

압력식 Soil Nailing의 그라우트와 패커에 관한 특성시험



정경한
(주)도담E&C 터널부 상무
(jkh@dodamenc.co.kr)



이경용
(주)도담E&C
건설사업부 이사



최정협
(주)도담E&C
터널부 사원



김근수
(주)도담E&C
터널부 대리

1. 서론

전 국토의 70~80%가 산지로 이루어진 우리나라의 지형적 특성상 산지개발에 의한 비탈면의 발생은 필연적이다. 개발에 의한 비탈면 증가로 비탈면 안정공법에 관한 관심도가 높아지고 있다. 다양한 비탈면 안정화 공법중 시공성과 경제성을 고려할 때 다른 공법에 비해 장점이 많은 쏘일네일링공법이 많이 적용되고 있다.

최근 쏘일네일링의 적용사례가 증가하였고, 기존 중력식 쏘일네일링 공법의 성능을 향상시키려는 연구 활동들이 활발히 수행되고 있다.

기존에 국내에서 보편적으로 사용되었던 중력식 쏘일네일링은 고결시간이 길고, 그라우트액이 서로 엉겨 잘 충전되지 않으며, 그라우트체의 수축현상이 발생한다. 이를 보완하기 위한 3~6회 정도의 반복적 그라우팅의 실시는 충전불량과 공동발생등의 그라

우트체의 품질에 관한 문제점을 나타낸다. 또한, 반복공정에 의해 시공성이 저하되고 공기가 길어진다.

이러한 특성을 보완한 “발포우레탄 패커를 이용한 압력식 쏘일네일링 공법”(건설신기술 제474호)은 네일두부에 발포우레탄 패커를 설치하여 네일 정착부를 완전히 밀폐하고, 압력 그라우팅(5~10kgf/cm²)을 실시하여, 구근의 유효직경 및 구근에 가해지는 유효응력을 증가시켜 중력식에 비하여 큰 인발저항

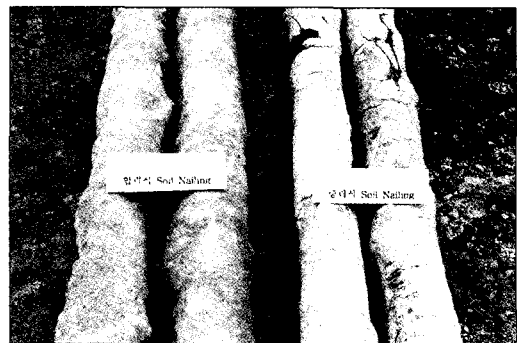


그림 1. 압력식과 중력식의 구근비교

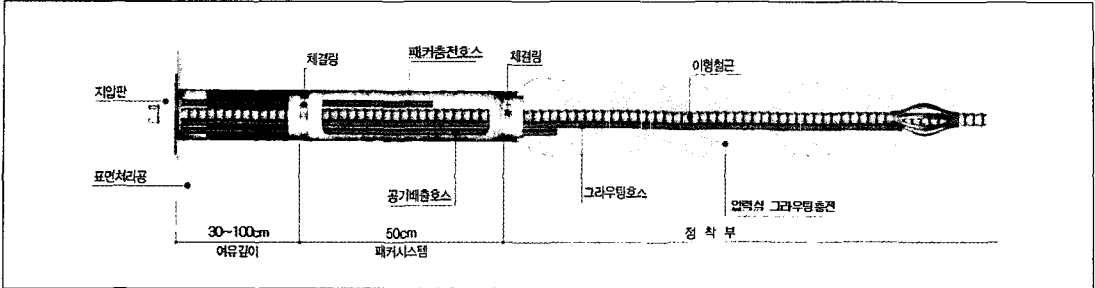


그림 2. 압력식 Soil Nailing공법의 개요도

력을 확보할 수 있다. 또한 압력으로 그라우팅을 실시하므로, 중력식에 비하여 구근의 품질이 뛰어나며, 공기단축이 가능하다.

이와 같은 장점으로 인하여 보강재의 설치개소를 감소시켜 전체적인 사면 보강에 있어 경제성을 확보할 수 있다

본 연구는 위 신기술의 구성요소인 그라우트와 패커에 관한 특성시험을 목적으로 한다.

그라우트체의 특성 확인을 위하여 w/c와 혼화제 첨가량의 변화에 따른 시멘트 밀크의 응결, 플로우 및 압축강도시험을 실시하였고, 압력 그라우팅 수행시 발생하는 주입압에 대한 패커의 정착력을 검증하기 위하여 발포우레탄 패커의 팽창압 시험을 실시하였다.

응결시험과 플로우시험은 강도발현시간과 workability 확보에 중요한 요소이며, w/c비와 혼화제의 혼합량에 따라 성질이 달라지기 때문에 현장에서 주로 사용하는 w/c비 45%를 기준으로 50%, 55%의 조건에서 혼화제를 각각 1%, 5%, 10%(시멘트 중량 기준)를 첨가하였을 경우에 대하여 시험을 수행하였다. 이를 바탕으로 기존의 쏘일네일링에서 적용하는 일반적인 혼합비가 아닌 압력식 쏘일네일링의 최적의 w/c비와 혼화제의 첨가량을 결정하도록 하였다. 같은 조건에서 w/c변화시에는 3, 7, 28, 90일에 대하여 압축강도의 변화를 검토하였으며, 혼화제 첨가량

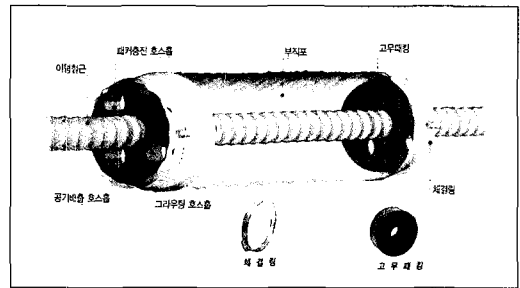


그림 3. 발포우레탄 패커의 개요도

변화시에는 초기강도를 검토하기 위하여 12, 24, 48 시간에 대하여 강도시험을 수행하였다.

압력식 쏘일네일링의 주요요소인 발포우레탄 패커는 경화하면서 체적이 증가하는 특성을 가지고 있으므로, 압력식 그라우팅시 패커에 가해지는 압력에 대하여 필요한 정착력을 확보할 수 있는 발포우레탄의 양을 구하기 위하여 용적율 50%, 75%, 100%에 대하여 시험을 수행하였다.

2. 시멘트 밀크 특성시험

본 시험은 압력식 쏘일네일링 공법의 시멘트 밀크 특성에 관련한 시험이다. 시멘트 밀크의 품질과 시공성을 결정하는데 있어 주요한 역할을 하는 요소인 응결시험, 플로우시험, 압축강도 시험을 수행하였

압력식 Soil Nailing의 그라우트와 패커에 관한 특성시험

표 1. 시멘트 밀크 특성시험의 조건

Type	W/C(%)	혼화제(%)	응결시험	플로우시험	압축강도시험
1	45	1	-	○	3일, 7일, 28일, 90일
	50	1	-	○	
	55	1	-	○	
2	45	1	○	○	12시간, 24시간, 48시간
	45	5	○	○	
	45	10	○	○	

다. 시험방법은 관련규정에 의거하여 수행하였다.

- ① 응결 시험 : KSL 5108
- ② 플로우 시험 : KSL 5109
- ③ 압축강도 시험 : KSL 5105

2.1 응결 시험

응결 시험은 그라우트의 성질파악을 위해 필수요소이다. 시험은 몰드에 정해진 배합으로 만들어진 그라우트에 프록터의 관입에 따른 저항치를 측정하는 방식으로 수행하였다. 일반적으로 응결의 초결시간은 관입저항치 1.0, 종결시간은 관입저항치 10.0을 기준으로 판단한다.

w/c를 45%로 고정된 후 혼화제의 종류별 응결 특성을 파악하기 위해 1, 5 및 10%로 혼화제를 변화하

여 시험을 실시하였다.

혼화제 1%에 비하여 5 및 10%의 혼화제를 사용할 경우 초결은 약 130~190분 정도 단축시킬 수 있으며, 종결은 약 120~200분 정도 단축되는 것으로 나타났다.

혼화제의 첨가량이 많아질수록 응결시간이 짧아지나, 응결시간은 시공의 용이성과 관계된 요소이므로 경제성을 고려하여 시공성을 확보할 수 있는 첨가량을 결정해야 한다.

2.2 플로우 시험

플로우 시험은 workability를 측정하는 시험중에 하나이다. 시험방법은 흐름판의 중앙에 금속제 콘을 놓고 콘크리트를 2등분하여 넣고 다짐후에 연직으

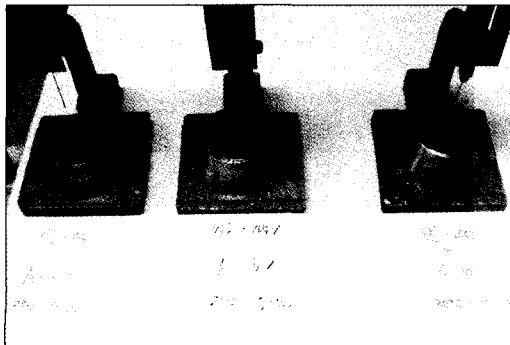


그림 4. 응결 시험

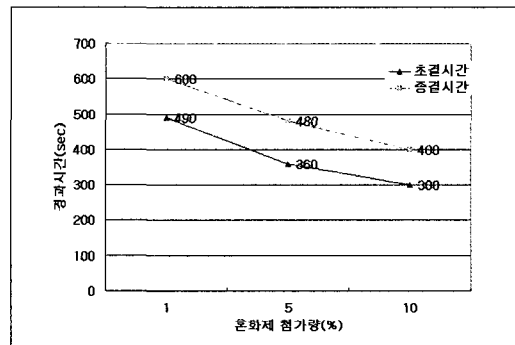


그림 5. 응결 시험 결과 (혼화제 첨가량 변화 - w/c 45%고정)



그림 6. 플로우 시험

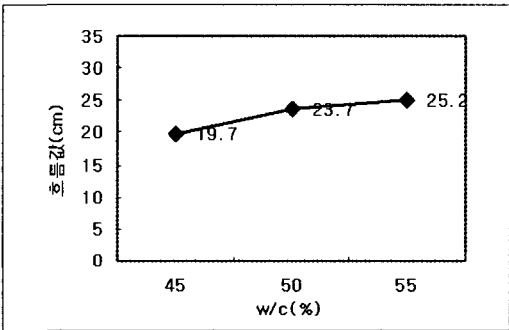


그림 7. 플로우 시험결과 (w/c변화 - 혼화제 1%고정)

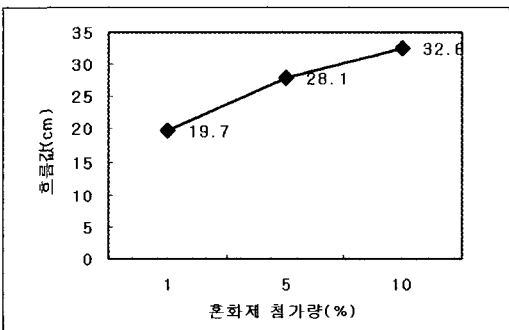


그림 8. 플로우 시험결과 (혼화제 첨가량 변화 - w/c 45%고정)

로 들어올린다. 흐름판을 10초에 15회 상·하운동후 콘크리트의 반죽질기를 측정하여 흐름값을 구한다.

흐름값(%)=

표 2. 각 조건의 변화에 따른 흐름값 변화량

구 분	흐름값(cm)	비 고(mm)	
w/c 변화	45%	19.7	-
	50%	23.7	$\frac{\Delta D(50\%-45\%)}{5\%} = 8$
	55%	25.2	$\frac{\Delta D(55\%-50\%)}{5\%} = 3$
혼화제 변화	1%	19.7	-
	5%	28.1	$\frac{\Delta D(5\%-1\%)}{4\%} = 21$
	10%	32.6	$\frac{\Delta D(10\%-5\%)}{4\%} = 9$

$[(\text{시험후의 직경(cm)} - 25.4\text{cm}) / 25.4\text{cm}] * 100$

표 2는 각 조건의 변화에 따른 흐름값의 변화량이다. 각 요소가 1%가 증가함에 있어 w/c의 변화보다 혼화제의 변화량에 따른 흐름값이 3배정도가 증가함을 알 수 있다. 따라서 시공성을 확보함에 있어서는 w/c의 비보다는 혼화제의 첨가량이 큰 비중을 차지함을 알 수 있었다.

혼화제에는 유동화제가 포함되어 있으므로 혼화제의 첨가량이 증가할수록 유동성이 급격하게 증가하였다. 5% 및 10%의 혼화제의 첨가는 급결 및 고유동을 확보할 필요가 있을 경우 사용하면 현장 시공시 매우 유리할 것으로 사료된다.

2.3 압축강도 시험

압축강도는 그라우트의 강도특성을 대표하는 요소이다. 따라서 본 연구에서는 각 재령에 따른 w/c비와 혼화제의 첨가량의 변화에 따른 강도특성을 규명하여 압력식 쏘일네일링 공법에 가장 적합한 시공방법을 제시하고자 하였다.

w/c의 증가에 따라 강도 증가현상이 뚜렷하게 나

압력식 Soil Nailing의 그라우트와 패커에 관한 특성시험

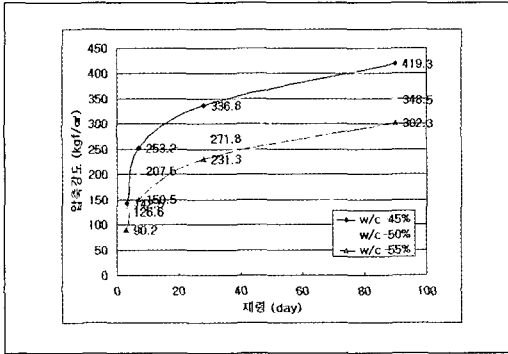


그림 9. 압축강도 시험결과 (w/c변화 - 혼화제 1% 고정)

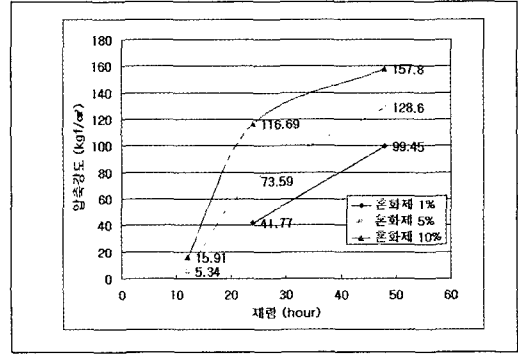


그림 10. 압축강도 시험결과 (혼화제 첨가량 변화 - w/c비 45%고정)

표 3. w/c변화에 따른 재령별 강도(kgf/cm²)

구 분	3일	7일	28일	90일
w/c 45%	142.5	253.2	336.8	419.3
w/c 50%	126.6	207.5	271.8	348.5
w/c 55%	90.2	150.5	231.3	302.3

표 4. 혼화제 변화에 따른 시간별 강도발현율

구 분	12시간	24시간	48시간
혼화제 1%	-	6.5%	15.4%
혼화제 5%	0.8%	11.4%	19.9%
혼화제 10%	2.5%	18.1%	24.5%

타났으며, 3가지 조건 모두 28일 압축강도에서는 모두 400kgf/cm² 이상의 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 각 경우에 대하여 동일하게 초기 10일동안에 급격하게 강도가 증가하며, 28일을 기준으로 증가량이 급격하게 감소하였다.

표 3은 혼화제 1%를 첨가하였을 때, w/c가 변화됨에 따른 각 재령별 강도값이다.

일반적으로 육면체 공시체의 경우 원주형 공시체 압축강도의 120%정도를 나타낸다. 또한 상기값은 혼화제 첨가시의 강도이므로 비교적 적정한 값이라 판단된다.

w/c=50%에서는 w/c=45% 90일 강도를 기준으로 하였을때 17%, w/c=55%에서는 28%가 감소하였다. 시공성을 증가시키기 위한 w/c의 증가는 강도 저하를 유발한다. 이는 시공성 확보를 위해 w/c를 증가시킬때는 강도에 대한 요소가 검토되어야 함을 의미한다.

본 연구에서는 압축강도 시험을 바탕으로 w/c비와 재령에 따라 그라우트체의 강도를 유추할 수 있는 식을 제안하였다.

i) w/c = 45~50%

$$y = (0.12a + 56.27)\ln(x) + 8.68a - 364.72$$

ii) w/c = 50~55%

$$y = (3.10a - 92.55)\ln(x) + 1.45a - 3.22$$

y: 압축강도 (kgf/cm²)

a: 물-시멘트비 (w/c-%),

x: 재령(day)

표 4는 w/c=45%, 혼화제 1%의 90일 강도를 기준으로 한 각 시간별 강도값이다. 혼화제의 첨가량이 10%일 때 전체강도의 25%를 확보하였다(48시간의 경우). 이는 혼화제 1%의 경우보다 1.6배에 해당하

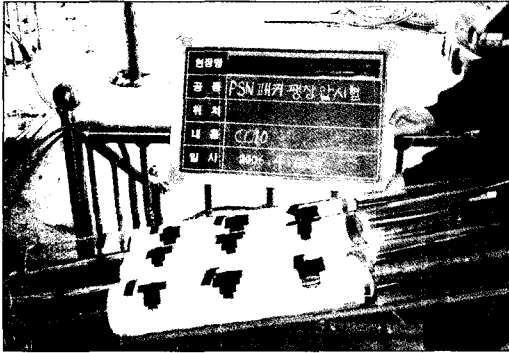


그림 11. 용적을 100%시험

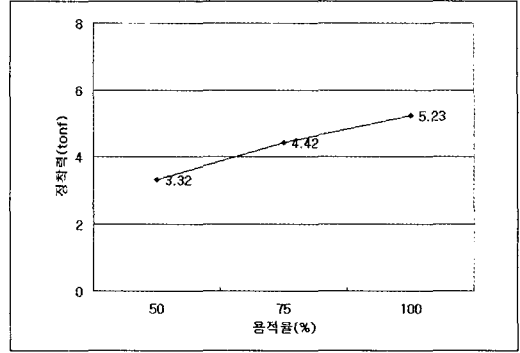


그림 12. 평창압 시험결과

는 값으로 초기강도의 확보가 중요한 경우에는 혼화제의 첨가량을 변화시키는 것이 효과가 뛰어남을 알 수 있었다.

실험 case 모두가 그라우트체의 품질 기준강도인 210kgf/cm²(재령 28일)를 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 시공시에 요구되는 비에 적합하도록 w/c와 혼화제의 첨가량을 적절히 조정하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3. 발포우레탄 패커 평창압 시험

압력식 쓰일네일링이 타 공법에 비해 갖는 장점의 필수요소는 패커이다. 패커는 천공홀에 대한 밀폐성과 압력 그라우팅시의 주입압에 대한 정착력의 확보로 압력 그라우팅을 가능하게 하며, 우수한 품질의 그라우트체를 완성하고 주변지반의 전단저항을 효과적으로 증가시킬 수 있다. 이와 같은 사항은 패커가 그라우팅시 압력에 대하여 충분히 저항할 수 있을 때에 적용되는 효과들이다. 이에 본 실험에서는 패커의 정착력 확인을 위하여 발포우레탄 패커의 평창압시험을 수행하였다.

패커의 정착력을 측정하기 위해 압력식 쓰일네일링의 천공경과 같은 크기의 관에 발포우레탄을 주입한 후에 아크릴관에 미리 부착된 Strain Gauge의 변형율을 측정하였다. 이를 바탕으로 $\sigma = E \times \epsilon$ 의 Hook's Law를 이용하여 패커의 평창압을 확인하였다.

패커의 정착력은 그라우팅시 작용하는 압력에 대하여 저항하는 힘이므로, 힘의 방향은 패커의 종방향이다. 그러나 패커의 평창압은 패커의 반경방향으로 작용하는 힘이므로 $\tau = c + \sigma \tan \phi$ 식을 이용하여 환산하였다.

이 식에서의 c , ϕ 는 지반과 패커의 접촉면에서의 마찰특성에 관계된 요소이다. 본 시험에서 ϕ 값은 무시하였으며, 값은 지반의 내부마찰각을 적용하였다. (패커와 지반사이에는 압력에 의하여 조도가 상당히 크므로, 지반의 ϕ 값보다 큰 값을 나타내므로, 안전측으로 지반의 $\phi = 32^\circ$ 값을 적용)

발포우레탄은 경화되면서 그 체적이 증가하는 특징을 가지고 있다. 따라서 패커가 그라우팅시 가해지는 압력에 저항하는 충분하게 저항하는 적정 용적을 구하기 위하여 용적율을 각각 50%, 75%, 100%로 달리하여 시험을 수행하였다. 압력그라우팅시 공 내에서 작용하는 압력은 5~10kgf/cm²이다. 이를 패

압력식 Soil Nailing의 그라우트와 패커에 관한 특성시험

커면적에 대해서 계산하면 패커가 압력그라우팅에 대하여 안정성을 확보하려면 최소한 0.95tonf의 정착력이 필요하다.

전체적으로 패커의 길이방향으로는 균등한 팽창압을 보였다. 이는 패커의 전단면에 걸쳐서 안정적으로 정착력을 발휘할 수 있음을 의미한다. 용적율이 증가할수록 팽창압은 증가하며, 용적율 100%의 경우 팽창압 용적율이 75%의 경우보다 증가하나, 우레탄 유출이 발생한다. 어느 정도의 유출은 패커의 밀폐성 확보요인이므로 안정성 면에 있어 유리하다. 압력 그라우팅시(5~10kgf/cm²) 패커에 작용하는 하중은 0.95tonf이다.

팽창압 시험 결과 용적율 50%인 조건에서 약 3.32tonf의 정착력을 발휘할 수 있다. 따라서 현장에서 사용하는 용적율에 대하여 패커는 압력그라우팅의 압력에 대해 S·F=3.32를 확보함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 중력식 쏘일네일링의 단점을 보완한 압력식 쏘일네일링의 특성에 관한 시험을 수행하였다. 응결시험, 플로우시험, 강도시험과 같이 시멘트 밀크에 관련된 시험과 압력식 쏘일네일링의 주요 요소인 패커의 팽창압에 관련된 시험을 수행하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. w/c비가 커질수록 흐름값은 증가하였으나

$$\left(\frac{\Delta D(50\%-45\%)}{5} = 8\text{mm} \right), \text{ 강도} (\Delta \sigma_{sk} = -4\%) \text{는}$$

감소하였다. 이는 유동성 확보가 가능하면, w/c비가 작을수록 강도면에서 유리함을 나타낸다.

2. 혼화제의 첨가량이 증가할수록 응결시간이 단

축되었으며, 유동성과 강도 또한 증가하는 경향을 보였다.

$$\frac{\Delta D(5\%-1\%)}{5} = 21\text{mm}, \Delta \sigma_{sk} = 1.75\%$$

3. 압축강도 시험에서 모든 Case에 대하여 그라우트체의 품질관리 기준인 210kgf/cm²을 만족하므로, 최적의 시공을 위해서는 혼화제의 비용을 고려하여 현장에서 요구하는 적정강도와 시공성을 만족할 수 있는 w/c와 혼화제의 혼합비율을 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 본 연구에서는 w/c비와 재령에 따라 그라우트체의 압축강도를 추정할 수 있는 식을 다음과 같이 제안하였다.

$$w/c = 45 \sim 50\%$$

$$y = (0.12a + 56.27)\ln(x) + 8.68a - 364.72$$

$$w/c = 50 \sim 55\%$$

$$y = (3.10a - 92.55)\ln(x) + 1.45a - 3.22$$

$$y: \text{압축강도}(\text{kgf/cm}^2), a: w/c(\%), x: \text{재령}(\text{day})$$

5. 발포우레탄 패커 팽창압시험으로 압력그라우팅시 공내에 작용하는 압력에 대하여 패커가 충분히 저항(S·F=3.32)함을 알 수 있었으며, 시공성과 경제성을 고려할 때, 용적율 50%가 가장 적당하다고 판단된다.

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. 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

4. Juran, I. & Elias, V.(1992) "Soil nailed retaining structures: Analysis of case histories",

Geotechnical Special Publication, ASCE, No. 12, New York

5. 김홍택, 강인규, 권영호, 박시삼(1998), "압력분사 그라우트 유효경 평가기법 및 실내모형실험"

2007년 사면안정기술위원회 학술발표회 개최 및 발표논문 모집

2007년도 사면안정기술위원회 학술발표회를 다음과 같이 개최할 예정입니다. 세미나와 관련하여 논문 모집을 하오니 회원 여러분의 많은 참여 부탁드립니다. 특히, 금번 학술발표회는 "붕괴 사면의 보강설계 · 시공 및 기술개발사례"에 관한 주제를 가지고 심도 깊게 발표회를 진행할 예정이오니 많은 관심 부탁드립니다.

- 다 음 -

1. 일 시 : 2007년 6월 27일(수) 09:00~17:00
2. 장 소 : 한국과학기술회관 대강당(강남역)
3. 발표주제 : 붕괴 사면 보강 설계 및 시공 사례 / 사면 유지 관리 기술 개발 사례 / 사면 신기술 개발 사례
4. 논문초록마감 : 5월 12일(토)
5. 논문원고마감 : 6월 2일(토)
6. 문의 및 논문초록제출은 사면안정기술위원회 학술대회준비위원회로 제출해 주시기 바랍니다.
웹하드 (www.webhard.co.kr 아이디 : geoslope, 비밀번호 : 1234)
7. 준비위원회 연락처 : 백 용, Tel. 031-910-0228 E-mail : baek44@kict.re.kr
송평현, Tel. 02-576-5240 E-mail : geosph@empal.com
장범수, Tel. 031-910-4154 E-mail : orpheus@chollian.net
황영철, Tel. 033-730-0477 E-mail : ychwang@sangji.ac.kr
박종호, Tel. 02-486-3839 E-mail : jongho2000@hanmail.net
8. 논문원고양식은 지반공학회 학술발표회 양식에 준합니다.