

## 모래지반에 매입된 날개없는 석션앵커의 인발력에 대한 원심모형실험 Centrifuge Model Tests on the Pullout Capacity of Embedded Suction Anchor without Flanges in Sand layer

김경오<sup>1)</sup>, Kyoung-O Kim, 김유석<sup>2)</sup>, You-Seok Kim, 고부현<sup>3)</sup>, Boo-Hyun Ko

<sup>1)</sup> 대우건설 기술연구소 전임연구원, Associate, Daewoo Institute of Construction Technology

<sup>2)</sup> 대우건설 기술연구소 책임연구원, Researcher, Daewoo Institute of Construction Technology

<sup>3)</sup> 대우건설 기술연구소 전임연구원, Associate, Daewoo Institute of Construction Technology

**SYNOPSIS** : The embedded suction anchor(ESA) is an anchor that is driven by a suction pile. The cross-sectional shape of the ESA anchor is circle. Its diameter is the same as that of the suction pile that is used to drive it into the seafloor. For the installation, the anchor is attached to the tip of the suction pile and then driven as a unit with the pile by an applied suction pressure. Once the ESA anchor reaches the desired depth, the pile is retrieved by applying a positive pressure. Finally, only the ESA anchor remains in the soil layer.

This paper presents the results of centrifuge model tests to investigate ESA pullout capacity. The main parameters that have effects on the pullout capacity of ESA may include g-level, embedded depth, direction of loading, and loading point. The results of tests show that the pullout loading capacities increase as the loading point shift toward the tip of the anchors for a given loading direction. They also indicate that the loading point associated with the maximum pullout loading capacity is located at approximately 67 percent of the anchor length from the top for the horizontal load.

**Keywords** : Centrifuge, ESA, Embedded Suction Anchor, Pullout Capacity

### 1. 서론

Suction Pile은 대심도의 해양에 설치되는 구조물의 기초나 계류장치로 많이 사용되고 있다. 석션파일의 형태는 길이와 직경비가 2:1 정도로 원형으로 컵을 뒤집어 놓은 형태이다. 파일의 설치는 지반 굴착 없이 파일내부를 진공상태로 만들어 파일 자중과 내·외부의 압력차로 지반에 관입하게 된다. 이런, Suction Pile과 같이 해양구조물의 기초로 활용 할 수 있는 것이 지중석션앵커(Embedded Suction Anchor; 이하 ESA)이다. ESA는 해양에서 발생하는 풍압이나 파압 등의 수평하중에 저항하도록 고안되었다. ESA의 적용성으로는 부유식 구조물에는 계류장치로, 해상공항 등의 구조물에는 프리텐션을 가하여 구조물에 작용하는 수평하중에 저항하도록 설계 할 수 있어, 매우 다양한 분야에 적용될 수 있다. 하지만, 현재까지 석션앵커의 설계는 대상지에서의 시험시공을 통한 앵커의 인발력을 확인하거나, Plate 형태의 앵커의 해석해를 가지고 설계하고 있는 실정이다. 이에, 당사가 개발중인 ESA 인발특성을 파악하고자 원심모형실험기를 이용하여 모래지반에 매설된 각기 다른 변수들을 가진 총 35개의 ESA에 대한 인발 시험을 수행하였다. 시험에서 고려된 ESA의 인발력 영향 인자는 인발 방향, 인발 작용점이다.

Suction Pile은 파일 내부의 압력을 저하시켜 관입시킬 수 있고 반대로 내부의 압력을 상승시켜 인발

할 수 있다(Bang et al, 2001, 2004<sup>b</sup>, Cho et al, 2002<sup>b</sup>, 2002<sup>c</sup>). ESA는 Suction Pile만이 가진 이 독특한 특성을 이용하여 대우건설에서 개발한 해저에 설치하는 앵커 형식을 말한다. ESA는 석션 파일과 동일한 단면 형상을 가지고 있다. 앵커의 시공은 앵커 설치용 석션 파일(Suction Pile)의 선단부에 앵커를 부착하여 석션압에 의하여 파일과 일체로 원하는 깊이까지 관입시킨 후 석션 파일만 인발함으로써 앵커를 지중에 설치한다(Bang et al, 2004<sup>a</sup>). 인발에 대한 앵커의 저항력은 지반의 종류, 하중 방향, 하중 작용점, 매입 깊이, 앵커의 크기 등 다양한 요소의 지배를 받는다(Bang et al, 2002, 1999, Cho et al, 2002<sup>a</sup>). 본 실험은 현재 개발 중인 ESA 해석해의 검증에 위해 원심모형실험을 통해 석션앵커의 인발력에 미치는 영향인자를 파악하고, 다양한 변수에서의 최대인발력을 측정하여 앵커의 최적 설계를 하고자 하는데 있다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 DICT 원심모형실험기는 공칭반경 2.7m, Platform 반경 3m의 빔형 실험기로서 120g·ton의 용량으로 최대 200g-level까지 가속할 수 있으며, 회전 속도는 25rpm에서 265rpm까지 변환할 수 있다.

실험에 사용된 용기는 80 × 50 × 20cm(L×H×W)의 크기로 바닥과 세 옆면이 스테인리스로 제작되었으며, 앞판은 4cm 두께의 아크릴판으로 이루어져 앵커나 지반의 거동을 확인할 수 있게 되어있다. 인발장치는 servo motor를 이용하여 속도제어가 가능하도록 제작되었으며, 최대 인발하중은 약 10KN이다.

앵커에 작용하는 최대 인발력은 Load Cell을 이용하여 측정하였으며, 로드셀은 설치위치에 따라 인발력에 영향이 없도록 지반 상부에 설치하였다. 설치방법은 앵커에 연결된 인발라인과 인발장치에 연결된 인발라인을 로드셀의 캡에 연결하여 설치하였다. 인발경사는 실험용기의 측벽에 도르래 고정판으로 부착하여 고정식 도르래를 이용하여 0°, 15°를 수행하였고, 30°~90°는 용기 상부에 이동식 도르래를 설치하여 실험하였다.

### 2.2 모형 ESA

실험에 사용된 모형앵커는 원형의 ESA이다. 외형은 그림 1, 2에 나타난 것처럼 직경 3cm, 길이 5cm, 그리고 1.5mm의 두께로 되어 있으며, 인발라인과 연결하기 위해서 ESA의 위쪽에서부터 총 길이의 15, 33, 50, 67, 85%되는 지점에 패드아이를 설치하여 인발라인을 체결하였다. 실험 시 적용된 50g Level의 시험용 ESA는 1g Level의 실제 환경에서 직경 1.5m, 길이 2.5m의 앵커에 상응한다. 인발라인은 라인 직경에서 오는 영향을 최소화시키기 위하여 예비테스트와 인발라인의 파단실험을 통해 최대인발력을 상회하는 강도를 지닌 라인 중 최대한 직경이 작은 라인을 사용하였으며, 본 실험에 사용된 라인은 직경 3.3mm의 스테인리스 강선을 사용하였으며, 앵커와 인발라인의 체결은 그림 3에 잘 나타나 있다.

## 3. 실험준비

모래지반을 모사하기위해 주문진 표준사를 이용하여 지반을 작성하였으며, 사용시료의 비중은 2.62, 내부마찰각은 37.8°이다. 지반의 작성은 먼저 모래를 적당량 컨테이너에 포설한 다음 충분히 포화시킨 후 아크릴로 제작된 다짐판을 이용하여 다짐을 실시한다. 이 작업은 앵커를 설치할 소정의 높이까지 반복하여 다짐을 실시한다. 앵커를 설치할 높이까지 다짐을 실시한 이후, 제작된 앵커 거치대를 사용하여 앵커를 정확한 위치에 설치하고, 지반에 매설한 후 거치대를 제거하고 그 위로 다시 모래층 약 15cm 매립한다. 따라서 앵커의 매설깊이는 15cm이며, 상사법칙에 의해 실제 매설위치는 GL 7.5m이다.

#### 4. 인발력 실험

지반 작성이 완료된 후 실험용기 상부에 인발장치를 설치하고, 인발경사에 따라 고정식 도르래나 이동식 도르래를 용기 상부에 설치하며, 이때 패드아이의 위치에 따라 고정식과 이동식 도르래의 위치를 조정한다. (그림 4)

설치가 완료된 후 원심 모형기에 탑재하고 작동시키며, 목표 중력장인 50g에 도달하기까지는 약 2분의 시간이 소요되었다. 중력가속도가 50g-level에 도달하게 되면, 인발장치를 작동하여 인발한다. 이때 인발 속도는 0.6mm/sec이다.

실험하는 과정의 모든 시간-하중 관계 곡선은 실시간으로 DAS(Data Acquisition System)을 통해 컴퓨터로 전송되어 모니터로 관측된다. 인발력은 인발라인에 설치되어 있는 Load Cell에 의해 매 0.1초 간격으로 측정된다. 하중이 최대값을 지나게 되면 인발장치를 정지한다. 인발실험이 완료되면 앵커를 덮고 있던 모래와 물을 조심스럽게 제거하고 앵커의 최종 위치 및 형상을 측정한다.

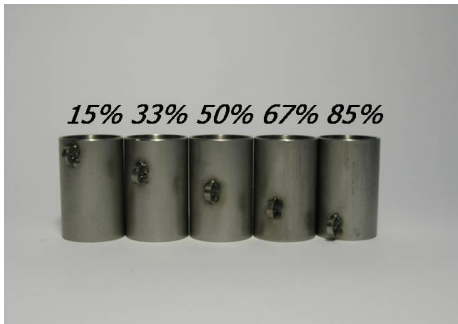


그림 1. 모형 앵커

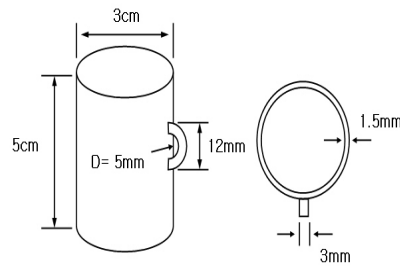


그림 2. 모형앵커 사양



그림 3. 인발라인의 연결

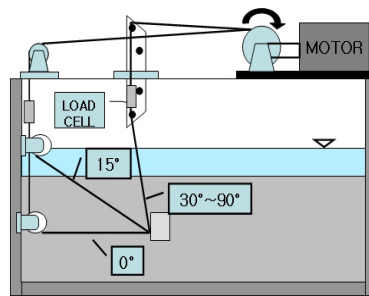


그림 4. 설치 개요도

#### 5. 결과 분석

본 실험에서는 인발 경사와 인발작용점의 변화에 따른 원형의 ESA의 인발력 특성을 파악하였다. 실험의 변수로는 인발경사는 0°~90°, 15°간격 7case, 인발작용점은 앵커 상부에서 길이방향으로 15, 33, 50, 67, 85%의 5case 등 총 35case를 수행하였다. 인발력의 측정은 인발라인에 연결된 로드셀을 통하여 측정하였으며, 최대인발력이 도달 직후에 인발장치를 정지하여 최대인발력에 도달하였을 때의 앵커의 거동을 측정하였으나, 이 논문에는 수록하지 않았다.

인발력은 인발 경사가 수평일 때에 가장 크게 나왔으며, 수직으로 이동하면서 점점 작아지는 경향을 보였으며, 60°이상에서는 인발작용점에 따른 인발력의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 최대인발력은 인발경사에 따라 다소 다르게 나타났으나, 대부분 인발작용점 67%에서 가장 큰 것으로 나타났다. 실험중 최대인발력은 수평방향, 인발작용점 50%에서 나타났다. 최대인발력은 0°, 50%에서 1613ton, 최소인발력은 90°, 15%에서

103.5ton이었다. 인발위치별 최대인발력은 그림 5와 같다.

인발작용점이 앵커상부에서 하부로 내려갈수록 인발력이 증가하는 경향을 보였으며, 최대인발력에 도달한 이후로는 약간 감소하는 추세를 보였다.

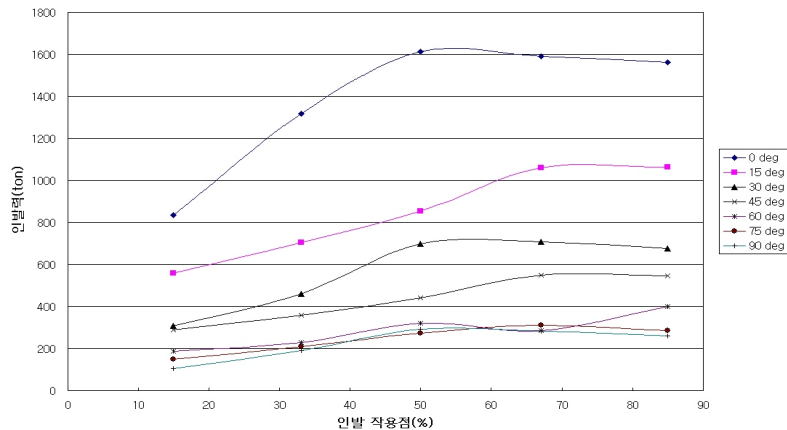


그림 5. 인발작용점별 최대인발력

## 6. 결론

모래지반에 매설된 ESA의 인발력에 대한 원심모형실험 방법을 제시하고 실험을 성공적으로 수행하였다. 실험 결과로부터 인발 경사, 인발 작용점 영향을 알아보았다. 실험 결과로부터, 다음과 같이 결론지을 수 있다.

첫째, 인발 작용점이 낮을수록 최대 인발 저항력은 증가한다.

둘째, 인발 경사가 수평일 때에 인발 저항력이 가장 크게 나왔으며, 수직으로 이동하면서 점점 작아지는 경향을 나타냈다.

셋째, 인발경사에 따른 최대인발력의 변화에서 인발경사 60°이하에서는 인발력의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

인발 하중 상태에서의 앵커의 지지력은 지반의 조건, 하중 작용점, 하중 방향 등 많은 인자에 의해 영향을 받는다. 따라서 본 실험에서 고려한 인발력 영향인자 외에 지반의 조건 등을 고려한 추가적인 연구가 요구된다.

## 참고문헌

- 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.
- Bang, S., and Cho, Y. (1999) Analytical Performance Study of Suction Piles in Sand, *9<sup>th</sup> Int Offshore and Polar Eng Conf & Exhibition*, Brest, France, May, Vol I, pp 90-93.
- Bang, S., Boonyong, S. and Cho, Y. (2004) Field Installation and Pullout Tests of Embedded Suction Anchors, *Journal of TRB Record*, Submitted.
- Bang, S., Cho, Y., and Kim, S. (2001) Calibration of Suction Pile Installation Design with Centrifuge Model Tests, *20<sup>th</sup> Int Offshore Mechanics and Arctic Eng Conf*, Rio de Janeiro, Brazil, June, OMAE-01-5023.
- Bang, S., Jones, K. and Cho, Y. (2004) Transition of Soil Strength During Suction Pile Retrieval in Sand, *Int J of Offshore and Polar Eng*, Accepted
- Beard, R.M., (1979) Long-Term Holding Capacity of Statically Loaded Anchors, *Technical Report No. TN-1545*, Naval Construction Battalion Center
- Beard, R.M. and H.J. Lee, (1975) Holding Capacity of Direct Embedded Anchor, *Civil Engineering in the Oceans/III, Delaware*, University of Delaware, Vol. 1, pp. 470-485.