

친환경고압분사공법(Non Pollution Jet Grouting Method)의 적용 및 평가



유용선
지오텍엔지니어링(주) 이사
(sunnyryuys@naver.com)



송영수
지오텍엔지니어링(주) 대표이사

1. 서론

각종 산업 발달과 인구 도시 집중화에 의한 S.O.C 사업의 증가로 인하여 각종 토목 공사는 지반 여건이 열악한 지역에서 실시되고 있는 경우가 증가하고 있다. 또한 대형 구조물 건설이 증가함에 따라 안정된 지반 지내력이 요구되고 있는 실정이다. 이에 연약한 지반의 보강 및 차수성을 증대하기 위하여 여러 공법들이 개발, 적용되어 오고 있다. 그 중 고압 분사 주입 공법은 초고압 분류수의 강력한 운동에너지에 의해 지반을 절삭하고, 절삭된 토립자를 지표면으로 배출시키면서 원지반을 시멘트 등의 경화재로 치환하는 공법으로써, 지반 보강 효과가 크고 적용 대상 지반의 범위가 넓어 광범위하게 적용되고 있다.

현재 사용되고 있는 고압 분사 주입 공법의 특징은 시멘트를 물과 적절히 혼합하여, 이를 주경화재로 사용하며, 지반에 200~400kgf/cm²의 고압으로 분사, 지중의 흙과 시멘트가 혼합된 고결체를 형성하여 지반의 지내력을 보강하는 목적으로 사용되고 있다. 그러나 지반 내에

지하수가 존재하거나 보강하고자 하는 부위가 공동이 존재하는 경우 시멘트만을 주입재로 사용하게 되면 경화시간이 길어져서 시멘트가 지하수에 의해 희석되거나, 공동 부위로 흘러 들어가 지반에 있는 공동과 틈을 따라 보강하고자 하는 부위 외에 다른 지역으로 주입재가 유실되는 경우가 발생하게 된다. 이러한 경우, 주입재인 시멘트는 강염기성으로서 지하수 pH 수치를 증가시켜 오염을 발생시킬 수 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 다음과 같은 특징을 갖는 공법을 개발하게 되었다.

- 1) 수중불분리성 : 주입재료가 지하수에 의해 희석되지 않아 지하수가 있는 지반에서도 우수한 지반개량 효과가 가능
- 2) 환경오염저감 : pH 증가가 적고, Cr⁶⁺의 용출이 없음
- 3) 가소성 발취 : 지하 공동 부위에서도 주입재료가 유실되지 않아 효과적인 지반개량이 가능
- 4) 무수축성 : 높은 물-시멘트비를 사용하여도 경화 후 수축이 발생되지 않아 안정적인 보강 및 차수성능 발휘

2. 친환경 고압분사 공법

2.1 공법특성

본 공법은 고압분사공법으로 특수제작된 3중관 노즐로부터 친환경시멘트와 가소화제를 고압으로 분사, 교반, 혼합하여 대단면의 개량체를 형성시킴으로써, 차수 및 지반보강이 가능한 친환경 고압지반 개량공법이다.

친환경시멘트는 물과 혼합하여 형성된 $Ca(OH)_2$ 수화물이 가소화제와 반응하여 가소성 및 점성을 부여하며, 가소화제는 특수음이온계 계면활성제를 주성분으로 한 수용성 아크릴계 폴리머로서 효과적인 가소성 발현과 시멘트 수화에 따른 pH상승을 저감시키는 재료로 친환경 시멘트의 수화물과 반응하여 침상의 에트링자이트를 생성하여 내구성, 수밀성, 가소성이 발현된다.

2.2 시공방법

그림 1과 같다.

3. 친환경 고압분사 공법의 시공방법

1) 천 공

지반개량이 필요한 위치에 JETTING MACHINE의 이동, 설치가 완료되면 청수를 압송시켜 계획 심도까지 천공한다.

2) 천공 완료

계획 심도까지 천공이 완료되면 JETTING MACHINE의 TIMER를 조절하여 ROD의 회전도를 소정의 회전수에 맞추어 분사준비를 완료한다.

3) 분사

작업수를 현탁액으로 바꾸고 고압펌프의 모터회전수를 조절하여 주입압을 상승시킨다. 주입압이 $50kg/cm^2$ 에 달하면 N.J.V내에 장착된 WATER GUIDE SPRING부분이 폐쇄되어 주입액 분사구(구경 2.5~3m/m)로 분사가 개시되면서 $400kg/cm^2$ 가 될 때 까지 조절한 상태에서 분사를 개시한다.

4) 분사 및 인발

ROD를 저속으로 회전시키면서 1회전(10.5~13.5sec) 분사 후 주입력이 $400kg/cm^2$ 일 때 4.0cm씩 상승하면서 계획된 주입상한선까지 시공한다.

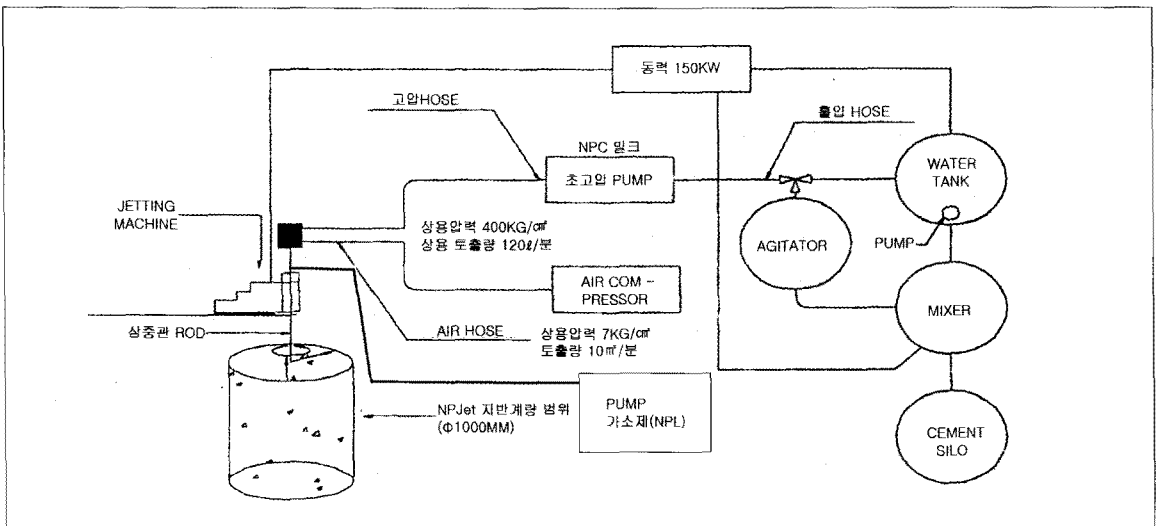


그림 1. NPJet 공법 장비 구성 및 배치도

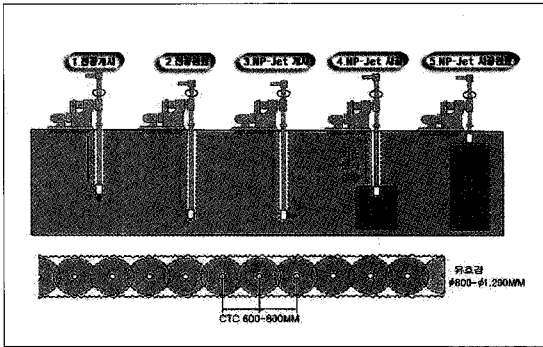


그림 2. NPJet 공법 시공순서도

당 현장은 주입압력이 400kg/cm²를 적용하여 분당토출량 120L/min이상을 분사한다.

5) 분사완료

주입 상한선까지 주입이 완료되면 N.J.V를 인발하여 작업수를 압송시켜 ROD 및 N.J.V내부를 청소한 후 다음 위치로 이동한다.

6) 이토처리

이토처리는 작업장내 이토를 모아 건조시킨 후 지정된 사토장에 처리한다.

3.1 사용재료의 특성

친환경고압분사공법(Non Polluton Jet Grouting Method)은 친환경 시멘트와 가소화제로 구성되어 있으며, 친환경시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트에 특성 개선재가 첨가된 혼합시멘트로 용도, 시공 장소에 따라 배합의 설정(강도, 단위용적질량의 조정 등)이 가능하다.

1) 친환경시멘트 물리적 특징

표 1과 같다.

2) 가소화제 물리적 특징

표 2와 같다.

3.2 친환경 고압분사 주입재의 특성

1) 주입재의 수화반응 기구

그림 3과 같다.

2) 수중불분리성 및 현탁물질 발생량

효과확인을 위해 물(100리터)의 수조 속에 사다리꼴 모양(직경50×70×40mm)의 시료를 시험하였다.

표 1. 친환경시멘트 물리적 특징

시험항목		단위	시험결과	시험방법
분말도(비표면적)		cm ² /g	3,102	KS L 5201-06
응결시간 (비카트침)	초결	분	180	
	종결	시간분	6:50	
압축강도	3일	N/mm ²	24.1	
	7일	N/mm ²	31.8	
	28일	N/mm ²	43.7	
비 중		g/cm ³	2.99	

표 2. 가소화제 물리적 특징

시험항목		단위	시험결과	시험방법
점 도(23)		mPa.s	5.88	KS M ISO 2555-02
비중(비중계법)		-	1.035	KS A 0601-06
pH(23)		-	2.53	KS M 0011-08
색상		-	Milky White	-

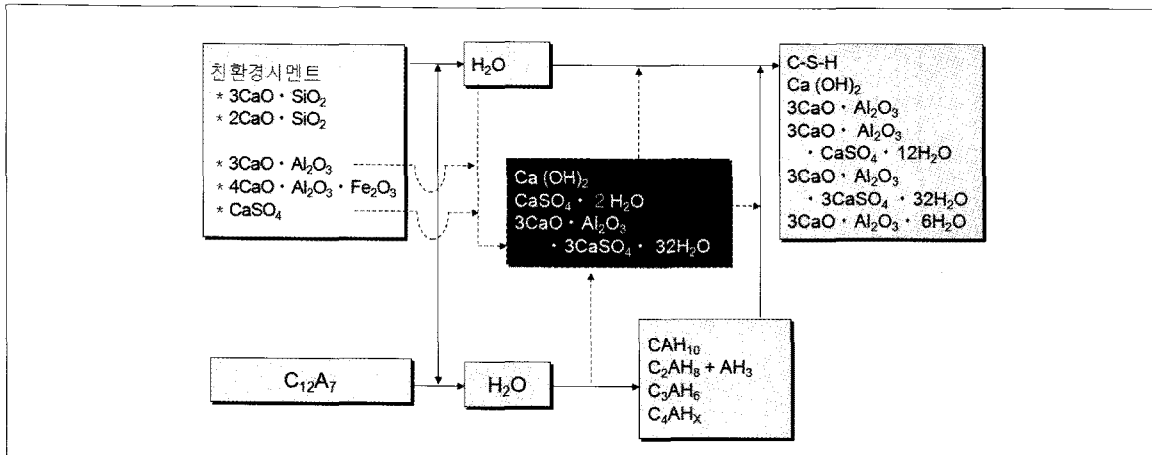


그림 3. 주입재의 수화반응 기구

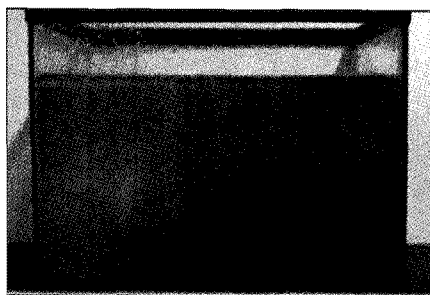


그림 4. 일반 시멘트의 수중불분리성 시험



그림 5. 친환경 시멘트의 수중불분리

표 3. 주입재의 경과 시간별 오염 정도

항목	시료 종류	경과 시간						
		시험전	직 후	5분 후	10분 후	20분 후	40분 후	60분 후
탁도 및 오염정도	일반시멘트 주입재	-	오염	오염	오염	오염	오염	오염
	친환경시멘트 주입재	-	양호	양호	양호	양호	양호	양호

표 4. 친환경 고압분사에 사용되는 주입재의 현탁물질 및 Cr⁶⁺ 발생량

구분	단위	시험 결과	시험검사 방법
현탁물질 발생량	mg/Liter	18	KS L 4009-06
Cr ⁶⁺	mg/Liter	검출안됨	폐기물공정시험기준(환경부고시 제2008-96호)

표 5. 주입재의 경과시간별 pH 변화 측정

항목	시료 종류	경과 시간						
		시험전	직 후	30분	60분	120분	180분	240분
pH	일반 시멘트	7.60	11.69	12.50	12.50	12.50	12.83	12.84
	NPJet 주입재	7.60	8.07	8.37	8.43	8.58	8.70	8.82

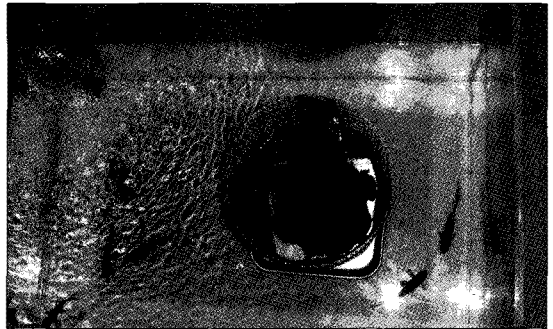
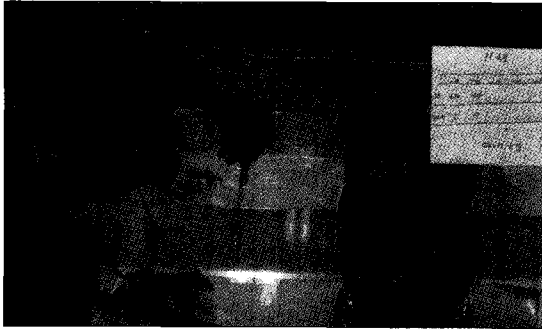


그림 6. pH측정 시험

표 6. 친환경 고압분사 주입재의 물리적 성능

시험 항목	단 위	시험 결과	시험 방법
최종블리딩율	%	0.0	KS F 2433-06
팽창율	%	0.0	
일축압축강도(28일)	N/mm ²	9.3	KS L 5105-07

3) pH 변화

물(100리터) 수조에 굳지 않은 주입재를 넣어 pH 변화 및 Cr⁶⁺ 검출량을 측정하였다.

4) 친환경주입재의 물리적 성능

친환경 고압분사에 사용되는 주입재는 블리딩이 발생이 되지 않으며, 무수축성으로 팽창, 수축이 발생되지 않는 특징이 있다.

4. 친환경 고압분사 공법 시공사례

1) 공사명

낙동강 000 건설공사 현장 중 가물막이 친환경 고압분사 그라우팅 공사

2) 시공목적 및 개요

가물막이의 차수보강을 목적으로 상류와 하류의 가물

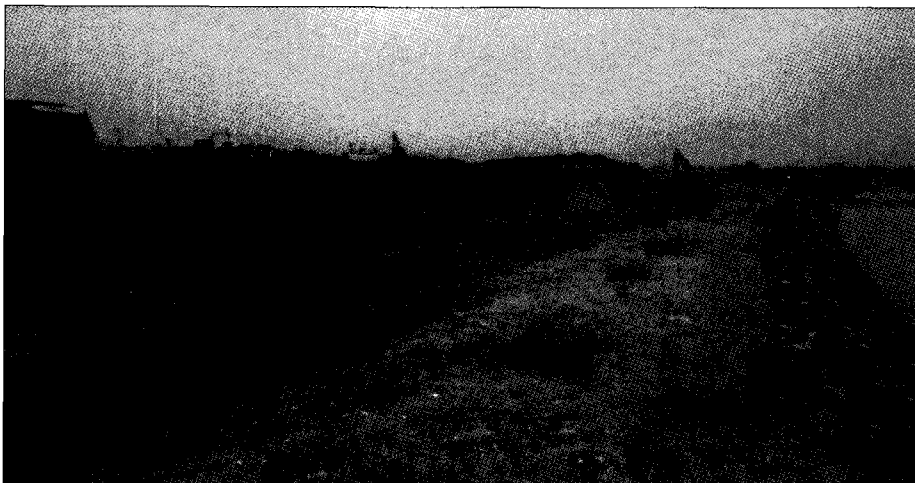


그림 7. 친환경 고압분사 그라우팅 공사 현장 전경

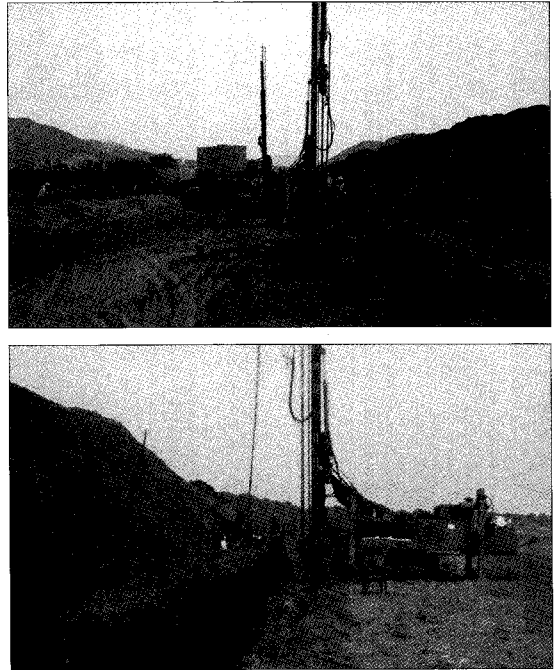
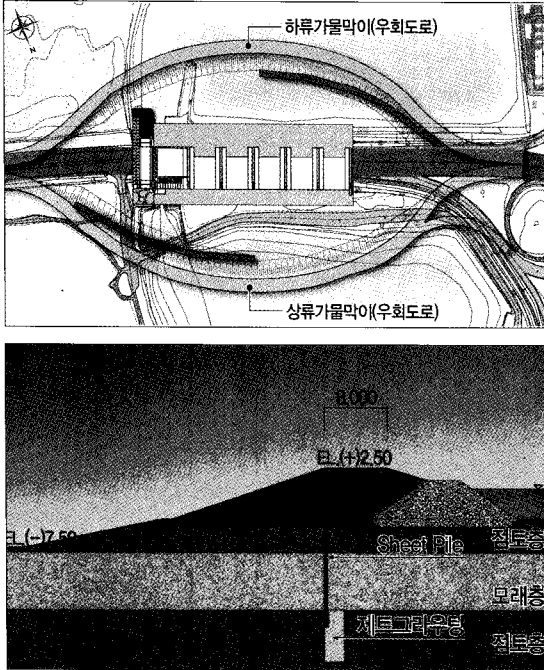


그림 8. 친환경 고압분사 공법의 시공 및 개요

막이를 위해 C.T.C 800mm로 하여, 근입된 sheet pile 선단을 기준으로 상단으로 2m, 하단으로 4m을 본 공법을 적용하고 있다. 적용 현장의 지반 조건은 낙동강 하구와 바다가 만나는 지역으로 점토층, 모래층, 점토층으로 구성되어 있으며, 모래층과 점토층의 경계면과 sheet pile 하단 점토층까지 친환경 고압분사 공법이 적용되었다.

3) 그라우팅 재료의 현장 품질 기준

① 친환경 시멘트의 품질기준(표 7)

표 7. 친환경 시멘트의 품질기준

항 목	기 준	시 험 방 법
분말도(cm^2/g)	3,000 이상	KS L 5106
비중	2.90 이상	KS L 5110
일축압축강도 (N/mm^2)	3일	10 이상
	7일	18 이상
	28일	25 이상
응결 (길모아시험)	초결(분)	60 이상
	종결(시간)	10 이하

② 친환경 고압분사에 사용되는 가스제의 품질기준 (표 8)

③ 친환경 고압분사 공법인 NPJet에 적용되는 표준 배합비는 표 9와 같으며, 목표하는 물성의 변경이 필요할 경우, 시험을 통해 성능을 확인한 후 배합비를 변경하여 사용할 수 있다.

표 8. 친환경 고압분사에 사용되는 가스제의 품질기준

항 목	기 준	비 고
점 도	max. 200 cps	회전식 점도계
비 중	1.0 이상	비중계법
색 상	Milky White	육안확인
pH	4.0 ± 1.5	

표 9. 1m³ 표준 배합비

(단위 : kg)

NPC(친환경 시멘트) 밀크		NPL(가스제) 액상	
NPC (친환경 시멘트)	혼합수	NPL(가스제)	혼합수
760	647	6	94

표 10. 친환경 시멘트 밀크와 가소화제가 표준 배합으로 혼합된 주입재의 품질 기준

항 목	품질기준	비 고
블리딩율	3% 이내	
수축율	3% 이내	
일축압축강도	6.0 N/mm ² 이상	28일 기준, KS L 5105
pH 증가율	2.0 이내	
탁도	50 이하	
Cr ⁶⁺ 용출 농도	0.05mg/리터 이내	수질환경 기준

④ 친환경 시멘트 밀크와 가소화제가 표준 배합으로 혼합된 주입재의 품질 기준은 표 10과 같다.

4) 시공 결과

① 친환경성능 평가

상기 현장에서 요구하는 주입재료의 성능(pH 증가율, 탁도, Cr⁶⁺ 용출 농도 등)은 시공 전 및 시공 중에 수차례의 확인 시험을 통해 요구되는 성능을 만족하고 있는 것으로 확인 되었다.

② 시공 성능 평가

구근 확인은 구근 형성 중첩 부위에 현장 시료 채취를 통해서 확인 하였으며, 확인 결과 구근 형성이 목적인 부위에 양호하게 형성된 것으로 확인 되었다.

③ 이토(slim)발생 현황

당 공법의 재료 특성 중 가소성능으로 인하여 현재까지 이토 발생총량은 사용 시멘트 대비 약 36.9%(사용 시멘트 량 1,040톤 대비, 이토 발생량 408톤)로 일반적인 고압 분사 공법에서 발생 예상되는 사용 시멘트의 70~80%에 대비하여 약 47.2~53.9% 정도 이토 발생량이 감소한 것으로 확인되었다.

5. 결론

친환경 고압분사공법(Non Pollution Jet Grouting Method)은 국내 독자적인 기술로 개발된 공법으로, 수중

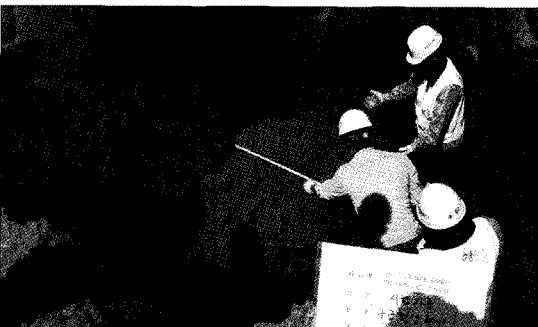
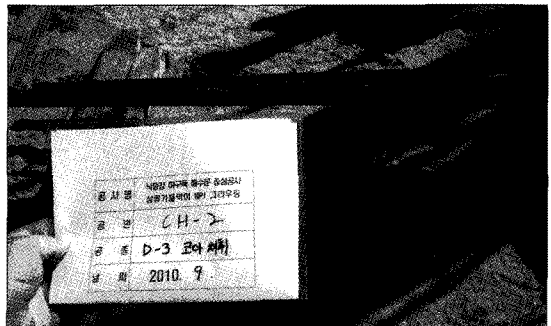
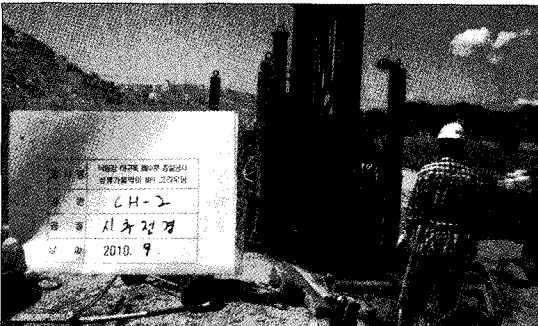


그림 9. 친환경 고압공법의 시공 성능 평가

불분리성(수중에서 주입재가 유실되지 않는 특성)이 발현되어 지하수로 인한 주입재료의 유실을 방지하기 위한 목적으로 사용될 수 있으며, 가소성의 발현으로 목표하는 한정된 부위의 보강이 가능하다. 또한, 지반내에서 pH 증가가 크지 않고, Cl^{-} 등 유해물질이 용출이 되지 않는 친환경적인 고압분사공법으로 향후 차수 및 보강을 목적으로 하는 현장에 다양하게 적용될 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 천병식, 김진춘(1998a), "어독성 시험에 의한 지반주입재의 공해성 평가", 대한토목학회논문집, 제 18권, 제 III-4호, pp.531~538.
2. 천병식, 김진춘(1998b), "지반주입재의 공해성 평가에 관한 연구", 1998년도 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp.321~326.
3. 천병식(2005), 최신 지반주입 이론과 실제, 원기술, p.23, pp.32~33, pp.169~170.
4. 한국표준협회(1993), KS M 0111, 공장폐수 시험방법.
5. 한국표준협회(2000), KS F 2314, 흙의 일축압축 시험방법.
6. 한국표준협회(2006), KS F 2433, 주입 모르타르의 블리딩률 및 팽창률 시험방법
7. 한국표준협회(2007), KS L 5105, 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법

한국지반공학회 터널기술위원회 계속교육 안내

일 시 : 2011. 2. 23(수)~24(목)(2일간)

시 간 : 09:30 ~ 17:00

장 소 : 한국교원단체총연합회(서울 우면동 소재)

교육주제 : 터널의 환기와 방재

주 최 : 터널기술위원회

접 수 : 120명 선착순

교육비 : 12만원(회원), 15만원(비회원) (중식 및 교재 제공)

프로그램 : 준비 중(상세 프로그램은 12월 지반지에 광고 예정)