

쐐기형 제거식 쏘일 네일링 시스템의 설계 및 시공사례

A Case Study on Construction and Design of the Wedge Type Removable Soil Nailing System

한연진¹⁾, Yeon-Jin Han, 박시삼²⁾, Si-sam Park, 권혁준³⁾, Hyuk-Jun Kwon, 김홍택⁴⁾, Hong-Taek Kim
박주석⁵⁾, Ju-Seok Park

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

²⁾ GS건설(주) 기술본부 선임연구원, Senior Research Eng, Technical Division, GS E&C Corp.

³⁾ 홍익대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng, Hongik Univ.

⁴⁾ 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng, Hongik Univ.

⁵⁾ (주) 대작ENC 대표이사, President, Daejak ENC Company.

SYNOPSIS: The soil nailing system is becoming common as reinforcement method of slope face in soil. It has application to obtain slope stability method and scaffolding system. It has some troubles when the soil nailing system is applied to the downtown because it could be invaded someone's private area. Thus, in this paper, wedge type removable soil nailing system which can easily remove deformed bar in final excavation step is developed. Field pull-out test is performed to evaluate deformed bars removal and pullout resistance characteristics. According to this result, application of Wedge Type Removable Soil Nailing System is performed.

Keywords : Field pull-out test, Slope stability, Wedge Type Removable Soil Nailing System

1. 서론

쏘일네일링(Soil Nailing) 공법은 보편화된 절취부 보강공법으로서 사질토 지반에서부터 풍화암 지반에 이르기까지 사면안정 및 가시설 흙막이 안정화 공법으로 널리 이용되고 있다. 아울러 도심지 지하굴착 보강공법으로 쏘일네일링 공법을 적용할 경우, 대지경계선 침범으로 인한 토지점용료 납부 등의 민원발생 등으로 인해 제거식 쏘일네일링 공법을 적용하는 현장이 점진적으로 증가하고 있는 추세이다. 따라서 본 연구에서는 최종굴착단계까지 시공 완료 후, 이형철근을 쉽게 제거할 수 있는 쐐기형 제거식 쏘일네일링 공법(Wedge Type Removable Soil Nailing System)을 개발하였으며, 개발된 본 공법을 대지경계선과의 이격거리가 짧은 현장에 적용한 설계 및 시공 사례를 소개하고자 한다. 또한 개발된 쐐기형 제거식 쏘일네일링 공법의 이형철근 제거성능 평가 및 인발거동 특성을 평가하기 위해 수행된 현장 인발시험결과 등을 소개하고자 한다.

2. 현장인발시험

현장인발시험위치(B09-02) 및 지반조사위치는 그림 1과 같으며, 현장인발시험이 수행된 위치에서 가장 가까운 시추조사결과(B09-13)를 토대로 안정성 검토를 수행하였다.

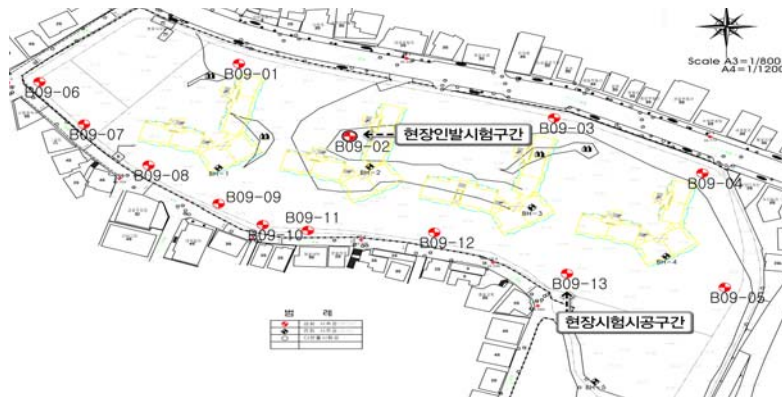


그림 1. 현장 현황 및 지반조사 위치도

2.1 현장 지반조사 및 실내시험 결과

췌기형 제거식 쏘일 네일링 공법 적용구간에 대한 지반조사 결과 매립층의 표준관입시험에 의한 N값은 사질토 4회/30cm~50회/3cm로 매우 느슨~매우 조밀한 상태이며, 풍화토층은 50회/27cm~50회/26cm로 매우 조밀한 상태이며, 풍화암은 50회/10cm~50회/5cm 매우 조밀한 상태인 것으로 나타났다. 표 1~2에 적용구간에 대한 지반조사 결과 및 실내시험 결과를 나타내었다.

표 1. 지반조사 결과

공 번	지층별 두께(m)					합계심도(m)	지하수위(G.L-m)
	매립층	풍화대		기반암			
		풍화토	풍화암	연 압	경 압		
B09-13	-	1.5	7.5	9.0	3.0	21.0	4.0

표 2. 실내시험 결과

공 번	심도(m)	함수비(%)	비 중(G_s)	체분석시험(%)				통일분류	지층
				#4	#10	#40	#200		
B09-13	3.0	11.5	2.67	100	76.7	31.9	12.1	SM	풍화토

현장 구간의 전체적인 실내시험 결과 사질토층이 우세하게 분포하였고, 통일분류 결과 SM, SW-SM으로 분류되며 함수비는 6.2~16.4%, 비중은 2.65~2.69의 범위를 나타내는 것으로 확인되었다. 현장구간 내 암석의 일축압축 시험 결과 연암의 일축 압축 강도는 45.3~53.6MPa, 경암의 일축 압축 강도는 42.0~100.4MPa 범위로 확인되었다.

2.2 현장인발시험 조건 및 제한

본 연구에서는 췌기형 제거식 쏘일네일 및 일반네일의 인발거동 특성을 비교, 평가해보기 위해 하중 제어방식의 인발시험을 수행하였으며, 췌기형 제거식 쏘일네일 및 일반네일은 시험조건은 표 3과 같으며, 현장인발시험 개요도 및 대표단면도는 그림 2, 3과 같다.

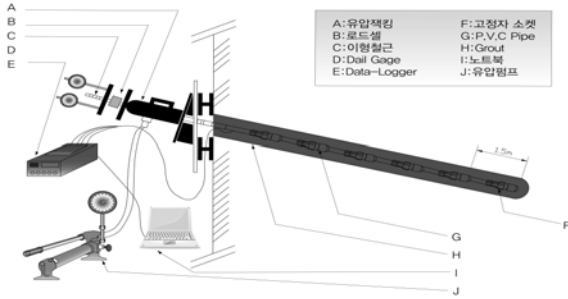


그림 2. 현장인발시험 개요도

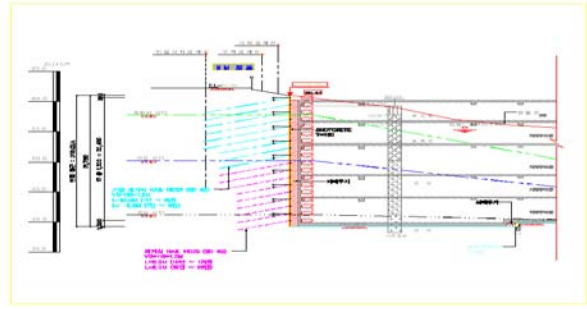


그림 3. 현장인발시험 대표단면도

표 3. 현장인발시험 조건

구분	실험조건	네일길이 (m)	고정소켓		변형률계		설치 각도 (°)
			간격(m)	개수(EA)	간격(m)	개수(EA)	
Case 1		8.0m	1.5	5	1.5	5	15
Case 2		10.0m	1.5	6	1.5	6	
Case 3		8.0m	-	-	1.5	5	
Case 4		10.0m	-	-	1.5	6	

2.3 현장인발 시험방법

현장인발시험시 네일 인발에 따른 철근의 변형률값을 측정하기 위해 변형률계(strain gauge)를 설치하였으며, 네일 인발시 10초 단위로 측정되도록 자동측정장치(Data Logger)를 설정하였다. 아울러, 네일 인발하중은 10kN 단위로 유발변위가 수렴할 경우 점진적으로 증가시켜 인발하중에 따른 변위특성을 측정하였다. 현장인발시험 과정은 그림 4와 같다.

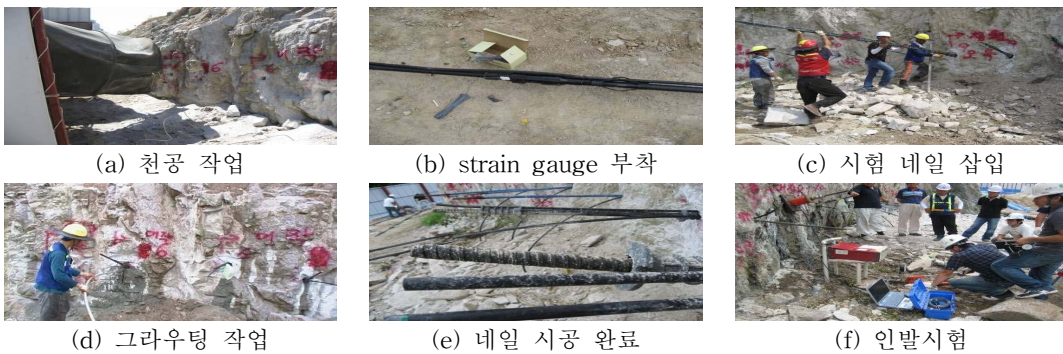


그림 4. 현장인발시험 과정

2.4 현장인발시험 결과분석

2.4.1 인발하중 - 변위특성 결과

쐐기형 제거식 쏘일네일 및 일반네일의 길이에 따른 현장인발시험결과를 정리하면, 그림 5와 같다.

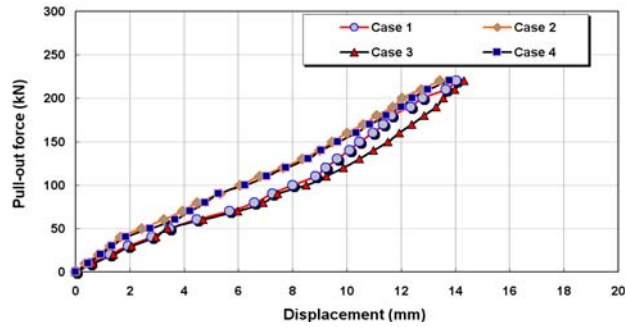


그림 5. 인발하중-변위 특성 결과

썩기형 제거식 쏘일네일 및 일반네일의 인발시험 결과를 살펴보면(그림 5), 초기인발변형특성이 네일 길이 10m 인 경우가 다소 우수하게 평가되었으나, 최대인발력 220kN에서는 거의 유사한 거동을 하는 것으로 평가되었다. 아울러, 일반네일의 거동특성 역시 썩기형 제거식 네일과 거의 유사하게 평가되었으며, 썩기형 제거식 쏘일네일의 경우, 일반네일에서 발휘하는 인발마찰거동 특성을 충분히 발휘하는 것으로 평가되었다.

2.4.2 인발하중시 변형 특성 결과

Case 1~Case 4에 대하여 고정소켓 바로 앞쪽과 뒤쪽에 스트레인게이지를 부착하여 인발시험시 네일의 인발변형을 측정하였다(표 3. 참고). 인발하중시 변형특성 결과를 정리하면, 그림 6.과 같다.

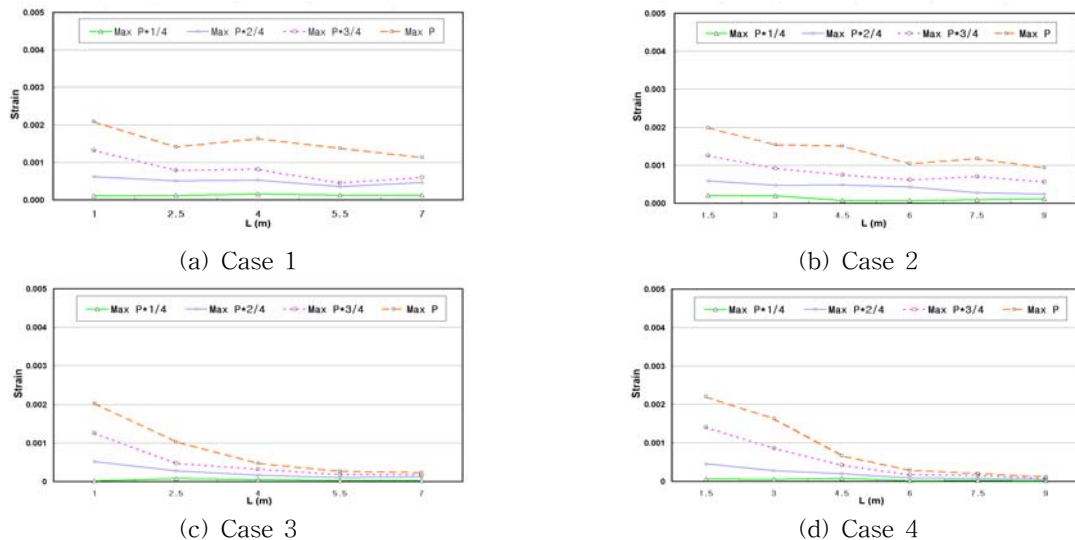


그림 6. 인발하중시 변형특성 결과

그림 6.의 인발하중시 변형특성 결과를 살펴보면, 썩기형 제거식 쏘일네일의 Case 1 및 Case 2의 경우 네일 두부에서 최대변형을 보이며, 고정소켓 설치부분에서의 인발변형에 저항을 하는 것으로 나타났으며, 선단부로 갈수록 인발변형이 점진적으로 감소하는 경향을 보이고 있는 것으로 평가되었다. 일반네일의 Case 3 및 Case 4의 경우, 네일 두부에서 최대 변형을 보이다가 감소하는 경향을 보이는 것으로 평가되었다.

3. 썬기형 제거식 쏘일네일링 적용성 평가

3.1 제거시험 방법

본 연구를 통해 개발된 썬기형 제거식 쏘일네일링 공법은 고정소켓, 썬기형 나사, PVC 파이프 및 이형철근 등으로 구성되어 있으며, 고정소켓 내부에 썬기형 나사를 설치하여 고정소켓과 이형철근을 결합시켜 시멘트 그라우트체와 일체식 거동을 할 수 있도록 고안하였다. 썬기형 제거식 쏘일네일링 공법의 시공완료후 개요도는 그림 7.과 같으며, 제거방법은 그림 8.과 같다.



그림 7. 썬기형 제거식 쏘일네일 공법 시공완료 개요도



(a) 이형철근 회전

(b) 이형철근 타격

(c) 이형철근 제거

그림 8. 썬기형 제거식 쏘일네일링 공법 제거방법

3.2 제거성능 시험 결과분석

본 연구에서 개발된 썬기형 제거식 쏘일네일의 제거성능을 평가하기 위해, 동일한 지반에 동일한 조건으로 기존 제거식 쏘일네일 및 썬기형 제거식 쏘일네일을 시공한 후, 제거성능 평가를 수행해 보았다(그림 9).



(a) 썬기형 제거식 쏘일네일



(b) 기존 제거식 쏘일네일

그림 9. 제거식 쏘일네일 제거성능 시험 전경

기존 제거식 쏘일네일의 경우 제거용 장비 투입 및 세팅하는데 상당시간이 소요되었으며, 10m네일을 기준으로 10분 정도 소요되는 것으로 평가되었으며, 썬기형 제거식 쏘일네일의 경우, 헤머로 네일의 두부를 타격하여 손쉽게 제거가 가능한 것으로 평가되었다. 아울러, 10m 길이의 네일을 제거하는데 소요되는 시간은 3분 정도 소요되어 70% 정도의 공기단축 효과가 있는 것으로 평가되었다. 네일이 시공된 전체길이를 50m라고 가정했을 경우, 네일 제거시간을 비교해보면, 표 4.와 같다.

표 4. 네일 제거시 제거성능 시간 검토 결과(50m 기준)

구분	지하5층 제거시	지하4층 제거시	지하2층 제거시	지하1층 제거시	검토결과
썬기형 제거시간	5.0 hr	5.0 hr	5.5 hr	6.0 hr	공기단축 70%
일반형 제거시간	15.0 hr	15.0 hr	16.5 hr	18.0 hr	

3.3 안정성 검토

3.3.1 안정성 검토 조건

본 연구에서는 FEM 해석 프로그램인 Midas Geox 및 한계평형해석 프로그램인 TALREN 97의 지반 구조물 안정성 해석프로그램으로 켜기형 제거식 쏘일네일링 공법을 적용한 현장에 대하여 안정성 검토를 수행하였다(그림 10. 참고). 또한 현장지반조사 결과를 토대로 기존 문헌자료 및 실내역학실험결과에서 산정한 값을 적용하였으며, 검토에 적용한 특성값 및 지반강도 정수는 표 5. 및 표 6.과 같다.

표 5. 안정성 검토에 적용된 특성값

구분	σ_y (MPa)	a (cm ²)	I (mm ⁴)	E (MPa)	비고
네일	SD 40	4,000	5.067	210,000	네일 길이 : 8.0m 설치각도 : 15°

표 6. 안정성 검토에 적용된 지반강도정수

구분	단위중량(kN/m ³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비고
풍화토	18	5	30	
풍화암	21	30	35	
연암	23	50	37	
경암	25	100	39	
콘크리트	27	1,000	45	네일 제거시 적용

3.3.2 네일 제거에 따른 안정성 검토

켜기형 제거식 쏘일네일링 공법 적용구간에 대한 전체 안정성검토결과는 그림 11.과 같으며, 이형철근 제거단계별 안정성 검토결과는 그림 12.~15.과 같으며, 이를 요약, 정리하면, 표 7.과 같다.

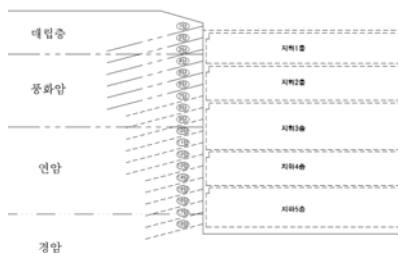


그림 10. 현장시공 대표단면도



그림 11. 전체 터파기시 안정성 검토 결과

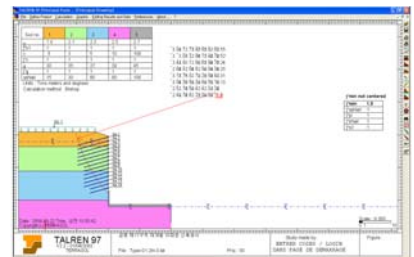


그림 12. 지하 5층 네일 제거시 안정성 검토 결과



그림 13. 지하 4층 네일 제거시 안정성 검토 결과



그림 14. 지하 1층 네일 제거시 안정성 검토 결과



그림 15. 지하 1층 네일 제거시 안정성 검토 결과

표 7. 네일의 제거에 따른 안정성 검토 결과

구 분	전체 터파기	지하5층 네일 제거 단계	지하4층 네일 제거 단계	지하2층 네일 제거 단계	지하1층 네일 제거 단계
검토 결과	1.71 > 1.10 (O.K)	1.91 > 1.10 (O.K)	1.84 > 1.10 (O.K)	1.19 > 1.10 (O.K)	1.15 > 1.10 (O.K)

표 7.의 제거단계별 한계평형해석에 의한 안정성 검토 결과를 살펴보면, 최소안전율 기준 1.10(단기 및 임시)을 상회하는 안정한 상태인 것으로 확인하였다.

3.3.3 FEM 해석에 의한 안정성 검토

본 연구에서는 현장시공 대표단면도를(그림 10. 참고) 이용하여 최종 굴착완료시 FEM 해석을 통한 수평변위에 대한 안정성 검토 결과를 정리하면, 그림 16.과 같다.



그림 16. FEM 해석에 의한 안정성 검토 결과

그림 16.의 FEM 해석결과를 살펴보면, 흙막이 구조물의 수평변위 허용기준은 토류구조물 설계실무 편람(1998) 안전측인(1/300) 0.3%H(=최종 흙막이 굴착높이 21.5m) 적용하였다. 그 결과 수평변위 허용기준은 71.7mm이며, 최종 굴착완료시 수평변위는 38mm 정도로 발생하여 허용기준을 만족하므로 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서 수행한 현장인발시험을 통한 췌기형 제거식 쏘일네일링 시스템의 설계 및 시공사례에 대하여 요약, 정리하면 다음과 같다.

- 1) 췌기형 제거식 쏘일네일 및 일반네일의 인발시험 결과를 살펴보면(그림 5 참조), 초기인발변형특성이 네일길이 10m 인 경우가 다소 우수하게 평가되었으나, 최대인발력 220kN에서는 거의 유사한 거동을 하는 것으로 평가되었다. 아울러, 일반네일의 거동특성 역시 췌기형 제거식 네일과 거의 유사하게 평가되었으며, 췌기형 제거식 쏘일네일의 경우, 일반네일에서 발휘하는 인발마찰거동 특성을 충분히 발휘하는 것으로 평가되었다.
- 2) 인발하중시 변형특성 결과를 살펴보면, 췌기형 제거식 쏘일네일의 Case 1 및 Case 2의 경우 네일 두부에서 최대변형을 보이며, 고정소켓 설치부분에서의 인발변형에 저항을 하는 것으로 나타났으며, 선단부로 갈수록 인발변형이 점진적으로 감소하는 경향을 보이고 있는 것으로 평가되었다. 일반네일의 Case 3 및 Case 4의 경우, 네일 두부에서 최대 변형을 보이다가 감소하는 경향을 보이는 것으로 평가되었다(그림 6 참조).
- 3) 기존 제거식 쏘일네일의 경우 제거용 장비 투입 및 세팅하는데 상당시간이 소요되었으며, 10m네일을 기준으로 10분 정도 소요되는 것으로 평가되었으며, 췌기형 제거식 쏘일네일의 경우, 해머로 네일의 두부를 타격하여 손쉽게 제거가 가능한 것으로 평가되었다. 아울러, 10m 길이의 네일을 제거

하는데 소요되는 시간은 3분 정도 소요되어 70% 정도의 공기단축 효과가 있는 것으로 평가되었다 (그림 9 참조).

참고문헌

1. 김홍택 (1998), “쏘일네일링의 원리 및 지침”, 평문각.
2. 김홍택, 류정수, 정성필, 강인규, 박시삼 (2000), “제거식 쏘일네일링 공법의 설계 및 시공”, **한국지반공학회 논문집**, Vol.16, No.3, pp.107~117.
3. 박시삼 (1999), “제거식 쏘일네일링 벽체의 적용성 및 안정해석에 관한 연구”, **홍익대학교 석사학위 논문**.
4. 한연진, 박시삼, 권혁준, 김홍택, 박주석(2009), “현장시험 시공을 통한 켜기형 제거식 쏘일네일링 공법의 거동 평가”, **한국지반공학회, 2009 가을 학술대회 논문집**, pp. 1360-1364.
5. Donald, I. B. and Giam, S. K. (1988), “Application of the Nodal Displacement Method to Slope Stability Analysis”, *Proceeding of 5th Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Sydney, Australia*, pp. 456-460.
6. Naylor, D. J. (1982), “Finite Element and Slope Stability, Numerical Mathematics in Geomechanics”, *Proceeding of NATO Advanced Study Institute, London, Portugal*, pp. 229-244.