

헬리컬 앵커개발 및 적용을 위한 앵커의 회전 관입 토크와 인발저항력과의 상관관계 정립

김낙경¹, 김영욱^{2*}, 문준호², 신진화², 구교영²
¹성균관대학교 건축토목공학부, ²명지대학교 토목환경공학과

Setting up Relationship between Pull-out Resistance of Helical Anchor and Rotational Penetration Torque for Methodology Development

Nak-Kyeong Kim¹, Young-Uk Kim^{2*}, Jun-Ho Moon², Zhen-Hua Xin², Kyo-Young Gu²

¹Division of Architecture and Civil Engineering, Sungkyunkwan University

²Department of Civil and Environment Engineering, Myongji University

요약 연약지반에 적용 가능한 앵커의 기술로 개발계획인 헬릭스 형태의 소형 앵커는 기존 앵커보다는 시공 단계가 단순하고 그라우트가 양생될 때까지 기다릴 필요가 없으므로 공기단축 및 연장 로드 반복사용이 가능하며 비용 절감효과가 있다. 또한 배토가 없으며, 회전식으로 헬리컬 앵커를 삽입하기 때문에 시공성이 좋으며, 앵커의 제거도 설치만큼 쉬우므로 가시설의 제거용 앵커로도 활용 가능하며, 헬리컬 앵커 날개 수에 따라 인발저항이 달라, 효율적인 헬리컬 앵커 설계가 가능할 것으로 판단된다. 연약지반에 헬릭스 앵커를 시험시공하기 위하여 헬리컬 앵커와 토크드라이버를 제작하였으며 헬리컬 앵커를 삽입/인발하여 지지력을 산정하는 연구를 진행하였고 관입토크와 앵커의 인발력의 상관관계를 도출하였다. 대형토조를 활용하여 모형시험을 수행한 결과 지반이 단단할수록 회전관입 토크가 크게 측정되었으며 이에 따른 인발저항도 크게 나왔다. 이 연구에서 수행한 실험범위 내에서는 인발저항과 관입토크는 서로 비례관계에 있음을 알 수 있었다.

Abstract This study evaluated the potential of methodology development of the helical type anchor for soft ground applications. The rotational penetration of the helix structure might make construction-steps easy without the soil spitting and reusable rods could reduce the material cost. Removal of the anchors would be simple as a construction, which can be named the removal anchor. The anchoring resistance after construction is strongly related to the number of helixes resulting in a concise design process. The investigation involved a chamber test with soft soils. In the test, a specially designed and fabricated helical anchor and torque-driver were used to obtain the maximum pull-out resistance of the anchor after rotational penetration. As a result of the tests, The rotational torque and pull-out resistance have a proportional relationship with the strength of the prepared soils. Within the range of the study, the torque of the anchor penetrating increased with increasing pull-out resistance.

Keywords : Anchor, Helix, Soft Ground, Smart, Torque

1. 서론

최근 세계적으로 급변하는 사회의 생활 양식으로 인

하여 도시를 중심으로 인구가 급격하게 증가하고 있다. 이에 따라서 사회활동에 필요한 구조물의 수요도 증가하였고 사용 가능한 지반의 양은 점차 감소하고 있다. 사

본 연구는 국토교통과학기술진흥원연구 사업인 “헬릭스를 활용한 스마트 앵커 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Young-Uk Kim(Myongji Univ.)

Tel: +82-031-330-6417 email: yukim@mju.ac.kr

Received December 22, 2015

Revised January 4, 2016

Accepted March 3, 2016

Published March 31, 2016

회 기반 시설 및 주거에 필요한 구조물의 형식은 점차 고층화, 밀집화 및 대형화에 이르게 되었다[1]. 도심지의 인구 밀집 지 역에서의 필요 구조물 공사에는 주위 구조물의 안전 및 도시교통의 원활함을 위하여 반드시 개착 및 토류 구조물이 필요하게 되었는데, 연약지반에서의 지하굴착 시 흙막이 벽체의 지지는 버팀보 또는 앵커를 이용하여 주로 이루어진다. 만약, 굴착면적이 비교적 커지는 경우에는 버팀보보다는 앵커를 사용하는 방법이 경제적이며 이를 위한 다양한 앵커들이 개발되어왔다[2]. 연약지반에서의 앵커의 역할은 설계지지력의 확보와 장기변형의 제어에 있는데, 이를 위한 앵커개발의 연구가 요즘들어 매우 활발하다. 여러 연구 개발 중 안성준(2013, 2014) 등은 지반에 천공 없이 토크 드라이버를 이용한 회전력에 의해 관입/시공 될 수 있는 나선형 앵커 개발에 대하여 발표하였다[3]. 한 피치의 나선(Helix)을 이용한 앵커로써 사각 또는 원형의 강봉이나 파이프에 나선형의 헬릭스를 부착한 형태를 가진다. 헬릭스의 개수를 증가시킴에 따라 극한 인발력의 증가를 수치적으로 풀어 증명하였다. 또한 이론식을 도출하여 관입 시 측정되는 토크를 통한 극한 인발력을 예상할 수 있는 점을 보였으며 이를 스마트헬릭컬앵커공법이라 하였다. 그러나, 이론적인 도출과 가정 사항이 비교적 많은 편이라 이의 현장 적용을 위하여서는 실험을 통한 검증이 수반되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 스마트헬릭컬앵커공법을 국내 연약지반에 적용하기 위한 검증 토조 실험을 수행하여 정리하였다. 토조에 조성된 연약 지반으로 헬릭컬 앵커 관입 시에 필요한 토크와 앵커 거치 후 극한 인발력을 측정하여 토크와 인발력과의 관계를 산정하는 연구를 수행하였다. 이러한 과정을 수차례 수행하여 이를 통해 산출된 관입토크와 극한 인발력에서의 공통인자를 결정하고 이에 대한 관계식을 성립 시키는데 연구의 목적을 두었다.

2. 토조실험

2.1 모형 토조

토조 실험을 수행하기 위하여 토조의 규모를 먼저 결정해야 하는데, Ghaly et al.(1991)과 Mitsch and Clemence(1985)의 모형 실험 결과를 참고하여 토조를 제작 설치하였다[5, 6]. 그들에 의하면 단일 헬릭컬 앵커

의 극한 인발력에서 파괴면의 형태는 원뿔 형태이며 수직 축에 대하여 파괴면의 경사각도 θ 는 흙의 내부마찰각 ϕ 의 2/3를 넘지 않는 것으로 나타났다. 이를 나타내면 Fig. 1과 같으며 이를 바탕으로 실험용 토조를 제작하였다. 표준사를 활용하여 연약지반을 모사한다고 가정하고 표준사의 내부마찰각을 직접 측정하여 적용하였다. 헬릭스 앵커의 날개 하나의 지름을 20cm로 정하고, 이를 역산하여 원뿔모양의 파괴면이 토조의 벽면에 영향을 받지 않도록 정하였다. 이를 바탕으로 폭1.5m x 높이 1.5m x 길이1.5m x 두께0.2m의 콘크리트 토조를 제작하였다. 제작 후 설치 과정은 Fig. 2와 같다.

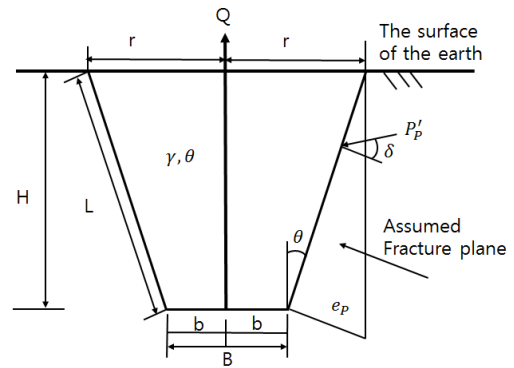
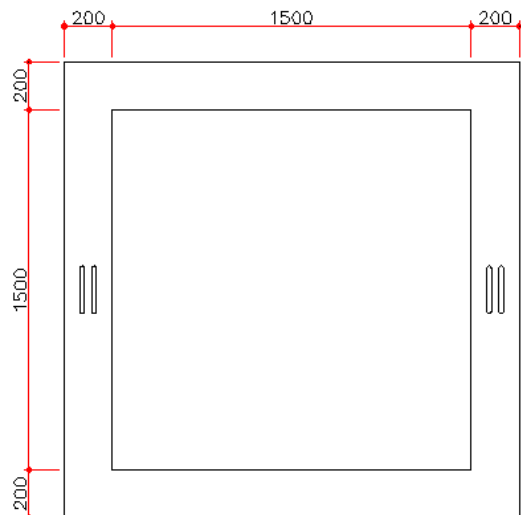


Fig. 1. Cone shape failure of shallow anchor



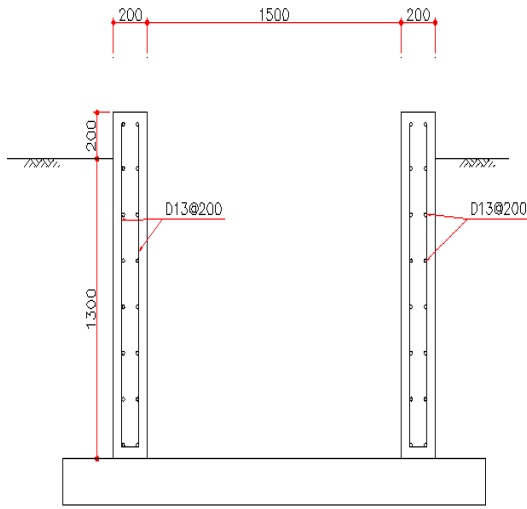


Fig. 2. Mockup chamber installation

2.2 실험조건 및 방법

이 연구에서는 반복적인 시험에 대하여 저항성이 강하고 비교적 균질한 모형지반 조성이 용이한 주문진 표준사를 사용하여 실험용 지반을 조성하였다. 시험에 사용된 주문진 표준사의 비중은 2.62이고, 통일분류법상 SP로 분류된다. 직접전단시험 결과로 이 흙의 강도정수는 점착절편(c)이 0, 전단저항각(ϕ)은 38.4° 로 나타났다. 이 흙에 대해 상대밀도시험(KS F 2308)을 실시하였고, 그 결과로 주문진 표준사의 최대 건조단위중량과 최소 건조단위중량은 각각 16.79kN/m^3 , 13.96kN/m^3 로 결정되었다. Table 1은 이 연구에 사용된 주문진 표준사의 물성값 및 역학적 특성치를 정리한 것이다. Fig. 3은 실험 과정에 대하여 순서도를 정리한 것인데, 실험 순서는 비교적 간단하다. 토조를 설치하여 모형 지반을 조성(Fig. 4(a)), 헬리컬 앵커 관입용 지그를 설치하여 Fig. 4(b)), 관입토크를 측정할 수 있는 장치를 포함한 드라이버를 활용하여 앵커를 삽입한다(Fig. 4(c)). 헬리컬

앵커는 시계방향으로 회전 시 토사로 삽입될 수 있도록 설계, 설치 시 헬릭스에 생기는 회전하중이 축(Shaft)으로 전달된다. 헬리컬 앵커는 일반적으로 150mm ~ 400mm의 외경과 두께는 10~12mm이다. 스크루형식이기 때문에 헬리컬 앵커에 의한 토사의 교란은 거의 발생하지 않으며 필요한 인발력을 확보할 수 있는 깊이까지 관입하고 연장못드를 coupler 연결부에 의해 연결하여 소요깊이에 이를 수 있도록 한다. 자동으로 인발력을 측정할 수 있는 장치(Fig. 4(d))를 활용하여 극한인발력을 구한다. 실험을 수행하고 나면 앵커를 지반에서 완전히 제거한 후(Fig. 4(e)) 모형 지반을 교란하고 다짐도를 달리하여 지반을 재차 조성 후 위의 시험을 반복 수행한다. 실험의 신뢰성을 높이기 위하여 같은 다짐도에서 두 번의 동일한 실험을 수행하였으며 두 실험 결과가 매우 상이한 경우 한 번 더 수행하여 평균값을 결과 해석에 사용하였다.

Table 1. Property of sandy soil used in mockup test

Type of Soil		Standard Sand
Specific Gravity, Gs		2.62
Shear Strength Parameters	c (kPa)	0
	ϕ ($^\circ$)	38.4
Maximum dry unit weight, $\gamma_{d\max}$ (kN/m^3)		16.8
Minimum dry unit weight, $\gamma_{d\min}$ (kN/m^3)		14.0
USCS		SP

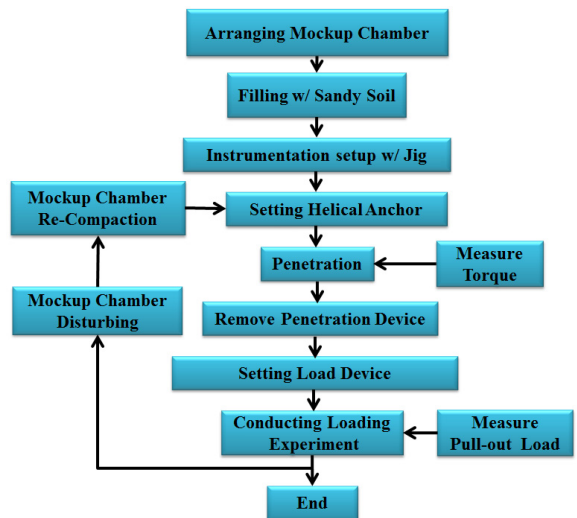


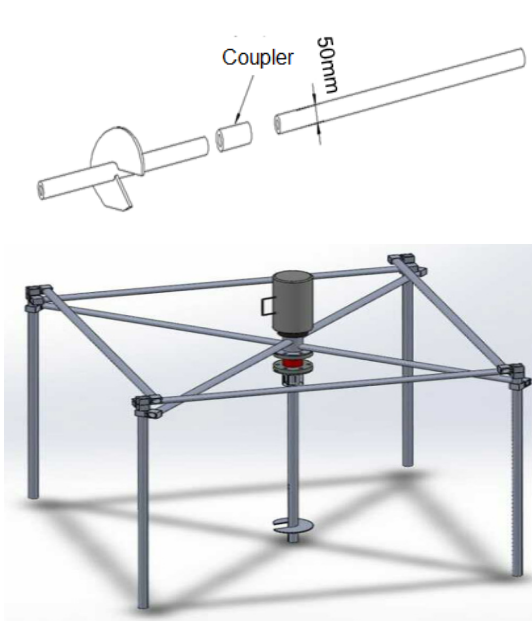
Fig. 3. Flow chart of chamber test



(a) Mockup Chamber and Soil Compaction



(c) Penetration Driver and Torque Measurement device



(b) Anchor and Instrumentation Jig for Anchor



(d) Loading controller

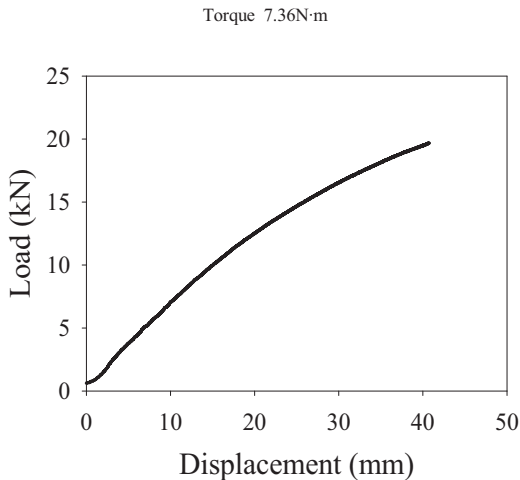


(e) Anchor Removal for Next Experiment

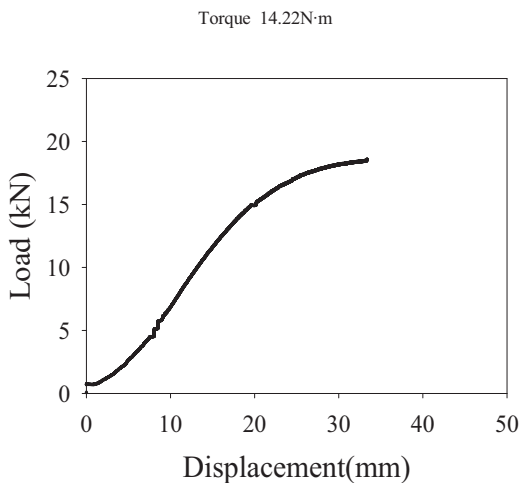
Fig. 4. Procedures of chamber test

2.3 실험결과

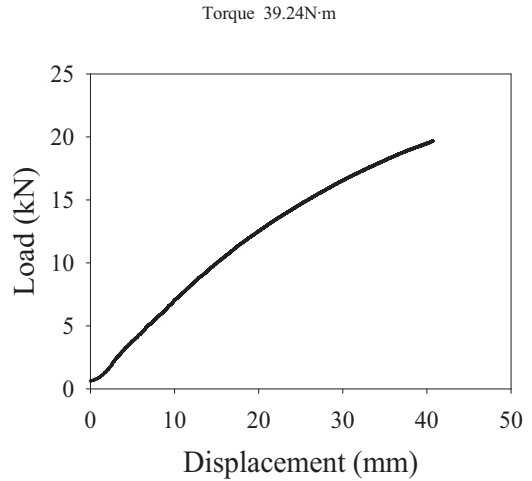
모형지반의 다짐도에 따라 앵커 관입 시 측정된 최대 토크와 인발 시험 결과의 예를 다음 Fig. 5에 도시하였다. 그림에서 각 실험별 측정된 토크는 2각각 7.36, 14.22 그리고 39.24 N·m이었으며 이에 따른 인발력(하중-변위 곡선) 측정값은 다음 그림과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 토크가 증가 할수록(단단해 지는 지반) 인발 저항이 같이 증가하는 것을 알 수 있다.



(a) Intrusion Torque 7.36N·m



(b) Intrusion Torque 14.22N·m



(c) Intrusion Torque 39.24N·m

Fig. 5. Torque and load-displacement curve

위의 그림에서는 피크치가 보이는 경우가 없으므로 이것만으로는 각 토크별로 발생한 극한 인발력을 결정하기가 모호하다. 따라서 이 연구에서는 말뚝의 극한지력 결정에 일반적으로 사용되는 Davisson법을 사용하여 각 실험별로 하중-변위 곡선을 이용하여 극한 인발력을 결정하였다. Davisson(1970, 1972)에 의하면 말뚝의 극한지력(극한인발력)은 말뚝 시험 시 말뚝의 탄성변형으로부터 말뚝의 지름(mm)에 120을 나눈 값과 4mm를 더한 값에 해당하는 변위를 일으키는 하중과 동일하다고 하였다[7, 8]. 이를 활용하여 각 시험에서 측정된 하중-변위 곡선으로부터 극한인발력을 구하여 이를 관입 시 측정된 토크와 상관시켜 그림을 그리면 Fig. 6과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 관입 토크가 증가하면 앵커의 극한인발력도 동시에 증가하고 일정한 선형관계를 나타낸다($R^2=67.76\%$). 따라서, 이를 응용하여 활용한다면, 현장에서 앵커를 관입할 때 저항 토크를 측정하고 이를 아래 그림과 같은 상관관계를 이용하여 설치된 앵커의 극한인발저항치를 예측 할 수 있을 것이다.

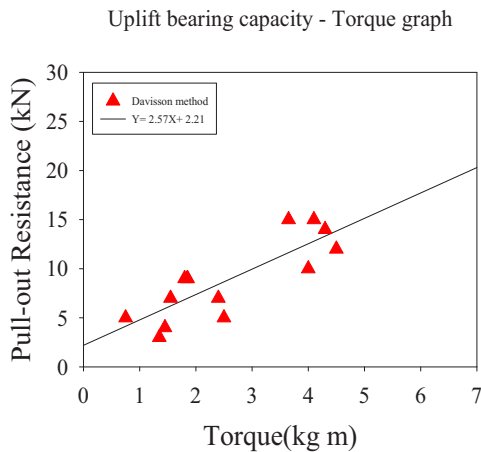


Fig. 6. Ultimate pull-out resistance with torque

3. 결론

이 연구에서는 최근 사용의 빈도가 증가하고 있는 헬리컬 파일의 연약지반용 앵커로의 전환 응용의 가능성 판단을 위하여 토조실험을 수행하였다. 콘크리트로 만들어진 토조를 지반에 매입하고, 인공지반을 주문진 모래를 활용하여 다양한 상대밀도를 갖도록 조성하였다. 토조의 크기는 앵커인발에 따른 간섭범위를 넘을 수 있도록 제작하였으며, 인발에 따른 반력을 충분히 견딜 수 있도록 지그를 설치하였다. 지반의 강도별로 헬리컬 앵커를 관입할 때 관입저항 토크를 측정하였으며, 관입 설치가 끝나고 나면, 지그 설치 후 앵커 인발 시험법에 의거하여 인발 저항력을 측정하였다. 헬리컬 앵커의 극한인발저항력은 Davission법을 활용하여 판단하였으며 관입토크와 극한인발저항치와의 상관관계를 도출하였다. 실험결과 지반이 단단할수록 관입토크치가 크게 나왔으며 이에 따른 극한인발저항값도 크게 나왔다. 이를 비교하여 보니 이 연구에서 수행한 실험 범위에서는 선형관계를 나타내고 있었으며 이를 활용하면 현장에서 헬리컬 앵커 관입시 관입토크를 측정 할 경우 이에 따른 시공된 앵커의 극한인발력을 예측 할 수 있을 것이라고 판단된다.

References

[1] Derrick, P, "the story of the great subway expansion that

saved New York, NewYork University Press", Tunnelingto the future, 2001.

[2] Xanthakos, P. P., "Ground Anchors and Anchored Structures", A Wiley-Interscience Publication, 1991.

[3] An, S. G., Kim, N. K., Kim, Y. U. and Kang, H. D., "Development of Smart Helical Anchor, Proceedings", The Korea Academia-Industrial cooperation Society Fall National Conference, Jeju, Korea, pp 1-3, 2013.

[4] An, S. G., Kim, N. K., Kim, Y. U. and Kang, H. D., "Relationship between Torque and Ultimate Capacity of Smart Helical Anchor, Proceedings", Korean Geotechnical Society Fall National Conference, Seoul, Korea, pp. 610-617, 2014.

[5] Ghaly, A., Hanna, A., and Hanna, M., Uplift Behavior of Screw Anchors in Sand. I: Dry Sand, Journal of Geotechnical Engineering, 117(5), 773 - 793, 1991. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1991\)117:5\(794\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:5(794))

[6] Mitsch, M. P. and Clemence, S. P., "The Uplift Capacity of Helix Anchors in Sand. Uplift Behavior of Anchor Foundation in Soil", American Society of Civil Engineers, pp. 26-47, 1985.

[7] Davission, M. T., "Design Pile Capacity, Proceedings, Conference on Design and Installation of Pile Foundations and Cellular Structures, Lehigh University", Envo Public. Co. pp. 75-85, 1970.

[8] Davission, M. T. "High Capacity Piles, Proceedings, Lecture Series, Innovations in Foundation Construction", American Society of Civil Engineers, Illinois Section, Chicago, pp. 81-112, 1972.

김 낙 경(Nak-Kyeong Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (공학석사)
- 1994년 5월 : Texas A&M Univ. 토질 및 기초(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 건축토목공학과 교수

<관심분야>
토질, 기초공학

김 영 욱(Young-Uk Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 : The Pennsylvania State University 토목환경공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>

토양오염 복원, 환경공학, 토질역학

구 교 영(Kyo-Young Gu)

[정회원]



- 2014년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석사과정

<관심분야>

토질역학, 지반공학

문 준 호(Jun-Ho Moon)

[정회원]



- 2013년 3월 : 명지대학교 토목환경 공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석사과정

<관심분야>

토질역학, 지반공학

신 진 화(Zhen-Hua Xin)

[정회원]



- 2013년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석박사통합과정

<관심분야>

토질역학, 지반공학