

풍화토지반에서 전기방전에 의한 확공앵커의 극한 인발력 Ultimate Pullout Capacity of Underreamed Anchors Using Electric Discharge in weathered soil

김성규¹⁾, Sung-Kyu Kim, 김낙경²⁾, Nak Kyung Kim, 김재원³⁾, Jae-Won Kim,
강병철³⁾, Byung-Chul Kang, 김태훈⁴⁾, Tae-Hun Kim

- 1) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, SKK Univ.
- 2) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Sungkyunkwan.
- 3) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, SKK Univ.
- 4) 대구건설기술연구소 선임연구원, 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 anchor is an underreamed anchor by using high voltage electric discharge energy. In this study, a series of field test were carried out in order to find ultimate load of underreamed anchors in weathered soil at the new apartment construction site located in Incheon, Korea. Data were analyzed in order to define a relation between ultimate load and the number of electric discharge.

Keywords : electric discharge, Underreamed anchor, Field test, Ultimate pullout load, Weathered soil

1. 서론

중간조밀 이하의 사질토 지반에서는 큰 앵커 극한인발력 확보가 어렵기 때문에 앵커 간격을 좁게 하거나 앵커 길이를 늘려 조밀한 지반에 정착시킨다. 그러나 앵커 천공 holes를 다양한 방법으로 확공시키는 기술이 개발되어 느슨한 사질토이나 연약 점토에서 비교적 큰 극한인발력을 확보할 수 있게 되었다. 축적된 전기에너지를 짧은 시간에 방전시키는 펄스방전 공법은 앵커 정착장을 천공 케이싱 또는 비트 직경보다 크게 확공시키는 공법이다. 특히 천공 직경보다 큰 여러 개의 구근을 앵커 정착장에 형성시킴으로써 지반과 그라우트 사이 주변 마찰저항뿐만 아니라 구근에 의한 수동저항을 동시에 발휘할 수 있으므로 느슨한 사질토 지반에서 앵커 인발력을 증대시킬 수 있는 경제적인 앵커공법이다. 본 연구에서는 전기 방전을 이용한 확공형 앵커를 풍화토 지반에 설치하여 현장 인발시험을 통해 방전횟수, 방전전력 및 구근개수에 따른 앵커의 극한인발력 분석하였다.

2. 앵커 현장시험

2.1 지반조건 및 현장시험 앵커

펄스방전확공 앵커의 풍화토에서 극한인발력을 분석하기 위하여 현장에 펄스방전 확공형 앵커를 시공

하여 인발시험을 수행하여 극한인발력을 구하였다. 지반주상도와 표준관입시험 결과는 각각 그림 1 및 2와 같다. 시험 앵커길이는 16m로 그림 3과 같이 30°로 시공되어 0~8m에 분포하는 풍화토지반에 각각 방전횟수 0회, 5회, 10회, 20회, 40회로 시공되었다. 방전회수, 방전전력 및 구근개수에 따른 앵커 시공 조건은 표 1과 같다.

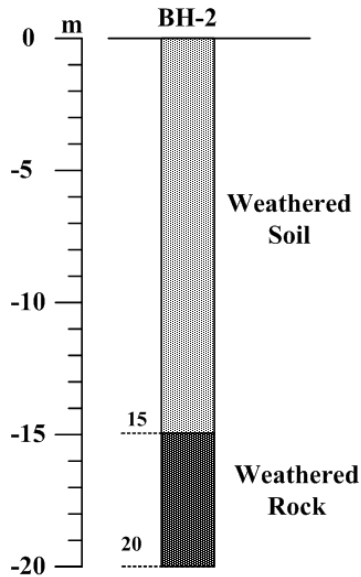


그림 1. 현장시험장 주상도

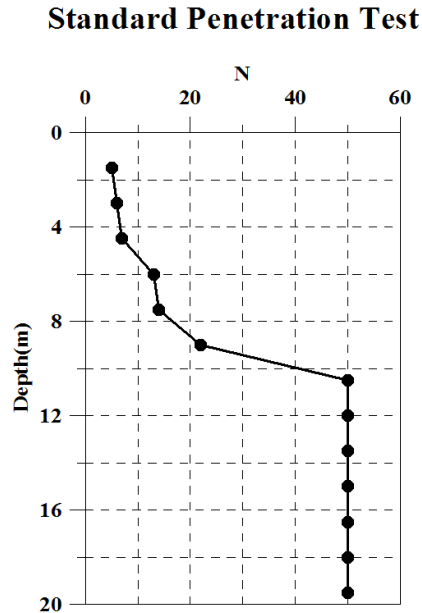


그림 2. 지반의 N치

표 1. 앵커 시공 조건

Anchor No.	구근 개수	방전 횟수	방전 전압	시공 공수	시험 종류	비 고
1-5-5-	1	5	5kv	3	Performance	
1-5-10-		10		3	Performance	
1-5-20-		20		3	Performance	
1-5-40-		40		3	Performance	
1-7-5-	1	5	7kv	3	Performance	
1-7-10-		10		3	Performance	
1-7-20-		20		3	Performance	
1-7-40-		40		3	Performance	
2-5-	2	5	5kv	3	Performance	
2-10-		10		3	Performance	
2-20-		20		3	Performance	
2-40-		40		3	Performance	
3-	0	0		3	Performance	
총 계				39		

2.2 현장인발시험

풍화토 지반에 설치된 직선형 및 펄스방전 확공형 앵커의 극한인발력을 산정하기 위하여 AASHTO (AASHTO.1990)에서 규정한 Performance Test를 수행하였다. Performance Test는 시공된 앵커의 적합성을 판단하는 시험으로 하중재하 단계 및 절차는 표 2와 같다. 각 하중 단계별 최고하중에서 하중을

유지하며 잔류변형을 측정하여 기록한다. 하중 재하는 유압실린더를 사용하였으며 하중 및 변위계측은 각각 Load Cell 및 LVDT를 사용하였다. 앵커시험 개요도는 그림 4와 같다.

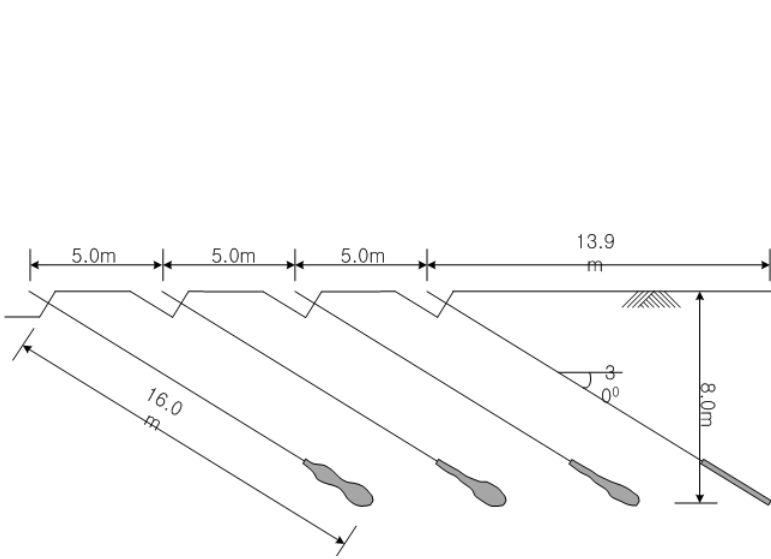


그림 3. 앵커 시공 단면도

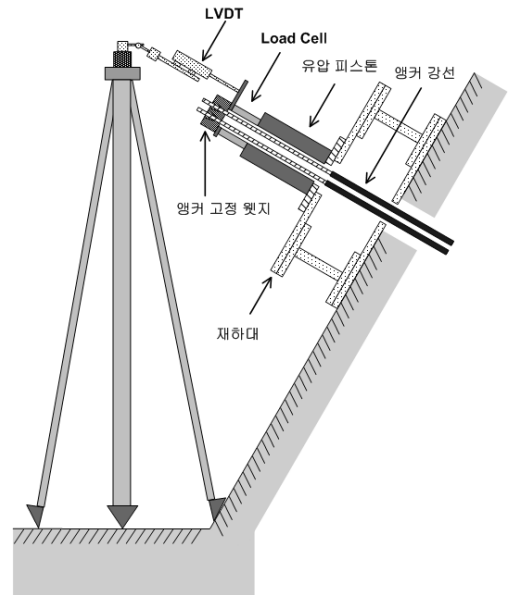


그림 4. 앵커 시험 개요도

표 2. Performance Test 절차

로딩 사이클	하중단계	최종하중에서 변위 측정 시간 (분)
1	AL, 0.25DL	1,2,3,4,5,6,10
2	AL, 0.25DL, 0.5DL	1,2,3,4,5,6,10
3	AL, 0.25DL, 0.5DL, 0.75DL	1,2,3,4,5,6,10
4	AL, 0.25DL, 0.5DL, 0.75DL, 1.00DL	1,2,3,4,5,6,10
5	AL, 0.25DL, 0.5DL, 0.75DL, 1.00DL, 1.25DL	1,2,3,4,5,6,10
6	AL, 0.25DL, 0.5DL, 0.75DL, 1.00DL, 1.25DL, 1.50DL	1,2,3,4,5,6,10
7	인발될 때까지 하중을 0.25DL씩 증가	

AL : Alignment Load
DL : Design Load

2.3 앵커의 극한인발력 산정법

앵커의 극한인발력은 각 하중단계의 최종하중 재하 후 초기하중으로 돌아왔을 때 회복 되지 않는 잔류 변형이 앵커 직경의 1/10일 때의 하중으로 정의 하였다 (Briaud et al., 1998). 그림 5는 Performance Test를 통해서 얻은 하중-변위 곡선을 나타내고, 그림 6은 극한하중을 산정하기 위한 잔류변형을 나타 내는 그래프이다.

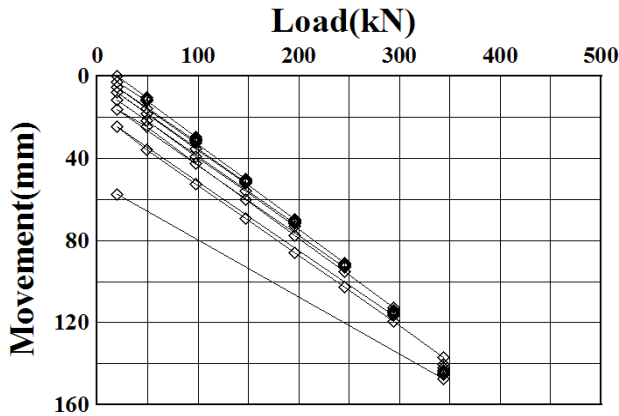


그림 5. 하중-변위곡선 (5kV, 40회, 구근1개)

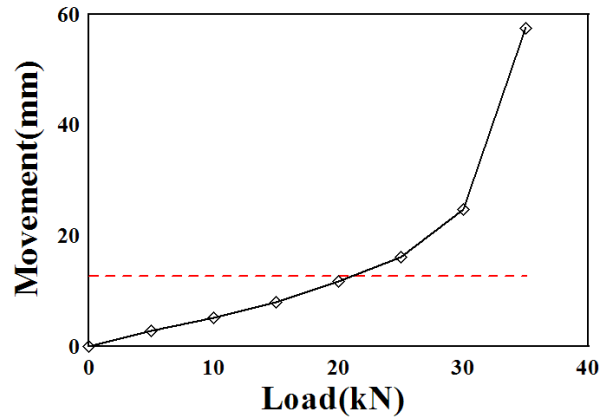


그림 6. 잔류변형을 통해 극한하중 산정

3. 시험결과 분석

3.1 방전압 5kV에서의 극한인발력

그림 7은 구근1개, 방전압 5kV일 때 방전 횟수에 따른 앵커의 극한인발력의 변화를 나타낸 것이다. 방전횟수 0회일 때 평균극한인발력 119.41kN에서 방전횟수가 증가함에 따라 극한인발력이 221.43kN으로 85.4%의 증가율을 보였다. 0회에서 20회까지는 다소 많은 증가량을 보이지만 20회 이 후부터는 증가량이 미미한 것을 볼 수 있다.

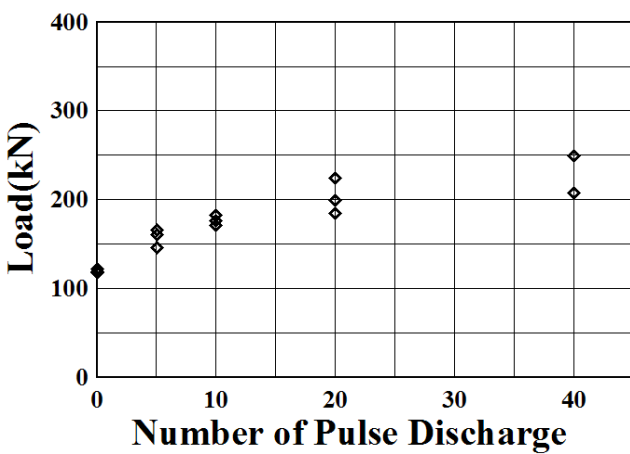


그림 7. 방전횟수에 따른 극한인발력 (5kV)

표 3. 방전횟수에 따른 극한인발력 증가율(5kV)

방전횟수	평균극한인발력(kN)	극한인발력 증가율(%)
0	119.41	0
5	157.46	31.9
10	176.55	47.9
20	202.56	69.6
40	221.43	85.4

3.2 방전압 7kV에서의 극한인발력

그림 8은 구근 1개, 방전압 7kV 일때 방전 횟수에 따른 앵커의 극한 인발력의 변화를 나타낸 것이다. 0 회와 5회 사이에서는 212.38kN으로 77.86%의 급격한 극한인발력 증가를 보이고 5회부터 20회까지는 증가량이 점차 줄어들어 127.01%의 증가량을 보였고 20회 이후 40회에서는 156.95%까지 증가하는 경향을 보였다.

3.3 방전압 5kV 구근2개에서의 극한인발력

그림 9는 구근 2개, 방전압 5kV일 때 방전횟수에 따른 극한인발력을 나타낸 것이다. 방전횟수는 구

근당 방전횟수를 나타내고 있다. 총 방전횟수는 표시된 것의 두 배이다. 방전횟수 10까지 296.23kN, 148.08%의 급격한 증가량을 확인 할 수 있었다. 방전횟수 10회 이 후부터 증가량이 점차 감소하여 20회 일 때 325.68kN의 164.37%까지 증가하는 경향을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

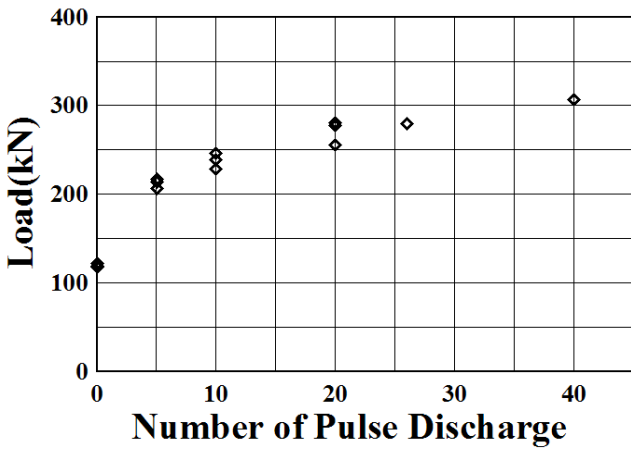


그림 8. 방전횟수에 따른 극한인발력 (7kV)

표 4. 방전횟수에 따른 극한인발력 증가율(7kV)

방전횟수	평균극한 인발력(kN)	극한인발력 증가율(%)
0	119.41	0
5	212.38	77.86
10	237.71	99.07
20	271.06	127.01
26	279.94	134.44
40	306.81	156.95

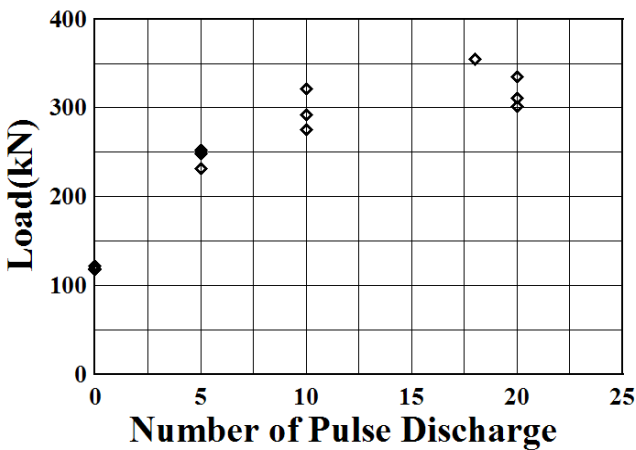


그림 9. 방전횟수에 따른 극한인발력 (구근2, 5kV)

표 5. 방전횟수에 따른 극한인발력 증가율(5kV, 구근2개)

방전횟수	평균극한 인발력(kN)	극한인발력 증가율(%)
0	119.41	0
5	244.21	104.52
10	296.23	148.08
18	355.18	197.45
20	315.68	164.37

4. 결론

본 연구에서 풍화토 지반에서 펄스방전에 의한 확공형 앵커의 극한인발력 증대 효과를 분석하기 위한 현장시험 데이터를 분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 풍화토지반에서 구근1개, 방전압 5kV일 때 방전횟수 20회까지 꾸준한 증가량을 보이다가 20회 이후에서는 다소 미미한 증가량을 보였다.
2. 풍화토지반에 구근1개, 방전압 7kV일 때 방전횟수 5회일 때의 급격한 증가량에 비해 5회 이후의 증가량은 줄어들었지만 40회까지 꾸준한 증가량을 보이는 것을 확인 하였다.
3. 풍화토지반에 구근2개, 방전압 5kV일 때 10회까지 148.08%의 급격한 증가량을 보였고, 그 이후에는 증가량이 미미한 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통기술연구개발사업 건설핵심기술연구개발사업 자유공모과제(C106A1000012-06A06 001211)의 연구지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김낙경, 박완서 (2000), "Load Transfer of Ground Anchors in Clay", 한국지반공학회논문집, 제 16권, 3호, pp. 145-155
2. 김낙경 (2001), "풍화토 지반에 설치된 앵커의 인발특성", 한국지반공학회지논문집, 제17권, 4호. pp. 231-239
3. 김낙경, 김대규, 김래현, 이기환, 이우진 (2002), "현장시험에 의한 그라운드앵커 시스템의 크리프 및 단기거동 특성 연구", 대한토목학회 논문집, 제22권 6호, pp. 585-594
4. 김성규 (2000), "압축형 그라운드 앵커의 하중전이에 관한 연구" 공학석사 학위논문, 성균관 대학교
5. AASHTO (1990), "Permanent Ground Anchor Specification In-situ Soil Improvement Technique" AASHTO-AGC-ARTBA TF27 Rep., AASHTO, Washington, D.C.
6. 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
7. FHWA-RD-75-130 (1975), "Lateral Support Systems and Underpinning", v.3 pp.193-204
8. Liao, H. J.; Hsu, S. T. (2003), "Uplift Behavior of Blade-Underreamed Anchors in Silty Sand", ASCE, v.129, n.6, pp. 560-568 (June 2003)
9. Littlejohn, G. S. (1970a), "Soil Anchors", Proceedings of a Conference Organized by the Institution of Civil Engineers in London, pp. 33-44
10. 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
11. Kim, Nak-kyung (2000), "Load Transfer on Ground Anchors in Weathered Soil", Ground International Conf. On Improvement Technique, Singapore, pp.217-226.
12. 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