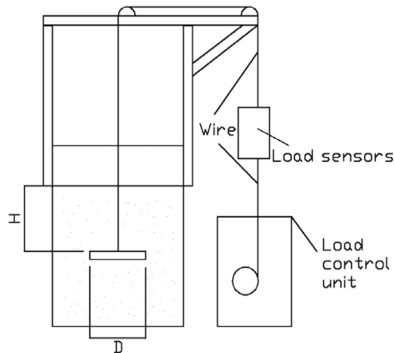


Fig. 4 Schematic diagram of the model test arrangement

서(봉신 : TRC-5000N, 3mV/V)를 설치하여 판앵커의 인발거동을 측정하였다.

3.2 모형지반 조성

본 실내모형실험에 사용된 시료는 실내모형실험에서 주로 사용되는 카올리나이트이며, 함수비를 달리하여 전단강도가 다른 두 가지의 모형지반으로 조성하였다. 동일한 함수비를 갖도록 물로 반죽하여 24시간 동안 습윤 상태로 양생시킨 시료를 압축시키며 30mm 두께의 층으로 실험하고자하는 높이까지 쌓은 후 24시간 동안 다시 양생 하였다. Table 3은 실내모형실험에 사용된 시료의 물리적 성질을 나타내었다.(ASTM, 1989)

3.3 실험방법

약 10cm 깊이의 모형지반을 각각의 전단강도에 맞춰 형성한 후, 그 위에 판앵커를 설치하였다. 그런 다음, 각각의 함수비에 맞춰 형성하여 양생시킨 시료를 압축시키며 실험하고자하는 높이까지 모형지반을 형성하였다. 판앵커 설치 시, 수평자를 이용하여 앵커 판과 지반이 평행하게 설치하도록 유도하였다. 그 위에 도르레를 설치하고, 강선을 이용하여 인장 하중 전달 장치까지 연결하였다.

판앵커의 거동을 측정하는 하중 센서를 통하여 하중을 측정하였고, 그 측정값은 데이터로거를 이용하여 1초 단위로 계측하였다. 그리고 Table 4는 판앵커 실내모형실험의 변수들에 대한 내용을 나타내었다.

3.4 벽체의 구속효과

토조를 이용한 실내모형실험은 실제 지반과 달리 반무한체 지

Table 3 Material properties of kaolinite

Moisture content (w_w (%))	60	80
Cohesion (c (kN/m ²))	4.9	0.4
Unit weight (γ (kN/m ³))	15.807	14.288
Liquid limit (LL (%))	50	

Table 4 Variable of the laboratory model tests about plate anchor

Moisture content (w_w)	Embedment ratio (H/D)	Loading rate
60%, 80%	3, 5, 7	1-612mm/min

Table 5 Scale effect

B/D	Displacement (10 ⁻³ mm)	% of Displacement to $B/D=10$
3	3.738	188.79
4	2.498	126.16
5	2.204	111.31
6	2.012	101.62
7	2.000	101.01
8	1.986	100.30
9	1.980	100
10	1.980	100

반조건이 아니므로 토조 벽체의 구속효과를 고려할 필요성이 있다. 이에 대하여 Baker and Kondner 이론(Baker and Kondner, 1966)과 Ovesen 이론(Ovesen, 1981)은 실내모형실험의 Scale effect를 규명하기도 하였다. Baker and Kondner(1966)는 조밀한 사질토 지반에서 실내모형실험을 하여 Scale effect는 근입비가 클수록 더 심각하다고 발표하였다. 그리고 Ovesen(1981)은 실제와 같은 사질토 지반과 점토 지반에서 판앵커에 대하여 실내모형실험을 한 결과, Scale effect는 관찰되지 않는다고 발표하였다. 그리하여 본 연구에서는 Baker and Kondner(1966)과 Ovesen(1981)의 이론을 참조하였다. 그리고 이를 판단하기 위하여 Plaxis foundation v2.0 유한요소해석프로그램을 이용하였으며, 앵커 판을 토조 중앙에 설치한 후, 판의 지름은 D를 기준으로 토조의 한 변의 길이인 B를 3배에서 10배 크기로 조절하여 동일한 조건의 판앵커의 인발 변위를 분석하였다. Table 5는 판앵커의 인발변위와 그에 따른 Scale effect에 대한 내용이다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 B/D의 값을 7로 하여 수치해석 하였으며, 측정된 실험 결과값은 반무한체 지반조건의 약 101%에 해당하는 결과로 나타났다.

4 결과 및 해석

4.1 근입비에 따른 판앵커의 하중-근입비 특성

본 실험에서는 함수비가 서로 다른 두 점토 지반으로 조성한 후

앵커의 근입비와 판의 지름을 각각 변화시켜가며 인발 실험을 수행하였다. Fig. 5 ~ Fig. 10은 Vesic(1971)과 Meyerhof(1973)의 극한 인발저항력($Q_{u(g)}$)과 비교하기 위하여 인발 속도를 1mm/min에 대한 극한 인발저항력을 측정하여 도시하였다.

함수비 60%인 점토 지반에서 판의 지름이 25mm일 때와 50mm일 때, 75mm일 때 모두 근입비가 증가할수록 극한 인발저항력은 급격하게 증가하다가 근입비 5에서부터는 극한 인발저항력의 증가량이 감소하였고, 함수비 80%인 점토지반에서 Plate의 지름이 25mm일 때와 50mm일 때는 근입비가 증가할수록 극한 인발저항력의 증가량이 2N ~ 4N으로 큰 차이를 볼 수 없었으며, 75mm일 때는 근입비가 증가할수록 극한 인발저항력의 증가량이 일정하였다.

4.2 인발 속도에 따른 판앵커의 하중-변위 특성

Fig. 11 ~ Fig. 13은 함수비 60%인 점토 지반에서 인발 속도에 따라 극한 인발저항력의 변화를 보여주고 있다. 인발 속도가 증가할수록 극한 인발저항력은 증가하지만, 근입비가 증가할수록 극한 인발저항력의 차이는 줄어들었다.

Fig. 14 ~ Fig. 16은 함수비 80%인 점토 지반에서 인발 속도에 따라 극한 인발저항력의 변화를 보여주고 있다. 판의 지름이 25mm일 때와 50mm일 때, 인발 속도가 증가할수록 극한 인발저항력은 증가하지만 그 차이는 미세하였으며, 판의 지름이

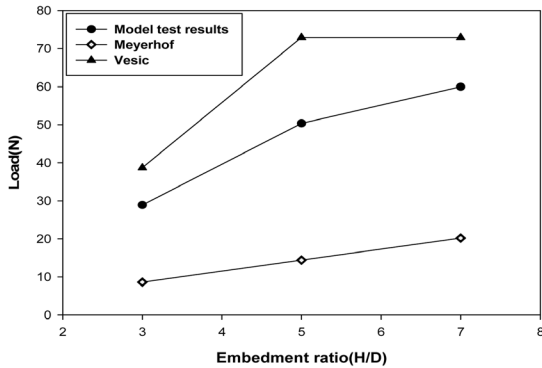


Fig. 5 Variation of $Q_{u(g)}$ with H/D in stiff clay (D=25mm, $w_w=60%$, V=1mm/min)

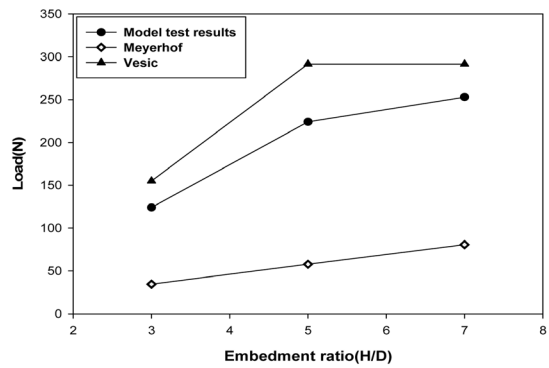


Fig. 6 Variation of $Q_{u(g)}$ with H/D in stiff clay (D=50mm, $w_w=60%$, V=1mm/min)

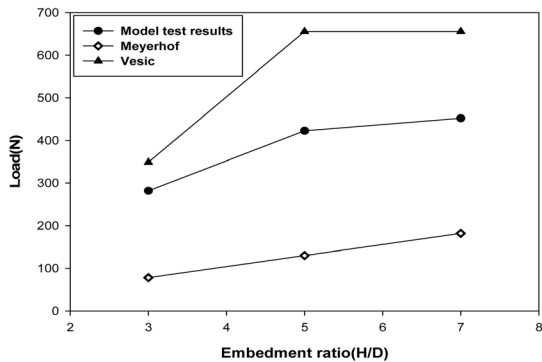


Fig. 7 Variation of $Q_{u(g)}$ with H/D in stiff clay (D=75mm, $w_w=60%$, V=1mm/min)

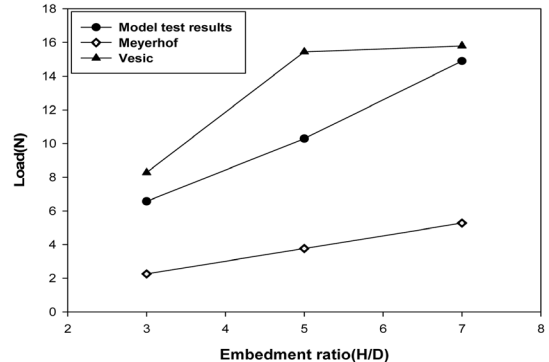


Fig. 8 Variation of $Q_{u(g)}$ with H/D in soft clay (D=25mm, $w_w=80%$, V=1mm/min)

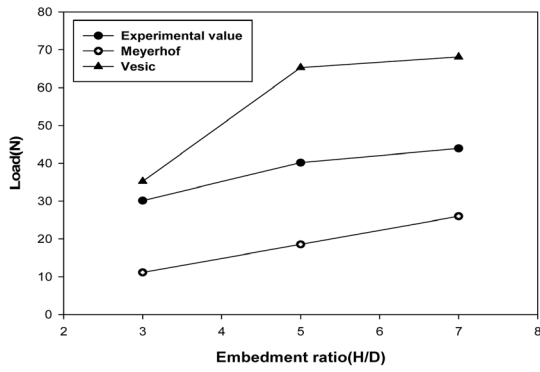


Fig. 9 Variation of $Q_{u(g)}$ with H/D in soft clay ($D=50\text{mm}$, $w_w=80\%$, $V=1\text{mm/min}$)

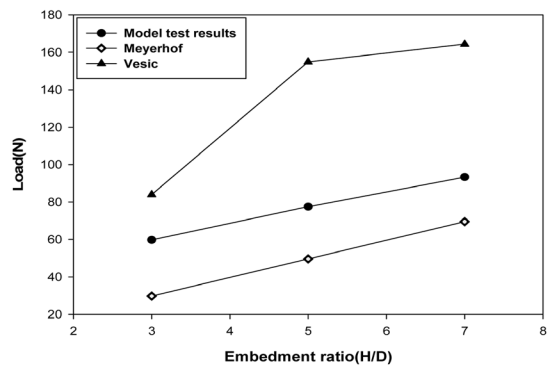


Fig. 10 Variation of $Q_{u(g)}$ with H/D in soft clay ($D=75\text{mm}$, $w_w=80\%$, $V=1\text{mm/min}$)

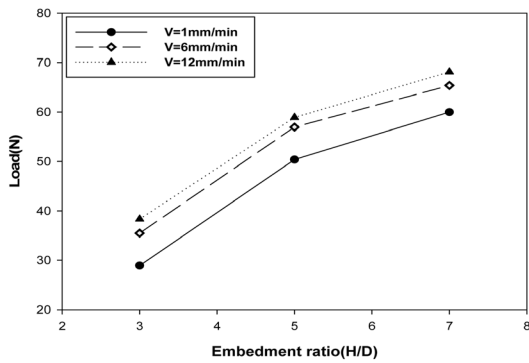


Fig. 11 Load by loading rate in stiff clay ($D=25\text{mm}$, $w_w=60\%$)

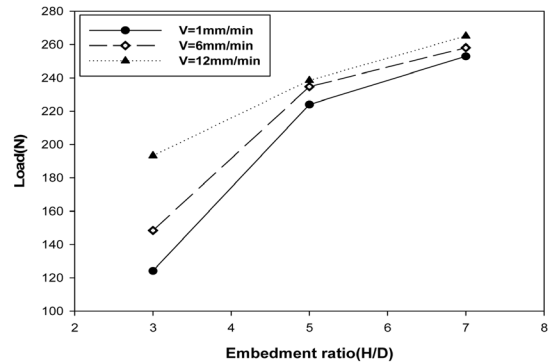


Fig. 12 Load by loading rate in stiff clay ($D=50\text{mm}$, $w_w=60\%$)

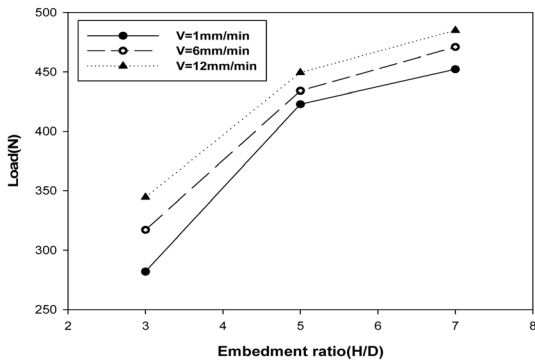


Fig. 13 Load by loading rate in stiff clay ($D=75\text{mm}$, $w_w=60\%$)

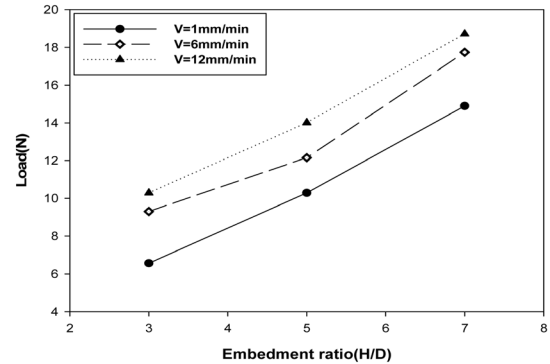


Fig. 14 Load by loading rate in soft clay ($D=25\text{mm}$, $w_w=80\%$)

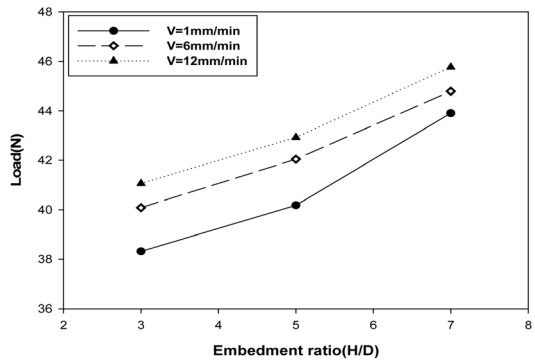


Fig. 15 Load by loading rate in soft clay ($D=50\text{mm}$, $w_w=80\%$)

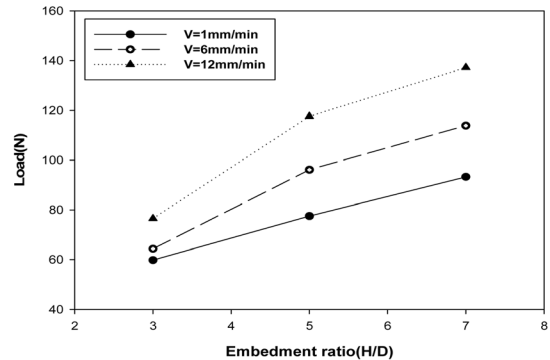


Fig. 16 Load by loading rate in soft clay ($D=75\text{mm}$, $w_w=80\%$)

75mm일 때는 근입비가 증가할수록 인발 속도에 의한 극한 인발저항력의 차이는 증가하였다. 대체적으로 인발 속도에 의한 차이는 있으나 그 값이 적었으며 함수비가 증가할수록 인발 속도에 의한 극한 인발저항력의 영향은 크게 나타났다.

4.3 판앵커의 극한 인발저항력 산정식 제안

점토 지반에서의 극한 인발저항력은 Vesic(1971)의 식과 Meyerhof (1973)의 식을 이용하였으며 파괴계수 F_c 의 값을 변경하여 Table 6과 같이 적용하였으며, 극한 인발저항력의 식은 다음 식 (7)과 같다.

$$Q_o = A(\gamma \cdot H + c_u \cdot F_c) \tag{7}$$

여기에서 A 는 판의 면적을 나타내며, γ 는 흙의 단위중량을 나타내고 있다. H 는 판이 묻힌 깊이를 말하며, c_u 는 흙의 전단강도를 의미한다. 그리고 Q_o 는 인발 속도 1mm/min일 때의 극한 인발저항력을 의미한다.

Table 6 Breakout factor (F_c)

$w_w = 60\%$		$w_w = 80\%$	
H/D	F_c	H/D	F_c
3	10	3	20
5	20	5	40
7	22	7	44

식 (7)의 $A \cdot \gamma \cdot H$ 는 판앵커 위에 있는 토체의 무게를 나타내며, $A \cdot c_u \cdot F_c$ 는 지반의 전단력으로 지반의 전단강도를 포함하고 있다. 또한, 인발 속도에 의한 식은 함수비에 의해 다음과 같이 나타내고 있다. 함수비 60%일 때는 식 (8)과 같다.

$$Q_{u(g)} = Q_o(t)^{0.51} \tag{8}$$

여기에서 $Q_{u(g)}$ 는 인발 속도에 의한 극한 인발저항력을 의미하고, 함수비 80%일 때는 식 (9)와 같다.

$$Q_{u(g)} = Q_o(t)^{0.085} \tag{9}$$

4.4 실내모형실험결과와 산정식 결과값의 비교 및 분석

Fig. 17 ~ Fig. 19는 함수비 60%인 점토 지반에서의 실내모형 실험결과와 산정식 결과값을 나타내었다. 실내모형실험결과와 산정식 결과값은 차이는 있었지만 그 값은 작았으며, 인발 속도에 의한 값의 변화와도 비슷하였다.

Fig. 20 ~ Fig. 22는 함수비 80%인 점토 지반에서의 실내모형 실험결과와 산정식 결과값을 나타내었다. 함수비 60%일 때 비교 및 분석한 결과와 비슷한 결과를 나타내고 있다.

5 결 론

본 논문에서는 실내모형실험에서 함수비와 근입비, 판의 지름,

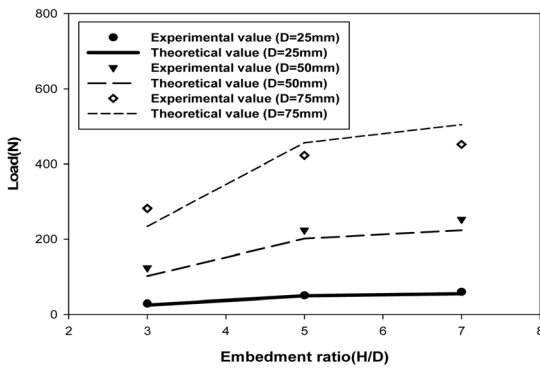


Fig. 17 Comparison of experimental values and theoretical values ($w_w=60\%$, $V=1\text{mm/min}$)

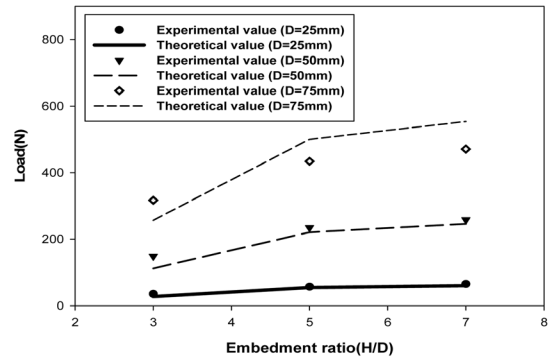


Fig. 18 Comparison of experimental values and theoretical values ($w_w=60\%$, $V=6\text{mm/min}$)

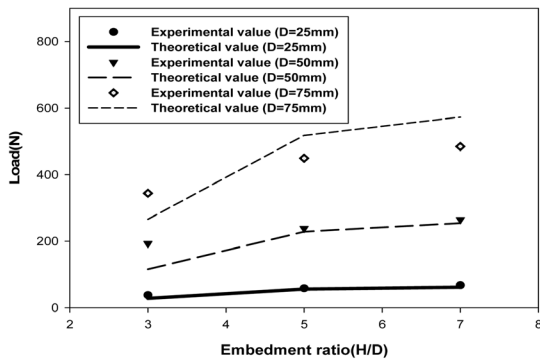


Fig. 19 Comparison of experimental values and theoretical values ($w_w=60\%$, $V=12\text{mm/min}$)

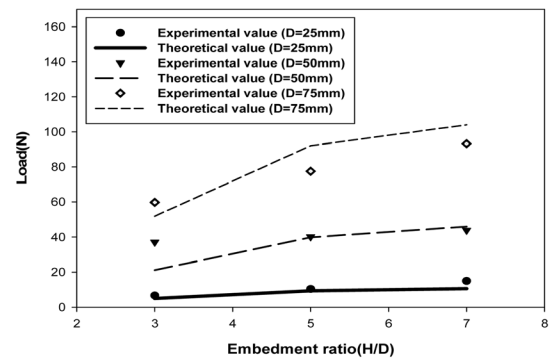


Fig. 20 Comparison of experimental values and theoretical values ($w_w=80\%$, $V=1\text{mm/min}$)

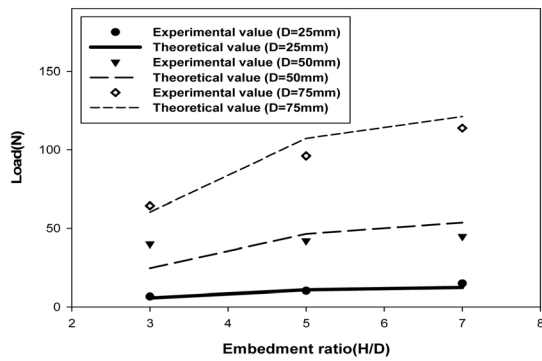


Fig. 21 Comparison of experimental values and theoretical values ($w_w=80\%$, $V=6\text{mm/min}$)

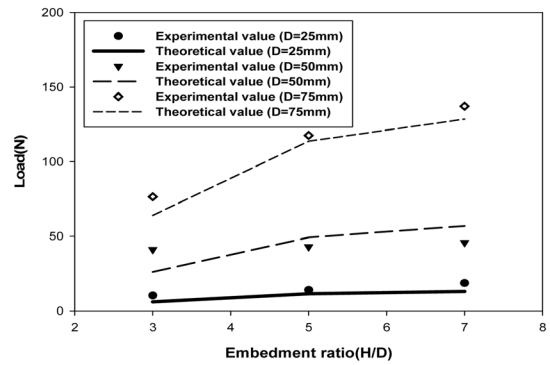


Fig. 22 Comparison of experimental values and theoretical values ($w_w=80\%$, $V=12\text{mm/min}$)

인발 속도에 따른 판앵커의 극한 인발저항력을 조사하였으며, 실내모형실험의 결과를 확장하여 판앵커의 거동을 파악함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 함수비가 서로 다른 두 점토 지반에 대한 극한 인발저항력의 차이는 초기 근입비에서 급격하게 증가하였지만, 근입비가 증가할수록 판앵커에 발생하는 극한 인발저항력의 차이는 완만하게 증가되는 경향을 보여 주고 있다. 이는 근입비가 증가함에 의해 판 위의 연직 기둥모양으로 된 흙 지름이 증가하면서 그 무게가 증가하여 이와 같은 결과가 나타났다고 판단하였다.

(2) 함수비가 서로 다른 두 점토 지반에서는 인발 속도가 증가할수록 극한 인발저항력은 증가하지만, 그 값이 적었으며 함수비가 60%인 점토 지반에서는 근입비가 증가할수록 극한 인발저항력의 차이가 줄어들었다. 그리고 함수비가 80%인 점토 지반에서는 판의 지름이 75mm일 때를 제외한 나머지 두 경우에서 극한 인발저항력의 차이가 적었으며, 판의 지름이 75mm일 때 인발 속도에 의한 극한 인발저항력의 차이는 증가하였다. 또한, 함수비가 증가할수록 인발 속도에 의한 극한 인발저항력의 영향은 크게 나타남을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업인 “빙해선박의 극지항로 안전운항기술 및 극저온 빙 성능 시험평가 기법 개발” 중 “극지용 저온 설계 및 Winterization 평가 기술(PNS133C)” 과제의 연구비 지원으로 수행된 결과이다.

본 논문은 국토해양부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업의 연구결과이다.

REFERENCES

American society for testing materials (ASTM), 1989. Standard

Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading. ASTM, D4186-89, 565-569.

Bae, W.S., Lee, B.J., Kwon, Y.C., Lee, J.D., 2008. Study on Pullout Behavior of Pipe Anchor. Korean GEO-Environmental Society, 9(1), 5-10.

Baker, W.H., Kondner, R.L., 1966. Pullout Load Capacity of a Circular Earth Anchor Buried in Sand. Highway Res. Rec. 108, National Academy of Sciences, 1-10.

Das, B.M., 1978. Model Tests for Uplift Capacity of Foundations in Clay. Soil and Found., Japan, 18(2), 17-24.

Das, B.M., 2007. Earth Anchors. Fort Lauderdale, Florida: J. Ross Publishing.

Jang, J.B., Suh, Y.P., 2005. An Evaluation of Tensile Design Criteria of Cast-In-Place Anchor by Numerical Analysis. 2005. Computational Structural Engineering Institute of Korea, 18(3), 303-309.

Meyerhof, G.G., 1973. Uplift Resistance of Inclined Anchors and Piles. Proc., VIII Intl. Conf. Soil Mechanics Foundation Engineering, Moscow, USSR, 2(1), 167-172.

Ovesen, N.K., 1981. Centrifuge Test of the Uplift Capacity of Anchors. Proc. 10th Int Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Sweden, 1, 717-722.

Plaxis Foundation V2.0, 2006. R.B.J. Brinkgreve and W. Broere.

Shin, E.C., Kim, J.I., Park, J.J., 2005. Effect of Embedment Ratio and Loading Rate on Uplift Adhesion Factor of Concrete Driven Pile. The Korean Society for Railway, 8(4), 367-371.

Vesic, A.S., 1971. Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom. Journal Soil Mechanics Foundation Div., ASCE, 1183-1205.