

비탈면에 적용된 대구근 앵커의 보강효과 연구

A Study On The Reinforcing Effect Multibell Anchor Applied To The Cut Slope

차경섭¹⁾, Kyung-Sub Cha, 김선주²⁾, Seon-Ju Kim, 김태훈³⁾, Tae-Hoon Kim

¹⁾ 대우건설기술연구원 선임연구원, Daewoo E&C Researcher / Ph.d

²⁾ 대우건설기술연구원 전임연구원, Daewoo E&C Associate

³⁾ 대우건설기술연구원 선임연구원, Daewoo E&C Researcher / Ph.d

SYNOPSIS : The ground anchor used in domestic area, which resists by adhesion between anchor body and the ground to the external force, seems not to be adequate for soft ground and urban area where the boundary between structures is close because the ground is disturbed and lost its strength during boring. In order to overcome such a shortcoming an expanded anchor system has been developed. The ground expansion is accomplished by means of Pulse Discharge Technology. In this technology, a high voltage of electricity is stored and discharged in milliseconds which induces high pressure acting on the ground. By making a couple of bulbs, a passive resistance as well as shaft resistance are mobilized, and therefore a higher pullout resistance comparing existing ground anchors is developed. In this study, a couple of full scale tests were conducted in order to figure out how much the resistance of an expanded anchor increases comparing to the straight. As a result, it was found that a remarkable increase in ultimate pullout capacity is observed for the soft ground and as the number of bulb increases. In addition, as a result of applying to a cut slope reinforcement, it appeared that the length of fixed zone of anchor can be reduced effectively.

Keywords : Expanded Anchor System, Pulse Discharge Technology, Ultimate Pullout Capacity

1. 서 론

국내에서 임시구조물 보강용으로 주로 사용되고 있는 마찰형 앵커공법의 경우 천공후 교란에 의해 앵커와 주변지반과의 마찰저항이 작아 정착장을 풍화암반까지 설계하는 경우가 많으며, 특히 연약지반 혹은 도심지 근접시공의 경우에는 적용성이 떨어진다.

이와 같은 기존 앵커의 단점을 보완하기 위해 본연구에서는 확공형 앵커공법을 개발하였다. 펄스방전기법(Pulse Discharge Technology Method)을 이용하는 본 공법의 확공방식은 캐패시터(Capacitor)라는 장치에 상용전기를 축적시키고 이를 순간적으로 방전시켜 천공 주변지반을 강한 압력으로 밀어 확장시키는 방식이다. 천공직경보다 큰 구근을 1개 또는 여러개 형성함으로써 주변마찰저항의 증대뿐만 아니라 수동저항성을 증대시켜 기존 앵커에 비해 큰 인발저항력을 나타내게 된다.

본 연구에서는 기존 마찰형앵커에 확공에 따른 인발저항력의 증가량을 측정하기 위해 사질토 지반에 대하여 실험실시험을 수행하여, 펄스방전횟수, 지반강도(SPT N Value) 및 구근갯수에 따른 극한인발력을 분석하고, 절토사면의 보강에 적용하여, 본 공법의 적용성을 검토하고자 한다.

2. 펄스방전원리

펄스방전 원리는 그림 1에서와 같이 1J(joule)의 에너지를 1s(초) 동안에 방출하면 1W(watt)의 파워가

되지만 $1\mu\text{s}$ (10^{-6} 초)의 짧은 시간에 방출 하면 단위 시간당의 에너지변화량이 아주 큰 1MW (10^6watt)에 이르는 큰 파워를 가지게 되는 에너지 보존 법칙의 원리에 의한 것으로 에너지 저장장치를 통하여 전력 변환 혹은 에너지 압축을 이용하는 기술이다. 다시 말하면, 절연 매질 내부에 있는 양 전극 사이에 수십 μs 내에 고전압을 가하면 양극 사이에 큰 에너지가 발생하고 이 에너지로 인해 높은 온도의 열에너지가 생성되게 된다

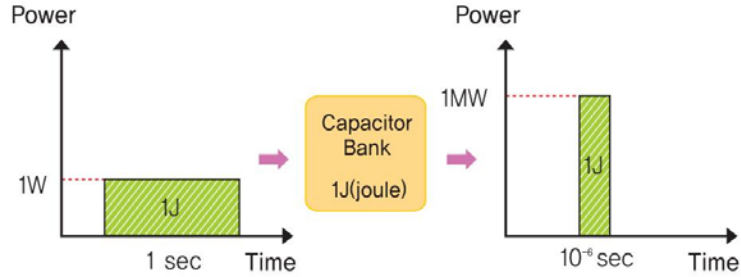


그림 1. 펄스파워 발생개념

스위치를 켜고 동시에 콘덴서에 축적된 고전압이 시멘트페이스트(cement paste) 내에 들어있는 임펄스방전 장치의 양전극에 인가된다. 전압인가 후 단계별로 전기 방전이 시작되고 임펄스방전 장치주위에는 작은 공간(버블)이 형성된다. 이 버블은 내부의 높은 온도와 압력에 의해 수 μs 의 빠른 속도로 그 공간이 확장되어지며 이때 충격파로 변환된다. 이때 형성되는 충격파는 그림 2처럼 유체역학적 작용을 하여 시멘트페이스트를 통해 지반으로 전해지게 되며 시멘트페이스트를 매질로 하는 지반에 충격파가 접촉되면 지반과 시멘트페이스트의 임피던스가 현저히 다르기 때문에 이 경계면에서는 반사가 일어나게 되고 이 반사에 의해 충격파가 닿은 면에 있는 지반은 순간적으로 압축되고 곧 팽창되기 때문에 부분적인 지반 압밀 현상이 일어나게 된다. 그와 동시에 이미 팽창된 공간(버블) 내부의 압력이 주위 매질 즉 시멘트페이스트의 압력보다 낮아지게 되어 공간이 줄어들고 시멘트페이스트로 채워지게 된다. 그림 3은 펄스에너지의 변환단계 순서를 보여준다.



그림 2. 충격파의 유체역학적 작용



그림 3. 에너지 변환단계 모식도

3. 실 대형 시험

3.1 실험장치

펄스방전장치는 그림 4와 같이 크게 전원공급부, 고전압스위치부, 동축케이블, 선단장치로 구성되어 있으며, 일반 상용전원으로부터 들어온 전기를 캐패시터에 저장하고 압축시킨후 대전력 스위치를 통해 순간적으로 방전시키면 선단장치를 통해 고전력 펄스파워가 방전된다.

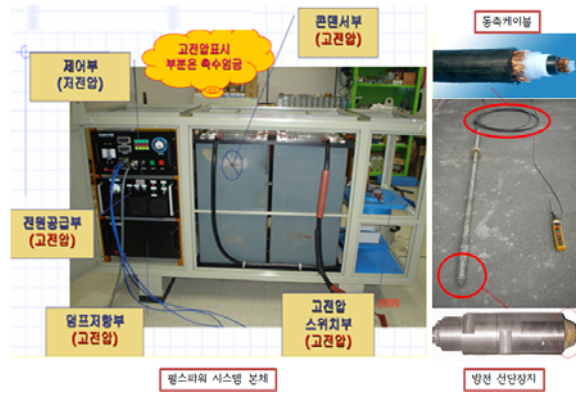
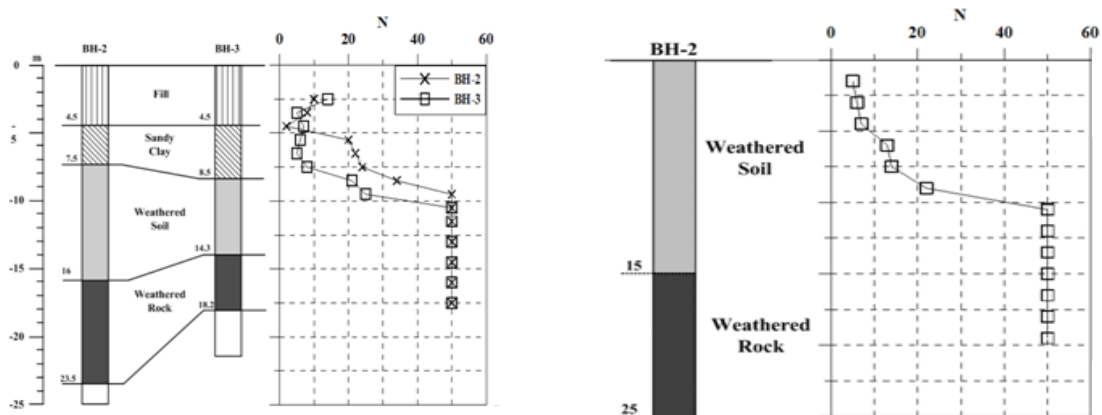


그림 4. 펄스방전장치

3.2 지반조건

본 시험은 사질토 지반에서 기존 직선형앵커에 비해 확공에 따른 인발저항력의 증가량을 측정하기 위한 시험으로 시험장소는 그림 5와 같이 정착장 주변 N치 30전후의 경기수원 및 20전후의 인천부평에 위치하고 있다. 앵커 현장시험을 수행하기 위해 천공작업은 유압장비를 이용하며 그라우트의 물/시멘트비는 현장에서 일반적으로 사용하는 50%로 하여 시험을 수행하였다. 방전압, 구근갯수, 방전횟수에 따른 극한 인발력을 측정하기 위해 시험조건은 표1과 같다.



(a) 경기수원

(b) 인천부평

그림 5. 현장주상도 및 지반N치

표1. 펄스앵커 시공조건

지반종류	지역	구근갯수	방전압	방전횟수	지반(N치)	정착장 근입심도
풍화토 (사질토)	경기수원	1개	5KV	0,5,10,20,40회	25	9M
	인천부평	1개	5KV	0,5,10,20,40회	20	8M
		2개	5KV	0,5,10,20,40회	20	8M
		2개	7KV	0,5,10,20,40회	20	8M

3.3 결과

3.3.1 방전압 및 지반강도에 따른 극한인발력

그림 6은 펄스방전압이 5kv, 7kv일때 방전횟수에 따른 극한인발력의 변화를 나타내고 있다. 인천부평 5kv방전의 경우 무방전시 119.41kN에서 40회방전시 221.43kN으로 85.4%의 극한인발력의 증가를 보였으며, 7kv방전의 경우 무방전시 119.41kN에서 40회방전시 306.81kN으로 약 157%의 극한인발력 증가를 보였다. 지반조건이 N치 25인 경기수원의 경우 5kv방전의 경우 무방전시 250kN에서 40회 방전시 430kN으로 약72% 극한인발력 증가를 보여, N치 20인 인천부평의 5kv방전시 극한인발력 증가율 85.4%보다 약간 낮음을 알수 있다. 또한 방전횟수 0회에서 20회의 경우 방전압 및 지반N치에 관계없이 급격한 극한인발력 증가를 보이다 그이후 증가율이 급격히 떨어짐을 확인하였다.

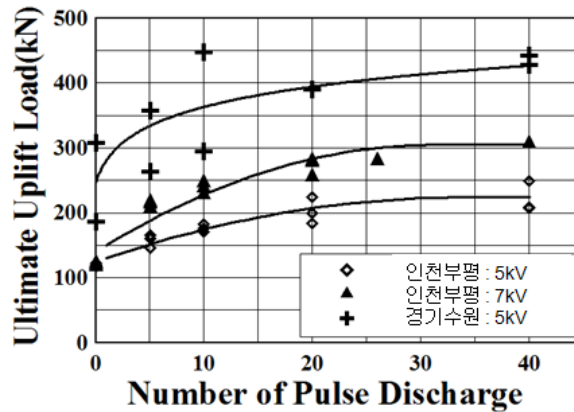


그림 6. 방전압에 따른 극한인발력

3.3.2 구근갯수에 따른 극한인발력

그림 7은 구근의 개수가 1,2개일때 방전횟수에 따른 극한인발력의 변화를 나타내고 있다. 구근1개의 경우 무방전시 119.41kN에서 40회방전시 221.43kN으로 85.4%의 극한인발력의 증가를 보였으며, 구근2개의 경우 무방전시 119.41kN에서 40회방전시 325kN으로 약 172%의 극한인발력의 증가를 보였다. 방전횟수 0회에서 20회의 경우 구근갯수에 관계없이 급격한 극한인발력 증가를 보이다 그이후 증가율이 급격히 떨어짐을 알수 있다.

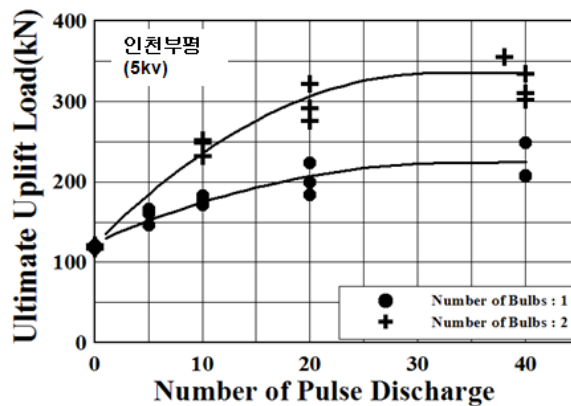


그림 7. 구근갯수에 따른 극한인발력

4. 현장적용

경주△△현장 야적장의 포장면에 균열이 발생하여 비탈면 하부에 압성토공법을 적용하였으나 포장균열이 계속적으로 진행되어, 비탈면활동에 대한 안정성확보를 위해 펄스앵커공법을 적용하였다.

4.1 지반조건

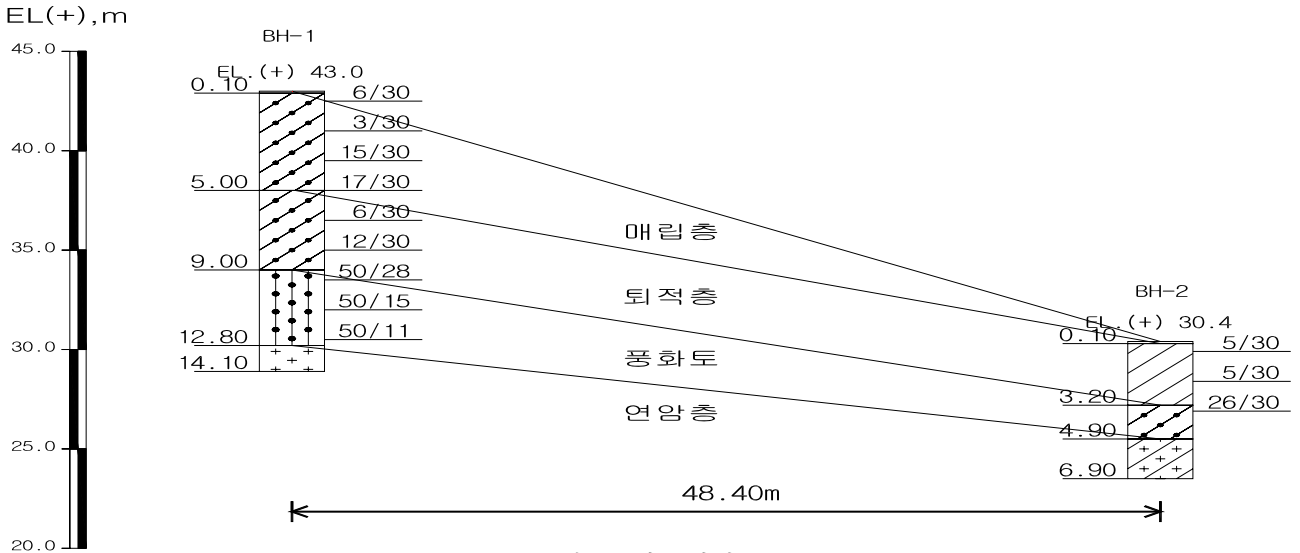


그림 8. 지층현황도

4.2 보강설계

4.2.1 안정성 검토(TALREN 4.0)

본 현장은 안정성 검토 결과 우기시 소요안전율($F.S > 1.2$) 만족하지 못하므로 취약구간에 앵커공법을 적용하여 안정해석을 실시하였다. 기존 사면안정해석 프로그램의 경우 펄스앵커공법을 적용하기 어려우므로 일반마찰형앵커를 적용하여 그림 9와 같이 안정성검토를 수행하였다.

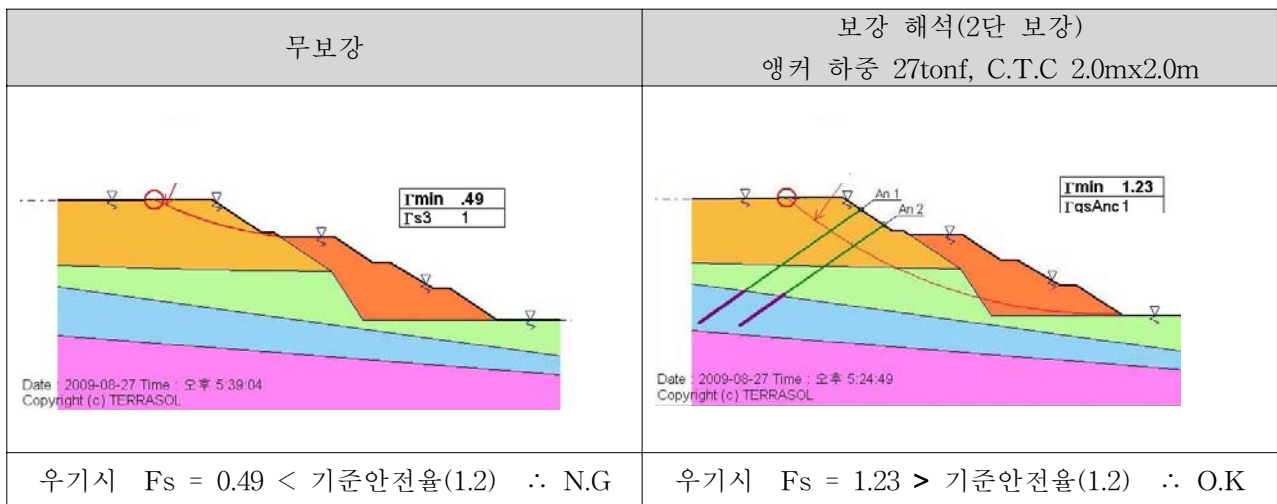


그림 9. 사면안정해석 결과

4.2.2 펄스앵커의 설계

사면안정해석 프로그램인 TALREN해석결과 FS=1.2시 사면에 필요한 설계 앵커력은 산정된 설계앵커력은 (27tonf)으로 펄스앵커 산정식 (1)를 통해 정착장 길이를 산출하였다.

$$Q_a = A\overline{\sigma_{ov1}}'\pi DL_a + B\sigma_{ov2}'\frac{\pi((CD)^2 - D^2)}{4} + A\overline{\sigma_{ov3}}'\pi CDL_b \quad (1)$$

$$Q_a = Q_{a1} + Q_{a2}$$

- 여기서, A = 지반에 따른 마찰계수
- B = 지반에 따른 지지력계수
- C = 방전 횟수에 따른 계수 (D_e/D)
- D = 확공 되지 않은 앵커의 직경
- D_e = 확공 된 구근의 직경
- L_a = 구근 상부의 정착전이길이
- L_b = 구근의 길이
- $\overline{\sigma_{ov1}}'$ = 구근 상부 정착장에서 의 평균 유효상재하중
- σ_{ov2}' = 구근 상부에서의 유효상재하중
- $\overline{\sigma_{ov3}}'$ = 구근부 중앙에서의 평균유효상재 하중

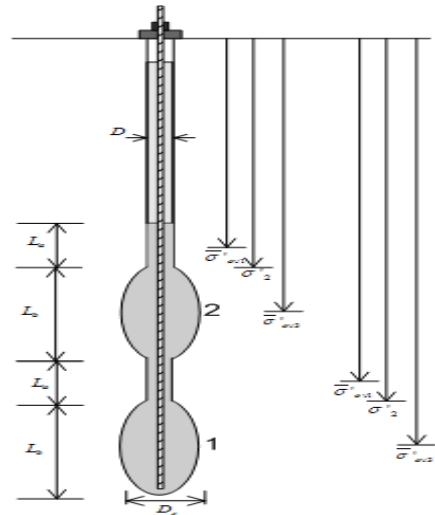


그림 10. 현장 적용 앵커의 개요

표 2. 구근에 작용하는 유효응력

유효응력	1번 (tf/m^2)	2번 (tf/m^2)
σ_{ov1}'	19.5	16.9
σ_{ov2}'	21.5	18
σ_{ov3}'	21.7	18.2

표 3. 극한인발력 산정식 계수 결정

구분	1번	2번
가정 정착장 L_a	2.3m	2.2m
가정 정착장 L_b	0.5m	0.5m
확공비 C	1.32	
지반마찰계수 A	1.46	
지반지지력계수 B	60.7	

4.3 앵커 시공

4.3.1 시공조건

표 4. 시공조건

단 수	방전 전압	방전 횟수	자유장	정착장	시공 공수	비 고
1	무방전	0	13M	9.0M	3	- 일반앵커설계시
	5kv	20	13M	5.5M	22	- 일반앵커설계시 정착장 9M ▶ 정착장 3.5M 길이 감소
2	5kv	20	11M	5.5M	20	- 일반앵커설계시 정착장 9M ▶ 정착장 3.5M 길이 감소

4.3.2 시공순서



그림 11. 펄스앵커 시공순서

4.4 결과

총 45공의 시공앵커중 무방전 2공 펄스방전 2공에 대한 인장시험을 실시하였다. 펄스방전앵커의 적용성을 확인하고자 하중단계에 따른 변위가 허용치내에 들어오는지 확인하였다. 아래그림과 같이 무방전 및 펄스방전 모두 변위가 허용범위내에 있음을 확인할 수 있었다.

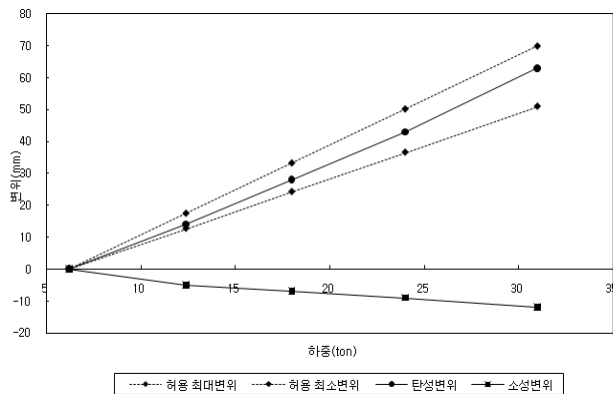


그림 12. 변위곡선(무방전)

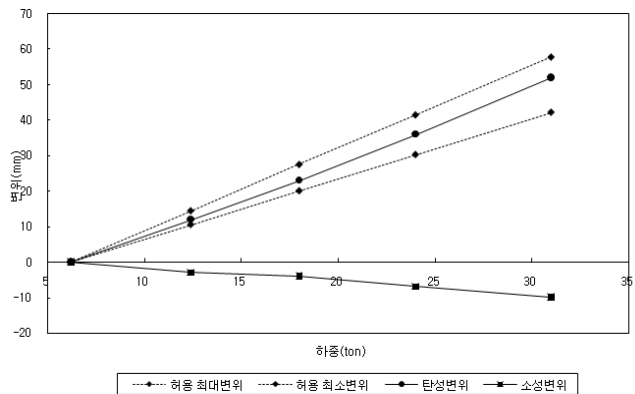


그림 13. 변위곡선(10회방전)

5. 결론 및 요약

본 연구는 실대형 시험을 통해 일반앵커대비 펄스방전횟수, 지반강도(N치) 및 구근갯수에 따른 본 개발공법의 극한인발력 증가정도를 알아보고, 현장적용시 그 적용성을 확인하고자 하였다. 그 연구결과는 다음과 같다.

1. 펄스방전횟수가 증가할수록 일반앵커대비 극한인발력이 증가함을 보여주는데, 방전횟수가 0회에서 40회까지 방전압이 5kv의 경우 약 85.4%, 7kv의 경우 157% 극한인발력이 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 지반강도(N치)가 낮을수록 펄스방전횟수에 따른 극한인발력의 증가율이 커지는 경향을 확인하였다.
2. 구근 개수에 따른 극한인발력의 증가경향을 보면, 같은 방전회수지만 방전횟수가 0회에서 40회까지 구근이 1개의 경우 85.4%의 극한인발력의 증가를 보이나 구근이 2개일 경우 172% 극한인발력이 증가됨을 확인할 수 있다.
3. 극한인발력의 증가율은 방전횟수 0~20회까지 급격한 증가를 보이며 그이후 증가율이 급감함을 확인할 수 있다. 따라서 펄스방전시 효과적인 시공조건은 구근갯수는 2개, 펄스방전 횟수는 20회로 시공시 그 효율을 높일 수 있음을 확인하였다.
4. 현장적용결과 펄스앵커의 경우 일반마찰형앵커 대비 동일한 앵커설계력을 적용하며 정착장을 3.5m 줄여 시공을 하였으나, 인장시험 결과 일반마찰형앵커와 마찬가지로 펄스앵커의 설계내력이 확보되어 공법에 대한 적용성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 핵심 기술연구 개발사업의 연구비 지원(06건설핵심C12)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김선주, 김태훈, 차경섭(2008), “펄스앵커를 이용한 지반의 확공특성”, 2008 대한토목학회 정기학술발표회 논문집, pp.3909~3912.
2. 김성규, 김낙경, 김재원, 강병철, 김태훈(2009), “ 풍화토지반에서 전기방전에 의한 확공앵커의 극한인발력”, 2009 지반공학회 가을학술발표회논문집, pp.1354~1359.
3. 대우건설(2008), “ 펄스파워를 이용한 확공형 앵커 공법 개발 2차년도 중간보고서”, pp.31-55
4. 김태훈, 채수근, 정규점(2005), “펄스파워를 이용한 현장타설말뚝의 지지력 특성”, 2005 한국지반공학회, pp. 521~527