

하중분산 인장형 앵커의 수치해석

Numerical analysis of Multi-Strand Anchor

김성규¹⁾, Sung-Kyu Kim, 강병철²⁾, Byung-Chul Kang, 김낙경³⁾, Nak-Kyung Kim, 김정열⁴⁾, Jeong-Ryeol Kim

¹⁾ 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ.

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

³⁾ 성균관대학교 건설환경시스템공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ.

⁴⁾ (주)삼우기초기술 대표이사, President, Samwoogitech co., Ltd.

SYNOPSIS : Ground anchors can be good solution in large and deep excavation. Anchored supports generally provide larger workspace than strut supports and good performances. The major benefit provided by these anchored systems was the open excavation area created by eliminating horizontal or raked struts, which generally inhibit rapid construction within the site area. In loose soils, however, anchors are sometimes hard to get high pullout anchor capacity, so that the spacing of anchor both horizontally and vertically is frequently controlled, in which the construction costs of anchors are increased. In order to increase anchor capacity, therefore, conceptual introduction of the multi-strand anchor is presented in this paper. Also, this study shows an numerical study of predicting the load transfer of the multi-strand anchor and a beam-column analysis was performed by a Elastic-Plastic beam theory.

Keywords : Tension anchor, Load transfer, p-y curve, Beam-column analysis, Multi-strand anchor

1. 서 론

그라운드 앵커 공법은 토목이나 건축 구조물을 지반에 정착시키기 위하여 고강도의 강재에 높은 긴장력을 도입하여 구속력 또는 선행 하중을 가하기 위한 효과적인 공법이다. 그라운드 앵커의 발달 과정을 살펴보면, 초기에는 인장형 앵커가 주를 이루고 있었으나, 최근에는 압축형 앵커로의 발달이 활발해지고 있다. 인장형 앵커의 경우 국내외적으로 활발하게 적용되고 있으며, 연구 성과와 시공실적이 풍부하다는 장점은 있으나 그라우트 내의 인장 크랙(Crack)과 하중집중으로 인한 크립(Creep) 등으로 진행성파괴(Progressive Debonding) 현상이 발생되어 하중감소가 크다는 단점을 가지고 있다. 비교적 최근에 개발된 압축형 앵커는 인장형 앵커의 단점인 인장균열이나 부식문제 등을 보완하기 위해 개발되어 영구 및 가설용으로 다양하게 시공되고 있고, 인장형 앵커에 비해 크립에 의한 하중감소가 적지만, 고강도의 그라우트를 사용해야하며 비교적 연약한 지반에서는 소정의 앵커력을 확보할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 본 연구는 이러한 인장형과 선단 압축형 앵커의 단점을 보완하기 위한 앵커의 하중을 분산시키고, 제거가 가능한 하중 분산 인장형 앵커(MS Anchor)의 거동을 분석하기 위해 Beam-column을 이용한 수치해석을 수행 하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 인장형 앵커의 하중전이 분포

그라운드 앵커의 하중분포는 지반, 그라우트, 강연선의 하중분포로 구성되어 있으며, 그림 1과 같다. 그림 1 (a)는 지반에서의 하중분포로서 앵커선단에서 zero 이며 지표면에서 앵커의 극한하중과 같은 값이 된다. 그림 1 (b)는 강연선에서의 하중분포이며 정착장과 자유장의 경계면에서 강선에 가해지는 인장력이 급격히 증가하여 극한하중과 같은 값이 된다. 그 이유는 그림 1 (c)와 같이 그라우트가 받는 하중이 인장력에서 압축력으로 바뀌기 때문이다. 그라우트의 하중은 강선의 하중이 그라우트로 전이한 값이다. 그러므로 지반이 받는 하중은 강선의 하중과 그라우트의 하중의 합으로 구할 수 있다.

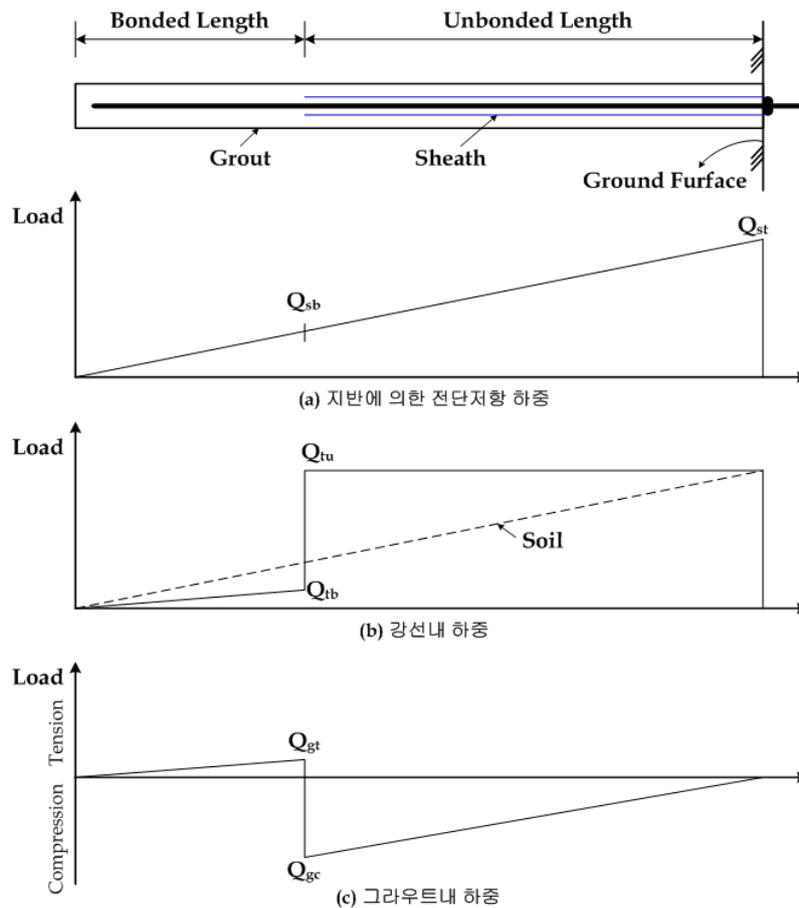


그림 1. 인장형 앵커의 하중 분포

2.3 Beam-Column 해석법

앵커 거동에 대하여 보-기둥 이론에 의한 모델링은 앵커를 강성을 가진 일차원 요소로 분할하고 지반을 스프링으로 모사하여 해석할 수 있다. 일반적인 인장형 앵커에 대한 거동의 기본적인 메커니즘은 자유장에서 그라우트 체의 압축과 정착장에서의 인장으로 구성되어 있다. 그러므로 앵커를 두 부분으로 분리하여 그 거동을 분석함으로써 해석이 가능하다. 그림 2에서는 자유장과 정착부로 분리된 앵커를 표시하고 있으며 각각의 선단에 작용하는 하중의 방향만 다를 뿐 같은 메커니즘을 보여주고 있다.

그림 2와 같이 균질한 지반에 근입된 탄성체의 인발 거동에 대한 지배 방정식은 앵커의 미소 요소에

서 평형 방정식(Equilibrium Equation)을 적용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

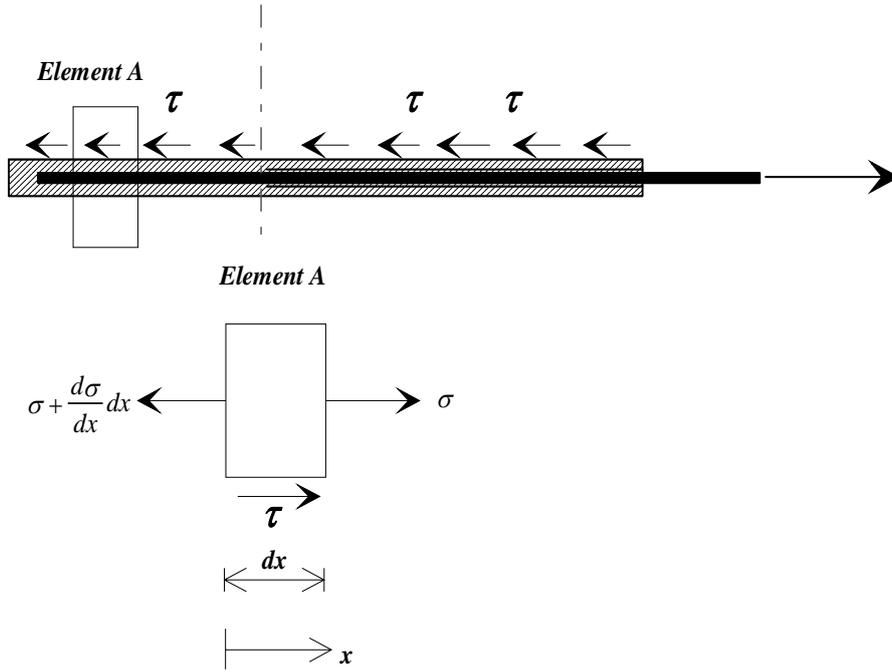


그림 2. 그라운드 앵커의 미소 변형

$$\sum F_x = (\sigma + \frac{d\sigma}{dx} dx)A - \sigma A - p\tau dx = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d\sigma}{dx} - \frac{p}{A} \tau = 0 \quad (2)$$

여기서, σ 는 앵커에 작용하는 응력, τ 는 앵커에 작용하는 전단 응력, p 는 윤변 길이, A 는 단면적이며 탄성체의 인장 거동과 지반의 전단 저항이 탄성체의 변형에 비례한다고 가정하면 각각의 구성 방정식(Constitutive Equation)은 다음과 같다.

$$\sigma = E_a \frac{dy}{dx} \quad (3)$$

$$\tau = Ky \quad (4)$$

여기서, y 는 x 방향의 변위, E_a 는 앵커체의 탄성 계수, K 는 전단 계수이다. 위의 식으로부터 지배 방정식을 다음과 같이 세울 수 있다(Matlock et al., 1981).

$$\frac{d^2y}{dx^2} - \frac{pK}{AE_a} y = 0 \quad (5)$$

식 (5)로부터 $-pKy = F(x, y)$ 로 치환하면 다음과 같은 차분 방정식을 유도하였다.

$$AE \frac{d^2y}{dx^2} + F(x, y) = 0 \quad (6)$$

따라서 식 (6)에서 보는 바와 같이 마찰력 $F(x, y)$ 은 탄성계수와 변위의 함수로써 산정 할 수 있다.

3. 하중분산 인장형 앵커의 수치해석

3.1 하중분산 인장형 앵커의 모델링

하중 분산 인장형 앵커는 일반 인장형 앵커의 정착장 하단부에 집중되는 하중을 각 강연선의 정착장에 균등하게 분산시킬 수 있는 앵커를 말한다. 수치해석에 사용된 하중 분산 인장형 앵커는 그림 3과 같은 형태를 가지고 있다. 앵커의 전체길이는 16m 이며, 각 강연선은 2m의 정착장의 길이를 가졌다고 가정하였다. 하중 분산 인장형 앵커의 의 제원은 표 1 과 같다.

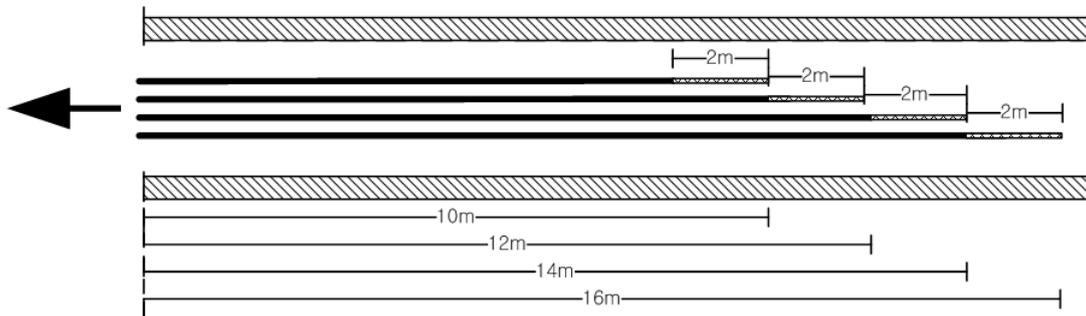


그림 3. 하중 분산 인장형 앵커

표 1. 하중 분산 인장형 앵커의 모델링을 위한 데이터

종 류	제 원
강연선의 개수	4 개
강연선의 길이	16,14,12,10 m
강연선의 직경	0.0127m
강연선의 Stiffness($A_t E_t$)	90816 kN
각 강연선의 정착장 길이(L_b)	2 m
정착 응력	1600 kN/m ² (British Code)

3.2 강연선과 그라우트에 대한 모델링

앵커 두부에서 가해진 하중은 그라우트와 부착된 정착장에서 그라우트와 강연선의 부착력을 통해 그라우트에 하중이 전이 되게 된다. 따라서 부착력에 의해 강연선이 그라우트 내에서 전이되는 하중 분포와 변형을 검증하기 위한 모델링은 강연선의 길이와 부착력 등을 이용할 수 있다. 여기서 강연선의 길이는 정착장내의 강연선의 길이, 자유장의 길이 및 지반에서부터 하중이 가해지는 앵커 두부까지의 길이의 합을 말하며 부착력은 표 1의 값을 사용하였다. 앵커 재원을 이용하여 그림 4에서와 같이 강연선과 그라우트 사이의 P-y Curve를 산정하였다.

3.3 그라우트와 지반의 모델링

강연선의 모델링을 통해 얻은 그라우트로 전이된 하중분포의 결과를 이용하여 그라우트와 지반 사이

는 다음과 같이 모델링 할 수 있다. 즉 강연선으로부터 전이된 그라우트 내 하중은 최종적으로 주변마찰력에 의해 지반으로 전이된다. 각 절점에 발생한 하중을 지반과 그라우트에서의 하중으로 다시 입력하며 지반과 그라우트에서 마찰력으로 작용하게 되는 수평 방향의 토압을 이용하여 앵커체를 구속하는 지반스프링으로 치환하게 하여 모델링을 구성하게 된다. 그림 5의 P-y curve는 지반의 수평 토압으로부터 산정되었다. 수평 방향의 토압을 산정하기 위해서 지반은 표준 관입 시험의 결과인 N치를 이용하여 3개의 층으로 분할하였고, 사용되는 그라우트의 탄성계수는 일축 압축 시험을 수행하여 얻은 그라우트의 압축 강도를 이용하여 산정하였다. 모델에 사용된 지반조건은 표 2와 같다.

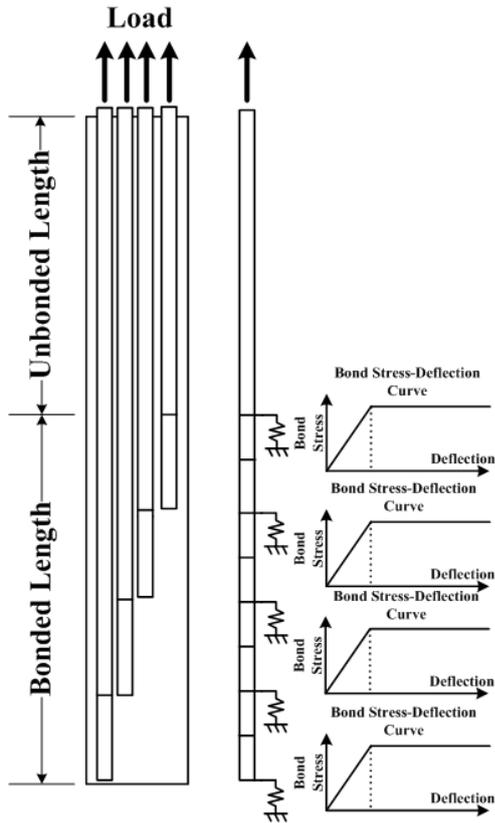


그림 4. 정착장의 강선 모델링

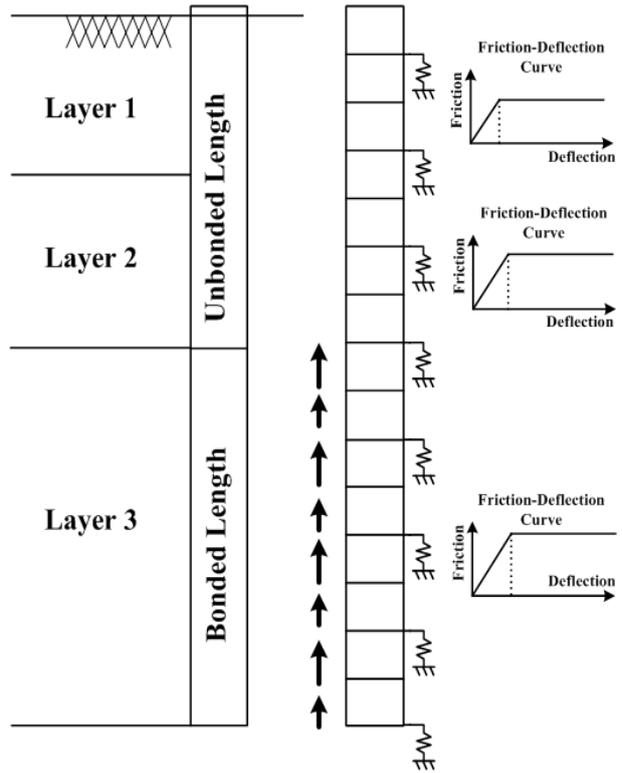


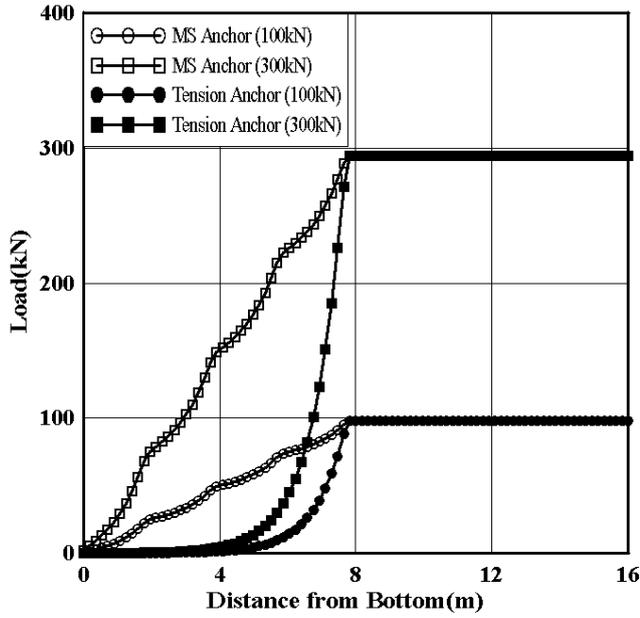
그림 5. 지반과 앵커의 모델링

표 2. 지반과 그라우트의 해석을 위한 지반조건

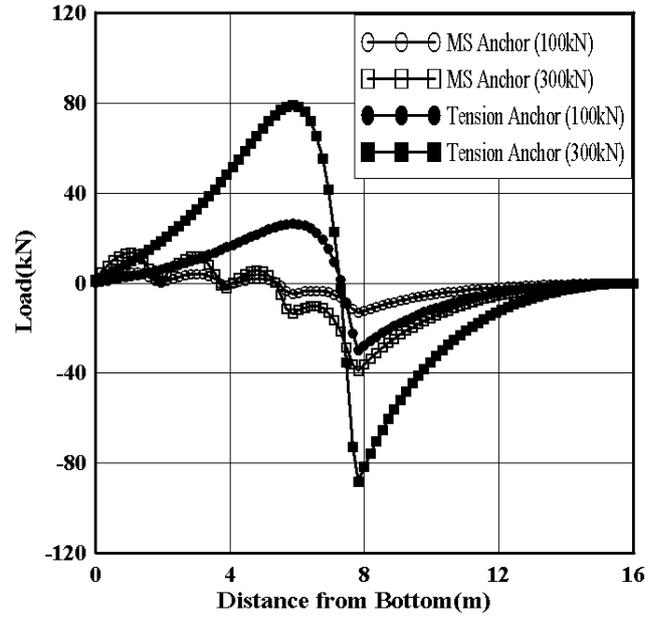
Layer	Depth (m)	γ (kN/m ³)
1	0 - 4	18
2	4 - 8	20
3	8 - 16	22

4. 수치해석 결과

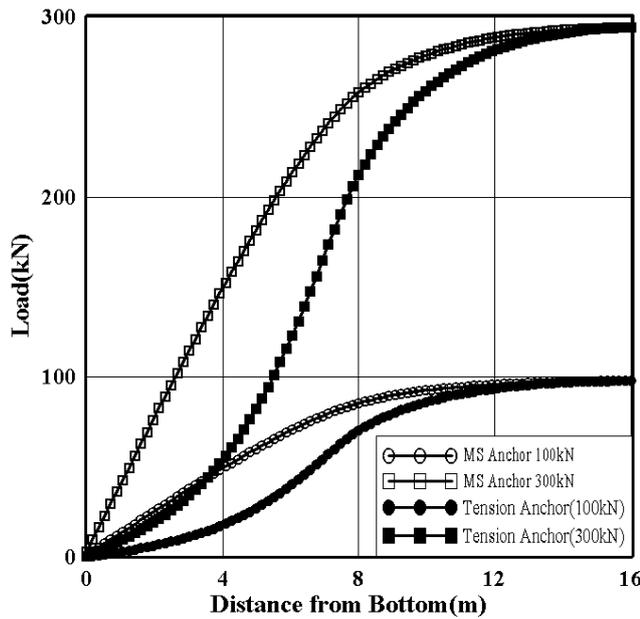
그림 6은 각 재료에서 발생하는 하중 전이 분포를 확인하기 위해 모델링 한 하중 분산 인장형 앵커와 동일한 제원을 가지며, 정착장의 길이가 8m인 일반 인장형 앵커에 100kN 및 300kN의 하중을 재하했을 때의 수치해석 결과이다. 앵커 헤드에서 발생하는 전체 변형은 첫 번째 모델링에서 발생한 강연선의 탄성 변형과 두 번째 모델링을 통해 얻은 그라우트의 변형을 합으로써 나타 낼 수 있다.



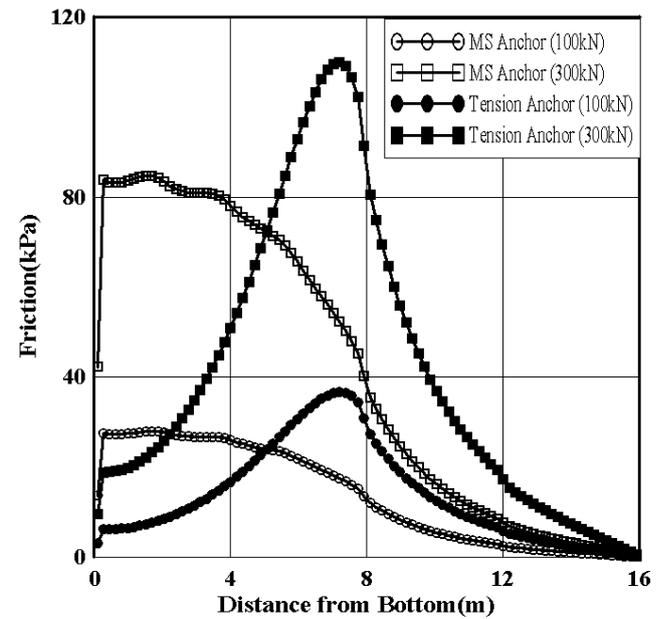
a) 강선의 하중 전이 분포



b) 그라우트에서 하중전이 분포



c) 지반으로 전이되는 하중 분포



d) 마찰력 분포

그림 6. 하중 분산 인장형 앵커 수치해석 결과

5. 결론

본 연구는 새롭게 모델링한 하중 분산 인장형 앵커와 일반 인장형 앵커를 모델링 하여 탄소성보 이론을 이용하여 수치해석 한 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 정착장 위치가 서로 다른 하중 분산 인장형 앵커를 탄소성 보 이론인 Beam-column을 이용하여 수치해석 할 수 있었다.
- 2) 하중 분산형 인장형 앵커의 경우 마찰력 분포는 하중이 적을 때 앵커 정착장에 균일하게 작용하고

있으나 하중이 증가 할수록 선단으로 그 분포가 이동하고 있고, 일반 인장형 앵커의 경우에는 정착장의 하단부분에 하중이 집중됨을 볼 수 있었다.

- 3) 정착장과 자유장 경계부위에 압축형 앵커와 같은 내하체를 설치한 스마트 앵커를 이용할 경우 높은 하중에서도 정착장 전체에 균일한 마찰력이 작용할 수 있을 것으로 사료되며 정확한 거동을 예측하기 위해 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구를 위해 연구비를 지원해주신 (주)삼우기초기술 관계자 분들께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김낙경 (2001), “*Load Transfer of Tension and Compression Anchors in Weathered Soil*” , 한국지반공학회논문집 17권 3호, pp. 59~68.
2. 김낙경 (2000), “*Load Transfer of Ground Anchors in Clay*” , 한국지반공학회논문집 16권 3호, pp. 145~155.
3. 김성규(2001), “압축형 그라운드 앵커의 하중 전이에 관한 연구”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문
4. 박완서(2000), “풍화토 지반에 설치된 그라운드 앵커의 거동에 관한 연구”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문
5. 서동수(2000). “연직하중으로 인한 앵커 토류벽의 거동에 관한 연구” , 석사학위논문, 성균관대학교
6. 윤승권(2008). “하중전이를 고려한 앵커보강사면의 안정 해석”, 석사학위논문, 성균관대학교
7. Kim, N. K. (2000). “Load Transfer on Ground Anchors in Weathered Soils” , *Proceedings of Improvement Techniques*, September 25-26, Sigapore, 2000.9.
8. 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.
9. 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.