

콘크리트 파일앵커의 설치 매니퓰레이터의 개발을 위한 모형실험에 관한 연구

윤길수* · 김호상**

*부경대학교 환경·해양대학 해양공학과

**국립수산과학원 어업생산공학과

Model Test for the Development of Installing Manipulator of Concrete Pile Anchor

GIL-SU YOON* AND HO-SANG KIM**

*Department of Ocean Engineering, College of Environmental and Marine Science and Technology, PKNNU, Busan, Korea

**Division of Fisheries Engineering, NFRDI, Gijang-gun, Busan, Korea

KEY WORDS: Concrete Pile Anchor 콘크리트 파일앵커, Installing Manipulator 설치장치, Model Test 모형시험, Uplift Pulling Force, 인발력, Buoyancy Controller 부력조절기, Weight 추, Saturation Diving 포화잠수, TRIZ 발명문제해결이론

ABSTRACT: Greater holding force of an anchor is required for maintaining the position of a larger floating structure. According to the series of model tests of pile anchors with movable fluke, the square type pile anchor, with fluke, showed more than 6 times of the uplift pulling force, compared to the same type pile anchor, without fluke. This uplift force is 100 times its weight. When the water depth is more than 40 m, it is difficult to install the pile anchor. For a convenient installation method, a type of manipulator is proposed for the separation of a weight and buoyancy controller, using TRIZ.

1. 서 론

계류계의 설치는 부유구조물의 위치 유지를 위하여 필수적이며 따라서 부유구조물이 커짐에 따라 계류계의 끝 부분에 달려 있는 앵커의 저항력은 커져야 한다. 앵커들의 종류는 드래그 앵커, 중력식 앵커, 매설식 앵커와 파일앵커 등으로 구별되며 앵커들은 주로 모래나 썰로 구성된 해저 바닥면에 설치된다. 해저 바닥이 매우 단단한 경우에는 콘크리트와 같은 중력식 앵커들이 주로 사용된다. 이것은 현장 제작이 가능하며 설치하기 쉽고 수평력이 좋은 장점에 비해 수직 저항력이 약한 것이 결점이다 (권기철 등, 2003). 이에 비해 매설식 앵커는 인발 저항력이 대단히 우수하나 매설방법이 어렵다. 매설식 앵커로서 교량과 같은 고정식 해양구조물의 지반앵커에 대한 연구가 있었으나 부유식 구조물의 앵커로는 적합하지 못하다 (송일준 등 2003). 파일앵커는 큰 수평저항력을 가지는데에 비해 상대적으로 작은 수직저항력을 가진다(Jones, 1985). 본 연구에서는 먼저 파일앵커의 수직저항력을 키우기 위한 연구의 일환으로 원형과 사각 형태의 파일앵커 모형실험을 수행하였다. 파일앵커는 통상의 중력식 앵커와는 달리 해저 바닥에 매설되어 야만 하며 특히 수심 40m 이상의 경우에는 포화잠수가 필요하므로 파일앵커의 매설이 대단히 힘들게 된다.

이러한 설치 문제를 극복하기 위해 추와 부력조절기의 분리와 결합에 의해 깊은 수심에서 파일앵커의 설치가 가능한 매니퓰레이터를 제안하고자 한다.

2. 파일앵커

부유구조물은 수산양식시설, 해양관측시설, Barge Mounted Barge 등 다양한 이용 방법으로 모색되고 있다. 부유구조물은 필연적으로 파력과 같은 외력을 받게 되는데, 계류삭을 통하여 해저 바닥에 설치되어 있는 앵커의 저항력으로 자신의 위치를 유지하고 있다. 작용하는 외력이 크면 클수록 부유구조물은 자신의 위치를 유지하기 힘들다. 특히 태풍과 같은 악천후에는 파력이 커지므로 부유구조물을 원하는 위치에 유지하기는 더욱 힘들게 되므로 저항력이 좋은 앵커의 개발이 필요하다 (Berteaux, 1976; McClelland and Focht, 1958; Matlock and Reese, 1962; McClelland and Reifel, 1986).

최근에 많은 관심을 끄는 앵커는 suction 파일을 사용하는 방법으로서 Gulf 사가 특허를 가지고 있으며 설치기술에 관한 특허는 네델란드의 Noordhoek Diving Company 사가 가지고 있다. 이것은 컵형 파일을 해저바닥에 뒤집어 놓는 형상으로 ROV를 사용하여 파일 속의 해수를 빨아냄으로써 해저지질을 파고 들어가도록 하는 앵커로서 수심의 제약을 해결하고 있다. Suction 파일의 개념은 우수하나 제작부터 설치, 유지관리에

제1저자 윤길수 연락처: 부산시 남구 대연3동 599-1
051-620-6224 gsyoon@pknu.ac.kr

이르기까지 외국특허에 의존하기 때문에 경제적이 못하다 (Bang et. al. 1999). 따라서 본 연구에서는 수평하중을 받는 파일앵커의 계류해석 (윤길수 등, 1997)의 연구의 기반 위에 수직 저항력이 큰 파일 앵커를 개발을 목표로 모형실험을 수행하였다. 수심이 깊은 경우, 파일앵커를 매설하기 위한 설치 개념도는 Fig. 1 과 같다.

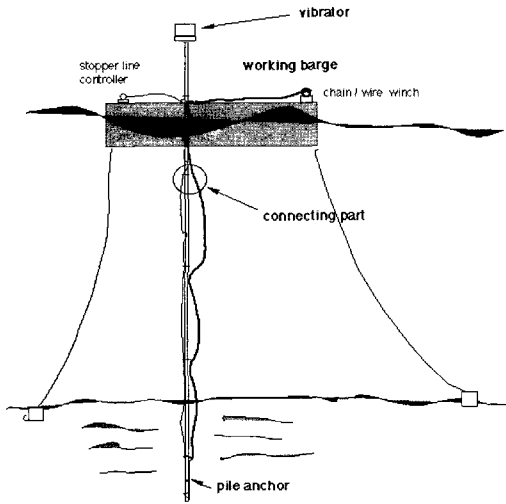


Fig. 1 Installation diagram for concrete pile anchor

3 파일앵커의 모형실험

3.1 실험장치

파일앵커의 모형실험을 수행하기 위하여 Fig. 2 와 같은 가로, 세로 23 cm 면적의 길이 67 cm 의 아크릴 실험수조통을 제작하였다. 그 바닥에는 직경 2.5 cm 의 밸브로 배수할 수 있도록 장치하였다. 깊이 50cm 의 모래를 담고 원활한 배수실험을 위하여 수조를 바닥에서 10 cm 위에 실험대를 설치하여 힘을 수직으로 재기 위해 Kas 디지털 저울을 달아낼 수 있도록 장치하였다. 배수 밸브는 파일앵커의 매설실험 후 배수 결과를 알아보기 위한 목적도 겸하였다. 파일앵커의 매설을 위한 부분으로서 라이저는 길이 1 m 의 막대를 사용하였고, 라이저 끝부분을 파일앵커를 담는 아크릴 관으로 처리하였다. 수중펌프를 통해 파일앵커를 담는 아크릴 관에 연결된 부분과 바이패스 관로를 통해 공급되는 유량을 조절함으로써 수압을 조절하였으나 정량적인 수압변화는 측정하지 못하였다 (Fig. 3). 수중펌프는 내해수성 알미늄 합금으로 만들어진 24 볼트 직류전원용 일체 TD5641를 사용하였는데 최대 양정은 3 m, 전류는 3 A 가 소용되고 최대 토출량은 분당 55 리터로서 이 때의 전류는 4 A 가 소요되었다. 앵커파일 모형을 담는 아크릴 관은 20, 30, 40 mm 의 3 종류를 사용하여 모형 크기에 적합한 관을 사용하여 수압을 이용한 매설실험을 수행하였다.

3.2 파일앵커 형태

파일앵커의 형태를 결정하는 가장 중요한 요소는 매설시 저항을 적게 받아야 하며 인발 시에는 큰 저항력을 작용하여야

한다. 따라서 날개 (fluke)를 가지는 파일앵커를 기본 형태로 하였으며, 대칭형으로 가지는 형태, 비대칭적으로 가지는 형태를 제작, 실험을 수행하였다. 원형 파일(circular pile) 모형의 경우는 인발시 초기에 날개가 몸체(shank)와 만드는 각도가 5-10도로 작기 때문에 전개되지 않는 경우도 있었다 (Fig. 4). 따라서 인발시 초기에 날개가 잘 전개되도록 사각파일은 날개에 보조계류삭을 장착하여 장력이 먼저 전달되도록 제작하였다(윤길수, 2003). Fig. 5 의 보조계류삭 Q1 은 날개 전개부에 연결되어 있고 주계류삭 Q2는 앵커 몸체에 연결되어 있으므로 힘이 전달되어 올 경우 보조계류삭에 먼저 전달되어 날개가 퍼지게 된다. 따라서 모형실험 시 날개가 완전히 전개되었는지 확인하지 못하였으나 측정된 장력의 크기 변화로 볼 때 완전히 전개된 것으로 판단된다. 각 실험시마다 Fig. 2와 같이 배수변을 막은 후 2-3회의 모래다짐으로 동일 상태의 지반조성을 하였다.

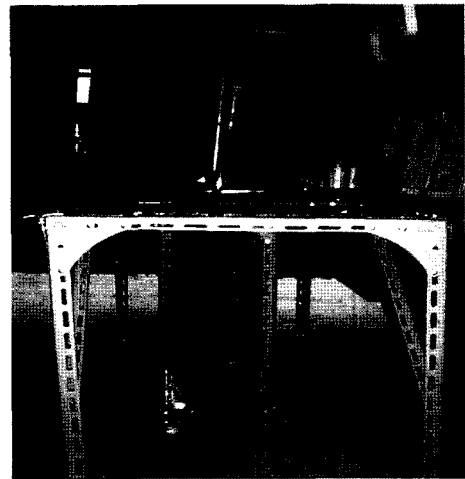


Fig. 2 Model basin of pile anchor

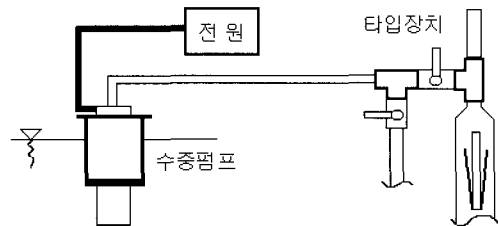


Fig. 3 Diagram of model test for pile anchor

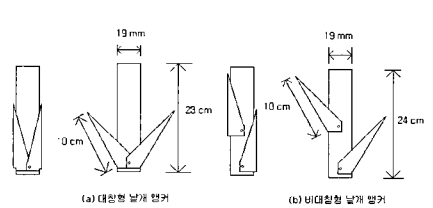


Fig. 4 Shape of circular pile anchor

날개가 퍼지지 않을 경우에는 통상의 원형파일을 뽑는 것과 동일하므로 인발에 대한 저항력이 대단히 작아진다. 따라서 인발 시 날개가 퍼지기 쉽게 개선한 사각 파일(square pile) 앵커 형태의 모형을 Fig. 5 와 같이 날개가 완전히 전개될 경우 몸체와 60도가 되도록 제작하였다.

사각 파일앵커는 우선 날개가 퍼지는 저항을 줄이기 위해 파일 본체 하부에 경첩을 달아 날개를 고정하였으며 두 날개들을 중간의 지지대에 연결하여 파일내부에 연결부가 체인으로 전해오는 장력을 먼저 받아 날개가 전개되도록 만들었다. 인발시 날개가 5-10도 이상 전개되면 파일앵커 전체로 전해오는 장력으로 인해 날개가 60도까지 전개된다.

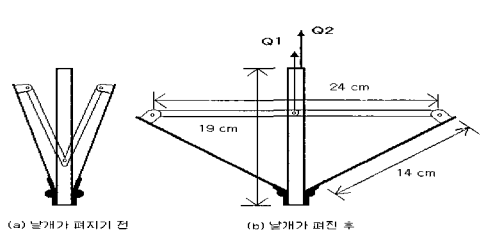


Fig. 5 Shape of square pile anchor

3.3 장력 계측 장치

파일앵커의 인발력을 측정하기 위한 장치는 Fig. 6 과 같이 모형에 연결된 100 kg 급 loadcell (Bongshin) 을 통해 나온 신호를 역시 국산 봉신 제품인 digital indicator BS-4100A를 통하여 RS232C 로 Window 95 용 PC 로 연결하여 인발력 데이터를 파일 형태로 저장하였다. 자료의 저장 간격은 1/15 초였다.

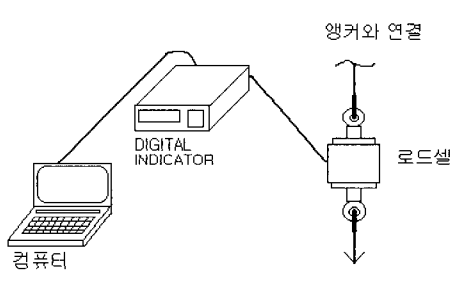


Fig. 6 Measuring device for pulling force

3.4 파일앵커의 인발 실험결과 해석

파일앵커를 날개길이와 같은 깊이까지 수압으로 매설하고 배수 후 인발하는 실험을 대칭 및 비대칭 원형 파일앵커, 사각형 파일앵커에 대해 5회를 수행하였다. 그 중 최대값과 최소값을 제외하고 3회의 실험결과를 그래프로 나타낸 것이 Fig. 7, 8, 9 이다.

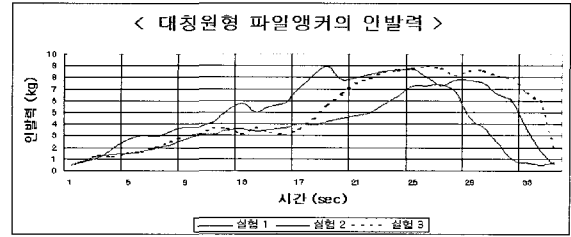


Fig. 7 Pulling force for symmetric circular pile anchor

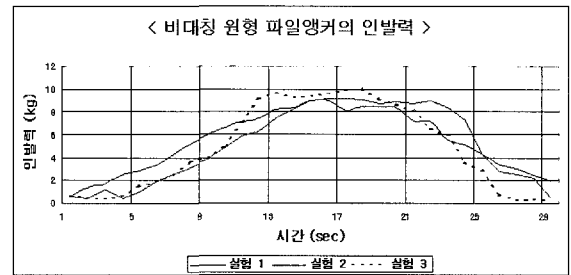


Fig. 8 Pulling force for unsymmetric circular pile anchor

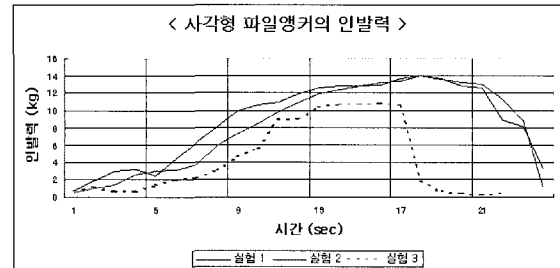


Fig. 9 Pulling force for square pile anchor

Table 1 Comparison of pulling force for pile anchors with/without fluke

Pile type	Pulling force (kgf)	Pulling force ratio with/without fluke
Circular pile	1.12	
Symmetric circular pile anchor	7.68	6.86
Asymmetric circular pile anchor	9.05	8.08
Square pile	1.52	
Square pile anchor	10.21	6.72

파일앵커의 인발실험 시 인발력, 인발속도의 측정이 중요하지만 실험장치의 부족으로 인발력과 인발속도를 측정하지 못하였다.

인발력 곡선이 넓은 범위로 펼쳐져 있는 것이 좁은 면적에 큰 인발력을 가지는 것 보다는 큰 에너지를 가지므로 앵커로서의 역할이 더 바람직하다. 원형 파일앵커보다 사각 파일앵커의 파주력이 더 큰 이유는 인발력 곡선 아래의 면적이 크기 때문이다.

각 실험에서 파일앵커의 매설 깊이의 차이와 날개의 전개각의 차이로 인해 최대 인발력이 나타나는 시점이 다르나 인발력의 평균값은 Table 1 과 같다. Table 1에서 날개가 없는 원형파일과 사각 파일과 날개를 가지는 파일앵커들과의 인발력비를 계산한 결과 공히 6.7배 이상을 보였다.

즉, 대칭원형파일과 사각파일이 약 6배, 비대칭 원형파일이 8배의 크기를 보인다. 또한 파일 자중과 비교한 것은 표 2 와 같으며, 사각 파일앵커의 경우 자중의 약 100배의 인발력을 보이고 있다. 이는 보통의 파일앵커의 경우 50-60 배에 비해 상당히 좋은 성능을 보인다. 실제 사각 파일앵커의 모형을 정교하게 만들 경우 매설이 더욱 용이할 것이며, 날개의 길이에 따른 인발력의 크기 변화를 실험해볼 가치가 있다. 또한 모래 중에 묻힌 파일의 변위를 볼 수 있는 초음파 계측장치를 이용한다면 좀 더 정확한 파일앵커의 날개 전개 형상과 함께 인발력을 더 정확하게 실험할 수 있을 것이다.

Table 2 Comparison of pulling force with pile anchor's weight

	Weight (kgf)	Pulling force (kgf)	Pulling force ratio to weight
Symmetric circular pile anchor	0.16	7.68	48.0
Asymmetric circular pile anchor	0.18	9.05	50.3
Square pile anchor	0.10	10.21	102.1

4 콘크리트 파일앵커의 설치 매니퓰레이터

4.1 깊은 수심의 파일앵커 설치방법

3 절에서 파일앵커에 대한 모형시험에서 날개를 가지는 사각파일 앵커의 인발력이 우수함을 확인하였으나, 수심 40 m 이상의 깊은 수심에서의 파일앵커의 설치는 쉬운 일이 아니다. 따라서 수심이 40m 이상되는 곳에 앵커를 설치하는 방법의 연구가 필요하다. 여기서는 깊은 수심에서 콘크리트 앵커의 수직 저항력을 보강하기 위해 파일앵커를 콘크리트 앵커와 함께 설치하기 위한 매니퓰레이터의 개념을 도입하였다.

콘크리트 앵커와 파일앵커를 함께 설치하기 위해서 우선 콘크리트 앵커에 파일앵커를 설치할 수 있는 템플레이트를 함께 제작하여야 한다. 또한 잠수자의 활동이 불가능한 수심이 40 m를 넘는 수심에서 콘크리트 검용 파일앵커를 설치하기 위해서는 파이프 연결 및 해체 작업과 인양을 위한 윈치와 타워를 가지고 있으며 침수구획부를 가지는 특수 선박 또는 특수 바지가 필요하다.

4.2 트리즈에 의한 매니퓰레이터의 기능 분리

포화잠수가 필요한 수심 40 m 이상인 사질 해저에 파일앵커의 설치에 Fig. 10 과 같이 침수격벽을 가진 작업바지에서 콘크리트 파일앵커(10-1)를 해저 바닥에 놓고 파이프(10-3)를 설치한 후, 그 파이프를 통해 추(10-2)와 부력조절기(10-4)를 사용하여 파일앵커를 타설하는 방법에 대해 설명하고자 한다.

발명문제해결이론인 트리즈(TRIZ)에 의하면 원하는 기능을 완벽하게 수행할 수 없다면, 시간적, 공간적으로 그 기능을 분리하여 부분적으로 만족시킬 수 있으며, 결국 원하는 기능을 모두 만족시킬 수 있다(Altshuller, 1996). 이에 따라 충분한 깊이만큼 타설된 콘크리트 파일앵커는 Fig. 11 과 같이 중량과 수직인발력을 분담함으로써 앵커로서의 저항력을 크게 발휘할 수 있다. 콘크리트 앵커(11-1)를 제작할 때 수직 또는 경사진 파일앵커 템플레이트(11-2)를 미리 설치한 후에 파일앵커(11-3)를 타이트하게 관입시킨다.

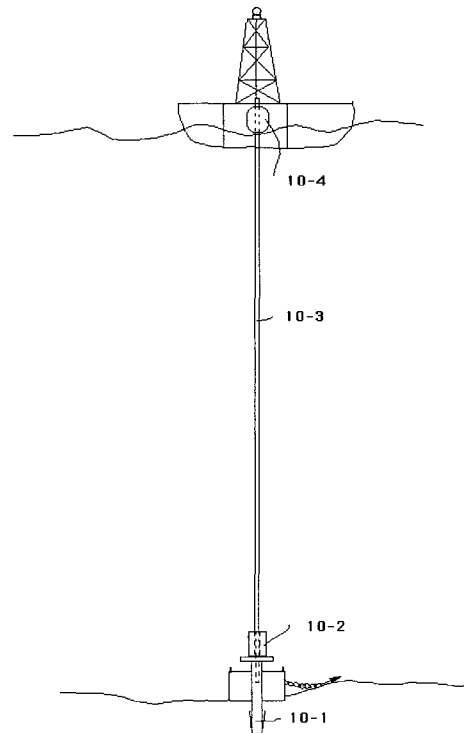


Fig. 10 Modified installation diagram for concrete pile anchor

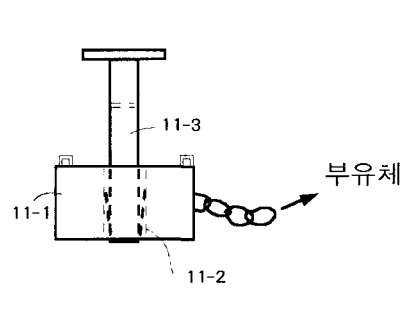


Fig. 11 Concrete anchor with pile anchor

4.3 추와 부력조절기

추와 부력조절기는 콘크리트 파일앵커의 설치 매니퓰레이터의 핵심부분이다. 콘크리트 앵커 속에 관입되어있는 파일앵커를 타설하기 위해서는 상당한 중량을 가지는 추(12-1)가 필요하며 그 추로 반복 타설하기 위해서 파이프를 타고 오르내리는 배어링(12-2)과 부력조절기와의 연결부(12-3)를 가지고 있다. 물속에서 추를 상승시킬 수 있는 가장 손쉬운 방법은 공기를 이용하는 것이다. 따라서 공기를 이용하여 부상과 침하를 반복할 수 있도록 SCUBA 공기통을 가지는 부력조절기를 사용한다. 그리고 작업자는 작업바지의 침수구획부에서 상승되어 올라온 부력조절기와 추의 결합을 분리하고 부력조절기안의 공기를 배출하여 주는 정도로 작업을 최소화 할 수 있다. 추와 부력조절기는 Fig. 12, 13 과 같다.

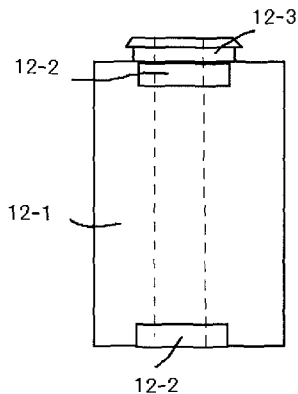


Fig. 12 Weight

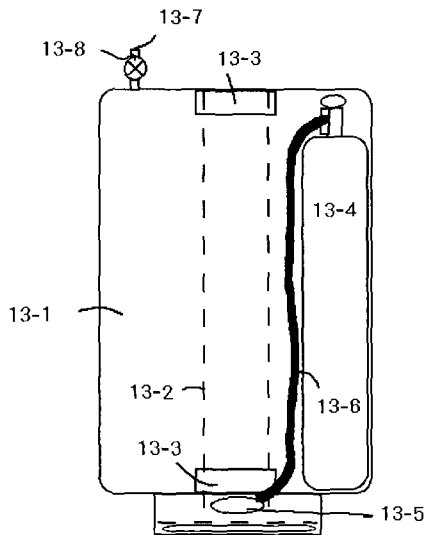


Fig. 13 Buoyancy controller

부력조절기(13-1)는 공기통(13-4), 호스(13-6), 레귤레이터(13-5)를 가지고 있으며 추 상부의 연결부(13-3)와 연결될 경우 레귤레이터(13-5)의 압착에 의해 공기통에 공기가 공급되며 그 공기량에 의해 부력을 받고 볼베어링(13-3)에

의해 파이프를 이동시킬 수 있다. 공기는 작업바지에서 작업자가 공기배출발브(13-8)에 의해 공기배출구(13-7)를 통해 공기량을 조절할 수 있다.

Fig. 13의 부력조절기(13-1) 아래 연결부에 설치되어 있는 레귤레이터(13-5)를 추 상부 연결부(13-3)가 압착하여 공기를 배출하여 부력조절기에 공기를 채움에 따라 하나로 결합된 부력조절기(13-1)와 추(12-1)가 함께 작업바지로 상승하면, Fig. 10에서와 같이 작업바지에 있는 작업자가 부력조절기와 추를 분리한 후 추를 다시 파이프를 통해 자유낙하시켜 파일앵커를 타설할 수 있다.

이상의 과정을 콘크리트 앵커를 관입한 파일앵커가 충분히 타설될 때까지 계속 반복하다가 부력조절기, 추, 파이프 순으로 회수하면 된다. 추와 부력조절기에 의한 앵커파일 설치방법은 현재 특허신청 중이다.

5. 결 론

파일앵커의 지지력을 늘리기 위한 일련의 앵커파일 모형실험과 깊은 수심에 콘크리트 파일앵커를 설치하기 위한 설치 매니퓰레이터의 개념설계로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 개폐가 가능한 날개를 가지는 파일앵커는 매설 시에는 날개가 접혀져 매설하기가 용이하고, 파일앵커에 연결된 보조계류삭으로부터의 장력을 받을 경우 날개가 먼저 힘을 받아 전개됨으로써 큰 저항력을 발휘한다.
2. 수직저항력을 키우기 위해 날개를 가지는 원형과 사각형의 파일앵커의 모형을 제작하여 실험을 수행한 결과 날개를 가지는 원형파일 앵커는 날개를 가지지 않는 원형파일의 6배의 수직저항력을 보였으며, 날개를 가지는 사각파일 앵커는 자중의 100배의 수직저항력을 가지는 것을 확인하였다.
3. 트리즈 기법을 사용하여 콘크리트 파일앵커의 타설 매니퓰레이터의 기능을 추와 부력조절기로 분리하는 개념을 사용함으로써 40m가 넘는 수심에서도 콘크리트 파일앵커의 설치가 용이하다.

이상의 콘크리트 파일앵커를 이용하면 큰 저항력을 가지게 되므로 대형 부유식 수산양식 시설물이나 해양구조물의 안정적인 위치 유지에 크게 기여할 수 있다.

후 기

본 연구는 1997년 학술진흥재단 학제간 연구지원으로 수행되었으며 연구신청 제목과 발표논문의 제목 사이에 한 글자라도 바꿀 수 없다는 고지식함과 본 저자들의 게으름으로 인하여 논문이 늦어진 것에 대해 대단히 유감스럽게 생각한다. 그럼에도 불구하고 논문 제출을 독려해준 관계자분들께 감사드린다.

참 고 문 헌

- 권기철, 홍남식, 송무효, 최창규 (2003). "친해역 점성토 지반에 적합한 오타방지막 기초 앵커", 한국해양공학회, 제17권, 제3호, pp 7-12.
- 송일준, 김가야, 홍석우 (2003). "앵커 형식별 인발거동과 설계법 연구", 한국해양공학회지, 제17권, 제4호, pp 43-51.
- 윤길수, 김용직, 김동준, 강신영 (1997). "해상관측시설을 위한 과량하중 및 계류계 해석", 해양환경공학회 학술대회논문집.
- 윤길수 (2003). 자기전개식 앵커, 특허 제0387375호
- Altshuller G. (1996). "And Suddenly the Inventor Appeared", TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving, Technical Innovation Center, INC.
- Bang, S., Preber, T. Cho, Y. Thomason, J. Karnoski, and Taylor R.J. (1999). "Suction Piles for Mooring of Mobile Offshore Bases," Third International Workshop on Very Large Floating Structures, Honolulu, Vol 2, pp 670-678.
- Berteaux, H.O. (1976). Buoy Engineering, A Willy-International Publication, pp 97-309.
- Cox, W.R., L.C. Reese and Grubbs, B.R. (1974). "Filed Testing of Laterally Loaded Piles", OTC 2079, pp 459-472.
- Jordan, P.A. and Brewerton, R.W. (1982). "Offshore Catenary Moorings", Proc. of Offshore Moorings Conf., Thomas Telford Ltd., London, pp 32-40.
- Jones, J.P. (1985). Fleet Moorings, Basic Criteria and Planning Guidelines, NAVFAC, DM26.5, pp 23-26.
- Matlock, H. and Reese L.C. (1962). "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles", Trans. Am. Soc. Civ. Eng., Vol 127, pp 1220-1251.
- McClelland, B. and Focht, J.A. (1958), "Soil Modulus for Laterally Loaded Piles", Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 123 pp 1049-1086.
- McClelland, B. and Reifel, M.D. (1986). Planning and Design of Fixed Offshore Platforms, Van Nostrand Reinhold, pp 801-817.

2003년 8월 1일 원고 접수

2004년 2월 2일 최종 수정본 채택