한국지반신소재학회논문집 제16권 4호 2017년 12월 pp. 113 ~ 118
J. Korean Geosynthetics Society Vol.16 No.4 December. 2017 pp. 113 ~ 118

DOI: https://doi.org/10.12814/jkgss.2017.16.4.113
ISSN: 2508-2876(Print) ISSN: 2287-9528(Online)

수치해석을 이용한 확공형 앵커의 인발거동 특성

Pullout Behavior Characteristics of Enlarged Cylinder Type Anchor Using Numerical Analysis

문준식[1], 이민주[2]*
Joon-Shik Moon[1], Min-Joo Lee[2]*

[1]*Member, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyungpook Univ. 80 Daehak-Ro, Buk-Gu, Daegu, 41566, Republic of Korea*
[2]*Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kyungpook Univ. 80 Daehak-Ro, Buk-Gu, Daegu, 41566, Republic of Korea*

ABSTRACT

Numerical analysis was carried out using a finite element analysis program to analyze the behavior characteristics of enlarged cylinder type anchor. It was found that the ultimate resistance of enlarged cylinder type anchor increases with the enlargement angle from numerical analysis for various enlargement angle cases. In the case of 30−60° of enlargement angle, the deformation and stress distribution characteristics in anchor are similar regardless of enlargement angle. However, when the same tensile force is applied, there is a difference in the degree of frictional resistance because of difference of displacement of top of grouting zone. Also, it was found that the maximum compressive force and tensile force were generated at the cone of the upper portion of the grouting zone, and tensile fracture of the upper grouting portion is likely to occur.

요 지

확공형 앵커에 대한 인발시 거동 특성을 분석하기 위해 유한요소해석 프로그램을 이용하여 수치해석을 수행하였다. 확공형 앵커에 대한 수치해석 결과에서 확개각도의 변화에 따른 앵커의 지지력 비율 결과값과 앵커의 강선에 작용하는 축하중 결과값의 비교·분석을 통해 확개각도의 크기가 커질수록 앵커의 지지력 증대효과가 나타나는 것을 알 수 있었다. 확개각도가 30~60°인 경우 앵커인장력에 따른 변형 및 응력분포 특성은 유사하게 나타났으나 동일한 앵커인장력이 작용할 경우 확개각도에 따라 상부 변위발생량의 차이로 인하여 마찰저항력 발현정도에 차이가 나타남을 볼 수 있었다. 또한, 본 연구에서 적용된 확공형 비트가 상부를 원뿔형으로 굴착함에 따라 그라우팅부 상부 원뿔위치에서 최대압축력과 인장력이 발생하는 것이 확인되었으며, 상부 그라우팅부의 인장파괴가 발생할 가능성이 있음을 알 수 있었다.

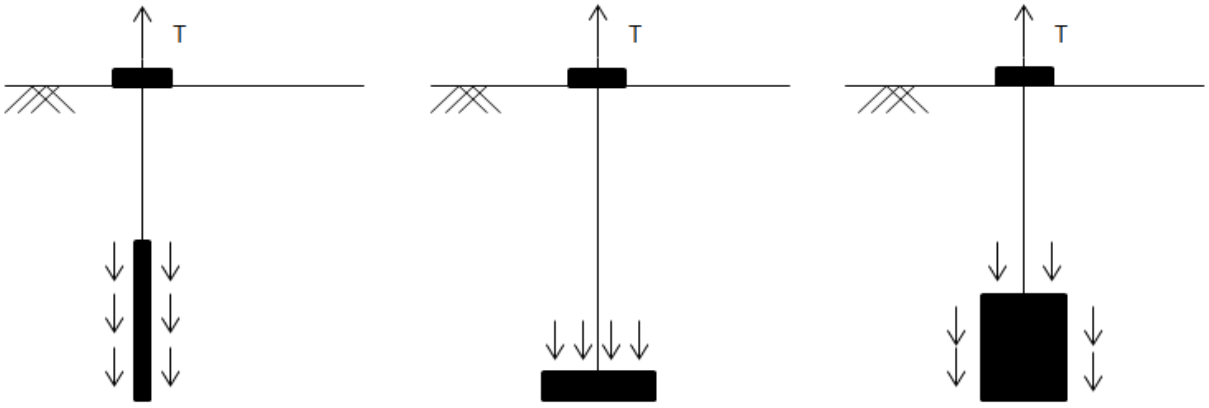
Keywords **:** Enlarged cylinder type anchor, Finite element analysis, End bearing capacity, Axial load of anchor

1. 서 론

확공형 앵커는 앵커의 정착부를 확공하여 지반과 그라우트 사이에 발생하는 마찰저항력과 지반의 지압강도를 복합적으로 이용하는 방식으로써 앵커의 정착력을 극대화시키고, 마찰형 앵커와 동일한 마찰응력을 발휘할 때 확공에 따른 면적증가로 마찰형 앵커에 비해 정착장을 줄일 수 있어서 경제성을 확보할 수 있다. 따라서, 확공형 앵커의 정착부 확공으로 인한 정착력의 증가효과 및 인발에 의해 발생하는 하중전이 양상을 예측하는 것이 중요한 문제로 다루어져 있다.

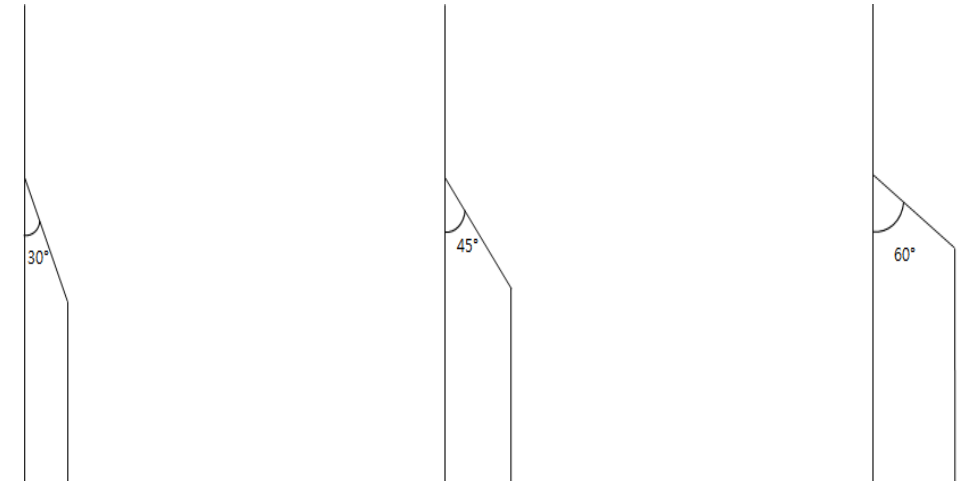
Byun et al.(1997)은 실내모형시험을 실시하여 수동저항개념의 확공앵커의 인발특성을 확인하였으며, Kim et al.(2008)은 현장시험을 수행하여 펄스방전을 이용하여 제작된 확공형 앵커의 극한인발력 증대효과를 분석하였다. Kim et al.(2013)은 수치해석 및 현장 시험을 통해 확공지압형 앵커의 지압력 발휘효과를 검증하였고, Ahn(2013)

Received *30 Nov. 2017,* ***Revised*** *12 Dec. 2017,* ***Accepted*** *12 Dec. 2017*
****Corresponding author***
Tel: +82-53-950-7563; Fax: +82-53-950-6564
E-mail address: crystalviolet@naver.com (M. J. Lee)



(a) Friction type anchor (b) Expansion type anchor (c) Enlarged cylinder type anchor

Fig. 1. Classification of anchors



(a) 30° (b) 45° (c) 60°

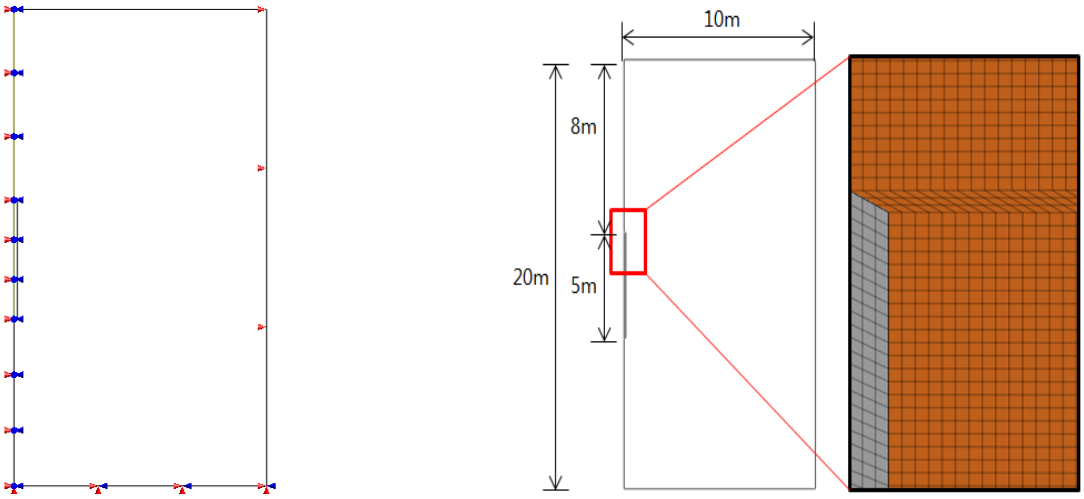
Fig. 2. Angle of expansion of enlarged cylinder type anchor

은 확장형 앵커와 인장형 및 압축형 앵커 등 여러 종류의 앵커를 동일지층에 설치하여 인발시험을 통해 극한인발력을 산정하여 비교·분석하였다. Kong(2016)은 실트질 지반에서 확대구근앵커(Bulbed anchors)에 대한 인발저항 특성을 분석하였다. Ghaly et al.(1991)은 모래에 설치한 Single screw helical anchor의 인발실험에서 앵커의 극한상태에서의 파괴면과 모래 표면의 변형을 관찰하여 앵커의 파괴거동을 분류하였으며, Hsu & Liao(1998)는 모래 지반에 수직으로 설치된 원통형 앵커에 인발을 가하였을 때 형성되는 정착장 하단의 공간으로 모래입자가 유입되는 현상을 통해 앵커의 마찰력이 감소하는 것을 확인하였다. Ilamparuthi & Muthukrichnaiah(1999)는 얕은 파괴에서 깊은 파괴로 전환되는 깊이 비를 임계 깊이비로 정의하였으며, Ilamparuthi et al.(2002)은 모형 실험을 통해 앵커의 직경 및 묻힘 깊이비와 모래의 밀도가 앵커의 인발력에 미치는 영향을 분석하였다. Ghaly & Hanna(2003)는 얕은 앵커와 깊은 앵커에 대하여 인발 속도의 변화를 주어 인발속도가 인발력에 미치는 영향을 분석하였다.

본 연구에서는 현재 개발연구중인 확공형 앵커의 인발거동에 대하여 분석하기 위해 수치해석을 수행하였으며, Fig. 2와 같이 정착부 상단의 확개각도에 변화를 주어 확공에 따른 하중전이 양상을 분석하였다.

2. 수치해석 모델링

본 연구에서 사용된 수치해석은 유한요소해석법을 근



(a) Boundary conditions (b) FEM Mesh

Fig. 3. Boundary conditions and mesh for finite element model

Table 1. Material properties of enlarged cylinder type anchor

Material	Model	γ_t (ton/m^3)	c (kN/m^2)	Φ (deg, °)	E (MPa)	ν
Weathered soil	Mohr-coulomb	2	25.5	33	140.0	0.3
Grout	Elastic	2.1	–	–	20,000	0.3
Steel tendon	Elastic	7.8	–	–	200,000	0.3

거로 개발된 MIDAS GTS NX 프로그램을 사용하였다. Fig. 3은 수치해석 모델의 mesh와 경계조건을 나타내고 있다. 해석모델은 Fig 3(a)와 같이 축대칭 모델을 적용하였으며, 지반은 Mohr-Coulomb, 그라우트 및 강선은 탄성 모델을 적용하였다. 지반에 수직으로 설치된 앵커는 자유장 8m, 정착장 5m인 확공형 앵커를 Fig. 3(b)와 같이 모사하였다. 지반은 연약지반인 풍화암으로 설정하였으며, 지반 및 확공형 앵커에 사용된 재료 매개변수는 Table 1에 정리하여 나타내었다.

3. 확개각도별 하중전이 양상

확공형 앵커의 지지력은 일반적으로 확개각도가 커질수록 선단지지력의 값이 증가하고 측면 마찰저항력 값을 갖는 정착장 그라우트 측면의 넓이도 커지게 되어 측면 마찰저항력 값 또한 증가하게 된다. 하지만 현재 개발중인 확개용 비트는 정착장 확개각도가 증가를 위해 비트확장이 커질수록 굴착완료 후 수거를 위한 비트수축이 어려워지므로 60°이상으로 확개시키기는 어려운 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 일정한 정착장에 대하여 동일한 인장력을 작용 시 확공형 앵커의 합리적인 확개각도와 하중변이 특성을 분석하기 위해 수치해석을 수행하여 비교·분석하였다.

3.1 지지력 분석

현장시험에 확공형 앵커의 정착부 상단 확개각도에 따른 지지력을 분석하기 위해 선단지지력과 측면 마찰저항력으로 나누어 지지력 비율로 계산하여 비교·분석하였다. Fig. 4는 인발력(Tag=300kN)을 작용시켰을 때 정착부에서 나타나는 선단지지력의 값을 비교하여 나타낸 것이다.

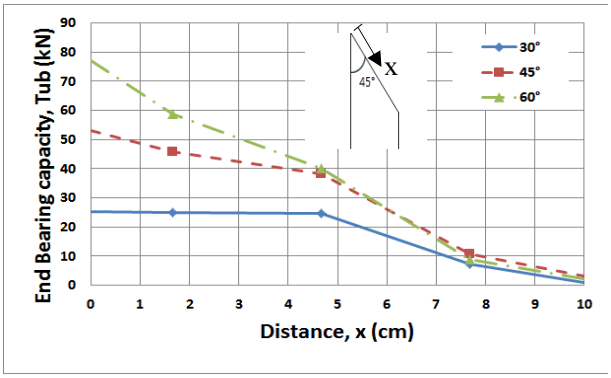


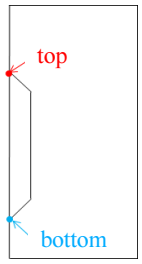
Fig. 4. End bearing capacity distribution of enlarged cylinder type anchor

Table 2. Anchor bond length bearing capacity ratio (Tag=300 kN)

Enlargement angle (°)	End bearing capacity (%)	Frictional resistance (%)
30	5.87	94.13
45	9.45	90.45
60	11.9	88.1

Table 3. Displacement and elongation of grouting zone

Enlargement angle (°)	Disp. of top (cm)	Disp. of bottom (cm)	Elongation (cm)
30	8.88	8.40	0.48
45	6.04	5.73	0.31
60	4.74	4.50	0.24



선단지지력은 그라우팅 상단에 있는 3개의 element에 작용하는 응력으로부터 산정하였으며, Fig. 4는 그라우팅 상단에 작용하는 선단지지력의 분포를 개략적으로 보여주는 것이다. 선단지지력의 평균값을 계산하여 확개각도별로 비교하였을 때, 확개각도가 45°인 경우에는 확개각도 30°의 선단지지력의 약 1.8배로 나타났으며, 확개각도가 60°인 경우에는 확개각도 30°의 선단지지력의 약 2.2배로 나타났다. 이는 확개각도 증가에 따른 선단의 면적 증가(1.0:2.0:2.9)와 유사하게 선단지지력이 증가함을 보여주고 있다.

Table 2는 동일한 인장력을 작용하였을 때, 확공형 앵커 정착부의 선단지지력 및 측면 마찰저항력 비율을 나타낸 것이다. 확개각도가 증가할수록 정착부 상단의 면적증가로 선단지지력의 비율이 커지게 되어 측면 마찰지지력 비율은 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 확개각도가 증가할수록 정착부 상단의 면적증가로 인해 선단지지력이 증가함에 따라 변위가 감소하여 측면 마찰저항력이 충분히 발현되지 못한 것으로 판단된다. 특히 확개각도가 작을수록 선단부가 지반에 관입되기가 쉬워 변위가 상대적으로 많이 발생하여 측면 마찰저항력이 상대적으로 크게 발현되는 것을 볼 수 있었다.

3.2 확공형 앵커 강선의 축하중 분석

Table 3은 정착부의 변위와 늘음량을 정리한 것이다. 확개각도가 증가할수록 정착부 상단의 면적증가로 인해 선단지지력이 증가함에 따라 정착부 상단의 변위가 감소하는 것을 볼 수 있으며, 확개각도가 작을수록 정착부 상단의 관입량이 증가하여 하부에 비해 변위가 많이 발생하여 상대적으로 늘음량이 증가하는 것으로 판단된다.

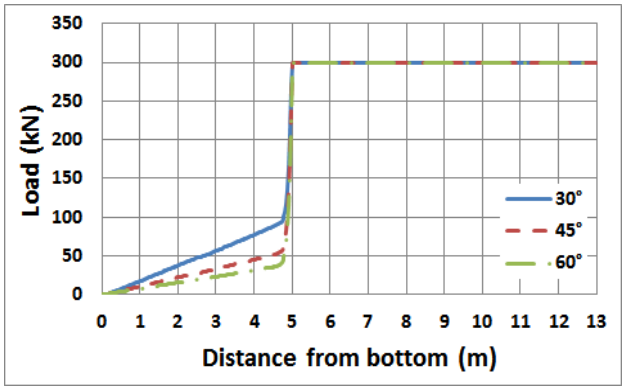


Fig. 5. Axial load distribution in steel tendon

Fig. 5는 확공형 앵커의 정착부 하단에서부터 지표면까지 앵커 전체 강선에 대하여 확개각도별 강선의 축하중을 그래프로 정리한 것이다. Fig 5에서 보이는 바와 같이 확개각도가 클수록 정착부 상단에 작용하는 강선의 축하중 크기가 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 확개각도가 커질수록 정착부 선단지지력이 증가함에 따라 상부 변위가 작게 발생하고 강선에 작용하는 축력이 급격하게 주는 것으로 판단된다. 반면, 확개각도가 감소할수록 정착부 선단지지력이 감소하고 상단의 변위가 증가하여 인장력이 상대적으로 크게 나타남을 볼 수 있다.

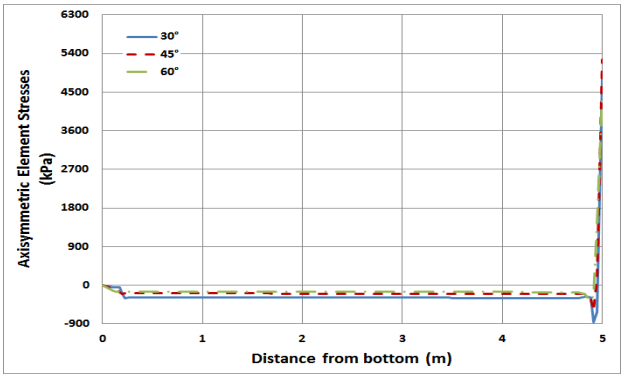


Fig. 6. Axial load distribution in anchor grouting zone

3.3 확공형 앵커 그라우트의 축하중 분석

Fig. 6은 확공형 앵커의 정착부 하단에서부터 정착부 상단까지 확개각도별 정착장 그라우트의 축하중 분포를 나타낸 것이다. Fig 6에서 나타난 바와 같이 정착부 그라우팅부에서는 대부분 압축력이 작용하는 것을 볼 수 있다. 또한, 확개각도가 작을수록 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 강선의 인장력이 크게 나타나므로 그라우팅부의 압축력도 크게 작용하게 된다.

그라우팅부에서 거의 일정하게 압축력이 작용하다가 특정 지점 이후에서 압축력이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 본 연구에서 적용된 확공형 앵커 정착부 상부가 원뿔 형태로 만들어짐에 따라 면적의 감소에 따라 압축력이 증가하는 것으로 판단된다. 또한, 확개각도가 커질수록 면적감소율이 작게되므로 압축력 증가도 상대적으로 작게 나타나고 최대압축력도 작게 나타나는 것을 볼 수 있다.

최대압축력 작용점 상부로는 압축력이 급격히 감소하고 인장력으로 변하는 것을 볼 수 있다. 이는 원뿔형태의 선단부에서 마찰저항력이 상대적으로 작게 발현되고 상부로 갈수록 선단면적이 감소하면서 특정위치에서 강선의 인장력에 저항하지 못하고 지반에 관입되며 인장변형이 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 인장력이 발생하는 정착부 상단에서 그라우팅부의 인장파괴가 발생할 가능성이 클 것으로 판단할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 확공형 앵커의 정착부 확공에 따른 정착력 증대효과를 분석하기 위해 정착장 상단 확개각도에 따른 하중전이 양상을 비교·분석하였다. 확개각도의 크기가 커질수록 확공형 앵커 정착부 선단지지력의 크기가 증가하는 것을 확인하였고, 확공형 앵커의 강선 및 그라우트의 축하중 해석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 확공형 앵커의 확개각도가 커질수록 선단지지력의 값이 증가하고 그라우팅부 측면의 넓이가 넓어지기 때문에 측면 마찰저항력 값이 증가하여 앵커의 정착력이 높아진다. 하지만 현재 개발중인 확개용 비트는 정착장 확개각도가 증가를 위해 비트확장이 커질수록 굴착완료 후 수거를 위한 비트수축이 어려워 시공성이 저하되기 때문에 현장시험을 통해 합리적인 확개각도를 도출하는 필요할 것으로 판단되었다.

(2) 확개각도가 커질수록 선단지지력의 값이 면적증가비와 유사하게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 확개각도가 작을수록 작용인장력에 대하여 선단지지력에 대한 측면 마찰저항력의 지지력 비율 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 확개각도가 작을수록 선단의 면적이 감소하여 선단지지력이 감소하고 또한 변위가 많이 발생하여 측면 마찰저항력이 크게 발현되기 때문으로 판단되었다.

(3) 확공형 앵커의 정착부 하단에서부터 정착부 상단까지 정착부 그라우트의 축하중을 분석한 결과, 정착부 하단에서 특정 지점까지 일정한 압축력이 작용하며, 특정 지점 이후에서 최대 압축력이 작용하다가 인장력으로 크게 변하는 것을 확인하였다. 이는 본 연구에서 적용된 확공형 앵커의 정착부 상부가 원뿔형태로 만들어지는 것에 원인이 있으며, 인장력이 급격히 증가하는 특정지점에서 정착부 그라우팅부의 파괴가 발생할 가능성이 클 것으로 판단하였다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant (17AWMP-B079625-04) from Water Management Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Ahn, Y. C. (2013), “Characteristics of Pullout Behavior for

Expansion Anchor", Dept. of civil Eng, Graduate School Chungbuk University, Master of Engineering Thesis.
2. Byun, H. H., Kim, Y. S., Choi, S., and Lee, S. D. (1997), "A Study on Uplift Capacity of An Enlarged Anchor", *Journal of the Korean Geotechnical society*, Vol.1997, No.3, pp.197-202.
3. Ghaly, A., Hanna, A., and Hanna, M. (1991). "Uplift behavior of screw anchors in sand. I: Dry sand." *Journal of Geotechnical Engineering Division ASCE*, Vol.117, No.5, pp. 773-793.
4. Ghaly, A. and Hanna, A. (2003). "Response of anchors to variations in displacement based loading." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.40, No.3, pp.694-701.
5. Hsu, S. T. and Liao, H. J. (1998). "Uplift behaviour of cylindrical anchors in sand." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.35, No.1, pp.70-80.
6. Ilamparuthi, K. and Muthukrisnaiah, K. (1999) "Anchors in sand bed: delineation of rupture surface." *Ocean Engineering*, Vol.26, No.12, pp.1249-1273.
7. Ilamparuthi, K., Dickin, E. A., and Muthukrisnaiah, K. (2002). "Experimental investigation of the uplift behaviour of circular plate anchors embedded in sand." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.39, No.3, pp.648-664.
8. Kim, G. W., Ahn, K. K., and Min, K. N. (2013), "Behavior Characteristics of Underreamed Ground Anchor through Field Test and Numerical Analysis", *Korea Geo-Environmental Society collection of dissertations*, Vol.14, No.8, pp.37-44.
9. Kim, N. K., Ju, Y. S., Kim, S. K., Seo, H. K., and Kim, T. H. (2008), "Pull-out Test of Pulse Powered Underreamed Anchors", *Korea Geotechnical society*, Vol.2008, No. -, pp.1014-1021.
10. Kong, B. C. (2016), "Pullout-Resistance Characteristics of Bulbed Anchors Installed in Silty Grounds", Dept. of civil Eng, Graduate School KyungHee University, Engineering Doctoral Thesis.
11. MIDAS Information Technology Co., LTD, GTS NX User manual.