

펄스방전 확공형 앵커의 모형시험

Model Test of Pulse Powered Underreamed Anchors

김낙경¹⁾, Nak-Kyung Kim, 주용선²⁾, Yonh-Sun Ju, 김성규³⁾, Sung-Kyu Kim,
서효균⁴⁾, Hyo-Kyun Seo, 김선주⁵⁾, Sun-Ju Kim

¹⁾성균관대학교 건설환경시스템공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, SKK Univ.

²⁾³⁾성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, SKK Univ.

⁴⁾성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, SKK Univ.

⁵⁾대우건설기술연구소 연구원, Research Engineer, Daewoo Reserch Institute of Technology

SYNOPSIS : In this study, a series of scaled model test were carried out in order to find factors that influence the ultimate load of underreamed anchors. Model anchors were made of arcril and 3cm in diameter. Series of tests were performed with various conditions such as density of soil, diameter of bulb, and number of bulb. Type of soil was Jumunjin sand and relative density varied 40%, 60%, 80%.

Key words : Underreamed anchor, Model test, Ultimate pullout load,

1. 서론

그라운드 앵커는 앵커체의 모양에 따라 직선 샤프트형과 구근형으로 분류할 수 있다. 구근형 앵커는 직선샤프트형 앵커로 인발력을 얻기 힘든 연약한 지반에 사용되거나, 앵커의 개수를 줄여 비용을 절감하는 용도로 개발되었다. 기존의 확공공법은 높은 압력으로 그라우트를 주입해 확공 하는 가압그라우트 공법, 공벽을 깎아내는 블레이드공법 등이 있으나 주입재의 강도, 공벽붕괴 등의 문제점으로 인해 세립질 점토지반이나 사질토지반에 적용하기 어려웠다. 최근 개발되고 있는 펄스파워 공법은 전기적인 에너지로 압력차를 발생시켜 공벽을 타격하여 확공 하는 공법으로 기존 공법에 비해 천공홀이 붕괴될 위험이 적으며 주변지반을 다지는 효과도 있다. 본 연구에서는 펄스파워확공형앵커의 극한인발력 영향인자를 분석하고 사질토지반에서의 확공에 의한 극한인발력 증대효과를 산정하기 위하여 모형시험을 수행하였다. 상사법칙을 통해 모형앵커를 설계·제작하고 다양한 상대밀도로 조성된 사질토지반에 확공비와 구근의 개수를 달리 한 모형앵커를 설치한 후 지중에서 확공 시키고 인발시험을 수행하여 지반의 조밀도, 확공비, 구근의 개수에 따른 극한인발력의 변화를 분석하였다.

2. 실내 모형시험

2.1 모형앵커의 차원해석

모형 앵커의 제원을 결정하기 위하여 지배방정식을 이용하여 무차원 매개변수를 구하여 모형앵커의 축소비를 결정하였다. 앵커를 강성을 가진 일차원 요소로 분할하고 지반을 스프링으로 모사하면 앵커의 지배방정식은 식 (1)과 같다(Matlock et al, 1981).

$$\frac{d^2\omega}{dx^2} + \frac{pk}{AE_a}\omega = 0 \quad (1)$$

여기서, $x(m)$ 는 앵커의 길이방향 좌표이며, $\omega(m)$ 는 변위, $p(m)$ 는 앵커의 둘레길이, $k(t/m^2)$ 는 지반 반력계수, $A(m^2)$ 는 앵커의 단면적, $E_a(t/m^2)$ 는 앵커의 탄성계수, $D(m)$ 는 앵커의 직경이다. 무차원 계수 π_1 과 π_2 를 식 (1)에 대입하여 π_3 를 구하고, 경계조건을 이용하여 π_4 를 구하였다. 식 (2)는 지배방정식으로부터 구한 앵커의 무차원 계수이다.

$$\pi_1 = \frac{\omega}{D}, \pi_2 = \frac{x}{L}, \pi_3 = \frac{kL^2}{DE}, \pi_4 = \frac{PL}{ED^3} \quad (2)$$

2.2 모형시험 장비



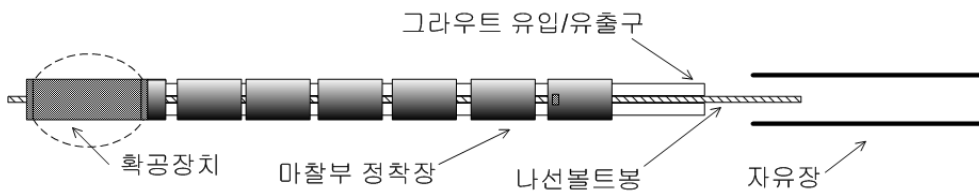
(a) 모형 토조



(b) 확공 전 앵커구근



(c) 확공 후 앵커구근



(d) 모형앵커

그림 1. 모형앵커 및 토조

차원해석을 통하여 얻은 무차원 계수 π_3 와 π_4 를 이용하여 모형앵커의 직경과 강선의 직경을 결정하였다. 표 1은 모형앵커의 제원이다. 모형앵커는 아크릴로 제작되었으며, 정착장에서의 마찰저항을 발생시키기 위하여 주면에 1.6mm의 피치를 내었다(Hsu, 1998). 확공형 앵커의 경우 펄스방전에 의한 확공을 모사하기 위하여 지반조성 후 지중에서 구근을 형성하기 위하여 선단에 확공장치를 장착하였으며, 그라우트를 주입하여 확공, 양생 후 인발시험을 수행하였다. 구근의 확공비는 광목천을 이용하여 조절하였으며 그라우트 누수방지를 위해 내부를 멤브레인으로 감쌌다(그림 1 (b),(c)). 앵커의 강선은 4mm 직경의 볼트봉을 사용하였으며 자유장은 고정된 아크릴 파이프를 이용하여 모사하였다.

표 1. 모형 앵커 제원

	재료	직경 (mm)	길이 (mm)	탄성계수(GPa)
정착장	아크릴	30	300	3.1
강선	강	4	1000	21

모형지반은 주문진표준사를 이용하여 조성하였으며 사질토의 상대밀도에 따른 앵커의 극한인발력 변화를 분석하기 위하여 유출구 직경을 조절하여 상대밀도 40%, 60%, 80%의 지반을 조성하였다. 모형지반을 조성한 토조는 직경 1m의 원통형 토조로 상부에 강사높이와 유출구 직경을 조절할 수 있는 강사장치가 있다(그림1 (a)).

2.3 시험 조건

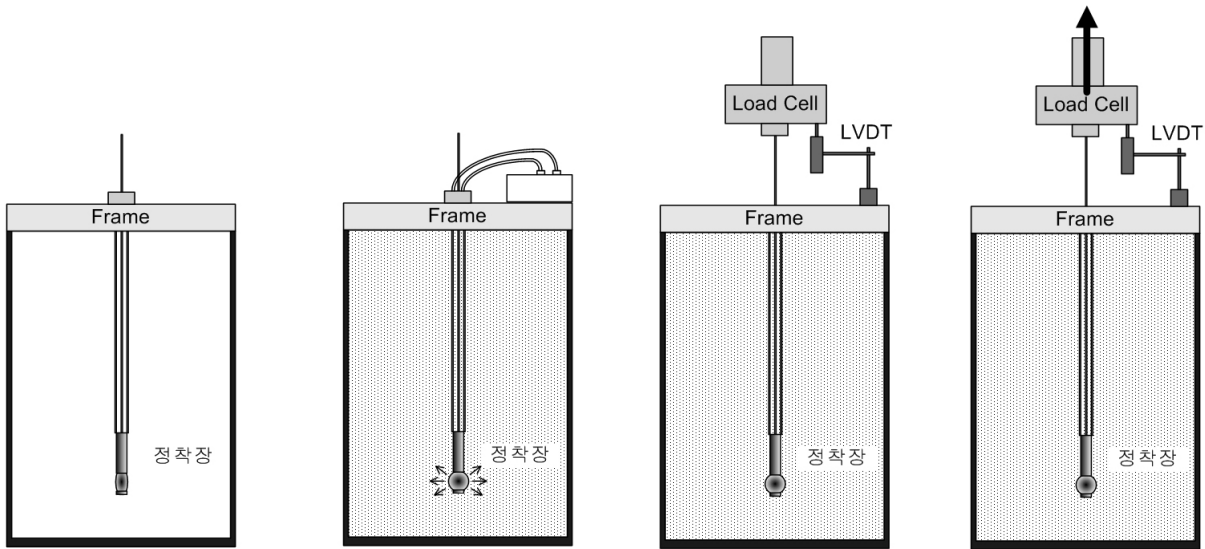
본시험은 펄스방전 확공형앵커의 사질토지반에서 지반조건과 구근의 확공비, 개수에 따른 극한인발력을 계측하기 위한 시험이므로 지반의 상대밀도와 구근의 확공비, 개수를 조정하여 표 2와 같은 조건으로 시험을 수행하였다.

표 2. 모형시험 조건

case	앵커 형태	구근 개수	확공비	상대밀도(%)
1	직선형	-	1	40
2	직선형	-	1	60
3	직선형	-	1	80
4	확공형	1	2	40
5	확공형	1	2	60
6	확공형	1	2	80
7	확공형	1	1.5	60
8	확공형	2	2	60

2.4 시험 절차

모형앵커의 극한지지력을 측정하기 위하여 모형토조에 설치한 프레임에 모형앵커를 고정하고 강사를 실시하여 지반을 조성하였다. 강사 높이는 1.0m를 유지하였으며, 모래 유출구 직경을 조절하여 상대밀도 40%, 60%, 80%의 지반으로 조성하였다. 지반조성이 끝난 후 앵커 자유장을 통해 나온 관으로 그라우트를 주입하고 근입 깊이에서의 토압과 유사한 압력을 가해 앵커 정착장을 확공 시켰다. 정착장 확공 후 양생을 시키고 로드셀과 LVDT를 설치하여 인발시험을 수행하였다. 하중은 변위제어로 재하 하였으며 1mm/min의 속도로 재하 하였다.



(a) 모형앵커 거치 (b) 지반조성 및 정착장 확공 (c) 로드셀 및 LVDT 설치 (d) 인발

그림 2. 모형시험 절차

3. 모형시험 결과 분석

3.1 지반의 상대밀도에 따른 앵커의 극한인발력

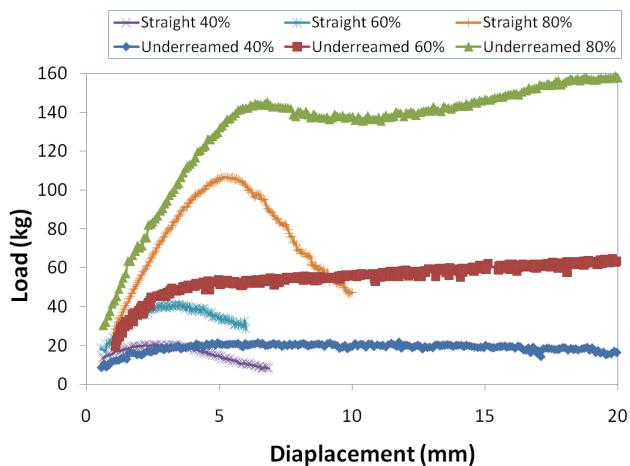


그림 3. 상대밀도에 따른 극한인발력

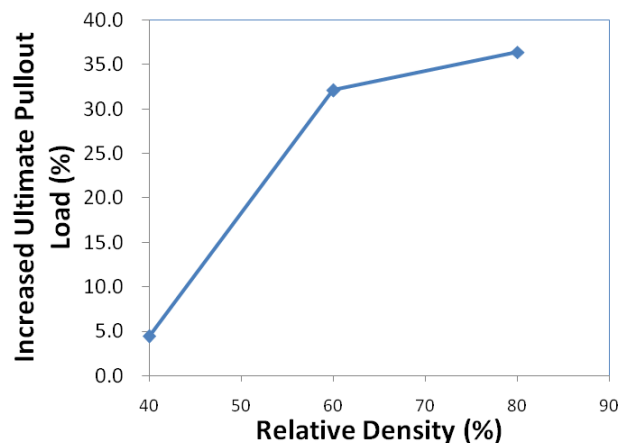


그림 4. 상대밀도에 따른 극한인발력 증대효과

그림 3은 상대밀도에 따른 직선형 및 확공형 앵커의 하중-변위 그래프이다. 직선형 앵커의 경우는 정착장의 주변마찰력만 작용하기 때문에 Peak점을 지난 후 하중이 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 확공형 앵커는 그림 3에서 보이는 것과 같이 낮은 상대밀도에서는 Peak점을 지난 후 하중이 유지되고 높은 상대밀도에서는 Peak점 이후 하중이 감소하다가 증가하는 경향을 보였다. 이는 확공형 앵커는 주변마찰력과 구근 상부에서의 지지력이 동시에 작용하므로 마찰과 후에도 지지력이 계속 유지되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 직선형앵커와 확공형앵커의 극한인발력은 상대밀도가 높아질수록 급격히 증가하는 경향을 보였다.

표 3. 상대밀도에 따른 앵커의 극한인발력 및 확공에 의한 증대효과

상대밀도 (%)	극한인발력 (kg)		극한인발력 증대효과 (%)
	직선형	확공형	
40	20.48	21.38	4.4
60	40.8	53.9	32.1
80	106.7	145.54	36.4

지반의 조밀도에 따라 확공에 의한 극한인발력 증가 효과도 다르게 나타났다. 같은 상대밀도에서의 직선형 앵커와 확공형 앵커의 극한인발력을 비교하였을 때, 상대밀도가 높을수록 극한인발력 증가율이 높게 나타났다. 그림 4는 상대밀도에 따라 확공에 의해 극한인발력이 증가하는 양을 나타낸 그래프이다. 상대밀도 40%일 때 확공형 앵커의 극한인발력은 직선형에 비해 4.4% 증가하였으며, 60%일 때는 32.1%, 80%일 때는 36.4%로 증가하였다. 그림 5에서 보이는 바와 같이 극한인발력 증대효과는 지반이 조밀해질수록 커지다가 일정이상의 조밀도를 지나면 크게 증가하지 않는 경향을 보인다. 표 3은 각 앵커별 극한인발력과 상대밀도에 따른 극한인발력 증대효과를 나타낸 것이다.

3.2 구근의 확공비에 따른 앵커의 극한인발력

앵커의 극한인발력과 구근의 확공비의 관계를 알아보기 위하여 동일한 상대밀도(60%)로 조성된 지반에서 확공비를 변화시켜 시험을 수행하였다. 그림 5는 구근의 확공비를 달리하여 수행한 시험의 하중-변위곡선이다. 확공비에 따라 극한인발력이 증가했으며 그 증가량은 확공비 1.5배일 때 8.7%, 2배일 때 32.1%로 확공비가 증가할수록 극한인발력 증대효과는 그림 6에서 보이는 바와 같이 확공비가 커질수록 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였다.

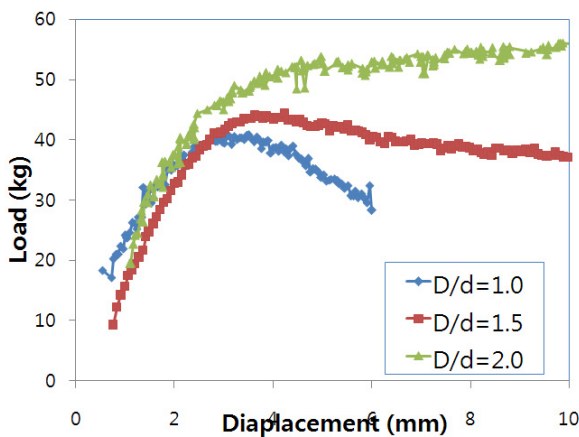


그림 5. 확공비에 따른 극한인발력

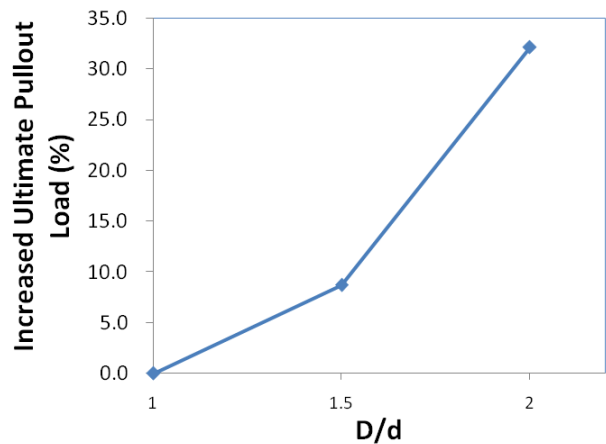


그림 6. 확공비에 따른 극한인발력 증대효과

표 4. 확공비에 따른 앵커의 극한인발력 및 증대효과

상대밀도 (%)	확공비 (D/d)	극한인발력 (kg)	극한인발력 증대효과 (%)
60	1	40.8	0
60	1.5	44.36	8.7
60	2	53.9	32.1

3.3 구근의 개수에 따른 앵커의 극한인발력

그림 7은 직선형 앵커와 구근이 1개, 2개인 앵커의 인발시험결과이다. 확공형 앵커의 경우 구근 개수에 따른 극한인발력을 명확하게 나타내기 위해 확공비를 2.0으로 하여 수행하였다. 시험결과, 구근의 개수가 늘어날수록 앵커의 극한인발력도 증가했으며 구근에 의한 증대효과는 그림 8과 같다.

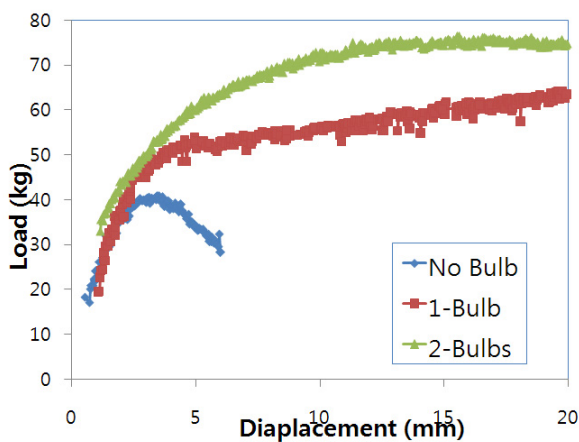


그림 7. 구근 개수에 따른 앵커의 극한인발력

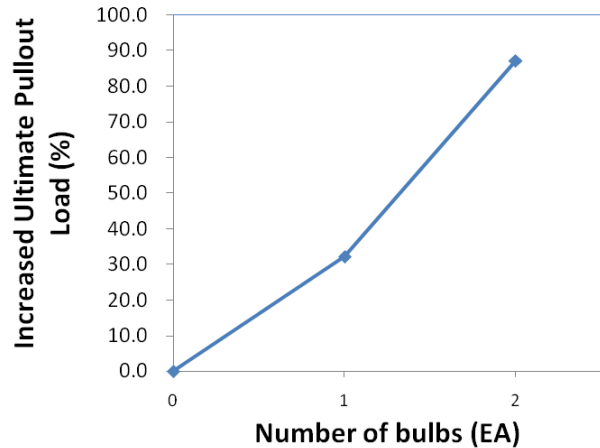


그림 8. 구근 개수에 따른 극한인발력 증가효과

표 5. 확공비에 따른 앵커의 극한인발력 증대효과

상대밀도 (%)	구근 개수	극한인발력 (kg)	극한인발력 증대효과 (%)
60	0	40.8	0
60	1	53.9	32.1
60	2	76.34	87.1

4. 결론

본 연구에서는 펄스방전에 의한 확공형 앵커의 극한지지력에 영향을 미치는 요소를 분석하기 위하여 모형시험을 수행하였다. 시험에서 변화를 준 요소는 지반의 상대밀도, 구근의 확공비, 구근의 개수이며 시험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 지반의 조밀도와 확공효과의 관계를 알아보기 위하여 상대밀도를 달리하여 시험을 수행하였다. 지반의 상대밀도가 높을수록 직선형 앵커와 확공형 앵커의 극한인발력의 차이는 증가하였으며, 그 증가량은 일정 상대밀도를 넘어서면 큰 차이를 보이지 않았다.
- ② 구근의 확공비를 달리하여 시험을 수행한 결과 구근의 확공비가 커지면 극한인발력 증대효과는 큰 폭으로 상승하였다. 이는 직선형 앵커의 극한인발력이 주면의 마찰저항만으로 이루어진데 비해 확공형

앵커에서는 구근 상부에서 지지력이 발생하여 구근의 직경에 따라 지지면적과 주면 마찰면적이 동시에 증가하기 때문인 것으로 추측된다.

③ 구근의 개수에 따라 극한인발력 증대효과 또한 상승하였다. 구근이 없는 직선형 앵커에 비해 구근을 2개 형성한 앵커는 극한인발력이 87.1%가 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통기술연구개발사업 건설핵심기술연구개발사업 자유공모과제(C106A1000012-06A06001211)의 연구지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김낙경 (2001), “풍화토 지반에 설치된 앵커의 인발특성”, 한국지반공학회지논문집, 제17권, 4호. pp. 231-239
2. 김성규 (2000), “압축형 그라운드 앵커의 하중전이에 관한 연구” 공학석사 학위논문, 성균관 대학교
3. Buckingham, E. (1915), "Model Experiments and The Forms of Empirical Equations.", ASME, Washington, D.C
4. FHWA-RD-75-130 (1975), "Lateral Support Systems and Underpinning", v.3 pp.193-204
5. Hsu, S. T.(1998), "Uplift Behavior of Cylindrical Anchors in Sand", Can. Geotech. J. 35(1), pp.70-80
6. Littlejohn, G. S. (1970a), "Soil Anchors", Proceedings of a Conference Organized by the Institution of Civil Engineers in London, pp. 33-44
7. Littlejohn, G. S. (1980), "Design Estimation of the Ultimate Load-Holding Capacity of Ground Anchors", Journal of the Boston Society of Civil Engineers Section, American Society of Civil Engineers, v.67, no.3, pp. 131-154
8. Kim, Nak-kyung (2000), "Load Transfer on Ground Anchors in Weathered Soil", Ground International Conf. On Improvement Technique, Singapore, pp.217-226.
9. Kim, Nak-kyung (2003), "Performance of Tension and Compression Anchors in Weathered Soil", ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, No.2, pp. 1138-1150
10. Matlock, H.; Reese, L. C. (1962), "Generalized solutions for laterally loaded piles", Transactions, ASCE, Vol.127, pp.1220-1268
11. Rowe, R.K.; Davis, E.H.(1992), "The Behavior of Anchor Plates in Sand", Geotechnique, v.32, n.1, pp.25-41