

## 펄스방전 확공형 앵커의 하중전이에 관한 연구

### Load Transfer on Pulsed Power Discharge Anchors

김성규<sup>1)</sup>, Sung-Kyu Kim, 김낙경<sup>2)</sup>, Nak-Kyung Kim, 김재원<sup>3)</sup>, Jae-Won Kim, 주용선<sup>4)</sup>, Yong-Sun Joo, 김선주<sup>5)</sup>, Sun-Ju Kim

- 1) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ.
- 2) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ.
- 3) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ.
- 4) 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology
- 5) 대우건설기술연구소 연구원, Research Engineer, Daewoo Research Institute of Technology

**SYNOPSIS** : The pulse discharge anchor is a method to increase the capacity of anchors using electric discharge geotechnical technologies, which is also known as pulse discharge and electric-spark technologies. The pulse discharge anchor has bulbed bond length that is expanded by high voltage electrokinetic pulse energy. 24 anchors were installed in the weathered soil and sandy clay at the Geotechnical Experimentation Site at Sungkyunkwan University in Suwon, Korea and attached strain gauge at 10 anchors. The numerical predictions by Beam-Column analysis were compared with observed measurements in a field load test.

**Keywords** : pulse discharge, bulbed, load transfer, Beam-Column analysis

## 1. 서론

느슨한 사질토나 연약 점토층에서는 큰 앵커 극한인발력 확보가 어렵기 때문에 앵커공법이 잘 적용되지 않는다. 기존 앵커의 단점들을 보완하기 위해 최근 개발된 펄스 확공 앵커는 지반을 확공 및 다짐시킴으로써 구근을 형성하여 지반과 그라우트 사이의 마찰 및 지압효과를 동시에 발휘시켜 토사지반 및 연약지반에서의 앵커 인발력을 증대시킬 수 있는 경제적인 앵커공법이다. 펄스 방전 앵커의 방전횟수에 따라 하중전이 분포를 확인하기 위해 풍화토에 시공된 앵커에 6개, sandy clay에 시공된 앵커에 5개의 Strain Gauge를 부착하였다. 방전횟수는 0회, 5회, 10회, 20회, 40회로 시공되었으며 시공된 앵커는 압축형 앵커이다.

현장시험으로부터 얻은 펄스방전 확공형 앵커의 하중전이분포를 Beam-Column 수치해석을 이용하여 비교 및 검증하였다.

## 2. 펄스 방전 앵커

최근 연구 되고 있는 펄스파워 공법은 전기방전현상을 이용하여 저장된 에너지를 한꺼번에 방출하는

기술이다. 1J의 에너지를 1초 동안 방출하면 1W의 파워가 발생하지만  $1\mu s$ 의 짧은 시간에 방출하게 되면 1MW의 파워가 발생하게 된다. 이 펄스파워를 앵커에 적용하는 방법은 그라우트 주입 후 전극을 삽입하여 그라우트 내부에서 방전 시키는 것이다. 이때 방전에 의해 압력차가 발생하게 되고 이 압력차는 충격파(Shock Wave)의 형태로 변환되어 주변으로 전달된다. 전달된 충격파는 앵커의 천공 벽을 확장시켜 그라우트와 지반의 마찰면적을 증가시키고, 구근상부의 지지력을 발생시켜 앵커의 인발력이 증가하게 된다.

### 3. 압축형 앵커의 하중전이 분포

압축형 앵커에서는 하중의 작용점이 앵커 선단이므로 그라우트 전체에 걸쳐서 압축력이 작용하게 된다. 그라우트에 작용하는 압축력은 지반으로 전이되어 그림 1(a)와 같은 형태로 지반에서의 하중이 분포하게 된다. 압축형 앵커에서는 강선 전체가 그라우트와 부착이 되어 있지 않기 때문에 균일한 인장력이 작용하게 된다. 그림 1(a)는 지반에서의 하중이며 강선의 하중  $Q_T$ 와 그라우트의 하중  $Q_G$ 의 합으로 구할 수 있다.

$$Q_S = Q_T + Q_G \quad (1)$$

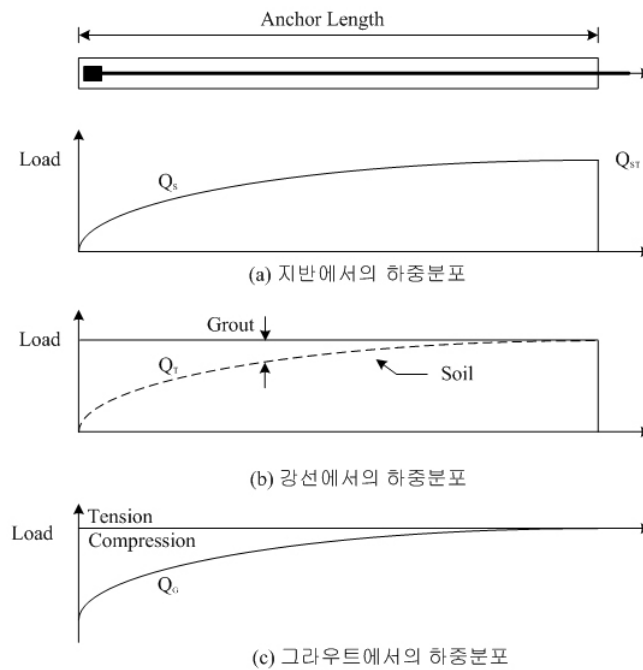


그림 1. 압축형 앵커에서의 하중분포

## 4. 앵커 현장시험

### 4.1 지반조건 및 현장시험 앵커

펄스방전 앵커의 지반에 따른 하중전이 특성을 분석하기 위하여 현장에 펄스방전 확공형 앵커를 시공하여 인발시험을 수행하였다. 시험지반의 주상도는 그림 2와 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 3).

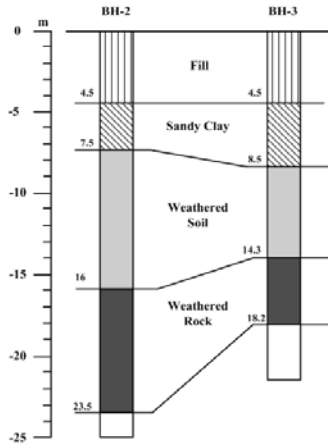


그림 2. 현장시험장 주상도

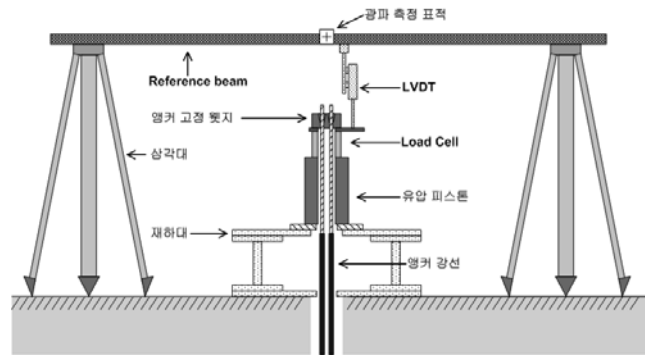


그림 3. 앵커 현장 시험

## 4.2 앵커의 하중전이 측정

앵커의 하중전이를 측정하기 위하여 그림 4와 같이 앵커에 Strain Gauge를 부착하였다. 각 앵커 당 Strain Gauge는 풍화토에 시공된 앵커에는 6개, sandy clay에 시공된 앵커에는 5개를 부착하였으며 부착위치는 그림 5와 같다. Strain Gauge 측정값은 시험 시작 전에 초기값을 읽은 후 Performance Test에서 각 하중단계의 유지시간에서 측정하였다. 현장시험에 사용한 Strain Gauge는 측정값이 주파수(Hz)와 온도( $^{\circ}C$ )이다. 측정값으로 하중을 구하는 식은 식 (1)과 같다.

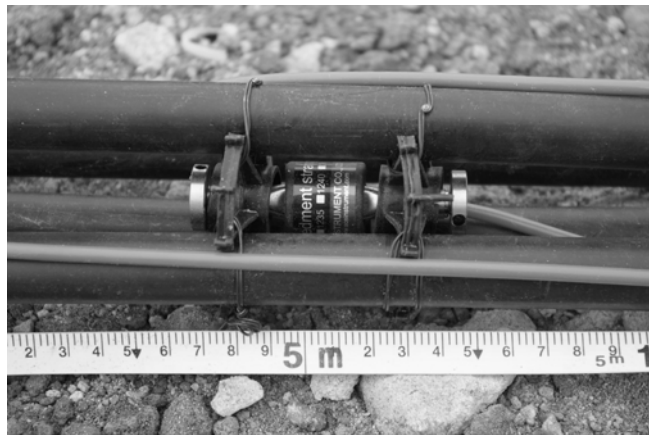


그림 4. 그라우트에 부착된 Strain Gauge

$$P = \sigma \times A \quad (1)$$

$$\sigma = \Delta \mu \epsilon \times 10^{-6} \times E \quad (2)$$

$$\mu \epsilon = G \times 10^{-3} \times F^2 \quad (3)$$

여기서,  $A$  = 부재의 단면적( $cm^2$ )

$\Delta \mu \epsilon$  = 현재값의 변형률에서 초기값의 변형률을 뺀 존재하는 변형률

$E$  = 부재의 탄성계수 ( $kg/cm^2$ )

$G$  = Gauge Factor = 0.7756

$F$  = Hz(주파수)로 측정된 값

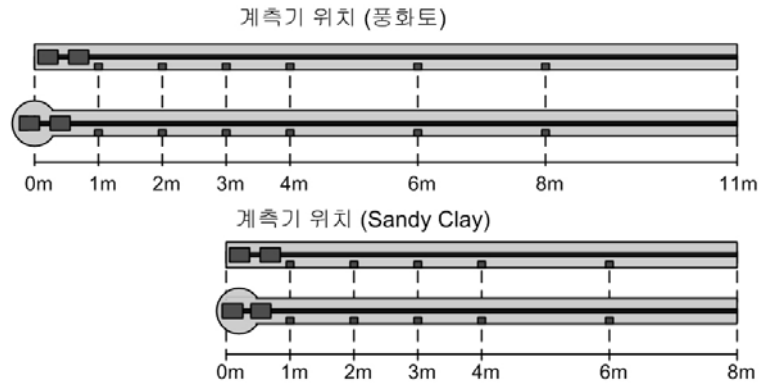


그림 5. 앵커별 계측기 매설 위치

## 5. 지반에 따른 펄스방전 앵커의 하중전이

### 5.1 풍화토에서의 하중전이

풍화토지반에서의 하중전이 분포는 각각 그림 6과 같다. 결과 값은 방전횟수를 10회로 하였을 때 측정된 값으로 그라우트에서의 하중분포가 구근 뒤쪽 1m지점까지 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다.

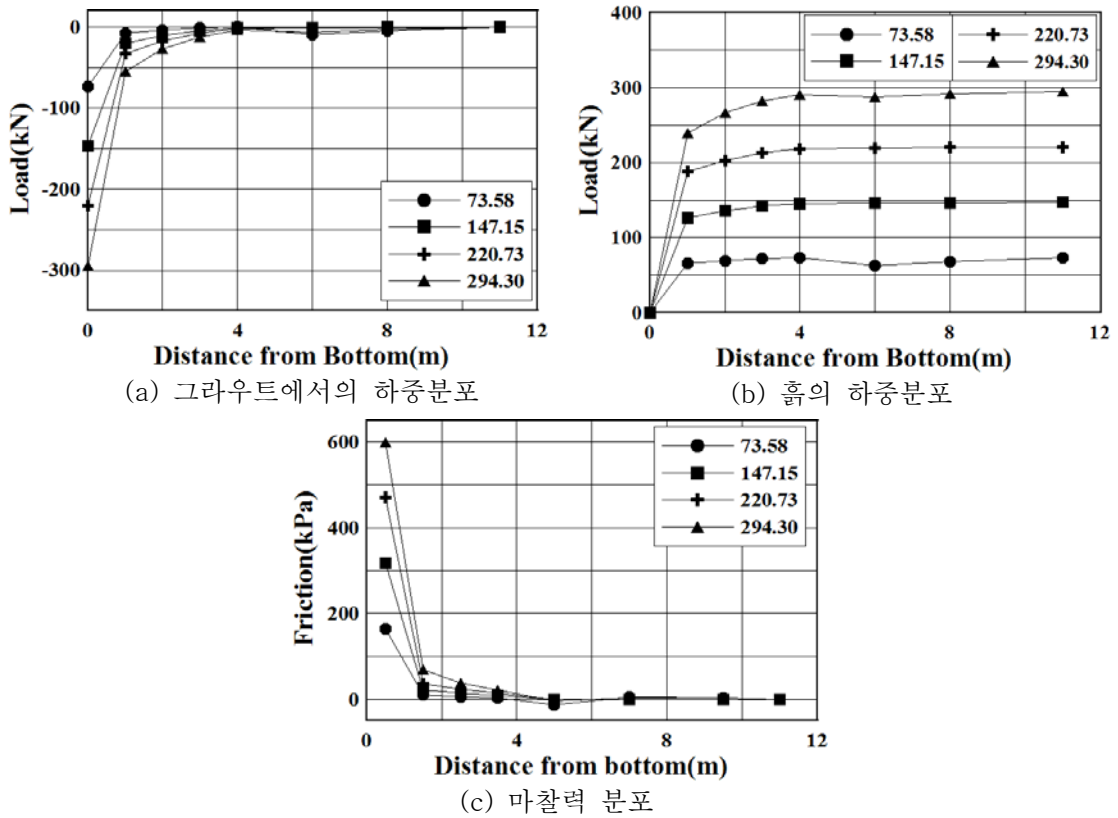


그림 6. 풍화토 방전횟수 10회에서의 하중전이 분포

## 5.2 sandy clay에서의 하중전이

sandy clay에서의 하중전이 분포는 풍화토에 비해 완만한 모양을 보이는 것을 볼 수 있었다(그림 7).

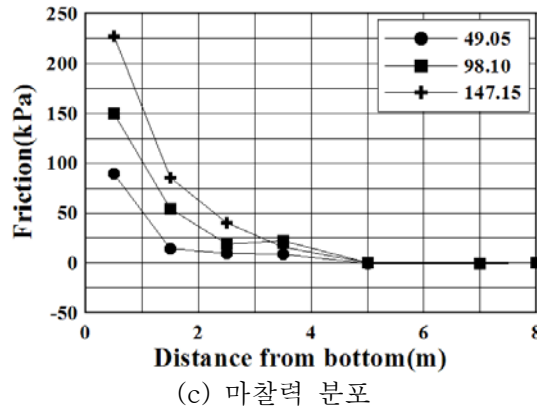
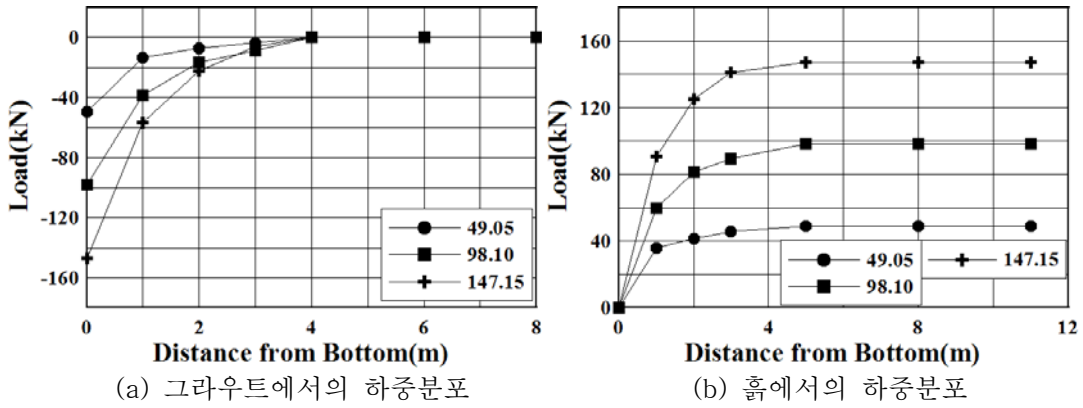


그림 7. sandy clay 방진횟수 10회에서의 하중전이 분포

## 6. Beam-Column Analysis

### 6.1 Beam-Column Analysis

앵커 거동에 대하여 보-기둥 이론에 의한 모델링은 앵커를 강성을 가진 일차원 요소로 분할하고 지반을 스프링으로 모사하여 해석할 수 있다. 압축형 앵커는 앵커 선단에서 가한 인발력이 마찰 등에 의한 손실 없이 앵커의 선단 재하판(End Plate)로 직접 전달되어지고 이는 그라우트에 압축력으로써 작용하게 된다. 따라서 압축형 앵커는 직접 재하되는 하중에 의해 그라우트와 지반에서의 상호작용에 의한 거동을 확인하면 된다.

### 6.2 펄스방진 확공형 앵커의 모델링

펄스방진 확공형 앵커는 그림 9와 같이 펄스방진으로 인한 구근의 확공으로 구근부의 마찰력 증가와 구근의 End-Bearing에 의한 지지력이 증가하게 된다. 따라서 탄성보 해석에서 구근부에 작용하는 응력을 증가시킴으로써 확공형 앵커를 모사하였다.

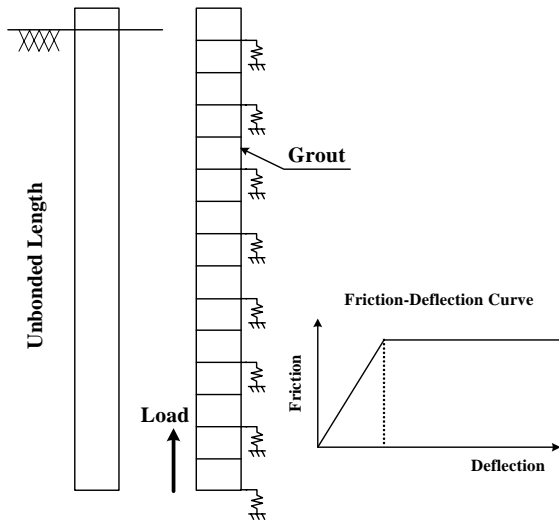


그림 8. 지반과 앵커의 모델링

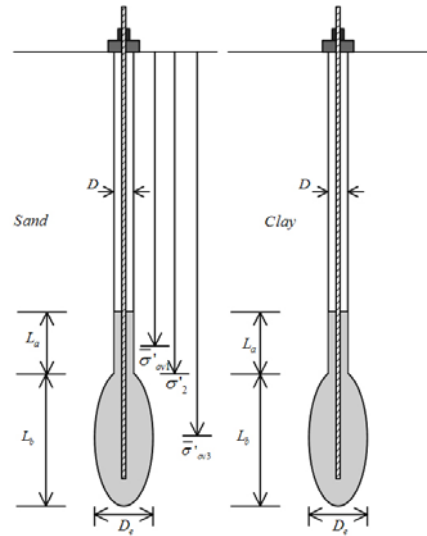
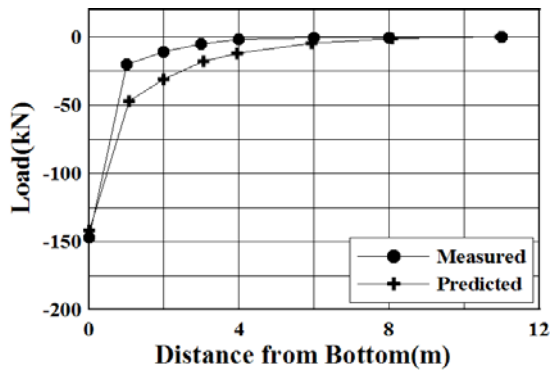


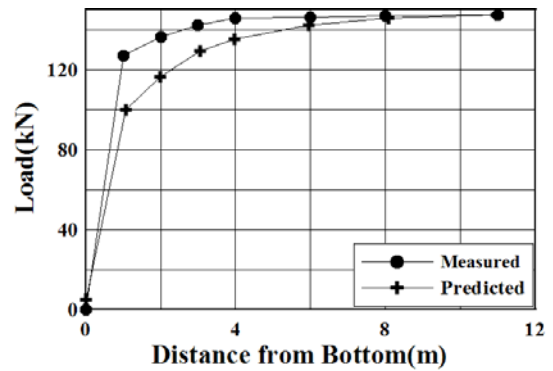
그림 9. 펄스방진 확공형 앵커

## 7. 수치해석 결과

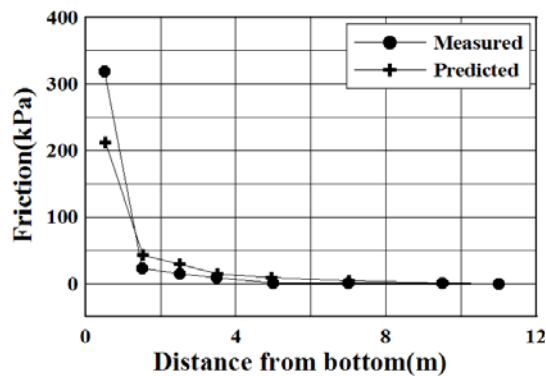
풍화토지반 및 모래질 점토에서 얻은 수치해석 결과는 각각 그림 10 및 11과 같다. 결과값은 인발력이 147.15kN일 때의 값을 비교하였다.



(a) 그라우트에서의 하중분포

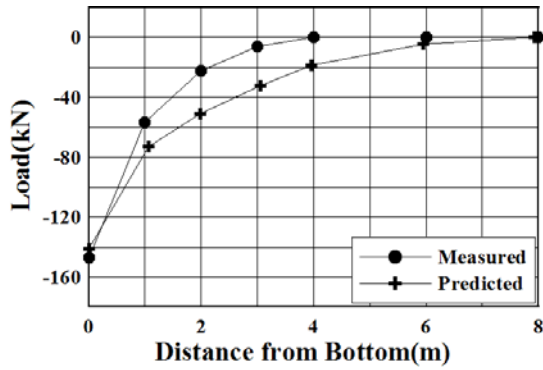


(b) 흙에서의 하중분포

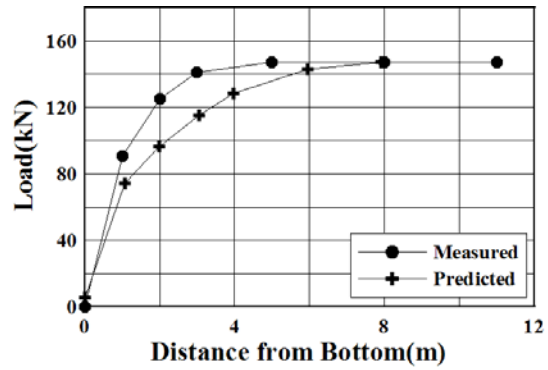


(c) 마찰력 분포

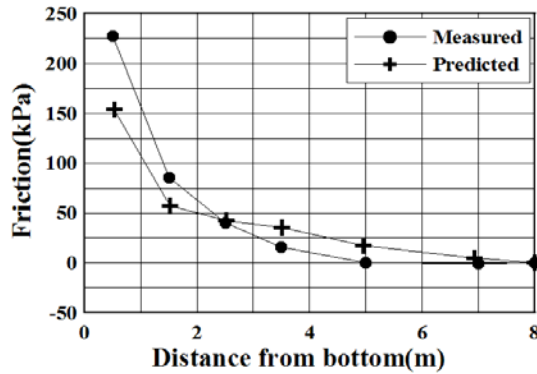
그림 10. 풍화토 지반에서 방진횟수10일 때 하중전이 분포



(a) 그라우트에서의 하중분포



(b) 흙에서의 하중분포



(c) 마찰력 분포

그림 11. sandy clay에서 방전횟수10일 때 하중전이 분포

## 8. 결론

본 연구에서는 풍화토 및 sandy clay 지반에 시공된 펄스방전 확공형 앵커의 하중전이 분포를 계측하고 수치해석을 이용하여 비교 및 검증하였으며 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수치해석을 이용하여 펄스방전 확공형 앵커의 확공부위를 모사할 수 있었으며 현장계측결과와 비교적 유사한 결과를 얻을 수 있었다.
2. 현장 계측 및 수치해석 결과 모래질 점토 보다 앵커 주변마찰력이 큰 풍화토 지반에서 하중전이가 급격하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.
3. 구근의 확공 직경에 따른 하중전이 분포를 확인하기 위해 추가적인 연구가 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. 김낙경, 김성규(2001),“압축형 앵커의 개발 및 성능 평가”,한국지반공학회 2001 봄 학술발표회 논문집, pp339-346
3. 김낙경, 박완서(2000). “Load Transfer of Ground Anchors in Clay” , 한국지반공학회논문집, VOL.16, NO3, pp145-155
4. 김낙경, 서효균, 주용선, 차경섭(2008),“펄스방전을 이용한 확공형 앵커의 극한인발력에 관한 연구”, 대한토목학회 정기 학술대회 논문집, pp2005-2008
5. 김낙경, 주용선, 김성규, 서효균, 김선주(2009),“펄스방전 그라운드 앵커의 확공특성에 대한 연구”,한국지반공학회 2009 봄 학술발표회 논문집, pp1107-1112
6. 김낙경, 주용선, 김성규, 서효균, 김선주(2008),“펄스방전 확공형 앵커의 모형시험”,한국지반공학회 2008 가을 학술발표회 논문집, pp1007-1013
7. 김낙경, 주용선, 김성규, 서효균, 김태훈(2008),“펄스방전 확공형 앵커의 현장시험”,한국지반공학회 2008 가을 학술발표회 논문집, pp1014-1021
8. 김성규 (2000), “압축형 그라운드 앵커의 하중전이에 관한 연구” 공학석사 학위논문, 성균관 대학교
9. 김성규, 김낙경, 김정렬(2003), “일반 가설앵커의 문제점과 개선방향”,한국지반공학회 2003 봄 학술발표회 논문집, pp545-552
10. 김성규, 조규완, 김용규(2005), “쓰레기 매립층에서 그라운드앵커의 극한하중 및 하중분포”, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp.
11. 김성규, 김낙경, 김재원, 강병철, 김태훈(2009), “풍화토 지반에서 전기방전에 의한 확공앵커의 극한인발력”, 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, pp1354-1359
12. 박완서(2000), “풍화토 지반에 설치된 그라운드 앵커의 거동에 관한 연구”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문
13. 서효균 (2009), “펄스방전에 의한 확공형 앵커의 거동특성” 공학석사 학위논문, 성균관 대학교
14. 조규완, 김용규(2004), “압축형앵커의 하중분산 및 인발특성에 관한 연구”, 대한토목학회 가을학술발표회 논문집, pp. 4216-4221
15. AASHTO (1990). "Tieback specifications", AASHTO-AGC-ARTBA Task Force 27, pp137-155
16. 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
17. FHWA-IF-99-015(1999), "Ground Anchors and Anchored Systems"
18. Kim, Nak-kyung (2000), "Load Transfer on Ground Anchors in Weathered Soil", Ground International Conf. On Improvement Technique, Singapore, pp.217-226.
19. Neely, W. J., Montague-Jones, M. (1974). "Pull-out Capacity of Straight Shafted and Underreamed Ground Anchor" , Die Sivelse Ingenieur in Suid-Africa, Jaargang 16, NR 14, pp131-134.
20. Kim N.K. (2003). "Performance of tension and compression anchors in weathered soil." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE Vol. 129(12), pp. 1138 - 1150.
21. Kim N.K., Park J.S., Kim S.K. (2003). "Numerical simulation of ground anchors." *Journal of Computers and Geotechnics*, Vol. 34, pp. 498 - 507.
22. Petros P. Xanthakos, "Ground Anchors and Anchored Structures"