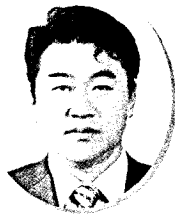


# 토사지반 흙막이 공법에서의 압력식 쏘일네일링 시스템 적용 사례



유 지 선  
(주)도담E&C 건설사업부 차장



정 민 희  
(주)대우건설 현장소장



정 경 한  
(주)도담E&C 건설사업부 전무  
(jkh@dodamenc.co.kr)



이 충 열  
(주)대우건설 차장

## 1. 서론

쏘일네일 보강벽체는 1972년에 프랑스의 베르사이유에서 최초로 사면 보강용으로 적용된 이후 주로 독일과 프랑스 등의 유럽지역에서 굴착면에 대한 지보 및 사면보강에 사용되어 왔다. 미국에서는 1978년에 통상적인 엄지말뚝과 버팀보에 의한 흙막이벽 대신에 수평 보강 시스템이라 불리는 쏘일네일링 공법이 개발되어 지금까지 활발히 활용되고 있다.

국내의 경우 1993년 쏘일네일링 공법이 국내 지하굴착 가시설 흙막이 현장에 처음 적용된 이래, 이제는 지하굴착 흙막이와 사면보강 등에 보편적으로 적용되는 하나의 공법으로 자리잡게 되었다. 종래 도심지에서 실시된 깊은 굴착공사에는 대부분 버팀보나 앵커로 지지된 엄지말뚝 흙막이공법이 적용되었으나 작업공간의 확보, 인접구조물과 근접시공에 따른 문제점 해결을 위하여 최근에는 쏘일네일링 흙막이벽체가 널리 적용되고 있다.

쏘일네일링 흙막이벽체는 굴착지반내에 작업공간의 확보가 용이하고 기존의 흙막이공보다 근접시공 및 굴착면 시공이 간단하여 시공성이 우수하고 소요공기도 짧아 경제적이다. 또한 타 공법에 비해 흙막이벽의 유연성이 크므로 동적하중에 대한 저항능력도 크다.(Gassler & Gudehus, 1981)

쏘일네일링의 적용이 확대되면서 쏘일네일링공법의

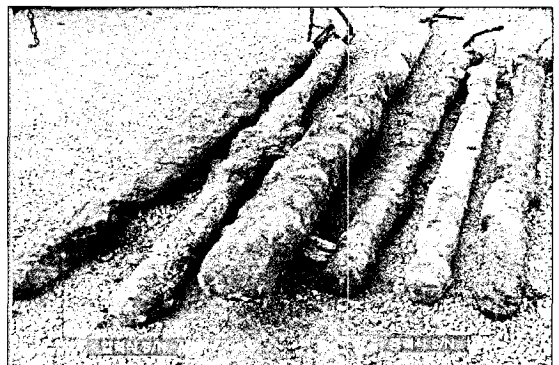


그림 1. 압력식과 중력식의 구분비교

성능 향상을 위하여 개발된 압력식 쓰일네일링 공법은 우레탄 패커를 적용 압력그라우팅(5~10kgf/cm<sup>2</sup>)을 가능하게 하여 중력식 쓰일네일링의 단점인 그라우팅의 수축현상, 3~6회의 반복그라우팅에 따른 충전불량과 공동발생 등의 그라우트체의 품질에 관한 문제점을 보완하고 압력그라우팅으로 인한 구근확장을 가능하게 하여 공기단축 및 보강력 증가에 따른 경제성을 향상시킨 공법으로 압력식과 중력식의 구근 형상이 그림 1에 나타나 있다.

본 사례는 화강풍화토 및 화강편암으로 구성된 지반에서 압력식 쓰일네일링 공법을 적용한 흠막이 벽체의 거동을 계측 및 인발시험 결과를 비교분석함으로써 압력식 쓰일네일링 공법의 현장 적용성에 대하여 기술하고자 한다. 또한, 시공 중 발생된 문제점에 대한 대책방안을 소개함으로써 본 공법의 문제대처능력에 대한 우수성에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 과업구간현황

### 2.1 주요 현황

시공현장은 ○○단지조성 PROJECT 건축공사현장으로 보강구간은 공장동, 기숙사 A동, 오수처리동으로 구분되며 보강연장은 약 463m, 굴착깊이는 3.7m~10.8m로 구간별 현황은 표 1 및 그림 2에 나타나 있다.

원안설계 시가시설 공법으로 H-Pile + Earth Anchor 공법이 적용되었으나, 시공이 단순하여 공기가 빠르고 경제적이며 배면공간이 협소하여도 안정성이 확보가 가능하며 소형장비의 사용으로 작업공간 제약이 미비한 압력

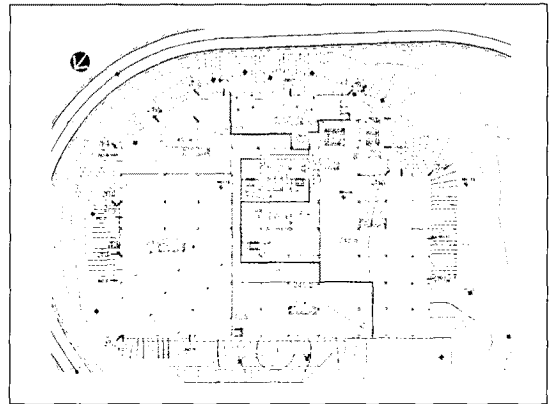


그림 2. 과업구간현황(공장동 구간)

식 쓰일네일링 + 숏크리트 공법으로 변경하였다.

### 2.2 지반현황

본 현장의 경우 붕적층, 풍화토, 풍화암 및 보통암으로 구성되어 있으며 당초 설계 시 풍화토의 N값은 4~49(평균 N=25)로 점토 또는 실트 섞인 모래로 나타났다. 그러나 시공 중 지반상태를 분석한 결과, 화강편암 계열의 화강풍화토로 그림 3에 나타난 바와 같이 굴착에 의한 이완 시 급격한 강도저하 현상을 나타내었으며 모암의 절리 및 단층대가 활성화된 상태로 나타났다. 또한, 모암의 절리 및 단층대는 굴착방향과 유사한 방향성을 지니고 있으며 절리의 경사는 70°~110°의 고각을 형성하여 소규모 평면 및 전도파괴 발생가능성이 잠재되어 있다. 실제 일부 구간에서는 모암의 절리를 따라 소규모 탈락이 발생하였다.

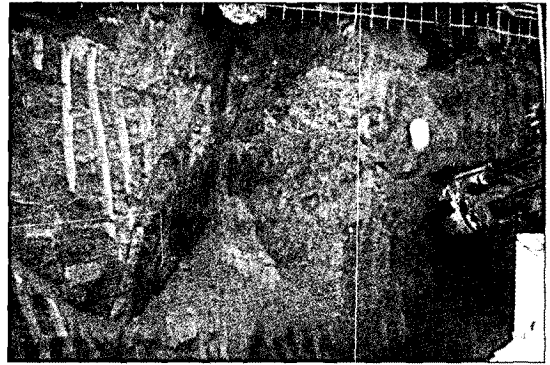
이와 같이 지반특성이 당초 설계 시와 상이하게 나타남

표 1. 구간별 현황

구분	공장동 구간	기숙사 A동 구간	오수 처리동 구간	
연장	L=265.73m	L=142.76m	L=54.84m	
절취고	8.98m(6.80~10.80m)	5.24m(3.76~9.21m)	4.66m	
지층 현황	지층종류	붕적층, 풍화토, 풍화암	풍화토, 풍화암, 보통암	풍화토, 풍화암
	평균N치	4~50	30~50	N50
원안설계	H-Pile + E/A	H-Pile + E/A	H-Pile + E/A	
변경설계	압력식 쓰일네일링 + 숏크리트	압력식 쓰일네일링 + 숏크리트	압력식 쓰일네일링 + 숏크리트	



(a) 굴착에 따른 파른 하중이완으로 인한 강도 저하



(b)모암의 절리 발달(평면 및 전도파괴를 유발)

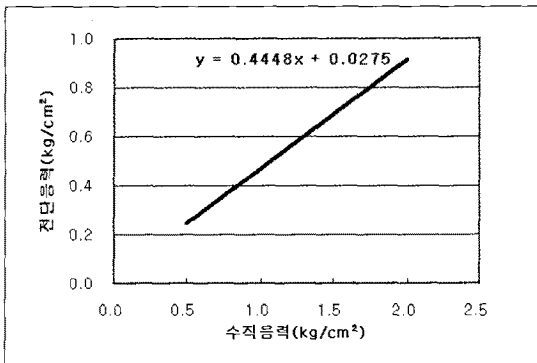


(c) 강도저하에 의한 붕락

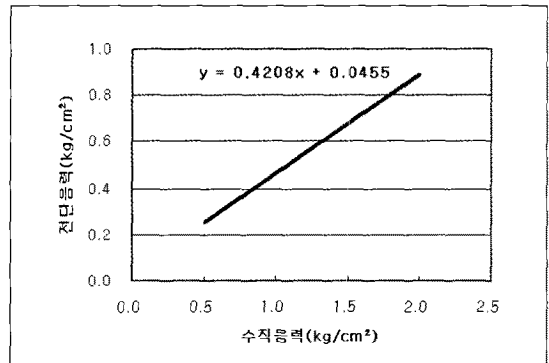


(d) 모암의 절리에 의한 붕락

그림 3. 과업구간 지반 현황



(a) #1 시료 직접전단시험 결과

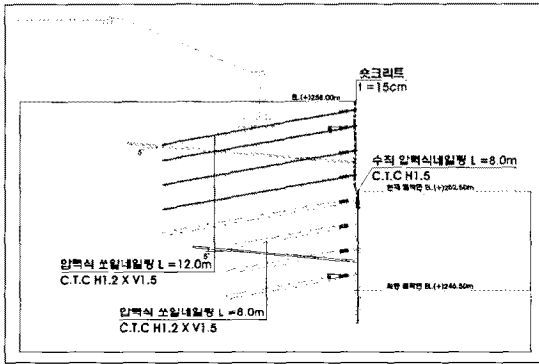


(b) #2 시료 직접전단시험 결과

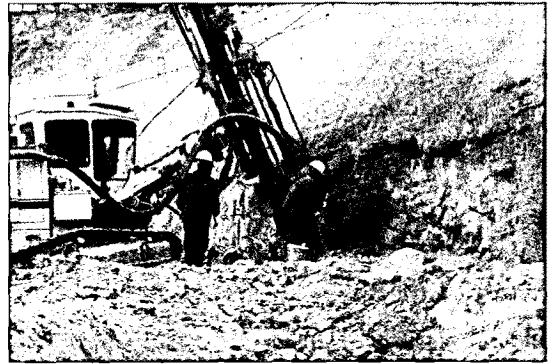
그림 4. 화강중화토에 대한 직접전단시험 결과

표 2. 지반특성치

구 분	당 초			변 경		
	단위중량(tf/m <sup>3</sup> )	점착력(tf/m <sup>2</sup> )	내부마찰각(deg)	단위중량(tf/m <sup>3</sup> )	점착력(tf/m <sup>2</sup> )	내부마찰각(deg)
풍 화 토	1.8	0.5	25	-	0.37	23



(a) 수직 네일링 보강 횡단면도



(b) 수직 네일링 시공 전경

그림 5. 수직네일링 횡단면도 및 시공전경

으로 인해 이완된 화강풍화토 지반에 대한 실내시험을 수행하였으며 그 결과 그림 4 및 표 2에 나타난 바와 같이 실제 지반상태는 당초 설계 시보다 불량한 것으로 나타났다.

### 3. 시공중 문제점 대책방안

본 현장은 화강풍화토로 구성된 지반으로 굴착작업 시 응력이완에 의한 급격한 강도저하로 일부구간에 소규모

의 붕락 등이 발생하였다. 또한, 숏크리트 일부 탈락 및 과다변위 등의 문제점이 발생하였으나 신속히 대책공법을 실시하여 안정적인 시공을 도모하였다.

#### 3.1 굴착으로 인한 소규모 붕락

굴착면의 지층 분석결과 소규모 붕락이 발생한 지층은 화강풍화토 계열로 지하수 등의 물과 접촉으로 인한 강도 저하 및 팽창, 굴착 시 응력이완으로 인한 급격한 강도 저하가 발생할 것으로 예상된다. 앞서 기술한 화강풍화토의 특성 및 모암의 절리 경사방향 및 경사각 등 본 현장의 지반 여건으로 인해 그림 3에 나타난 바와 같이 일부구간에 소규모의 붕락이 발생하여 면정리 및 방수포 조치 등 초동조치를 실시하였다. 이후 조속히 하부 미굴착 구간 굴착 시 굴착면의 탈락 방지를 위해 그림 5 및 표 3에 나타난 바와 같이 수직 네일링 설치하였다.

표 3. 대책공법 실시현황

구 분	대책공법
붕락발생구간 (N0.5+11.93~6+11.93)	1.5m 간격으로 수직네일링 설치
붕락발생가능구간 (붕락구간 좌우 10m)	2.0m 간격으로 수직네일링 설치



그림 6. 숏크리트 타설시 숏크리트 탈락 발생

#### 3.2 숏크리트 탈락

공장동 구간의 화강풍화토는 입도분포가 불량한 실트질 모래로 점착력이 작고 입경이 균등하여 그림 6에 나타난 바와 같이 숏크리트 탈락이 발생하여 표 4에 나타난 바와 같이 당초계획을 변경하였으며 와이어메쉬 및 숏크리트 타설 전경은 그림 7에 나타나 있다.

표 4. 대책공법 실시현황

당 초	변 경
1차 슛크리트 타설(7cm) → 와이어메쉬 설치 → 2차 슛크리트 타설(8cm)	1차 와이어메쉬 설치 → 1차 슛크리트 타설(7cm) → 2차 와이어메쉬 설치 → 2차 슛크리트 타설(8cm)

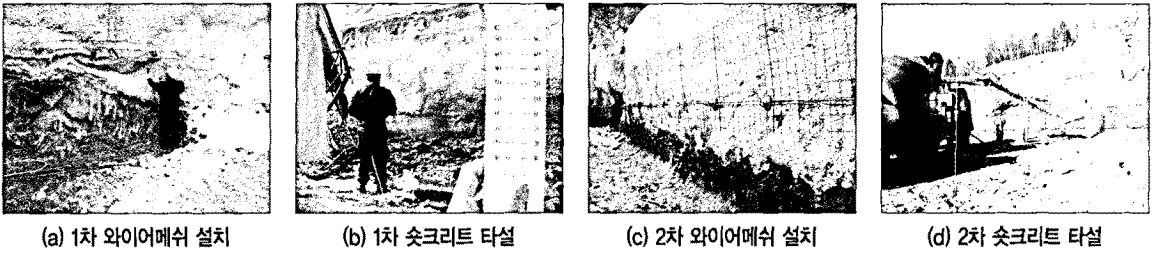
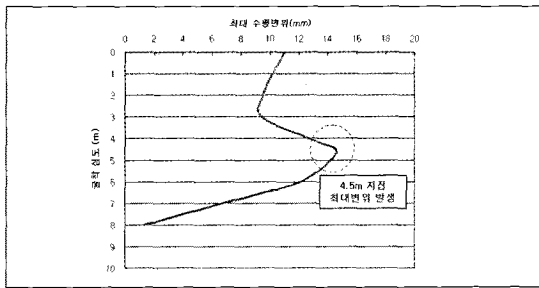
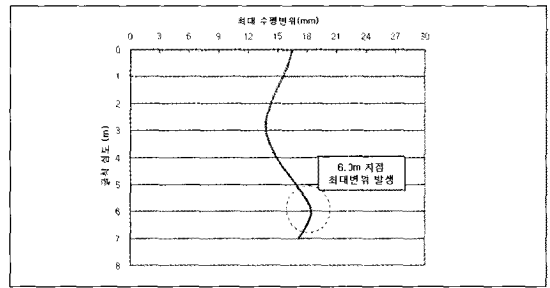


그림 7. 와이어메쉬 및 슛크리트 타설 전경

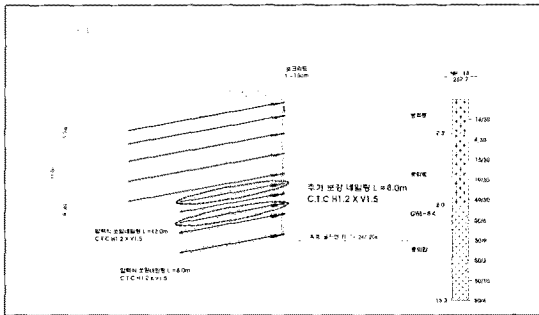


(a) 1-1 구간

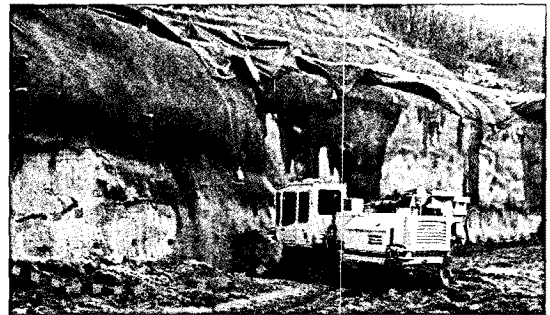


(b) 1-3 구간

그림 8. 최대변위 발생지점



(a) 보강 횡단면도



(b) 보강 전경

그림 9. 추가보강 횡단면도 및 전경

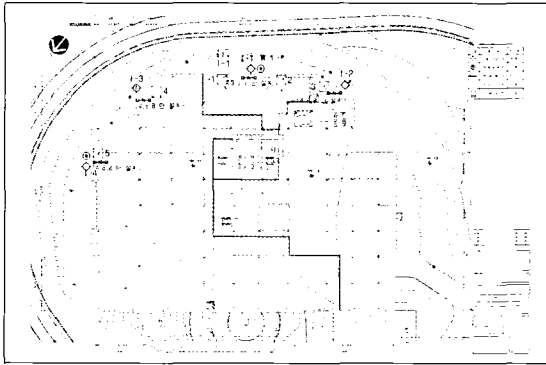


그림 10. 계측계획평면도(공장동구간)

### 3.3 변위 과다 발생

화강풍화토의 강도저하 또는 모암의 절리에 의하여 일부구간(I-1구간: 4.5m지점, I-3구간: 6.0m지점, 그림 8 참조)에서 변위가 많이 발생하였다.

변위가 수렴되지 않을 경우 가시설 벽체의 붕괴 발생

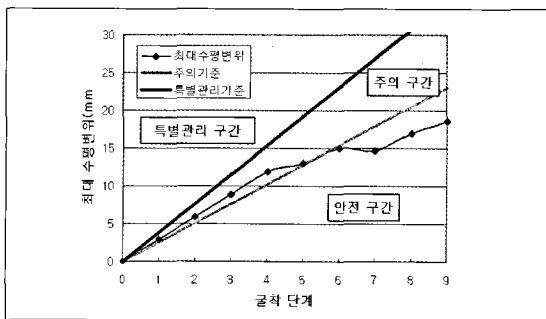
가능성이 있기 때문에 과다변위 발생구간에 대해서는 계측결과와 주기적인 분석 및 기존 설계된 네일링 사이에 추가 보강 쓰일네일링을 설치(그림 9 참조)하였다.

## 4. 계측 및 인발시험 결과분석

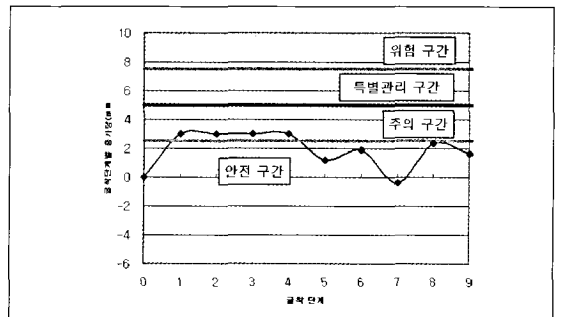
### 4.1 계측결과 분석

본 현장의 현장계측에서는 가시설의 거동을 분석을 위하여 그림 10과 같이 지중수평변위계, 지하수위계, 네일링 변형률계, 광파기타켓 및 건물경사계를 최대 굴착 지점, 우각부 및 각 굴착면 등 위험단면에 집중배치하였다. 가시설 굴착 시 지반의 거동을 분석하기 위하여 지중수평변위를 분석하였다.

수평변위 분석결과, 그림 11 및 12에 나타난 바와 같이 4 단 굴착 시까지 변위증가량이 일정 또는 증가하는 양상을

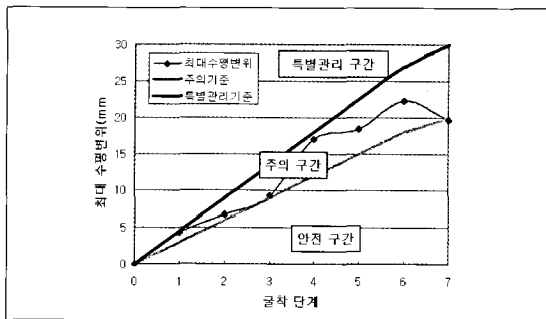


(a) 최대 수평변위 분석

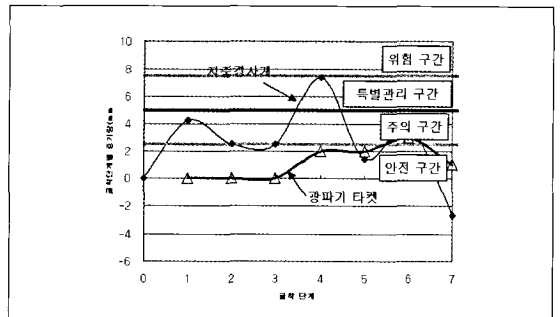


(b) 굴착 단계별 변위 증가량 분석

그림 11. 지중수평변위 분석(I-1)



(a) 최대 수평변위 분석



(b) 굴착 단계별 변위 증가량 분석

그림 12. 지중수평변위 분석(I-3)

나타낸 후 점차적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. I-1 지점의 경우 초기 굴착 시, I-3 지점의 경우 초기 및 4단 굴착 시 과다한 변위가 발생하였다. 특히, I-3 지점의 경우 배후에 지하수막이 통과하여 점토층이 나타나 변위가 급격히 발생하여 특별관리구간에 근접하였다. 그러나 두 지점 모두 4단 굴착 이후 변위증가량이 감소하여 점차적으로 수렴하는 경향을 나타내고 있다.

이는 본 지점에 과다변위가 발생하여 기존 설계된 네일링 사이에 추가 보강 쏘일네일링을 조속히 설치함으로 인해 지반내 네일링으로 인한 아칭효과로 수평방향으로의 안정성이 향상됨으로써 나타난 결과이다. 또한, 각 구간별

최대 수평변위는 각각 18.55mm, 19.67mm로 0.002H 이 내이다.

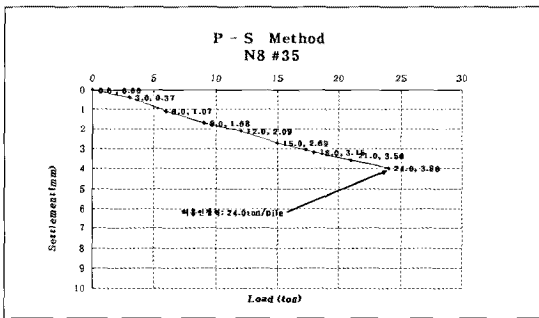
이는 기존 H-Pile 흠막이 벽체의 허용수평변위 0.002~0.005H (Clough, 1990)의 최소값으로 기존 H-Pile 흠막이벽체보다 수평변위억제에 효과적이라는 것을 알 수 있다.

### 4.2 인발시험 결과

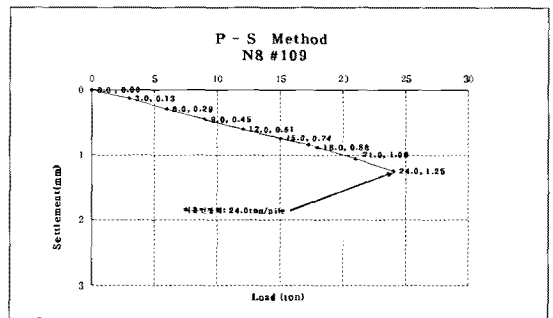
본 현장에 시공된 압력식 쏘일네일링의 시공상태 적합 정도를 판단하기 위하여 인발시험을 실시하였으며, 그 결

표 5. 인발시험결과

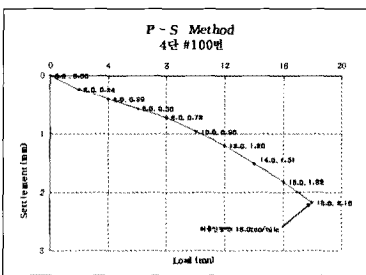
위 치	설치 지층	네일 길이	최대시험하중 작용시		설계인장력(ton)	허용인장력(ton)	비 고
			작용하중(ton)	발생변위(mm)			
NO.35	풍화토	L=8.0m	24.0	3.96	17.34	18	O.K
NO.109	풍화토	L=8.0m	24.0	1.25	17.34	18	O.K
NO.100	풍화토	L=12.0m	18.0	2.16	17.34	18	O.K
NO.110	풍화토	L=12.0m	18.0	2.93	17.34	18	O.K
NO.120	풍화토	L=12.0m	18.0	0.98	17.34	18	O.K



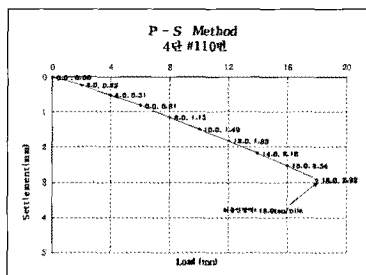
(a) NO.35



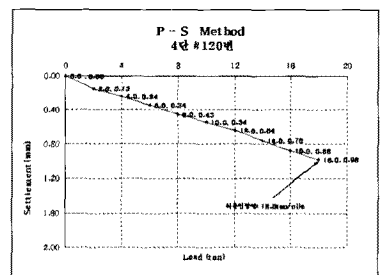
(b) NO.109



(c) NO.100



(d) NO.110



(e) NO.120

그림 13. 인발시험결과

과는 표 5 및 그림 13에 나타나 있다.

인발시험 결과, 허용인장력인 18ton 이상 최대 인발하중을 작용하여도 하중-침하곡선은 선형으로 탄성범위 이내에 있으므로 네일링의 시공상태는 적합한 것으로 나타났다. 특히, No.35 및 No.109 지점의 경우 시험하중 24ton까지도 탄성곡선 범위 내에 있는 것으로 나타나 압력식 쏘일네일링의 지반보강능력이 우수함을 알 수 있다.

## 5. 품질관리현황

본 현장의 압력식 쏘일네일링 시공은 동절기 공사로 자재 및 시공 품질관리에 특히 주의를 기울여 시공하였다. 품질관리 항목은 슛크리트, 그라우트 및 발포우레탄 품질

관리로 구분되며, 각각에 대한 관리기준 및 품질관리 현황은 표 7에 나타난 바와 같다.

### 5.1 슛크리트 품질관리

스�크리트 품질관리는 자재, 타설, 양생 및 강도 품질관리로 구분된다. 각각에 대한 관리기준에 준하여 그림 14~그림 17에 나타난 바와 같이 실시하였으며, 공기압식 핀관입시험결과(표 6 참조) 재령강도대비 100~160%로서 슛크리트의 강도는 충분히 확보되는 것으로 나타났다.

### 5.2 그라우트 품질관리

그라우트 품질관리는 배합, 강도 및 동절기 품질관리로

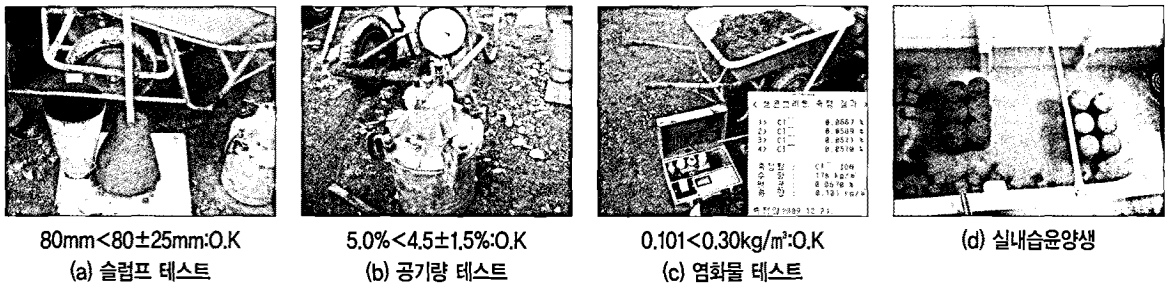


그림 14. 자재관리(현장반입시험)

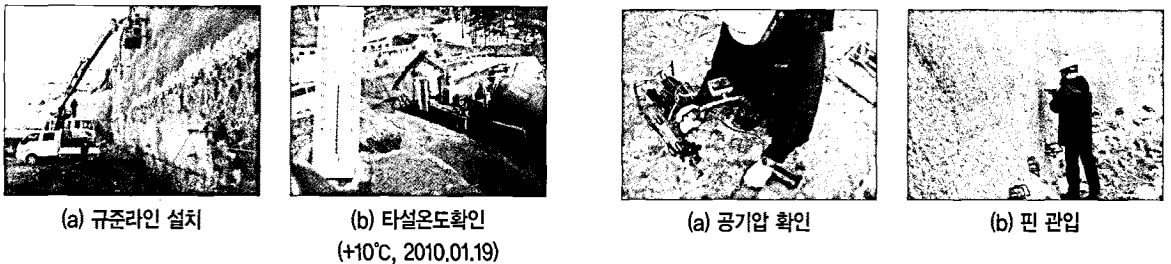


그림 15. 타설관리



그림 16. 양생관리(방풍막설치및열용기가동)

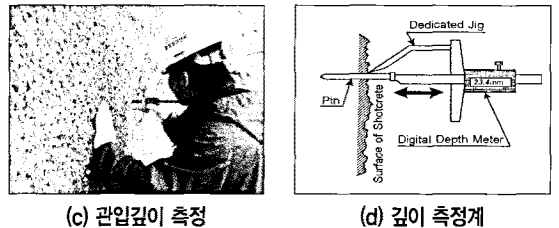


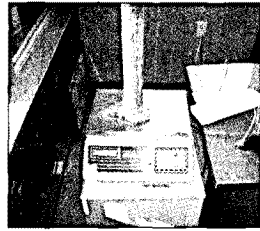
그림 17. 강도관리 : 공기압식 핀관입시험  
(회수 : 10회 이상, 간격 : 70mm 이상)



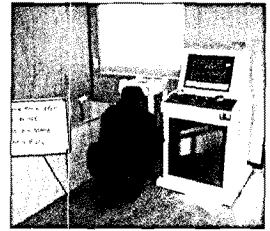
표 6. 공기압식 핀관입시험 결과

구분		No.1-1	No.1-2	No.2
타 설	위치	공장동 정면		공장동 좌측
	일자	2009.12.24		2010.02.02
	기온	+6°C		+0°C
시험	일자	2009.12.29	2010.01.07	2010.02.08
	기온	-9°C	-7°C	+6°C
	재령(일)	5	14	6
공기압 (MPa)		1.50~1.54	1.50~1.53	1.50~1.54
핀 관입깊이 (mm)	측정치	36.5	23.2	18.0
		46.0	23.2	23.2
		44.0	24.1	31.2
		41.2	26.9	29.6
		43.9	29.3	28.8
		51.5	29.3	34.4
		35.3	26.3	16.7
		41.8	26.8	24.4
		44.5	24.3	29.9
	42.0	23.7	26.9	
평균치	42.7	25.7	26.3	
압축강도(MPa)		15.2	26.1	25.7
재령강도(MPa)		$f_5=15.2$	$f_{14}=19.4$	$f_6=16.1$
재령강도 대비		100%	135%	160%

3회에 걸쳐 시험한 결과, 재령강도 대비 100~160%로써 슛크리트의 강도는 충분히 확보함



1.95 이상 : O.K  
(a) 비중 테스트



$f_2 = 234$  /  $f_{28} = 180 \text{ kgf/cm}^2$  : O.K  
(b) 압축강도시험

그림 18. 그라우트 관리

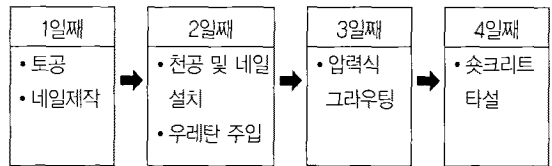
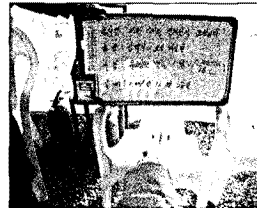
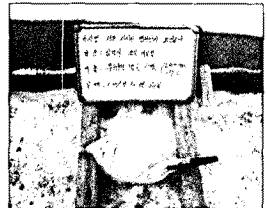


그림 19. 시공 cycle



(a) 실내발포시험



(b) 실외발포시험

그림 20. 우레탄 발포시험(2시간경과후)

구분되며, 그림 18에 나타난 바와 같이 비중 및 압축강도 시험을 수행하였다. 본 현장의 물-시멘트비는 50%이나 그라우팅 품질 향상 및 네일링 인발저항력 증가를 위해 41.7%(비중 1.930)로 관리하였으며, 혼합수를 가열하여 온도관리를 수행하였다. 또한, 초기 고강도 발현을 위해 그라우트 혼화재(Geo-Fix)를 사용하였으며, 일반적으로 Geo-Fix, 1P 대신 Geo-Fix, 5P를 사용함으로써 연속시공을 가능케하고 공기단축을 도모할 수 있었다.

### 5.3 발포우레탄 품질관리

발포우레탄 품질관리는 우레탄 주입량, 시공 cycle 및 패커 밀폐성을 확인하였다.

본 현장의 시공 cycle은 우레탄 주입 후 압력식 그라우팅까지 최소12시간 이상 확보(그림 20 참조)가 되어 시방 기준에 부합되었으며 유량압력계 확인 결과 발포우레탄 패커불량에 의한 감압현상은 나타나지 않았다. 또한, 동절기 공사임을 고려하여 그림 21과 같이 실내외에서 발포시험을 수행하여 발포우레탄에 대한 현장적용성을 확인한 결과 실외의 경우 실내 발포량의 80% 정도로 나타나 주입 시간을 당초 60초에서 80초로 늘려 주입량을 증가시켰다.

## 6. 결 론

화강풍화토 지반에 시공된 압력식 쏘일네일링에 대한

표 7. 관리기준 및 품질관리현황

구 분	관리기준 (시방기준)	품질관리 현황
숏크리트	자재 품질 관리 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 자재반입 시 배합보고서 검토</li> <li>• 현장반입 시 시험 수행</li> <li>• 반입자재 강도시험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자재반입 시 마다 배합보고서 수령, 검토</li> <li>• 현장반입시험(슬럼프, 공기량, 염화물 테스트) 실시</li> <li>• 공시체를 실내, 습윤양생하여 압축강도시험수행</li> </ul>
	타설 관리 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 설계도면에 따라 분할타설 두께 준수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 네일링 철근을 기준으로 규준리인을 설치하여 타설두께 관리</li> <li>• 영상의 기온에서 숏크리트 타설 수행</li> </ul>
	양생 관리 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 초기양생 종료 시 소요압축강도 : 5MPa</li> <li>• 초기양생 시간 : 10시간</li> <li>• 초기양생시 콘크리트온도 : 10℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방풍막 및 열풍기를 이용한 보온양생 수행</li> <li>• 재령 10시간 강도가 5MPa 미만일 경우 보온양생 시간 연장</li> </ul>
	강도 관리 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 숏크리트 재령 강도</li> <li>- 1일 : 10MPa, 7일 : 16MPa, 28일 : 21MPa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공기압식 핀관입시험법으로 강도관리 수행</li> </ul>
그라우트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 그라우트 혼합시 물-시멘트비는 45~55%를 기준</li> <li>• 그라우트는 균질한 점성을 갖도록 배합</li> <li>• 그라우트의 28일 강도가 180kg/cm<sup>2</sup> 이상 확보</li> <li>• 동절기 그라우트 대책 수립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비중 테스트로 물-시멘트비 관리</li> <li>• 배합탱크 2개를 교차운용, 지속적으로 배합, 배출</li> <li>• 압축강도시험 수행, 순환재 품질 상황 도모</li> <li>• 가열한 혼합수 사용</li> </ul>
발포 우레탄	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주재 0.75ℓ, 경화제 0.75ℓ (총 1.5ℓ, 60초) 주입</li> <li>• 우레탄 주입 후 6시간 후 그라우팅을 실시</li> <li>• 패커는 그라우팅압력(5~10kg/cm<sup>2</sup>)을 충분히 밀폐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동절기를 고려 우레탄 주입량 증가 (60초-80초)</li> <li>• 우레탄 주입 후 최소 12시간이상 확보</li> <li>• 유량압력계 운용으로 그라우팅 압력 관리</li> </ul>

현장계측 및 인발시험결과를 통하여 압력식 쏘일네일링 가시설 벽체의 거동에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 본 현장에서 압력식 쏘일네일링 시공 전·후 발생한 문제점들에 대한 대책공법을 실시한 결과 가시설 흠막이 벽체의 안정성을 확보할 수 있었다. 시공 중 이상징후 발생 시 이에 대한 신속한 대처가 중요함을 감안하면 압력식 쏘일네일링의 시공중 이상징후에 대한 신속한 조치로 그 대처능력이 우수함을 알 수 있다.
- (2) 현장 계측데이터를 분석한 결과 압력식 쏘일네일링 흠막이벽체의 최대 수평변위는 최대굴착깊이의 0.2% 이내이며 이는 기존 H-Pile 흠막이 벽체의 허용수평변위 0.002~0.005H(Clough, 1990)의 최소 값으로 쏘일네일링 흠막이 벽체가 기존 H-Pile 흠막이벽체보다 수평변위억제에 효과적이다.
- (3) 4단 굴착시까지 수평변위증가량이 일정 또는 증가

하는 양상을 나타내고 있으나 4단 굴착 이후 추가 보강 쏘일네일링을 시공함으로써 변위증가량이 감소하여 점차적으로 수렴하는 경향을 나타내고 있다. 이는 추가 보강 쏘일네일링으로 인한 아칭효과로 수평방향으로의 안정성이 향상됨으로써 나타난 결과이다.

- (4) 압력식 쏘일네일링에 대한 인발시험결과 허용인장력인 18ton 이상 최대 인발하중을 작용하여도 하중-침하곡선은 선형으로 탄성범위 이내에 있으며, 24ton까지도 탄성곡선 범위 내에 있는 것으로 나타나 압력식 쏘일네일링의 지반보강능력이 우수함을 알 수 있다.
- (5) 본 현장의 압력식 쏘일네일링 시공은 동절기 공사로 자재 및 시공 품질관리에 특히 주의를 기울여 시공하였다. 품질관리 항목은 숏크리트, 그라우트 및 발포우레탄 품질관리로 구분하여 각각에 대한 관리 기준에 준하여 재료 및 시공방법을 결정하였다.

## 참 고 문 헌

1. 도담E&C(2005) "발포우레탄 패커를 이용한 압력식 쏘일네일링 공법" 신기술 지정 신청서
2. 김홍택(2001), "Soil Nailing 공법의 과거, 현재, 미래", 도서출판 평문각
3. 전성곤(1999), "단계별 굴착시 쏘일네일링 벽체의 변위와 네일의 인장력 분석", 한국지반공학회논문집, 15권 6호, pp. 72~86
4. 김종수, 최혁, 전진규, 이승(2001) "쏘일네일링을 이용한 굴착토류벽의 거동 분석", 한국지반환경공학회 논문집, 2권 2호 pp. 23~32
5. 홍원표, 윤종만, 송영석, 공준현(2001) "깊은 굴착시 쏘일네일링 흠막이벽의 변형거동", 대한토목학회 논문집, 21권 2-C호, pp.141~150
6. 김홍택, 강인규, 권영호, 박사삼(1998), "압력분사 그라우트 유효경 평가기법 및 실내모형실험"
7. 홍상욱(2009), "압력식 쏘일네일링을 이용한 토사지반의 흠막이 벽체 설계 및 시공사례 연구", 성균관대학교, 석사학위논문.
8. Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K. & Elias, V.(1990) "Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures", Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1
9. Juran, I. & Elias, V.(1992) "Soil nailed retaining structures: Analysis of case histories", Geotechnical Special Publication, ASCE, No. 12, New York

