

펄스방전 그라운드 앵커의 확공 특성에 관한 연구

Expansion Ratio of Pulse Power Underreamed Anchor

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, SungKyunKwan Univ.

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

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

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

SYNOPSIS : Ground anchor should not be used in soft clay, because anchor resistance can not be guaranteed. However, there is a way to increase the capacity of anchors. The pulse powered anchor is an underreamed anchor by using high voltage electrokinetic pulse energy. In this study, a series of field test were carried out in order to find expansion rate related in number of pulse charge. and Anchor pull-out tests were performed at the Geotechnical Experimentation Site at Sungkyunkwan University in Suwon, Korea. Data were analyzed in order to define a relation between expansion rate and ultimate pullout load.

Keywords : Pulse discharge, Underreamed anchor, Field test, Ultimate pullout load, Expansion Ratio

1. 서론

그라운드앵커 공법은 토목이나 건축 구조물을 지반에 정착시키기 위하여 고강도의 인장재를 지반에 고정하여 높은 긴장력으로 긴장시킴으로써 지반의 변형을 억제하는 공법이다. 그라운드 앵커는 인발력을 확보할 수 있는 암반이나 조밀한 지반에 시공되며 연약지반에서는 극한인발력이 감소하여 이를 증대시키기 위하여 앵커 정착장에 구근을 형성하는 구근형 앵커를 사용한다. 펄스방전 확공형 앵커는 기존 구근형 앵커의 단점들을 보완하기 위해 최근 개발된 앵커공법으로 축적된 전기에너지를 짧은 시간에 방전하여 펄스파워로 전환시켜 지반을 다짐으로써 굴착에 의해 느슨해진 지반의 조밀도를 개선시키고, 천공 직경보다 큰 여러 개의 구근을 형성함으로써 지반과 앵커체 사이 마찰 및 지압효과를 동시에 발휘시켜 토사지반 및 연약지반에서의 앵커 인발력을 증대시킬 수 있는 경제적인 앵커공법이다. 본 연구에서는 펄스방전 확공형 앵커의 현장시험을 통하여 지반별 방전 횟수와 구근의 확공계수의 관계를 분석하고 확공계수에 따른 앵커의 극한인발력의 증가 경향을 분석하였다.

2. 앵커 현장시험

2.1 지반조건 및 현장시험 앵커

펄스방전 앵커의 지반에 따른 확공계수와 극한인발력의 관계를 분석하기 위하여 현장에 펄스방전 확공형 앵커를 시공하여 인발시험을 수행하고 구근의 직경을 측정하여 펄스방전에 의한 확공계수를 구하였다. 시험지반은 그림 1과 같으며, 시험 앵커는 풍화토 지반과 Sandy Clay 지반에 각각 방전횟수 0회, 5회, 10회, 20회, 40회로 시공되었다. 앵커 인발시험은 AASHTO(AASHTO,1990) 규정에 따른 Performance Test를 수행하였다(그림 2). 현장의 지반 주상도는 그림 1과 같다.

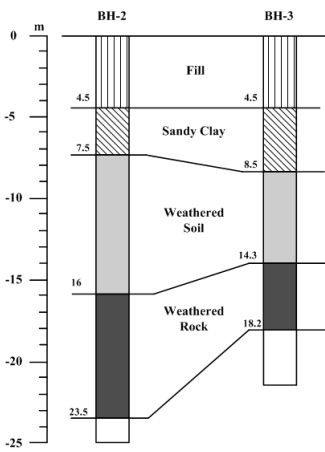


그림 1. 현장시험장 주상도

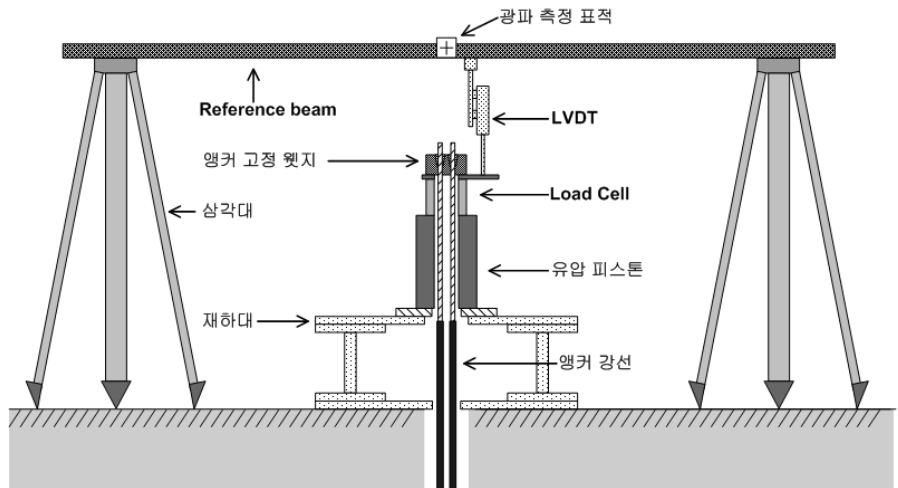


그림 2. 앵커 현장 시험

2.2 앵커의 극한인발력 산정

앵커 인발시험의 결과로 그림 3과 같은 하중-변위곡선을 작성하였으며, 앵커 두부의 총 변형(δ_{ti})을 앵커 자유장에서 발생한 강선의 탄성변형(δ_{ei})과 각 하중단계의 최종하중 재하 후 초기하중으로 돌아왔을 때 복구가 되지 않는 지반과 앵커 정착장 사이에서 발생한 잔류변형(δ_{ri})으로 나누어 잔류변형이 앵커 직경의 1/10이 되는 하중을 극한인발력으로 산정하였다(Briaud et al., 1998).

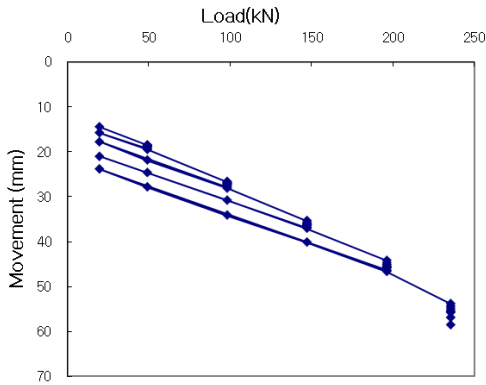


그림 3. 하중-변위곡선
(Sandy Clay, 방전40회)

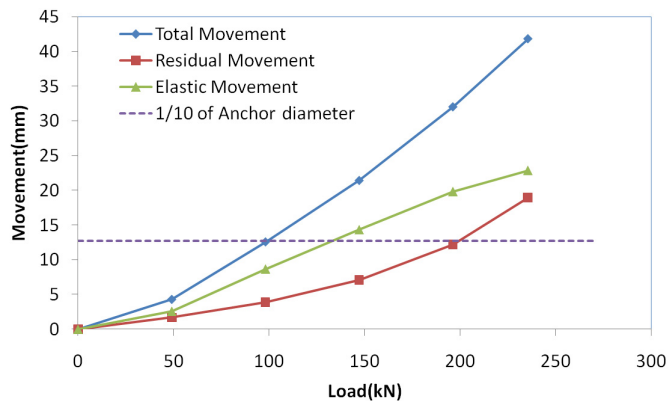


그림 4. Sandy Clay에서의 극한하중 산정

3. 지반에 따른 펄스방전 확공계수

3.1 풍화토에서의 확공계수

풍화토에 설치된 펄스방전 확공형 앵커의 방전 횟수에 따른 확공계수는 선행 연구(김태훈 등, 2007)에서 수행되었던 방전시험의 데이터를 참고하였다. 그림 5는 사질토에서의 펄스방전 횟수에 따른 확공계수이다. 표준관입시험 N치에 따라 지반의 조밀도를 나누었으며, 각 데이터는 최소자승법으로 Curve fitting하여 해당 방전 횟수에서의 확공계수를 결정하였다. 최소자승법으로 결정된 곡선의 식은 식(1)과 같으며 상관지수 R은 0.75이다. 풍화토의 경우 N치 21~40에 해당하는 사질토의 데이터를 사용하였으며 그 값은 표 1의 SPT 21~40에 해당하는 사질토의 값과 같다.

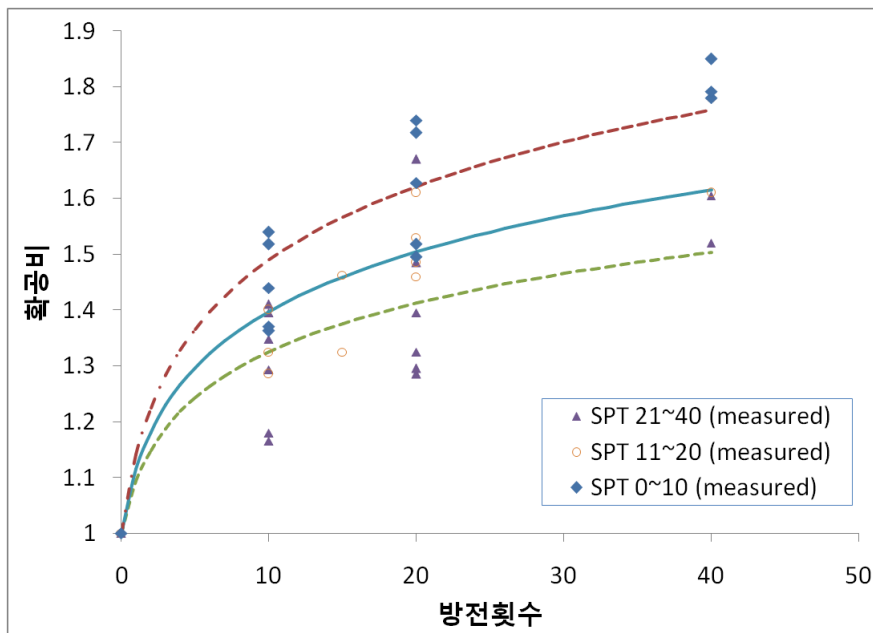


그림 5. 사질토의 펄스방전 횟수에 따른 확공계수

$$C = 1 + \lambda_p \ln(N_p + 1) \quad (1)$$

여기서, N_p = 펄스방전 횟수, $\lambda_p = 0.1355$

표 1. 사질토에서의 펄스방전 횟수에 따른 앵커의 확공계수

방전횟수	확공계수		
	Sand		
	SPT 0~10	SPT 11~20	SPT 21~40
0	1	1	1
5	1.37	1.30	1.24
10	1.49	1.40	1.32
20	1.62	1.50	1.41
40	1.76	1.62	1.50

3.2 Sandy Clay에서의 확공계수

Sandy Clay에서의 방전 횟수에 따른 확공계수를 산정하기 위하여 시험앵커를 시공하고 양생 후 구근을 추출하여 직경을 측정하였다(그림 3). 측정된 시험앵커 구근의 직경과 직선부의 직경과의 비를 확공계수로 결정하여 방전횟수에 따른 구근의 확공계수를 표 2에 나타내었다. Sandy Clay에서의 확공계수는 그림 6과 같이 급격히 증가하는 추세를 보이다가 5회 방전 이후 증가가 미미해지는 경향을 보이며 이를 극한인발력과의 관계에 적용하기 위하여 최소자승법으로 근사곡선을 구하였다. 최소자승법으로 결정된 곡선에서 상관지수 R은 0.76이다.

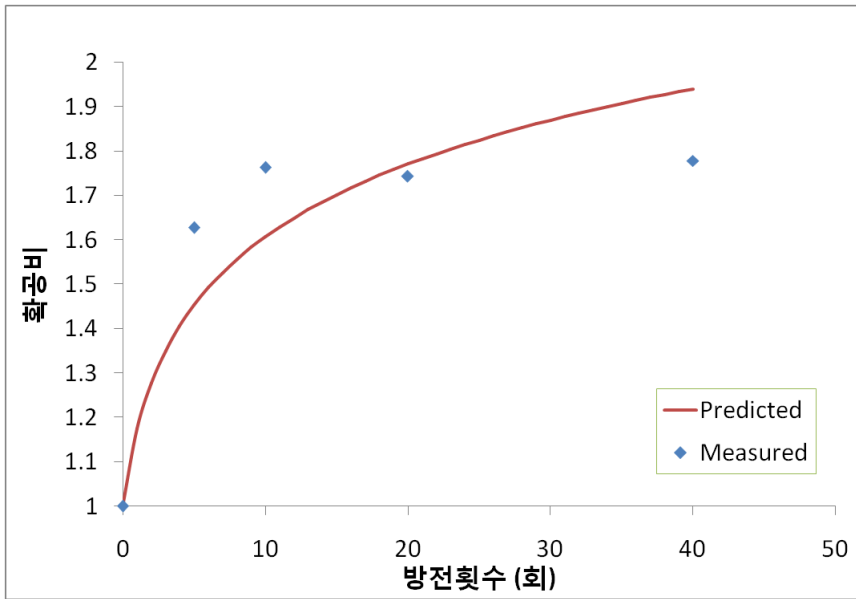


그림 6. Sandy Clay에서의 확공계수 C



그림 7. 시험앵커의 구근

여기서, N_p = 펄스방전 횟수, $\lambda_p = 0.253$

표 2. Sandy Clay에서의 방전횟수에 따른 확공계수

방전횟수	확공계수
	Sandy Clay
0	1
5	1.45
10	1.60
20	1.77
40	1.94

4. 현장시험 결과 분석

구근의 확공계수와 앵커의 극한인발력의 관계를 알아보기 위하여 풍화토와 Sandy Clay에서 방전횟수를 달리하여 시공 후 인발시험을 실시하여 극한인발력을 산정하였다. 또한 시험시공을 통해 지반별 펄스 방전 횟수에 따른 구근의 확공계수를 구하였다. 표 3은 풍화토와 Sandy Clay에서의 펄스방전 횟수에 따른 구근의 확공계수 및 앵커의 극한인발력을 나타낸 것이다.

표 3. 방전 횟수에 따른 극한인발력과 증가율

지반 종류	방전 횟수	평균 극한인발력(kN)	구근의 확공계수	지반 종류	방전 횟수	평균 극한인발력(kN)	구근의 확공계수
풍화토	0	246.9	1	Sandy Clay	0	180.4	1
	5	310.7	1.24		5	239.0	1.45
	10	371.3	1.32		10	254.0	1.60
	20	390.5	1.41		20	251.7	1.77
	40	434.7	1.50		40	255.8	1.94

그림 8은 확공계수에 따른 극한인발력이다. 풍화토의 경우 방전을 40회 수행할 경우 확공계수는 1.5까지 증가하며 확공계수 1.5까지 확공계수가 늘어남에 따라 극한인발력은 선형 증가하는 경향을 보였다. 반면에 Sandy Clay에서는 확공계수가 최대 1.94까지 증가하였으며 확공계수가 늘어남에 따라 극한인발력이 증가하다가 확공계수 1.5를 지나면 극한인발력의 증가가 미미하였다. 상대적으로 조밀한 풍화토에 비해 Sandy Clay에서 같은 방전횟수에서의 확공계수가 크게 나타났으며, 확공계수가 1.5가 될 때 까지 극한인발력은 급격히 증가하였다. 풍화토에서는 확공계수 1.5 이상에서의 조건으로 시험이 수행되지 않아 그 이후의 경향은 더 많은 연구와 현장시험 수행되어야 한다.

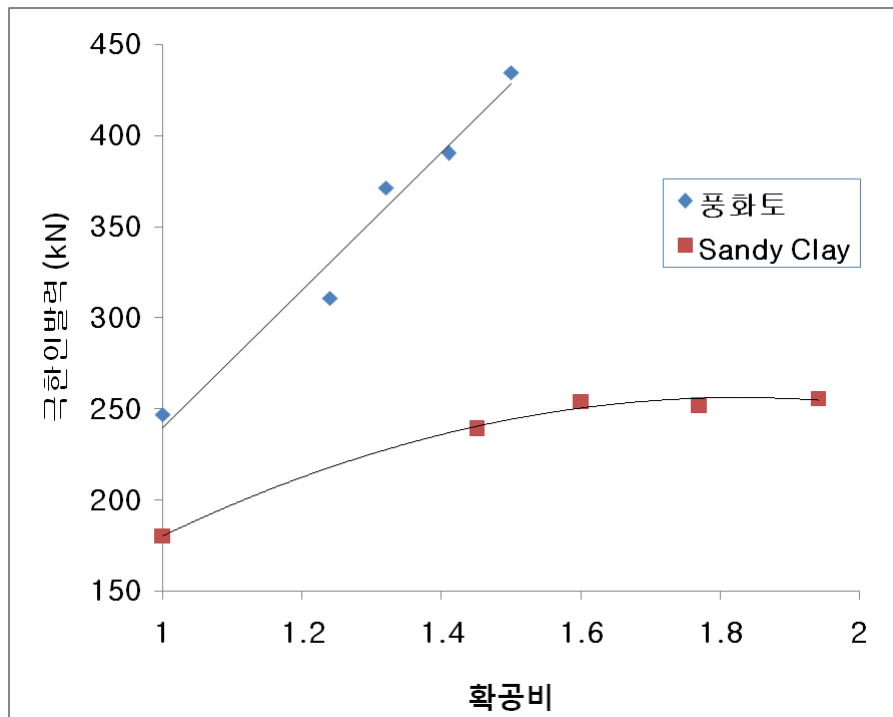


그림 8. 구근의 확공계수에 따른 극한인발력

5. 결론

본 연구에서는 풍화토와 Sandy Clay 지반에서의 현장시험 결과를 바탕으로 펄스방전 확공형 앵커의 방전횟수에 따른 확공계수를 구하고 극한인발력과의 관계를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 풍화토에서 구근의 확공계수는 방전횟수 40회 실시하였을 때 1.5까지 증가하였으며 극한인발력과 확공계수는 선형적인 관계를 보였다.
2. Sandy Clay에서는 방전 40회에서 확공계수가 1.94까지 증가하였으며, 확공계수 1.5 이상에서는 극한인발력 증가가 미미하였다.
3. Sandy Clay 지반에서의 펄스방전은 확공계수가 약 1.5가 되는 5~10회가 적합한 것으로 판단된다. 풍화토지반에서 극한인발력이 수렴하는 확공계수는 추가적인 연구와 현장시험이 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통기술연구개발사업 건설핵심기술연구개발사업 자유공모과제(C106A1000012-06A06 001211)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. AASHTO (1990), “Permanent Ground Anchor Specification In-situ Soil Improvement Technique” AASHTO-AGC-ARTBA TF27 Rep., AASHTO, Washington, D.C.
4. Briaud, J. L., Powers, W. F., Weatherby, D. E. (1998), “Should Grouted Anchors Have Short Tendon Bond Length?”, ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 2, pp. 110-119
5. Kim, Nak-kyung (2000), “Load Transfer on Ground Anchors in Weathered Soil”, Ground International Conf. On Improvement Technique, Singapore, pp.217-226.
6. 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
7. Littlejohn, G. S. (1970a), “Soil Anchors”, Proceedings of a Conference Organized by the Institution of Civil Engineers in London, pp. 33-44
8. 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