현장인발시험을 통한 제거식 쏘일네일의 거동특성 평가

Evaluation of Behavior Characteristics of Removable Soil Nails from the Field Pull-Out Tests

김홍택[1], Kim Hong-Taek, 강인규[2], Kang In-Kyu, 이대형[3], Lee Dae-Hyung,
정성필[4], Jung Seung-Pill, 박시삼[5], Park Si-Sam

[1] 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept' of Civil Eng., Hong-Ik University
[2] (주)브니엘컨설턴트 책임기술자, Chief Engineer, Vniel Consultant Co., Ltd.
[3] 삼성물산(건설부문) 부장, Chief of a Department, Samsung Produce Corp.
[4] 전 삼성중공업(주) 토목과장, Chief Engineer, Samsung Heavy Industries Corp.
[5] 홍익대학교 토목공학과 대학원, Graduate Student, Dept' of Civil Eng., Hong-Ik University

SYNOPSIS Recently a removable soil nail is demanded due to problems beyond of economical and engineering purpose. In this study removable soil nails are developed and field pull-out tests are carried out 16 times in order to analysis pull-out characteristics of the removable soil nail. For the spacing and the installed position of fixed socket, the length of the soil nail, and W/C ratio of cement grout in the removable soil nail, pull-out characteristics of pull-out tests are analyzed. From the pull-out characteristics of removable soil nails, it is found that the spacing of fixed socket and W/C ratio of cement grout are important design parameters.

Key words : removable soil nail, field pull-out test, fixed socket

1. 서론

최근들어 쏘일네일링 공법에서도 지반환경 및 대지경계선 침범에 의한 민원발생과 점용료 납부 등의 지반공학 이외의 문제로 인하여 제거식 쏘일네일에 대한 연구개발이 요구되고 있는 실정이다. 그러나 쏘일네일의 저항메카니즘은 지반앵커의 저항메카니즘과 같이 단순하지 않고 지반-네일 사이의 마찰력과 네일의 휨에 의한 전단 및 휨모멘트에 의한 저항 등과 같이 복잡하여 제거식 쏘일네일에 대한 연구개발이 활발하지 못하였다.

본 연구에서는 일반적인 쏘일네일 벽체에 있어서 네일의 휨강성에 의한 저항력은 휨강성의 정도에 따라 전체안전율의 0~15% 정도(Jones, 1990)라는 점에 착안하여 네일의 휨강성에 의한 저항력은 무시하고 네일의 인발에 의한 주변지반과의 마찰저항력을 주저항력으로 하는 제거식 쏘일네일을 개발하였으며, 이에 대한 현장인발시험을 총 16회 실시하여 제거식 쏘일네일의 인발특성을 일반 쏘일네일과 비교·분석하였다. 또한 고정자 소켓의 간격 및 설치깊이에 따른 영향과 시멘트 그라우트의 W/C비에 따른 영향 등을 분석하여 제거식 쏘일네일의 설계에 필요한 중요인자들에 대한 분석을 실시하였다.

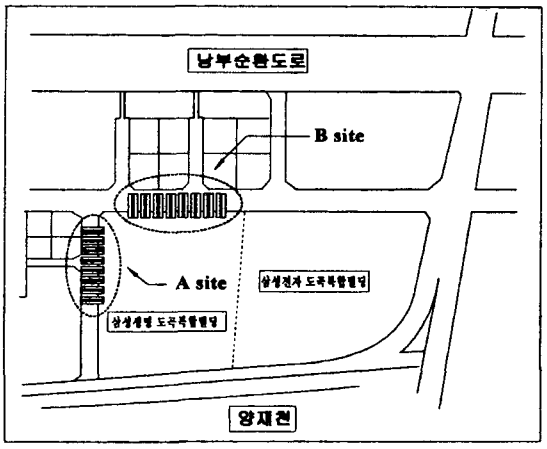
본 연구에서 제시된 제거식 쏘일네일은 U-Turn 앵커 등의 제거식 지반앵커와 같이 천공내부에 채워지는 시멘트 그라우트체는 지중에 남고 쏘일네일 내부에 설치되는 철근에 대해서만 제거하는 부분제거 개념의 제거식 쏘일네일이다.

2. 제거식 쏘일네일의 현장인발시험

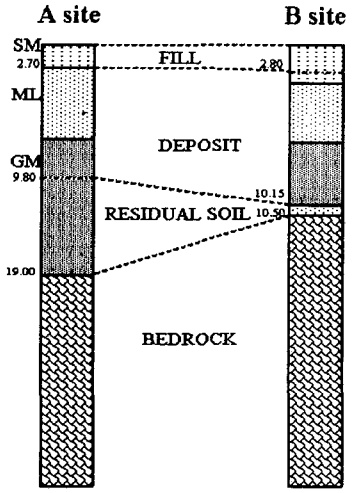
2.1 현장개요

본 시험은 강남구 도곡동에 위치한 삼성생명 복합부지에서 실시하였으며, 시험위치는 그림 1(a)와 같다. 본 시험은 1차로 A site 지표면에서 20m 깊이에서 제거식 쏘일네일의 거동특성을 파악하기 위한 현장인발시험을 실시하였으며, 1차시험에서 발생한 문제점을 보완하여 2차로 B site 지표면에서 16m 깊이에서 추가적인 현장인발시험을 수행하였다.

A site와 B site에 대한 지층구조는 그림 1(b)와 같으며, 시험위치에서의 지반은 기반암에 해당되며, 본 지역의 기반암은 경기 기저 변성암 복합체를 형성하는 선 캠브리아기의 호상 흑운모편마암으로 구성되어 있다. 지반조사보고서((주)도화지질, 1996)에 의하면 A site의 시험위치에 해당하는 기반암은 RQD 50%정도이며, B site의 시험위치에 해당하는 기반암은 RQD 80%정도의 신선한 암(Fresh Sound Rock)으로 나타났다.



(a) 평면도



(b) 지층구조

그림 1. 현장 개요도

2.2 현장인발시험

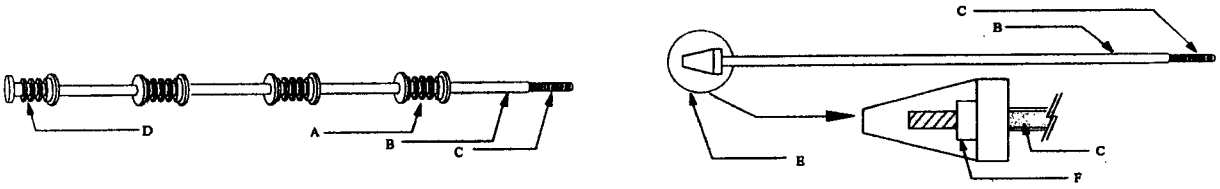
2.2.1 제거식 쏘일네일의 종류 및 제원

본 연구에서는 그림 2와 같이 2종류의 제거식 쏘일네일을 고안하여 사용하였으며, 그림 2(a)의 Type-1은 고정자 소켓과 PVC 파이프 내부에 이형철근을 삽입하여 철근과 시멘트 그라우트체를 분리시켜 철근을 제거할 수 있도록 고안되었으며, 그림 2(b)의 Type-2는 끝단 정착 소켓과 PVC 파이프 내부에 강봉을 삽입하여 강봉과 시멘트 그라우트체를 분리시켜 강봉을 제거할 수 있도록 고안되었다.

제거식 쏘일네일 Type-1의 고정자 소켓 내부는 이형철근의 rib 간격과 동일하게 나선형으로 rib를 만들어 철근을 정착시킬 수 있도록 하였으며, 고정자 소켓 외부는 시멘트 그라우트체와의 부착 증대 및 네일의 인발시 응력집중의 분산을 위해 Disk모양의 돌기를 두었다. 또한 고정자 소켓의 전면과 후면은 Disk 모양의 돌기를 크게 하여 스페이서 역할 및 네일의 인발시 시멘트 그라우트체의 압축저항을 유발시켜 고정자 소켓의 변형을 억제하는 역할을 할 수 있도록 하였으며, 전면 및 후면 Disk 모양의 돌기는 네일의 인발시 고정자 소켓 내부에 발생하는 인발력을 시멘트 그라우트체의 압축력과 시멘트 그라우트체와 주변지반사이의 마찰력으로 응력을 천이시키는 매개 역할을 동시에 수행한다.

제거식 쏘일네일 Type-2는 끝단 정착 소켓 내부와 강봉 끝단에 나선형으로 rib를 두어 서로 고정시킬 수 있도록 하였다. 끝단 정착 소켓은 네일의 인발시 발생하는 인발력을 시멘트 그라우트체의 압축력과 시멘트 그라우트체와 주변지반사이의 마찰력으로 응력을 천이시키는 매개 역할을 동시에 수행한다.

본 현장인발시험에 사용한 제거식 쏘일네일 및 일반 쏘일네일의 제원은 표 1과 같다.



A : 고정자 소켓 B : PVC 파이프 C : 이형철근 D : 끝단 고정자 소켓 E : 끝단 정착 소켓 F : 너트

(a) 제거식 쏘일네일 Type-1 (b) 제거식 쏘일네일 Type-2

그림 2. 제거식 쏘일네일의 종류

표 1. 현장시험에 사용된 제거식 쏘일네일 및 일반 쏘일네일의 제원

시험위치	구 분	길 이 (m)	고정자 소켓 간격 (m)	W/C (%)	쏘일네일 종류
A site	No. 1	4.0	1.0	48	제거식 쏘일네일 Type-1
	No. 2	4.0	1.0	48	
	No. 3	4.0	0.5	48	
	No. 4	4.0	0.5	48	
	No. 5	4.0	-	48	제거식 쏘일네일 Type-2
	No. 6	4.0	-	48	
	No. 7	4.0	-	48	일 반 쏘일네일
	No. 8	8.0	1.0	48	제거식 쏘일네일 Type-1
B site	No. 9	4.0	1.0	55	제거식 쏘일네일 Type-1
	No. 10	4.0	1.0	55	
	No. 11	4.0	1.0	48	
	No. 12	4.0	1.0	48	
	No. 13	4.0	-	48	제거식 쏘일네일 Type-1
	No. 14	4.0	-	48	
	No. 15	4.0	-	48	
	No. 16	4.0	-	48	

: strain gauge가 설치된 고정자 소켓 : strain gauge가 설치되지 않은 고정자 소켓

2.2.2 현장인발시험 장치개요

제거식 쏘일네일의 현장인발시험에 대한 개략 단면은 그림 3과 같다. 본 시험에서 네일 두부에서의 변형은 다이얼게이지 대신 LVDT를 이용하여 실시간 단위로 네일 두부에서의 변형을 자동으로 측정할 수 있도록 하였다. 또한 유압잭킹에 의한 인발력을 측정하기 위해 유압잭 아래에 로드셀을 설치하였으며, 고정자 소켓의 거동을 확인하기 위해 고정자 소켓의 전면부 윗면과 아래면에 각각 대칭되도록 strain gauge를 부착하여 고정자 소켓의 거동을 확인하였다.

본 현장인발시험을 위해 설치된 네일은 수평면에서 15° 각도로 기울어져 있으며, 일반 쏘일네일 및 제거식 쏘일네일 내부에 설치된 철근은 D25(SD35)를 사용하였다.

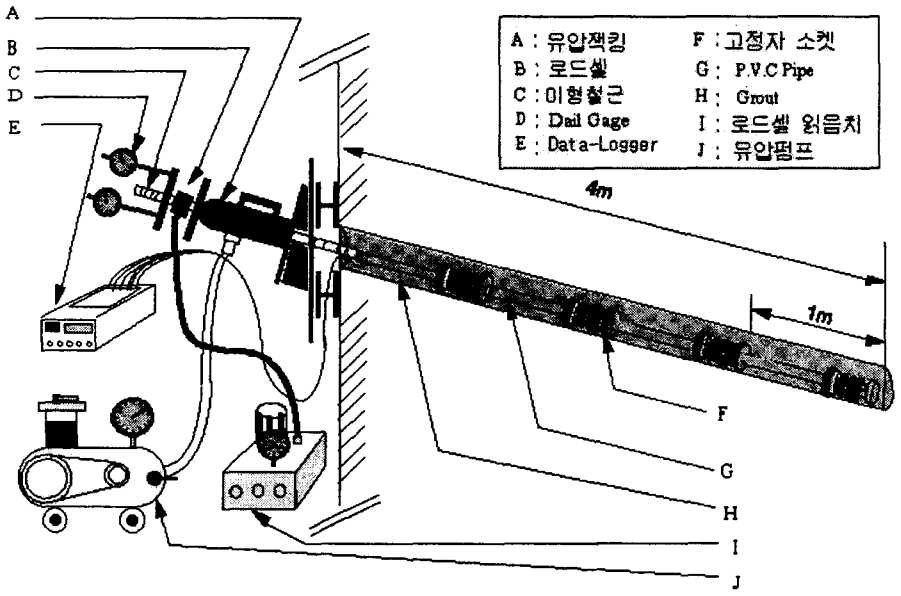


그림 3. 현장인발시험 개요도

2.2.3 현장인발시험 방법

프랑스의 국책연구사업의 일환으로 1986년부터 1990년까지 5년간 수행된 Clouterre 연구보고서(Schlosser, 1993)에 의하면 쏘일네일의 현장인발시험 방법은 변위제어방식(controlled displacement test 또는 constant speed test)과 응력제어방식(controlled force test 또는 creep test)을 일반적으로 사용하고 있다. 또한 Clouterre 연구보고서에 의하면 검사시험 단계에서의 현장인발시험은 소성지수 I_p < 20인 비소성 지반의 경우 변위제어방식으로 시험하며, I_p ≥ 20인 소성 지반의 경우 변위제어방식과 응력제어방식을 동일한 비중으로 시험하도록 제시하고 있다.

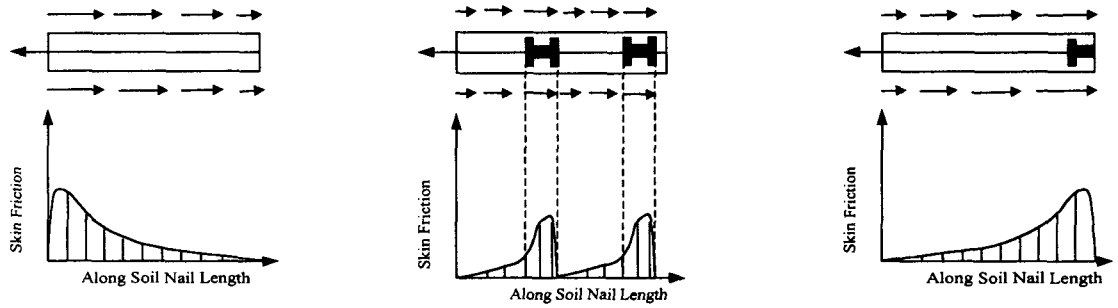
본 연구에서는 변위제어방식으로 현장인발시험을 수행하였으며, 인발속도는 Clouterre 연구보고서에 소개된 변위제어방식의 현장인발시험 방법을 참고하여 1mm/분(허용오차 ±10% 이내) 정도로 하였다. 또한 인발시험은 인발력이 최대치를 지나 점차 감소하는 경향을 나타내거나 일정한 값에 수렴할 경우 종료하였다.

3. 제거식 쏘일네일의 인발특성

3.1 제거식 쏘일네일의 인발마찰특성

인발시험시 일반 쏘일네일과 제거식 쏘일네일의 주면에 작용하는 마찰력은 그림 4와 같은 형태로 분포한다고 생각할 수 있다. 일반 쏘일네일의 경우에는 시멘트 그라우트체와 철근이 완전히 일체되어 거동함으로써 네일의 인발시 네일 두부 부근에서의 주면마찰력은 크고 끝단으로 갈수록 주면마찰력은 줄어들어 그림 4(a)와 같은 인발마찰특성을 나타낸다. 제거식 쏘일네일 Type-1의 경우에는 시멘트 그라

우트체와 철근이 고정자 소켓에 의해 일체됨으로써 네일의 인발시 고정자 소켓 주변에서의 주면마찰력이 크고 고정자 소켓에서 인발방향으로 멀어질수록 주면마찰력이 줄어들어 그림 4(b)와 같은 인발마찰특성을 보인다. 또한 제거식 쏘일네일 Type-2의 경우에는 시멘트 그라우트체와 철근이 끝단 정착 소켓에 의해 일체됨으로써 네일의 인발시 끝단 정착 소켓 주변에서의 주면마찰력이 크고 네일 두부로 갈수록 주면마찰력이 줄어들어 그림 4(c)와 같은 인발마찰특성을 나타낸다.



(a)일반 쏘일네일 (b) 제거식 쏘일네일 Type-1 (c) 제거식 쏘일네일 Type-2

그림 4. 일반 쏘일네일 및 제거식 쏘일네일의 인발마찰특성

3.2 고정자 소켓 간격에 따른 영향

제거식 쏘일네일은 일반 쏘일네일과 같이 철근과 시멘트 그라우트체가 완전히 정착되어 있는 형태가 아니고 고정자 소켓에 의해 일부 부분만 정착되어 있는 형태이므로 일반 쏘일네일에 비해 인발에 의한 변형이 클 것으로 예상할 수 있다. 따라서 본 분석에서는 철근과 시멘트 그라우트체의 정착 정도에 따른 쏘일네일의 인발변형특성을 파악하기 위해 제거식 쏘일네일 Type-1의 고정자 소켓의 간격을 0.5m와 1.0m로 구분하여 현장인발시험을 수행하였으며, 이를 일반 쏘일네일 및 제거식 쏘일네일 Type-2와 비교하여 제거식 쏘일네일의 활용 가능성을 판단하였다.

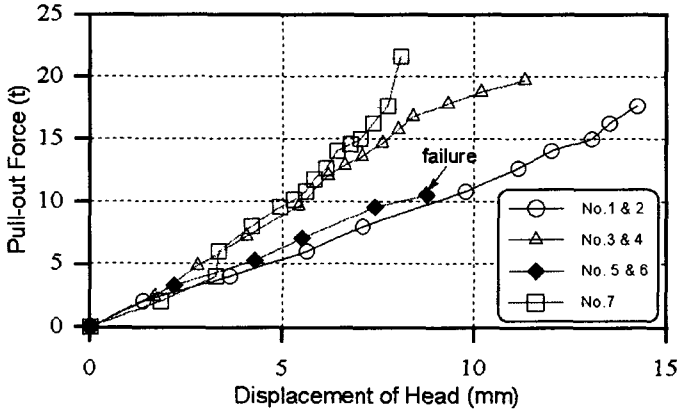


그림 5. 고정자 소켓의 설치 간격에 따른 인발변형

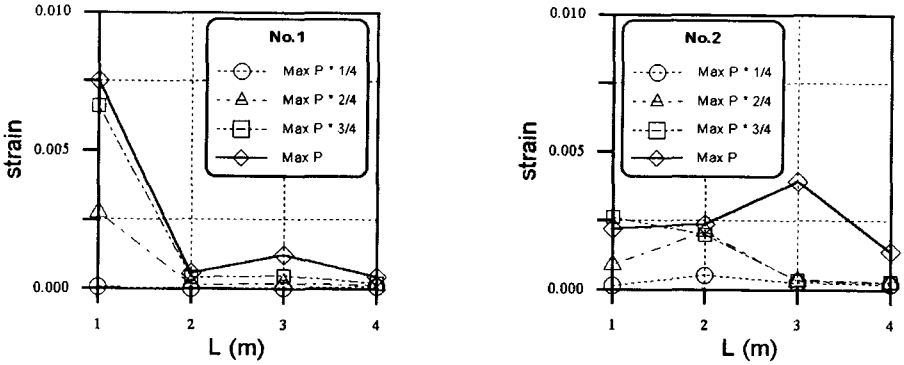
그림 5의 결과로부터 제거식 쏘일네일 Type-1에 대한 고정자 소켓의 간격이 조밀할수록 일반 쏘일네일의 인발변형특성과 유사한 경향을 나타냈다. 특히 고정자 소켓의 간격이 0.5m의 경우 철근의 항복강도에 해당하는 인발력(=3500kg/cm^2×5.067cm^2=17.7t)까지는 일반 쏘일네일의 인발변형특성과 거의 유사하며, 철근의 항복강도 이상의 인발력에서는 많은 차이를 나타내고 있다. 이러한 경향은 철근과 시멘트 그라우트체의 정착정도가 작은 제거식 쏘일네일에 있어서 철근의 변형을 억제시키는 정도가 일반 쏘일네일에 비해 작기 때문으로 판단된다. 또한 제거식 쏘일네일 Type-2의 경우에는 인발시 인발하중이 끝단 정착 소켓에 집중됨에 따라 끝단 정착 소켓의 변형이 크게 발생하여 철근의 항복점 이내에서 파열됨에 따라 B-site에서 시행된 추가 인발시험에서는 제외하였다.

본 분석을 통해 제거식 쏘일네일 Type-1의 경우가 Type-2의 경우보다 하중분산 정도가 양호하여

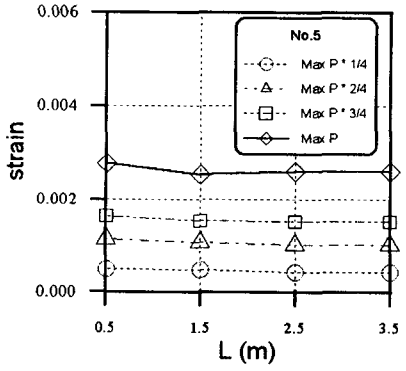
인발변형특성이 우수한 것으로 평가되었으며, 지반조건 및 굴착정도에 따라 고정자 소켓의 설치간격을 변화시켜 효율적인 설치간격을 결정함으로써 제거식 쏘일네일링 벽체의 적용성을 확인 할 수 있었다.

3.3 제거식 쏘일네일과 일반 쏘일네일의 길이에 따른 변형특성 비교

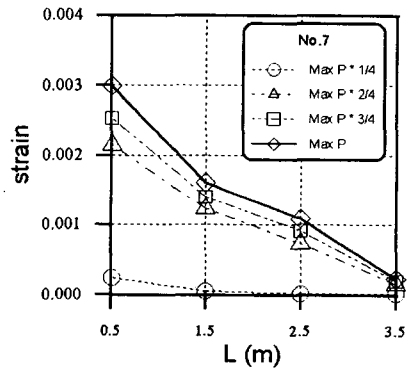
제거식 쏘일네일과 일반 쏘일네일의 길이에 따른 변형특성은 그림 6과 같다. 그림 6에서 알 수 있듯이 일반 쏘일네일의 경우(그림 6(c))에는 철근이 시멘트 그라우트체와 완전히 부착되어 있으므로 네일인발시 길이에 따른 철근의 변형정도가 네일 두부에서 최대이고 끝단 쪽으로 갈수록 선형적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 제거식 쏘일네일 Type-1의 경우(그림 6(a))에는 네일인발시 고정자 소켓 내부에 있는 rib와 이형철근의 rib사이의 기계적인 맞물림에 따라 쏘일네일의 길이에 따른 변형특성이 서로 다른 결과를 나타내었다. 또한 제거식 쏘일네일 Type-2의 경우(그림 6(b))에는 네일인발시 앵커식의 길이에 따른 변형특성을 나타내었다.



(a) 제거식 쏘일네일 Type-1(고정자 소켓의 설치간격=1.0m)



(b) 제거식 쏘일네일 Type-2



(c) 일반 쏘일네일

그림 6. 제거식 및 일반 쏘일네일의 인발시 길이에 따른 변형률 관계곡선

3.4 고정자 소켓의 설치깊이에 따른 영향

본 분석은 고정자 소켓의 설치깊이를 제거식 쏘일네일의 두부(head)에서 1.0m(No. 16), 2.0m(No. 15), 3.0m(No. 14) 및 4.0m(No. 13) 떨어진 위치에 고정자 소켓을 하나만 설치하여 이에 대한 현장인발시험을 실시하였으며, 이에 대한 인발-변형특성은 그림 7과 같다.

그림 7에서 알 수 있듯이 고정자 소켓의 설치깊이가 증가함에 따라 고정자 소켓의 부착강도는 5~8ton 정도로 증가하는 경향을 나타내었다. 참고적으로 대기 중에서의 고정자 소켓의 부착강도는 4ton 정도이다. 이와같은 경향은 제거식 쏘일네일이 15° 정도로 경사져 시공됨에 따라 고정자 소켓의 설치깊이가 깊어질수록 고정자 소켓에 작용하는 구속압력(즉 연직토압 및 수평토압)이 증가하여 인발시험시 철근의 변형에 따른 고정자 소켓의 변형을 억제시키므로 인발저항력이 크게 나타난 것으로 판단된다.

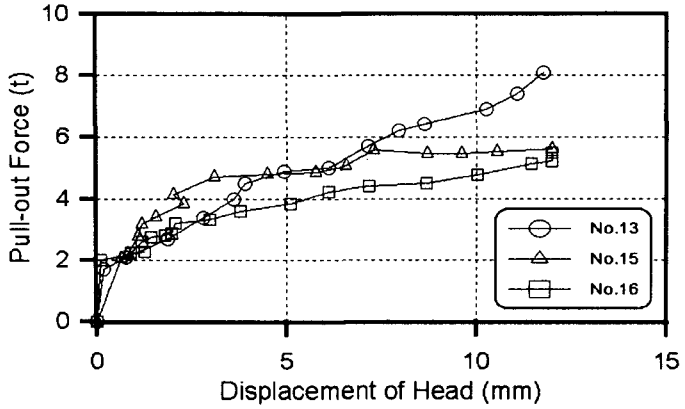


그림 7. 고정자 소켓의 설치깊이에 따른 인발변형

3.5 시멘트 그라우트의 W/C 비에 따른 영향

본 분석에서는 시멘트 그라우트체의 압축강도를 좌우하는 중요인자인 시멘트 그라우트의 물-시멘트(W/C) 비를 달리하여 이에 대한 제거식 쏘일네일의 인발-변형특성을 비교·분석하였다. 본 분석에 사용한 시멘트 그라우트의 W/C 비는 48%(재령 7일 압축강도=241.9kg/cm^2) 와 55%(재령 7일 압축강도 =148.5kg/cm^2) 2종류에 대하여 각각 2회씩 현장인발시험을 수행하였으며, 그 결과는 그림 8과 같다.

그림 8에서 No. 9와 10은 시멘트 그라우트의 W/C비가 55%인 경우이며, No. 11과 12는 시멘트 그라우트의 W/C비가 48%인 경우이다. 그림 8에서 알 수 있듯이 시멘트 그라우트의 W/C비가 작을수록(= 시멘트 그라우트체의 압축강도가 클수록) 제거식 쏘일네일의 인발저항력이 크게 평가되었다. 이와같은 경향은 제거식 쏘일네일에 대한 인발시험시 철근의 인발변형으로 인해 발생되는 인발력이 고정자 소켓 주변의 시멘트 그라우트체로 전달되면서 압축응력이 집중되므로 일반적인 쏘일네일에 비하여 시멘트 그라우트체의 압축강도가 쏘일네일의 인발변형특성에 영향을 크게 미치는 것으로 판단된다.

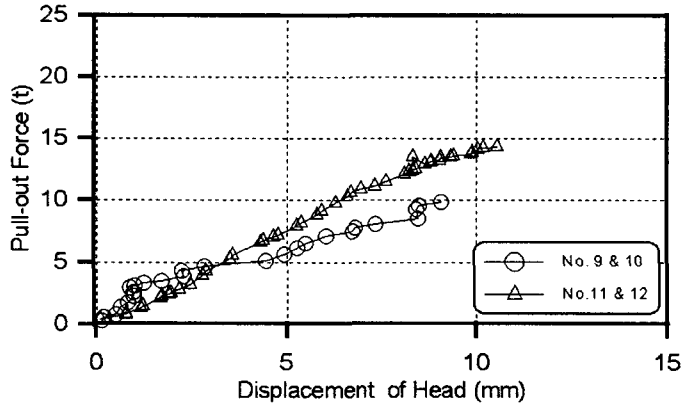


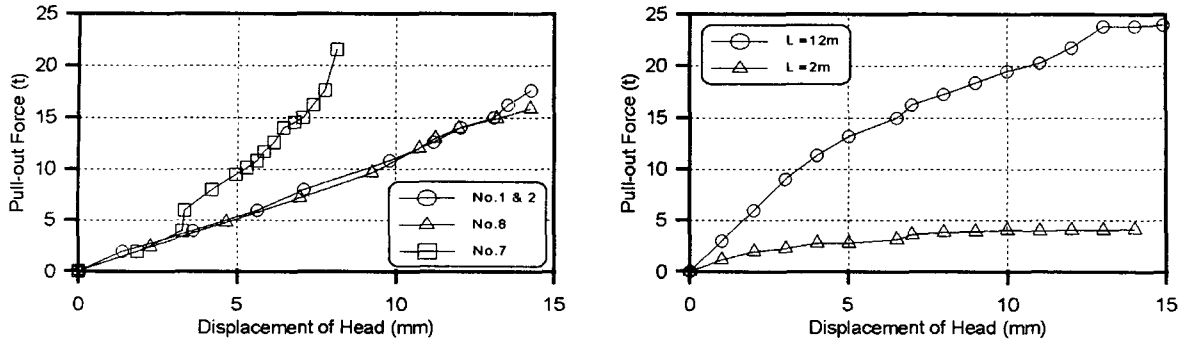
그림 8. 시멘트 그라우트의 W/C 비에 따른 인발변형

3.6 제거식 쏘일네일의 길이에 따른 영향

제거식 쏘일네일 Type-1의 경우에 있어서 쏘일네일의 길이에 따른 주면 마찰력의 영향을 알기 위하여 쏘일네일의 길이를 4.0m(No. 1 & 2)와 8.0m(No. 8)로 하여 인발시험을 수행하였으며, 이 때의 고정자 소켓의 설치간격은 1.0m로 하였다.

제거식 쏘일네일의 길이변화에 따른 현장인발시험결과(그림 9(a))와 Clouterre 연구보고서에 소개된 일반 쏘일네일에서의 길이변화에 따른 현장인발시험결과(그림 9(b))를 비교한 결과, 본 연구에서 소개된 제거식 쏘일네일 Type-1의 인발변형특성은 쏘일네일의 길이보다는 고정자 소켓의 간격에 크게 좌우됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 일반 쏘일네일의 경우에는 네일인발시 인발변형은 네일의 두부에서 최

대가 되고 끝단으로 갈수록 점점 감소하여 쏘일네일의 전 길이에 걸쳐 발생하지만, 제거식 쏘일네일 Type-1의 경우 고정자 소켓 내부에 있는 rib와 이형철근의 rib 사이의 기계적인 맞물림에 따라 쏘일네일의 전 길이에 걸쳐 설치된 고정자 소켓에 고르게 인발력이 분포되지 못하고 특정 고정자 소켓에 집중됨으로 해서 발생되는 것으로 판단된다.



(a) 제거식 쏘일네일의 경우 (b) 일반 쏘일네일의 경우

그림 9. 제거식 및 일반 쏘일네일의 길이에 따른 인발변형

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 제거식 쏘일네일의 필요성이 대두됨에 따라 2종류의 제거식 쏘일네일을 개발하여 이에 대한 현장 적용성을 규명하고자 제거식 및 일반 쏘일네일에 대하여 총 16회의 현장인발시험을 실시하였다. 현장인발시험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 연구를 통해 개발된 2종류의 제거식 쏘일네일 중 Type-1의 경우가 Type-2의 경우보다 하중분산 전도가 양호하여 인발변형특성이 우수한 것으로 평가되었다.

(2) 고정자 소켓의 설치간격과 쏘일네일의 길이에 따른 영향을 종합적으로 분석해 볼 때, 제거식 쏘일네일 Type-1의 인발변형특성은 고정자 소켓의 설치간격이 중요한 설계인자라고 판단된다.

(3) 고정자 소켓의 설치깊이가 증가함에 따라 고정자 소켓에 작용하는 구속압력이 증가하여 인발시험시 철근의 변형에 따른 고정자 소켓의 변형을 억제시킴으로써 고정자 소켓의 부착강도는 5~8ton 정도로 증가하는 경향을 나타내었다.

(4) 시멘트 그라우트의 W/C비가 작을수록 제거식 쏘일네일의 인발저항력이 크게 평가되는 경향으로 볼 때, 제거식 쏘일네일 Type-1은 고정자 소켓 주변의 시멘트 그라우트체에 압축응력이 집중되므로 일반적인 쏘일네일에 비하여 시멘트 그라우트체의 압축강도가 인발변형특성에 큰 영향을 미치는 것으로 되었다.

(5) 본 연구에서 발생한 고정자 소켓 내부에 있는 rib와 이형철근의 rib 사이의 기계적인 맞물림에 따른 불균일한 인발력 분포를 개선하기 위한 고정자 소켓의 개발 및 추가적인 현장인발시험과 제거식 쏘일네일 Type-1의 설계에 적합한 안정해석법의 개발이 현재 진행중이다.

참고문헌

1. Dohwa Geotechnical Engineering Co., Ltd.(1996), Report of Subsoil Investigation at 3rd Stage for the Dogokdong Building Site.
2. Jones, C.P.D.(1990), " In-Situ Techniques for Reinforced Soil," Proc. of the International Reinforced Soil Conference : Performance of Reinforced Soil Structures, British Geotechnical Society, Glasgow, pp. 277-282.
3. Schlosser, F.(1993), Recommendations Clouterre 1991(English Translation), FHWA-SA-93-026.