

## Kaolinite에 근입된 앵커에서 흡입력이 미치는 영향

### Influence of Suction Force of Plate Anchor Embedded in Kaolinite

이 준 대\* · 이 봉 직\*\*

Jun-Dae Lee · Bong-Jik Lee

(1997년 7월 9일 접수, 1997년 12월 12일 채택)

#### ABSTRACT

Plate anchors are primarily used in the foundation construction of earth-supported and earth-retaining structures. In order to estimate uplift capacity as well as suction force of clay, model tests were performed with respect to various embedment depths and two different moisture contents in the prepared saturated kaolinite. Further, suction effects on the ultimate uplift capacity, at the various embedment depths of anchor, were also taken into account.

Test results show that ultimate uplift capacity including suction force increases from 4.2kg at  $H/D=1$  upto 11.6kg at  $H/D=5$  in K1 and from 2.3kg at  $H/D=1$  upto 7.3kg at  $H/D=5$  in K2 respectively. The ratio of  $F_s/Q_n$  decreases along with the increases in the embedment ratio. In general, mud suction force under the ultimate uplift capacity in kaolinite decreases or becomes constant along with the increase of the embedment ratio.

#### 1. 서론

앵커는 해저와 지상 구조물에서 인발력을 받는 기초의 건설<sup>1,2)</sup>에 사용되는 가장 일반적인 형태이다. 지상 구조물의 일반 형태로는 높은 송전탑과 송신탑이 있으며 여기에는 커다란 인발력<sup>3)</sup>이 풍하중에 의해 기둥 모서리에서 발생한

다.

또한 해양 구조물<sup>4)</sup>에서 폭풍우는 커다란 인발력을 발생시킬 수 있으며 기초를 통해 흙으로 전달될 것이고 그래서 인발력을 받는 기초의 설계에서는 인장 하중을 받는 흙의 저항과 앵커의 장, 단기 거동<sup>5)</sup>을 검토할 필요가 있다. 특히 앵커 전반의 이해와 설비 기술은 효과적인 설계에

\* 세명대학교 토목공학과

\*\* 충주산업대학교 도시공학과

도 중요한 요소이고 이러한 앵커는 경제 전반에 대해 중요하게 반영될 것이다.

지금까지 앵커의 사용은 옹벽이나 널말뚝의 안정에 기여하기 위하여 주로 쓰여왔지만 최근에는 인간의 활동영역 확장에 따른 해저 공간의 개발에 따라 각종 구조물의 안정에 이용됨으로써 그 사용이 더욱 증가하고 있는 추세이다.

본 연구는 점토 광물의 한 종류인 kaolinite에서 앵커를 인발할 때 발생하는 흡입력<sup>6,7)</sup>이 단기 극한 인발력에 미치는 영향을 검토하고 앵커의 각 근입비에 대하여 흡입력을 제거<sup>8)</sup>했을 때와의 차이를 비교 분석하였다. 또한 앵커의 특성을 파악하고 인발력을 좀더 정확하게 예측하여 구조물 및 기초의 설계시 과도한 설계를 예방할 수 있도록 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

실험을 위해 사용된 앵커 판은 플라스틱으로 만들었으며 지름은 50 mm이고 두께는 13 mm이다. 지름이 6 mm인 단단한 앵커 강봉에 나사를 만들어 플라스틱 판의 중심에 조였고 앵커 강봉은 강선의 한쪽 끝에 연결 하였으며 강선의 다른쪽 끝은 추에 묶어서 도르레로 이동하였다.

실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같이 길이 830 mm, 폭 830 mm, 높이 900 mm의 강재 상자 속에 넣어진 직경 350 mm, 높이 500 mm인 원형의 용기 속에서 이루어졌으며 실험을 실시하는 동안 하중이 단계적으로 추에 가해지고 하중에 대한 인발 거동이 다이얼게이지 및 LVDT로 측정되었다.

사용된 다이얼게이지는 1/100 mm까지 측정할 수 있으며 LVDT는 다이얼게이지로 부터 읽은 값을 수치화 하였고 각각의 하중과 시간에 따른 변위량의 결과는 퍼스널 컴퓨터와 연결하여 저장하도록 하였다. 동일한 함수비를 갖도록 물로 반죽하여 일주일 동안 습윤 상태로 양생시킨 시료를 압축 시키며 25 mm 두께의 층으로 일정한 높이까지 쌓은 후 24시간 동안 양생 하였다.

### 2.2 시료의 성질

본 실험에 사용된 시료는 점토 광물로 가장 뚜렷한 특성을 나타내고 있는 kaolinite이며 도자기용 재료로 사용되고 있다.

모든 실험은 전단 강도가 서로 다른 2개의 포화된 시료에서 이루어 졌으며 성형된 시료의 강도를 결정하기 위하여 점토의 전단강도 측정에 널리 사용되는 베인전단 실험을 행하였다.

Kaolinite의 토질 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of clay soil

Test Series	w (%)	$c_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )
K1	50.0	0.059	1.671
K2	55.0	0.0437	1.613

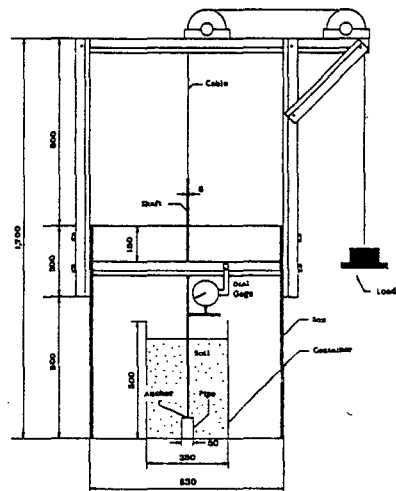


Fig. 1 Schematic diagram of the model test arrangement

### 2.3 실험 방법

일정기간 동안 하중을 받으며 kaolinite에 근입 되어있는 앵커에 수직으로 인발력이 작용할 때의 단기 극한 인발력과 흡입 효과를 고려했을 때의 인발력을 비교하기 위하여 실험을 실시하였다.

실험에 사용된 시료는 순수한 kaolinite이며 전단 강도를 서로 달리한 2개의 시료를 준비하고 포화된 각각의 시료에 대하여 근입비가 1, 2, 3, 4, 5 에서의 영향을 검토하였다. 단기 극한 인발력을 구하기 위하여 플라스틱 파이프로 공

기 구멍을 만들어 점토의 흡입력을 제거하고 하중을 단계적으로 추에 가하여 이 때의 인발 거동을 측정하였다.

연약한 포화 점토에서 점토의 흡입력은 전체 극한 인발력의 일부가 될 수 있으며 실제 지반에서 앵커를 인발할 때 발생하는 점토의 흡입력을 구하기 위해 앵커 바닥에 공기 구멍이 없도록 하여 앵커가 압축된 점토 위에 직접 놓여지도록 하였다. 흡입 효과에 대한 실험으로 흡입력을 구하고 전단 강도, 근입 깊이 등이 점토의 흡입력에 미치는 영향을 고찰하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 하중 변화에 따른 변위

점토에 근입된 앵커의 단기 극한 인발력에 대한 하중과 변위의 관계를 알기 위하여 kaolinite에 대하여 근입비를 1, 2, 3, 4, 5로 변화 시켜가면서 변위를 측정하였다.

Kaolinite에 대한 하중과 변위의 관계는 Fig. 2 및 Fig. 3에서와 같다. K1에서 각 근입비에 대한 하중은 근입비가 5일 때 4.2kg부터 변위가 발생하여 10.3kg일 때 급격히 증가하여 파괴된다.

K2에서 각 근입비의 하중에 대한 변위는 근입비가 1일 때 0.3kg, 근입비가 5일 때 2.6kg부터 변위가 발생하며 완만히 증가하다가 각 근입비에 대하여 1.5kg, 6.4kg일 때 급격히 증가하여 파괴되는 경향을 나타낸다.

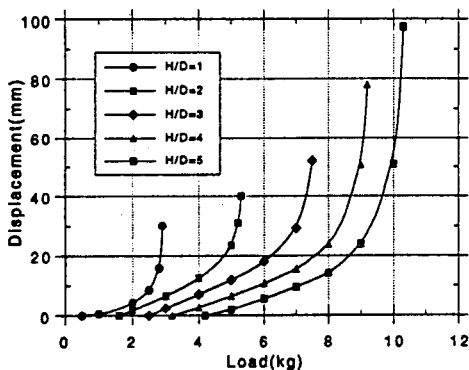


Fig. 2 Load-displacement curve in kaolinite(K1)

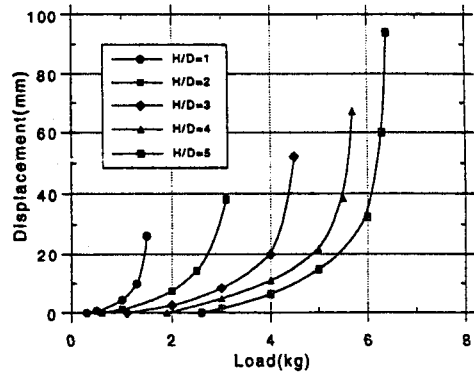


Fig. 3 Load-displacement curve in kaolinite(K2)

장기간 포화된 kaolinite에 근입된 앵커에 인발력이 작용할 때 앵커 판 아래 흙의 응력이 제거되면서 앵커 판 위의 흙은 압축된다. 이러한 이유 때문에 앵커 판 아래의 공극 수압이 감소하는 동안에 앵커 판 위의 공극 수압은 증가되며 이것은 흡입력 때문이다.

실험 결과 kaolinite의 흡입력에 대한 하중과 변위의 관계는 Fig. 4 및 Fig. 5에서와 같다. 흡입력을 포함한 K1에서의 각 근입비에 대한 하중은 근입비가 1일 때 4.3kg, 근입비가 5일 때 12.0kg에서 급격히 증가한 후 파괴된다.

흡입력을 포함한 K2에서의 각 근입비에 대한 하중은 근입비가 1일 때 0.7kg부터 변위가 발생하여 완만하게 증가하나 2.4kg일 때 급격히 증가하고 근입비가 5일 때 3.5kg부터 변위가 발생하며 7.6kg일 때 급격히 증가하여 파괴된다.

여기에서 각 근입비에 대한 변위는 흡입력과 관계없이 초기에는 완만한 경향을 보이지만 일정한 하중에 도달하면 급격히 증가하여 파괴되는 경향을 나타낸다.

#### 3.2 근입비에 대한 하중의 변화

Fig. 6은 kaolinite에서 근입비에 대한 극한 인발력을 나타낸 것으로써 근입비가 1일 때 K1은 2.7kg, K2는 1.4kg이며 근입비가 5일 때 K1은 10.0kg, K2는 6.1kg으로 증가한다.

Fig. 7은 kaolinite에서 근입비에 대한 흡입력을 포함한 극한 인발력을 나타낸 것으로써 K1은 근입비가 1일 때 4.2kg에서 근입비가 5일 때

11.6 kg으로 증가하며 K2는 근입비가 1일 때 2.3 kg에서 근입비가 5일 때 7.3 kg으로 증가한다.

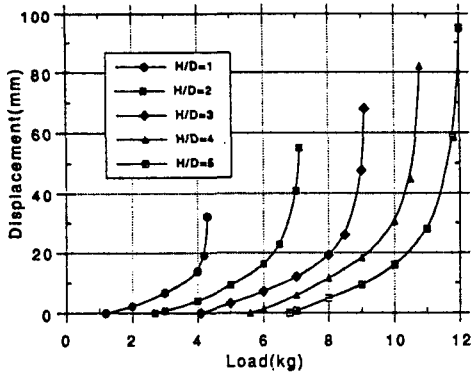


Fig. 4 Load-displacement curve with suction force in kaolinite(K1)

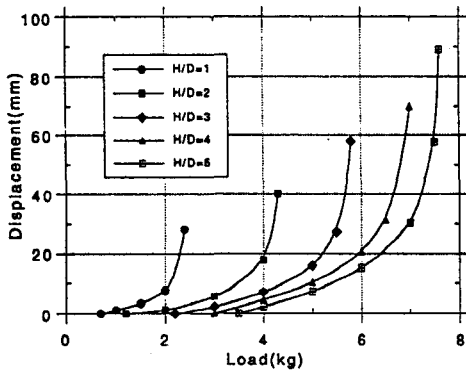


Fig. 5 Load-displacement curve with suction force in kaolinite(K2)

이와같은 실험으로부터 kaolinite에 대한 극한 인발력의 크기는 초기에는 근입비와 함께 흡입력과 관계없이 크게 증가되지만 점차로 완만하게 됨을 알 수 있다.

### 3.3 근입비에 대한 breakout 요소의 변화

Fig. 8은 kaolinite에서 근입비에 대한  $F_c$ 의 값을 나타낸 것으로써 K1은 근입비가 1일 때 2.19부터 근입비가 5일 때 7.93까지 증가하며 K2는 근입비가 1일 때 1.45부터 근입비가 5일 때 6.19까지 증가한다.

여기에서 전단 강도가 큰 K1이 K2보다  $F_c$ 의 값도 약간 크지만 K1, K2 모두 근입비가 4.5~5

사이에서 완만해지는 경향을 나타낸다.

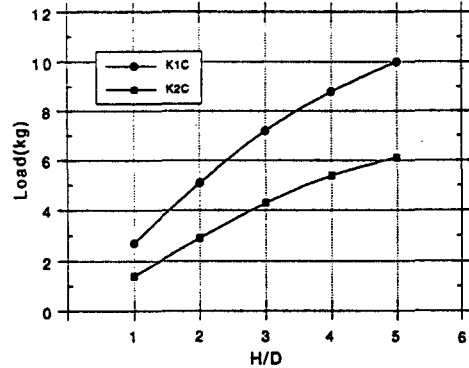


Fig. 6 Variation of  $Q_n$  with H/D in kaolinite

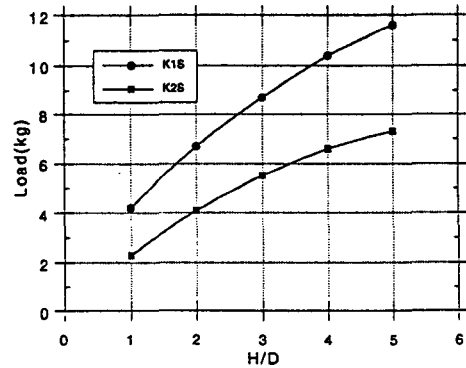


Fig. 7 Variation of  $Q_n + F_s$  with H/D in kaolinite

이 그림으로부터 kaolinite에 대한  $F_c$ 의 값은 근입비에 대해 최대값( $F_c^*$ )까지 증가되며 그후 한계 근입비에서 일정하게 됨을 알 수 있다.

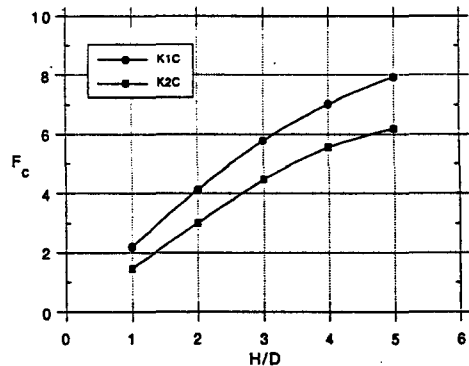


Fig. 8 Variation of  $F_c$  with H/D in kaolinite

3.4 근입비에 대한 극한 인발력과 흡입력의 비

극한 인발력에서 점토의 흡입 효과를 알기 위하여 근입비에 대한 극한 인발력과 흡입력의 비( $F_s/Q_n$ )를 나타냈다. Fig. 9는 kaolinite에서 근입비에 대한  $F_s/Q_n$ 의 값을 나타낸 것으로서 K1은 근입비가 1일 때 0.63에서 근입비가 5일 때 0.16으로 감소하며 K2는 근입비가 1일 때 0.93에서 근입비가 5일 때 0.20으로 감소한다.

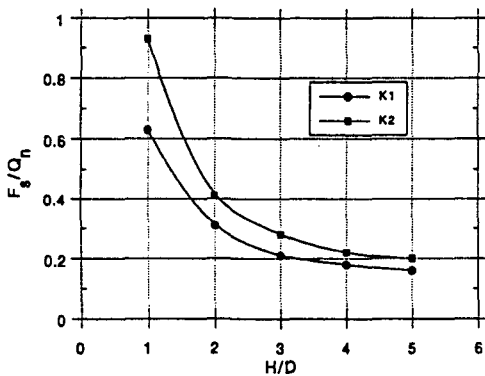


Fig. 9 Variation of  $F_s/Q_n$  with H/D in kaolinite

4. 결론

Kaolinite에 근입된 앵커의 인발 특성을 규명하기 위하여 kaolinite에 대한 실내 모형 실험을 실시하였다. 단기 극한 인발력과 흡입력이 앵커의 인발력에 미치는 영향 등에 대한 연구 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 각 근입비에 대한 변위에서 초기에는 완만한 경향을 보이지만 일정한 하중에 도달하면 급격히 증가하여 파괴되는 경향을 나타냈으며 전단 강도가 증가하거나 근입비가 증가함에 따라 단기 극한 인발력도 증가하는 경향을 나타냈다.
- 2) Breakout 요소의 값은 전단 강도가 큰 K1이 K2보다 약간 크지만 모두 근입비에 대해 최대값까지 증가한 후 한계 근입비가 4.5~5 사이에서 완만해지는 경향을 나타냈다.
- 3) 흡입력을 포함한 극한 인발력에 대하여 K1은 근입비가 1일 때 4.2kg에서 근입비가 5일 때 11.6kg으로 증가했고 K2는 근입비가 1일

때 2.3kg에서 근입비가 5일 때 7.3kg으로 증가했다.

- 4) 근입비에 대한  $F_s/Q_n$ 의 값에서 K1은 근입비가 1일 때 0.63에서 근입비가 5일 때 0.16으로 감소했고 K2는 근입비가 1일 때 0.93에서 근입비가 5일 때 0.20으로 감소했다.

참고 문헌

- 1) Andreadis, A., Harvey, R.C., and Burley, E., Embedded Anchor Response to Uplift Loading, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107, No. GT1, pp. 59~78, 1981.
- 2) Sutherland, H. B., Uplift Resistance of Soils, 28th Rankine Lecture, Geotechnique, Vol. 38, No. 4, pp. 493~516, 1988.
- 3) Kulhawy, F.H., Uplift Behavior of Shallow Soil Anchors an Overview, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 104, No. 6, pp. 1~25, 1985.
- 4) Vesic, A. S., Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No. SM9, pp. 1183~1205, 1971.
- 5) Das, B. M., and Puri, V. K., Holding Capacity of Inclined Square Plate Anchors in Clay, Soils and Foundations, Vol. 29, No. 3, pp. 138~144, 1989.
- 6) Baba, H. U., Gulhati, S. K., and Datta, M. Suction Effect in Plate Anchors in Soft Clay, Proc. XII Int. Vonf. Soil Mech. Found. Engrg, Vol. 1, pp. 409~412, 1989.
- 7) Wang, M. C., Demars, K. R., and Nacci, V. A., Breakout Capacity of Model Suction Anchors in Soil, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 14, No. 2, pp. 246~257, 1977.
- 8) Ninomiya, K., Tagaya, K., and Murase, Y., A Study of Suction and Scouring of the Sit-on-Bottom Type Offshore Structures, Proceedings, The Fourth Offshore

Technology Conference, Houston, Texas,

Vol. 1, pp. 869~879, 1972.