

부분적으로 확장된 그라우트 구근을 갖는 쏘일네일링 공법의 거동에 관한 연구 A Study on the Behavior of Partially Extended Grouted Soil-Nailing

이 인¹⁾, In Lee, 최승환²⁾, Seung-Hwan Choi, 김주현³⁾, Ju-Hyun Kim, 박준범⁴⁾, Jun-Beom Park, 김홍택⁵⁾, Hong-Taek Kim

¹⁾ 홍익대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Hongik.

²⁾ 브사렐건설, 대표이사, President, Bezalel Construction Co.,Ltd.

³⁾ 홍익대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Hongik.

⁴⁾ 홍익대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Hongik.

⁵⁾ 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Hongik.

SYNOPSIS : The Soil-nailing installed to the slope or the vertical excavation surface shows reinforce effect using frictional resistance between ground and grout. This friction is showed the more the shape of grout is rough, the more efficient.. This study is about the characteristic behavior of Soil-nailing has partial extension grout made artificially control. In this study, we refer to the new boring machine that can make partially extended grout and perform 3D analysis between of the partial extended grout and the general grout of a cylinder shape using the finite element method for comparing.

Keywords : Soil-nailing, Extended Grout, Extended Boring Bit.

1. 서론

사면이나 연직굴착면에 설치된 쏘일네일링은 지반과 그라우트 사이의 마찰저항을 이용하여 그 보강효과를 발휘한다. 이러한 지반과 그라우트의 마찰은 그라우트의 형상이 거칠수록 같은 지반에서 마찰저항력이 크게 형성된다. 본 연구는 인위적으로 그라우트의 형상을 조작하여 부분적으로 확장된 그라우트체를 형성한 쏘일네일링의 거동 특성에 대한 연구이다. 본 논문에서는 부분적으로 확장된 그라우트 체를 형성할 수 있는 천공장치에 대한 소개를 하고, 원통형상의 그라우트체가 적용된 일반쏘일네일링과 부분적으로 확장된 그라우트체가 적용된 쏘일네일링의 거동특성 비교/대조를 위한 3차원 유한요소해석을 수행하였다.

2. 이론적 배경

쏘일네일링의 지반보강 효과는 지반의 변형이 발생할 때 지반의 변형력이 그라우트를 통하여 쏘일네일링에 전달되어 쏘일네일링의 인장, 전단, 휨 저항력 발휘로 인한 지반의 파괴 및 변위 억제이다. 지반의 변형에 대한 쏘일네일링의 저항 중 가장 큰 저항력은 인장저항력이며 일반적으로 인장력만을 고려한 설계를 하고 있다. 쏘일네일링 공법은 주로 연직굴착이나 사면 보강으로 쓰이는데 사면에 지반의 파괴 방지와 더불어 연직굴착에는 변위억제에 대한 효과도 고려된다. 쏘일네일링의 해석방법으로는 사면안정해석시 절편법을 통한 한계평형해석과 전단강도감소기법을 통한 연속체 해석이 주로 쓰이고 있으며, 연직굴

착해석에서는 탄소정보법과 연속체해석이 일반적으로 쓰이고 있다. 해석방법에 따라 쏘일네일의 마찰저항을 반영하는 방법에는 차이가 있으나 기본적인 쏘일네일과 지반과의 마찰에 의한 보강효과를 적용한다. 그림 2.1인 사면에서의 쏘일네일링의 보강효과를 나타낸 그림이다.

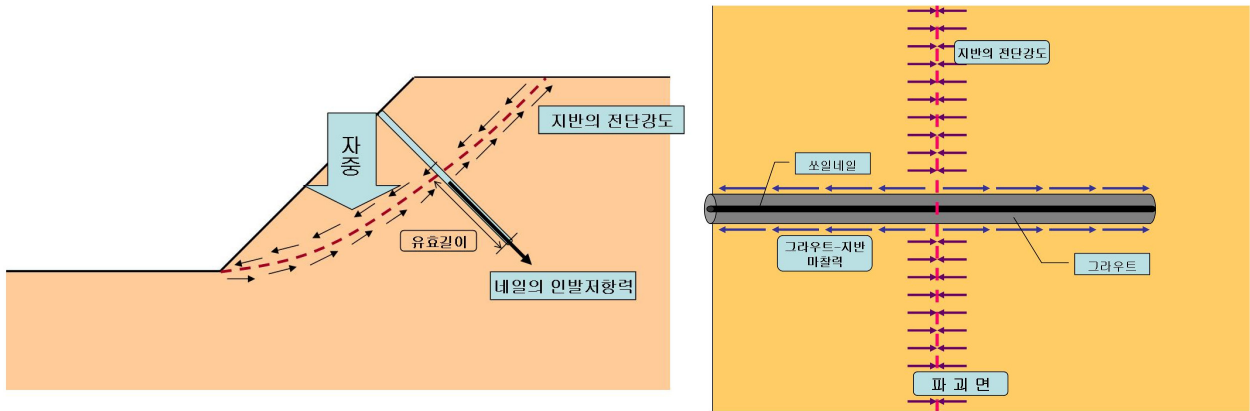


그림 2.1 사면의 활동에 대한 쏘일네일의 저항 모식도

3. 부분적으로 확장된 그라우트 구근을 갖는 쏘일네일

3.1 개요

쏘일네일링의 지반보강 효과는 지반과 그라우트의 마찰에 의해서 발생되며 그 크기는 쏘일네일의 항복강도를 넘을 수 없다. 쏘일네일링으로 인한 보강력을 P 라 했을 때, 그 크기는 식 (2.1)과 같이 정의된다.

$$\text{쏘일네일의 저항력}(P) = \min(TR, Q_s L_e \pi D) \quad (3.1)$$

여기서, TR : 쏘일네일의 항복강도

Q_s : 지반-그라우트의 마찰력

L_e : 쏘일네일의 유효길이(가상파괴면 바깥쪽 쏘일네일의 길이)

D : 천공경

식(2.1)에서 보이듯 쏘일네일 자체에 지반과의 마찰저항을 극대화할 수 있는 장치를 장착한다. 하더라도 쏘일네일 자체의 강도를 넘어서는 저항력을 발휘하지 못한다. 이러한 관점에서 쏘일네일링의 저항강도를 가장 경제적, 시공적 여건을 고려하여 효율적으로 발휘할 수 있도록 고안된 공법이 부분적으로 확장된 그라우트를 갖는 쏘일네일링 공법이다. 부분적으로 확장된 그라우트를 갖는 쏘일네일링 공법은 일반적으로 길쭉한 원통형 그라우트 체를 쏘일네일의 인발저항력을 최대한 발휘할 수 있도록 부분적으로 확장하는 간단한 개념이다. 아래의 그림 3.1은 인발저항에 모식도를 일반적인 쏘일네일링과 부분적으로 확장된 그라우트를 갖는 쏘일네일링의 차이를 보여준다.

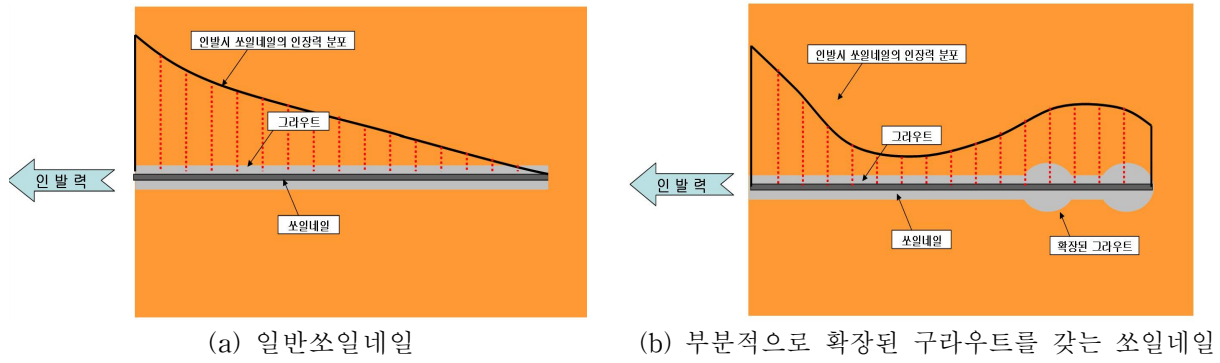


그림 3.1 쑤일네일링의 인발저항 모식도

3.2 부분적으로 확장된 그라우트 구근 형성 방법

부분적으로 확장된 그라우트 구근을 형성하기 위해서 천공장치 개발에 중점을 두고 연구를 수행하였다. 현재 개발된 천공장치는 기존의 천공장치의 비트를 개조하여 고안되었으며 원리는 천공경의 원하는 심도에서 확장블레이드로 인하여 부분적으로 천공경을 확장시킨다. 현재까지 회전식과 타격식 2가지의 천공장치가 개발되었으며, 회전식을 이용한 현장 시험도 2회 진행되었다. 그림 3.2는 부분적으로 확장된 천공경을 형성하는 천공비트의 개념도이다. (a)와 (b)는 회전식 확공비트의 일반 천공시와 천공경확장 굴착시의 모습을 각각 나타내었으며 (c)와 (d)는 타격식 확공비트의 일반 천공시와 천공경확장 굴착시의 모습을 각각 나타내었다.

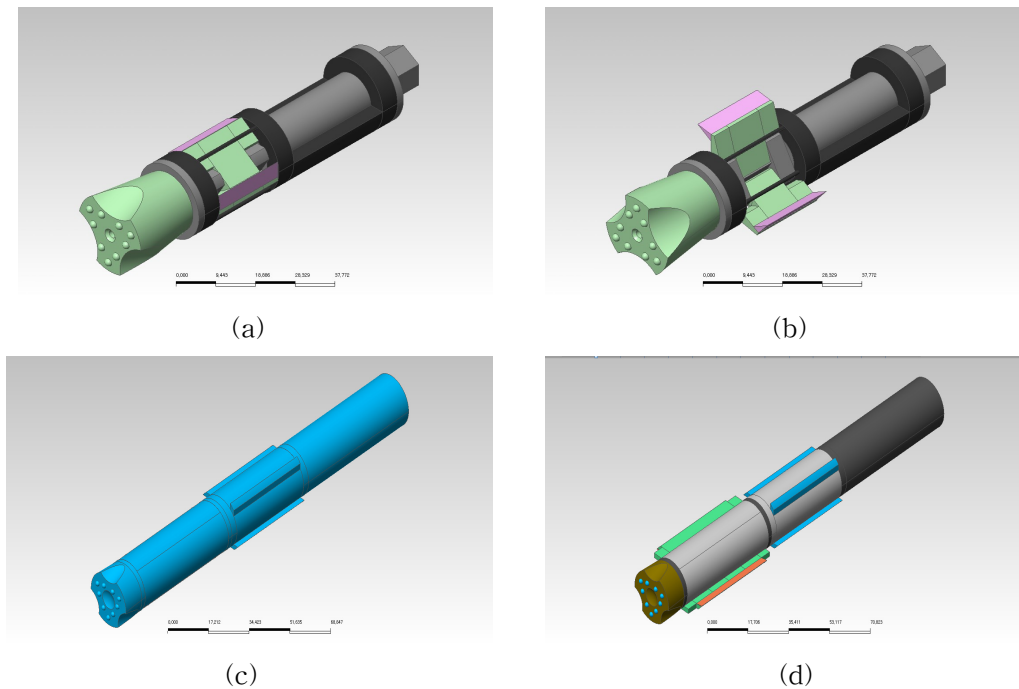


그림 3.2 천공경을 부분적으로 확장시키는 천공비트

회전식 천공비트의 경우는 일반적인 풍화토나 풍화암 정도의 지반에서 사용되며 이보다 단단한 지반에서는 타격식 천공비트가 이용될 목적으로 설계되었다. 현장시험은 회전식 천공비트를 사용하여 수행하였으며 약 80% 정도의 완성도를 나타내었다.

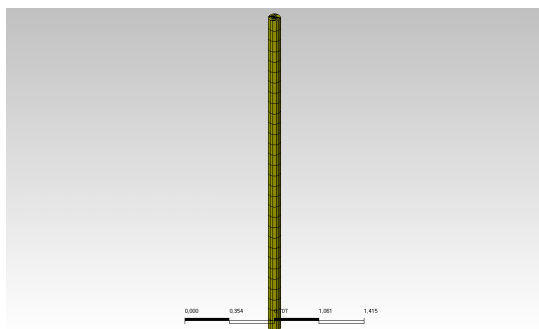
4. 수치해석

4.1 수치해석 개요

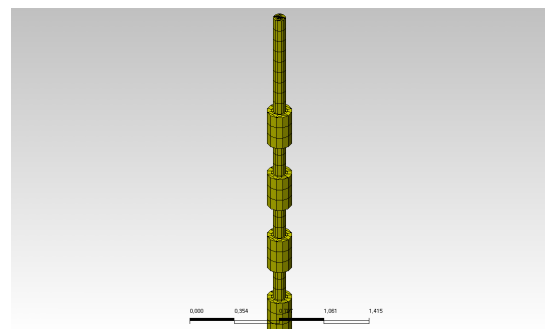
부분적으로 확장된 그라우트 구근의 효과를 3차원 수치해석을 통하여 입증하였다. 해석에 쓰인 프로그램은 유한요소 프로그램인 MIDAS/GTS Ver.220이며 해석제원을 표4.1과 그림 4.1에 나타내었다. 해석은 확장 그라우팅공법과 일반 그라우팅공법을 같은 조건에서 해석하였다.

표4.1 수치해석 제원

| 해석제원 | | 비 고 |
|-----------|--|--------------------------------|
| 수치해석 프로그램 | MIDAS/GTS Ver 220 | 지반해석용 유한요소 프로그램 |
| 수치해석 종류 | 비선형 정적해석 | - |
| 사용요소 | 고체요소 및 스프링요소 | - |
| 사용모델 | 탄성모델, M-C 모델, | M-C 모델 : 지반 탄성요소 : 네일, 그라우트 |
| 쏘일네일 제원 | 길이 3m, H29, 천공경 105mm | |
| 확장그라우팅 | 쏘일네일 선단부터 30cm길이로 60cm마다 총 4개의 확장그라우팅 적용 | |
| 경계조건 | 지반의 모델링을 위한 그라우팅 주변 수직, 수평 스프링설치 | |
| 하중조건 | 쏘일네일 두부에 강제변위 1cm 적용(수직인발 모델링) | |



(a) 일반그라우팅



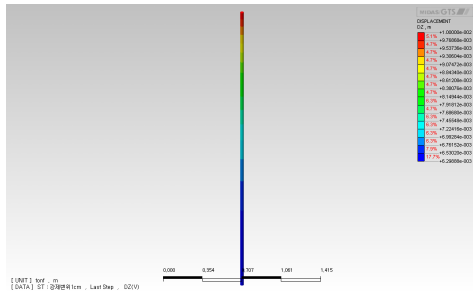
(b) 부분적으로 확장된 그라우팅

그림 4.1 수치해석 격자요소망

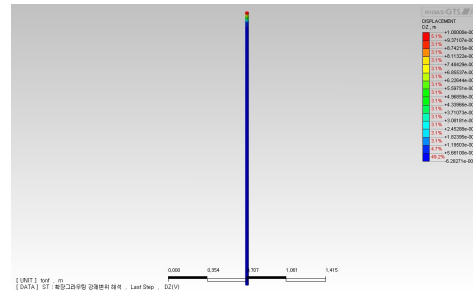
4.2 수치해석 결과 및 분석

4.2.1 수치해석 결과

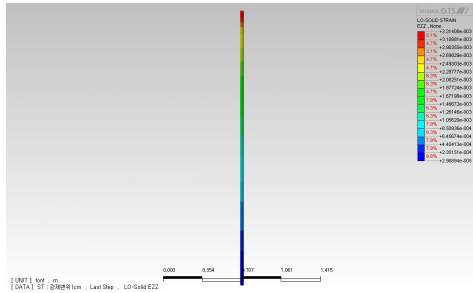
그림 4.2는 수치해석결과 쏘일네일의 변위 및 변형률 분포도이다.



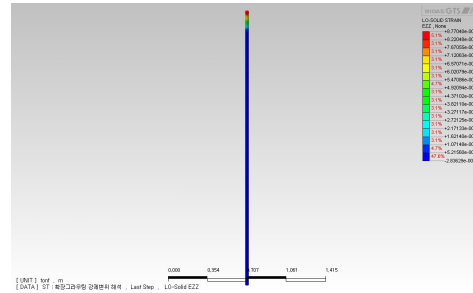
(a) 일반그라우팅 네일 변위



(b) 확장그라우팅 공법 네일 변위



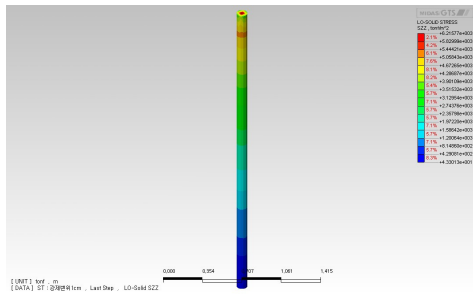
(a) 일반그라우팅 공법 네일 변형률



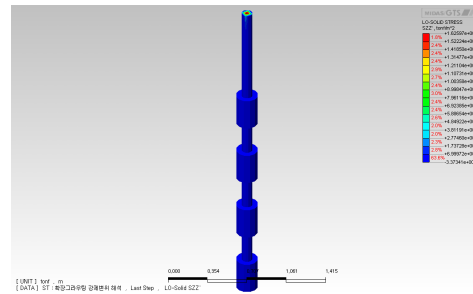
(b) 확장그라우팅 공법 네일 변형률

그림 4.2 쏘일네일의 변위 및 변형률 분포

그림 4.3은 그라우트체의 연직응력 분포이다.



(a) 일반그라우팅 공법



(b) 확장그라우팅 공법

그림 4.3 그라우트의 연직응력 분포

그림 4.4는 확장그라우팅 공법의 수치해석 결과 중 확장된 그라우트 체의 연직응력의 분포를 나타내었다.

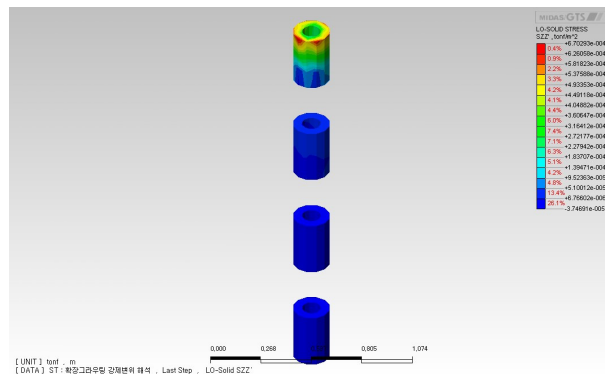
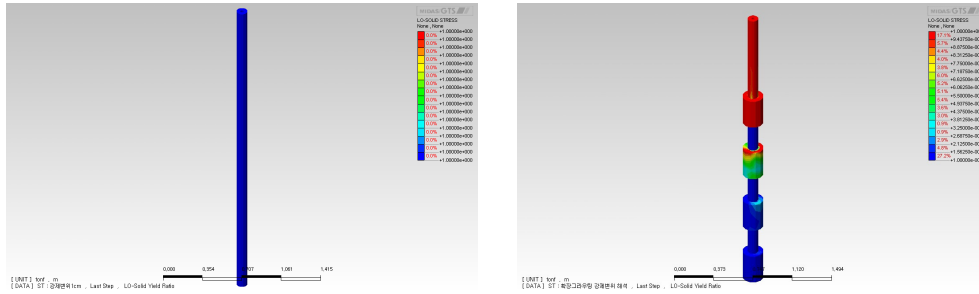


그림 4.4 확장그라우팅의 연직응력 분포

그림 4.5는 그라우트체의 항복영역 분포이다.



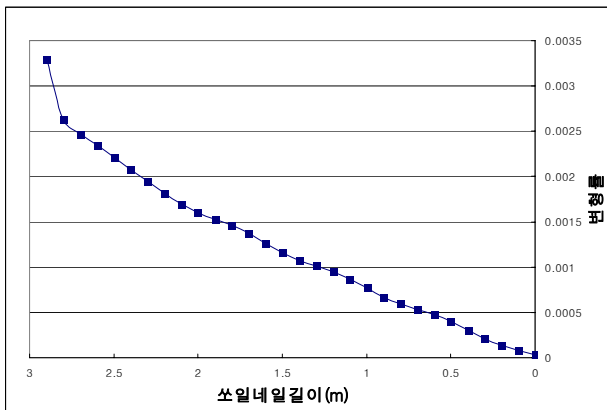
(a) 일반그라우팅 공법

(b) 확장그라우팅 공법

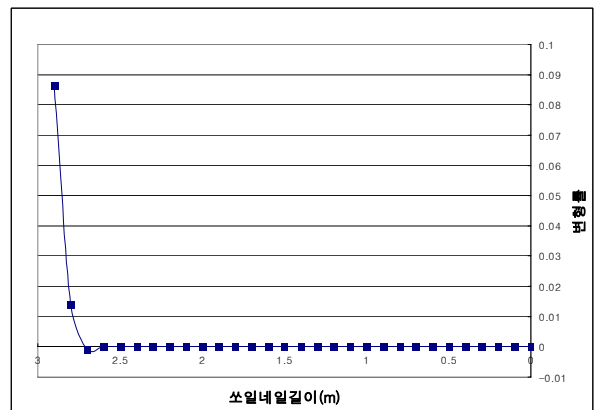
그림 4.5 그라우트의 항복영역 분포

4.2.2 수치해석 분석

그림 4.1의 쏘일네일의 변위와 변형률 분포를 쏘일네일의 길이에 따른 그래프를 그림 4.6~7에 나타내었다. 가로축의 쏘일네일의 길이는 두부에서 3m이며 선단부에서 0m이다.

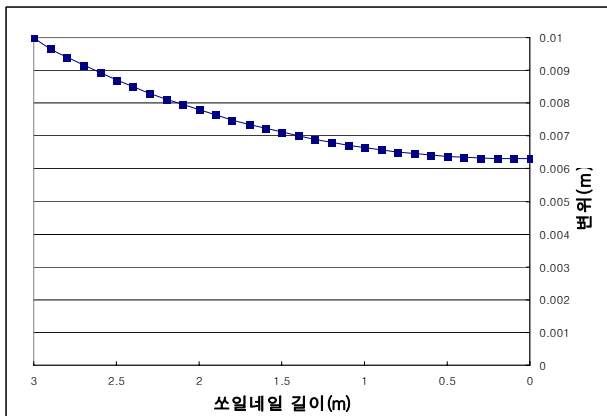


(a) 일반 쏘일네일

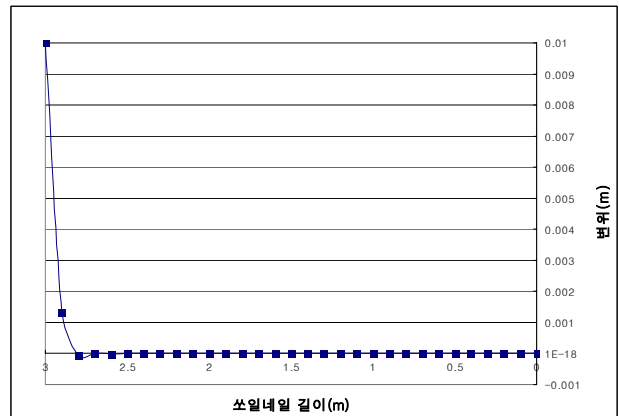


(b) 확장 그라우팅공법

그림 4.6 쏘일네일의 변형률 분포



(a) 일반 쏘일네일



(b) 확장 그라우팅공법

그림 4.6 쏘일네일의 변위 분포

일반 쏘일네일의 경우에는 변형률의 분포가 삼각형분포를 나타내었으며 변위 분포는 선단으로 갈수록 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 확장그라우팅 공법의 경우에는 선단의 변형률과 변위가 매우 크게 나타나며 두부로부터 0.5미터 이상인 부분에서는 변형과 변위가 발생하지 않았다. 이는 확장된 그라우트체의 저항으로 인한 것으로 판단되며, 그림 4.5의 항복영역 분포도와 관련하여 확장된 그라우트체의 인발저항의 우수함을 보여준다. 그림 4.6은 그림 4.5(b)와 같은 그림으로 확장그라우팅 공법의 쏘일네일 인발시 확장그라우트체의 항복영역을 보여준다.

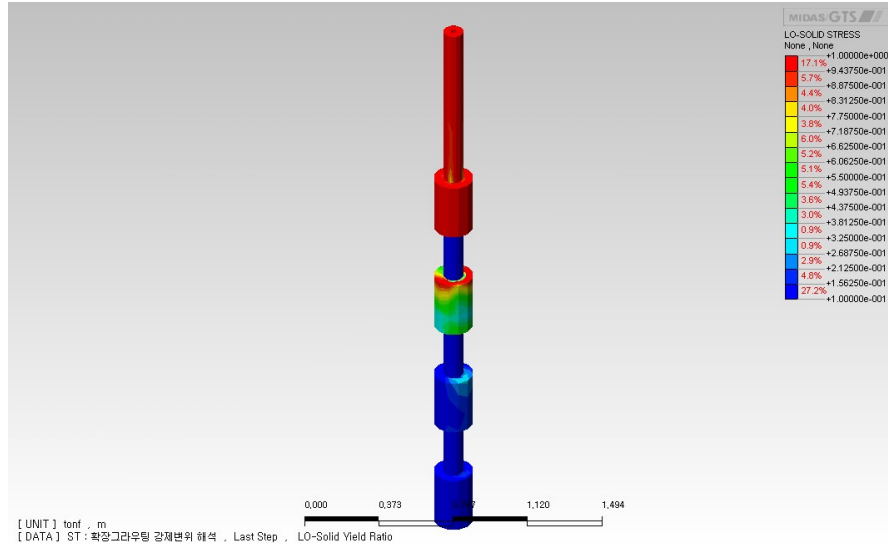


그림 4.6 확장된 그라우트의 항복영역 분포

쏘일네일 두부의 하중조건 강제변위 1cm에 대하여 확장된 그라우트의 항복영역은 쏘일네일의 두부에서부터 첫 번째 확장된 그라우트체까지 발생하는 반면 일반쏘일네일 공법의 경우에는 그라우트체 전체적으로 항복이 발생하지 않았다. 일반쏘일네일 공법과 확장그라우트 공법 모두 같은 재료의 그라우트가 적용되었으므로, 상기의 결과는 확장그라우트 공법이 그라우트의 기하학적 형상에 의하여 더 많은 저항력을 발생시킴을 증명한다.

5. 결 론

본 연구는 지반보강재로 널리 쓰이는 쏘일네일 공법의 안정성, 경제성을 증가시키기 위한 쏘일네일 그라우팅 공법의 개발을 목표로 하였다. 본 연구에서 제안한 부분적으로 확장된 그라우트 구경을 갖는 쏘일네일 공법의 주된 내용은 기존의 천공비트에 천공경 확장비트를 결합하여 쏘일네일의 삽입공을 필요부분에서 확장시켜 결과적으로 쏘일네일의 인발거동시 주요 저항부분인 지반-그라우트 사이의 마찰을 극대화한다. 부분적으로 확장된 그라우트를 갖는 쏘일네일 공법과 일반 쏘일네일 공법에 대하여 3차원 수치해석을 수행한 결과 확장그라우팅 공법은 확장된 천공경의 영향으로 인하여 매우 우수한 인발거동 특성을 나타낸다. 향후 더욱 다각적인 분석 및 현장시험 등을 통한 최적화된 천공경 확장비트 개발과 설계법에 대한 연구가 필요하며 현재 연구 중에 있다.

참고문헌

1. 김홍택(2001), **쏘일네일링의 원리 및 지침**, 평문각
2. 김홍택(2001), **Soil Nailing 공법의 과거, 현재, 미래**, 평문각, pp. 17 ~ 37.
3. 김홍택, 강인규, 성안제, 방윤경(1995), **Nailed-Soil 굴착벽체의 발취인장력 예측**, 한국지반공학회지, 제11권, 제2호, pp. 79 ~ 97.
4. 정인준, 김상규(1990), **토질역학**, 동명사.
5. Baker, R. and Garber, M. (1977), **Variation Approach to Slope Stability**, Proc. 9th International Conference on Soil Mechanics and Foudation Engineering, Tokyo, Vol. 2, pp. 9~12.