

## 소일시멘트 복토후 터널굴착에 대한 사례 연구

신일재<sup>1)\*</sup>, 강준호<sup>2)</sup>, 서영호<sup>3)</sup>

### A Case Study of Soil-Cement Fill for Tunneling

Il-Jae Shin, Jun-Ho Kang, Young-Ho Suh

**Abstract** In case the overburden of a tunnel is too low to adopt NATM, cut and cover method generally can be chosen as alternative. However, in tunneling some area with very low or no overburden between two mountains, the cut and cover method requires additional construction of a couple of tunnel portals and the maintenance of portal slopes until backfilling is completed. As a solution for this problem, increasing the tunnel overburden by raising the ground level can be effective. This paper presents the case study for tunneling at C240 site in Taiwan High Speed Railway(THSR) in which soil-cement filling method was used for pre-banking before tunnel excavation. Cement content of filling material was 2~4% and thickness of filling a round was 130~250 mm. The stability evaluation for the soil-cement slope and concrete lining of low cover tunnel was conducted by numerical analysis.

**KeyWords** Soil-cement fill, Low overburden, Tunnel excavation, Numerical analysis

**초 록** NATM 터널을 굴착하기에 토피가 너무 낮은 경우에는 보통 개착터널공법이 적용된다. 그러나 토피가 매우 낮거나 없는 계곡부에서 개착터널을 시공하기 위해서는 추가적인 두 곳의 갱구 형성과 복토가 이루어질 때까지 임시 사면에 대한 유지관리가 필요하다. 이런 경우에는 복토를 통해 토피를 확보한 후 터널을 굴착하는 방안이 유효하다. 이 연구는 터널 굴착이전에 소일시멘트로 복토한 후 굴착작업이 이루어진 대만고속철도 C240 현장에 대한 사례 연구이다. 소일시멘트의 포틀랜드 시멘트 함유량은 2~4%이고, 1회 복토층의 두께는 130~250 mm 범위가 되도록 시공하였다. 터널 굴착에 따른 소일시멘트 사면 및 터널내 최종 구조물인 콘크리트 라이닝에 대한 수치해석을 통해 안정성을 평가하였다.

**핵심어** 소일시멘트 복토, 저토피, 터널굴착, 수치해석

## 1. 서 론

대만의 수도 타이페이와 남부 항구도시 까오슝을 연결하는 총 연장 345 km의 고속철도 건설 사업은 2000년에 시작하여 현재 토목공사가 거의 완료되었고, 기계, 전기, 궤도 등의 부대 공사가 이루어지고 있다. 전 구간에 걸쳐 총 12개의 컨소시엄이 구간별로 토목공사를 수행하였는데, 국내 업체도 각각의 컨소시엄을 구성하여 시공에 참여하였다.

대만의 비교적 완만한 평지에 속하는 서쪽부분을 남북으로 통과하는 대만고속철도이지만 최고속도 350 km/h

로 주행하므로 종단선형에 제약을 받는 고속철도의 특성상 전체 노선 중에서 약 30%는 터널로 이루어져 있다.

본 사례연구에서는 현대건설에서 시공중인 대만고속철도 C230과 C240 현장에서 수행한 소일시멘트 복토후 터널굴착에 관한 안정성 평가 및 시공내용을 소개하고자 한다. 저토피 구간 또는 토피가 없는 구간에 적용한 이 공법은 아직까지 국내 터널에서의 적용 사례는 알려져 있지 않으나, 향후 터널 시공시 유사한 지형 및 지질조건에서는 경제성과 시공성을 고려하여 검토해볼 수 있는 공법으로 사료된다.

터널은 시공과정에서 크게 NATM 터널(또는 굴착터널)과 개착 터널로 구분할 수 있는데, 국내의 개착터널은 대부분 도심지 저토피 구간이나 터널 입구부에 적용되고 있다. 굴착터널과 연결되는 개착터널의 경우는 대부분 시공 공정상 굴착터널의 굴착이 완료된 이후 콘크리트 라이닝 타설 및 복토 작업을 하게 되는데, 필연적으로 복토가 이루어지기 전까지 터널높이 이상

<sup>1)</sup> 현대건설(주) 기술개발원 과장

<sup>2)</sup> 현대건설(주) 기술개발원 차장

<sup>3)</sup> 현대건설(주) 기술개발원 부장

\* 교신저자 : windsij@hdec.co.kr

접수일 : 2005년 8월 8일

심사 완료일 : 2005년 8월 20일

의 임시 및 영구 사면 또는 기존도로와 매설물의 이설이 발생하게 된다.

또한 개착터널과 연결되는 굴착터널의 위치는 여러 현장 상황을 고려하여 결정하게 되는데, 대표적인 고려 사항으로는 안정성 확보를 위한 지반 토피고 확보, 환경훼손 방지를 위한 사면높이 최소화, 경제성 및 시공성 확보 등을 들 수 있다.

최근의 국내 터널에서는 개착터널의 길이를 최소화하는 방향으로 설계 및 시공이 이루어지는 경우가 많다. 이러한 경향은 비록 지반이 불량하고 토피가 충분하지 않더라도 적절한 사전 보강을 통해 터널을 굴착할 수 있는 기술력을 확보하고 있기 때문이기도 하지만, 친환경적 국토개발이라는 큰 흐름에 맞추어 가능한 주변 자연훼손을 최소화하기 위한 노력의 일환으로 볼 수 있다.

굴착터널의 중간부에 위치한 짧은 저토피 구간 또는 토피가 없는 구간이 있거나 좁은 계곡부 등을 통과하게 되어 인접한 두 개의 굴착터널로 시공 계획을 세운 경우 등에 대해서는 본 사례에서 소개하고자 하는 소일시멘트 복토 후에 터널을 굴착하는 시공방안이 환경훼손 저감, 경제성 및 시공성 향상을 위한 하나의 대안으로 검토될 수 있을 것이다.

## 2. 사례 현장 개요

### 2.1 C240 현장

C240 현장은 대만의 중서부에 위치한 Miaoli에서 Yuanli를 연결하는 총 연장 20.84 km의 고속철도 현장으로 2000년 5월 공사에 착공하여 현재 토목공사는 완료된 상태이다. 총 연장의 35%인 7.316 km가 11개의 터널구간이고 25%인 5.21 km가 교량구간이며 나머지 40%인 8.314 km가 토공구간으로 이루어져 있다.

Fig. 1은 북부 타이페이와 남서부 까오슝을 잇는 총 연장 345 km의 대만고속철도 노선과 C240 현장의 위치를 나타내는 그림으로 C240 현장은 비교적 완만한 지형을 가지는 중서부에 위치하고 있다.

### 2.2 지질 상태

필리핀 해양판과 유라시아 대륙판의 경계부에 있어 크고 작은 지진이 발생하는 대만 중서부에 위치한 C240 현장은 신생대 제 3기의 퇴적암이 기반암을 이루고 있는데, 주로 사암과 이암으로 구성되어 있다. 사암과 이암은 단독으로 나타나거나 또는 서로 교호하면서 나타나는데 대부분 20° 이하의 경사를 가지는 층리들이 육안으로 뚜렷이 관찰된다.

이 퇴적암들은 암석화가 완전히 이루어지지 않은 상



Fig. 1. A map of C240 site in Taiwan

태로 특히 대기중에 노출되거나 물과 접촉하는 경우 급속한 풍화작용이 진행되어 토사화하는 특성을 가지고 있다. 이런 특성으로 인해 현장의 사면들에서는 대규모 사면파괴가 발생하기도 하였다. 표토층의 두께는 대부분 약 1~3 m 정도이다.

Fig. 2는 사암과 이암이 층상으로 교호하며 나타나면서 층리가 확연히 보이는 대표적인 현장의 사면 모습으로 층리의 경사각은 다른 사면들에 비해 큰 값인 30° 정도이다.

Fig. 3은 기반암이 이암인 현장의 영구사면에서 발생한 사면파괴의 한 사례를 보여주는 사진이다. 사면파괴는 주로 우기시 집중호우를 동반한 태풍이 지나가면서 발생하였다.

### 2.3 터널 개요

Fig. 4는 C240 현장에 적용된 대만 고속철도의 표준 단면으로 굴착폭이 14 m, 높이 10 m 정도이다. 대만의 고속철도 차량은 일본의 신간선을 채택하고 있는데 굴착 단면적은 137 m<sup>2</sup>로 국내고속철도 굴착단면적과 유사하나, 레일 상부를 기준으로 한 내공 단면적은 90 m<sup>2</sup>로 국내의 107 m<sup>2</sup> 보다 조금 작은 수준이다.

C240 현장의 총 11개 터널은 대부분 백호우를 이용한 기계식 공법으로 NATM 굴착이 적용되었는데, 이 굴착작업은 상반, 하반, 인버트 순으로 분할굴착이 이루어졌다.

소일시멘트 복토후 터널굴착이 이루어진 구간의 암반 상태는 RM2~4에 해당하는데, RM1에서 RM7까지 총 7개로 구분한 암반분류 중에서 RM2, RM3, RM4의 암반상태

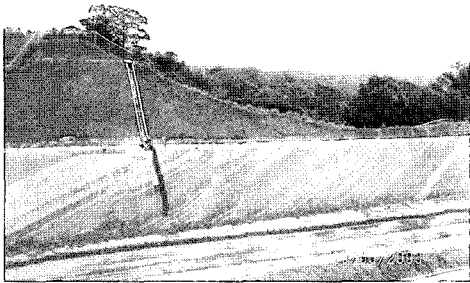


Fig. 2. Bedding plane of the sedimentary rock slope

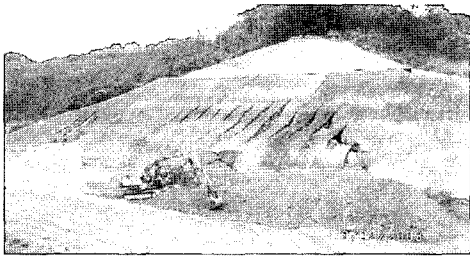


Fig. 3. Failure of rock slope

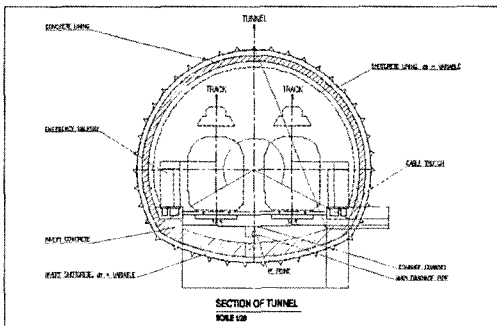


Fig. 4. Standard section of tunnel

및 내부마찰각과 일축압축강도의 범위는 Table 1과 같다<sup>1)</sup>.  
 암반등급 RM4에 적용된 지보패턴 IV에서는 격자지

보와 록볼트, 슛크리트가 지보재로 사용되었고, 필요시 휘폴링을 적용하였으며 인버트의 임시 슛크리트 시공 시 와이어메쉬를 설치하였다.

소일시멘트로 복토작업을 한 저토피 구간에서도 상반 굴착후 하반 및 인버트를 굴착하였고 하반굴착은 상반굴착이 최소 40 m 이상 완료된 이후에 수행하였다. 굴착시 발생하는 변위를 최대 허용변위 이하로 제어하기 위하여 슛크리트와 록볼트 및 격자지보 이외에 천단보강을 위한 파이프로프 공법과 막장면 록볼트가 추가로 적용되었다.

Fig. 5는 저토피 구간에 적용된 P/Sb 타입 표준지보패턴의 내용을 보여주는 중단면도이다.

스�크리트의 압축강도는 210 kgf/cm<sup>2</sup>이고 두께는 300 mm이며 상반 바닥의 임시 폐합을 위한 슛크리트의 두께는 200 mm이다. 파이프로프 공법에 사용된 강관은 길이 12 m, 직경 75~95 mm 이고, 상반은 막장면 록볼트 또는 링컷분할로 굴착하였다.

P/Sb 지보패턴에 적용된 상반, 하반, 인버트 구간별 슛크리트 두께 및 록볼트 길이와 설치간격이 Table 2에 제시되어 있다<sup>1)</sup>.

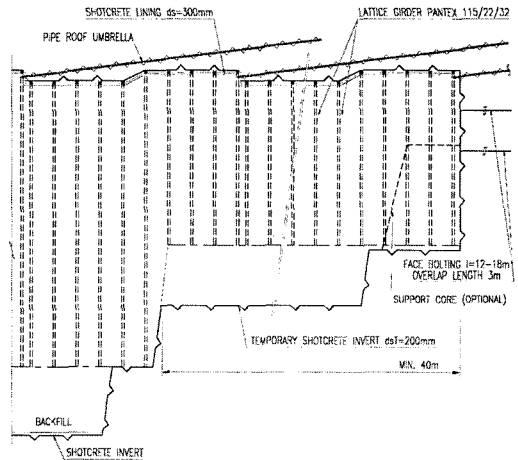


Fig. 5. Standard support pattern P/Sb

Table 1. Applicable rock mass types and expected range of parameters

Rock mass type	Description	Expected range of parameters
RM2	Silty sand to poorly graded sand. Poorly to very poorly cemented	$\phi' = 32^\circ \pm 5^\circ$ UCS = 1 ~ 50 kgf/cm <sup>2</sup>
RM3	Clayey silts to silty clays grading into mudstones, and mudstones intercalated with sandstone. Sandstone is poorly to very poorly cemented	$\phi' = 25^\circ \pm 5^\circ$ UCS = 1 ~ 50 kgf/cm <sup>2</sup>
RM4	Alternations of sandstone and mudstone. Thickness of different layers in the range of decimeters. Generally well cemented	$\phi' = 28^\circ \pm 5^\circ$ UCS = 1 ~ 100 kgf/cm <sup>2</sup>

Table 2. P/Sb support types

Top heading				Bench			Invert
Shotcrete thickness	Temp invert	Bolt length	Bolt pattern	Shotcrete thickness	Bolt length	Bolt pattern	Shotcrete thickness
mm	mm	m	m × m	mm	m	m × m	mm
300	200	6	2 × 1	300	6	2 × 1	300

### 3. 소일시멘트 복토

#### 3.1 소일시멘트 복토 적용 구간

소일시멘트 복토 후 터널굴착 공법이 적용된 터널은 Shihu 터널과 Tungshiao 터널이다. Shihu 터널은 최초 설계에서는 약 60 m 이격된 두개의 터널로 계획되었으나, 대절토 갱구부 사면을 형성해야 하고 라이닝 폼의 접근성이 불량해 시공성과 경제성을 감안해 두 터널 사이에 소일시멘트로 피복을 한 이후 터널 굴착을 함으로써 1개의 터널로 시공된 경우이다.

Fig. 6은 Shihu 터널의 종단면도 중 일부로 Sta. 114+070에서 Sta. 114+125까지의 55 m 구간에 대해 소일시멘트 복토후 터널굴착이 이루어졌다.

Fig. 7은 Shihu 터널 Sta. 114+100 위치의 횡단면도를 보여주는 그림이다. 소일시멘트 복토 사면 경사는 1:1.2이고 소단의 폭은 4 m, 터널 상부 소일시멘트 지표면의 폭은 16 m이다.

Tungshiao 터널은 토피가 부족하고 개착공법 적용시 상

부의 기준도로를 침범하므로 최초 설계에서는 상부 반단면 일부를 개착공법으로 시공한 후 하부 단면은 NATM으로 시공하는 Carinthian 공법이 고려되었다. 그러나 현장 여건상 이 공법의 적용시 기준도로의 안정성 확보가 어렵고, 시공성에 문제가 있어 소일시멘트로 복토한 후 굴착하는 공법으로 변경 적용하였다.

Fig. 8은 Tungshiao 터널의 종단면도로 저토피 구간인 Sta. 123+731에서 Sta. 123+806까지의 75 m 구간에 대해 소일시멘트 복토후 터널굴착이 이루어졌다.

Fig. 9는 편경사진 지형에 위치하는 Tungshiao 터널 Sta. 123+766 위치의 횡단면도를 보여주는 그림이다. 소일시멘트 복토 사면 경사는 1:1이고 소단의 폭은 8 m, 10 m이다.

#### 3.2 소일시멘트 시공

토사와 포트랜드 시멘트를 혼합한 소일시멘트를 저토피 및 토피가 없는 구간에 대한 복토재료로 사용하였다. 소일시멘트의 토사 입자크기는 90 mm 이하가 85% 이상되도록 관리하였는데, Table 3은 소일시멘트 배합시

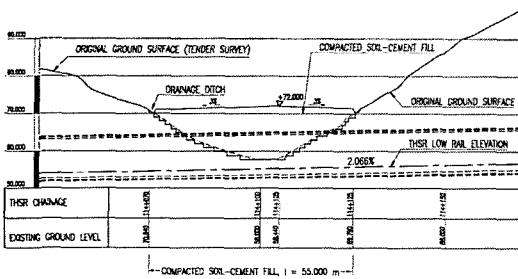


Fig. 6. Longitudinal section of Shihu tunnel

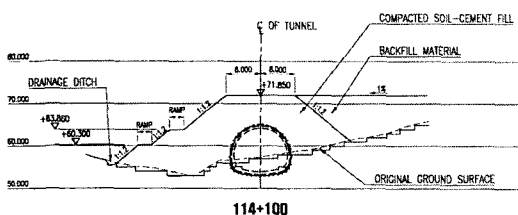


Fig. 7. Cross section of Shihu tunnel and soil-cement fill

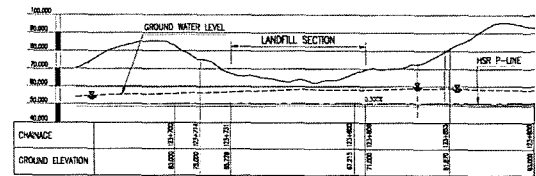


Fig. 8. Longitudinal section of Tungshiao tunnel

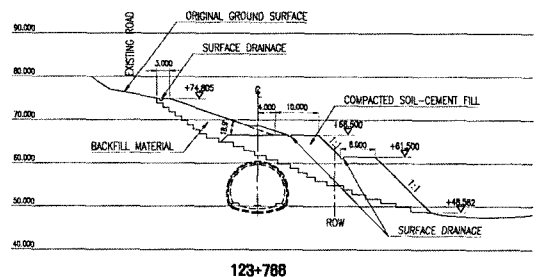


Fig. 9. Cross section of Tungshiao tunnel and soil-cement fill

**Table 3.** Gradation requirement of soil

Grain Size	Percentage Passing(%)
125 mm	100
90 mm	85-100
10 mm	25-100
0.6 mm	10-100
0.063 mm	0-15

사용된 토사의 입도분포이다<sup>2)</sup>.

또한 토사의 액상한계는 45 이하, 소성지수는 20 이하가 되도록 관리하였다. 입도관리한 토사와 시멘트의 배합에서는 건조중량을 기준으로 포틀랜드 시멘트의 비가 2-4% 범위에서 설계 기준 물성값이 확보될 수 있도록 시료에 대한 시험결과를 토대로 결정하였다.

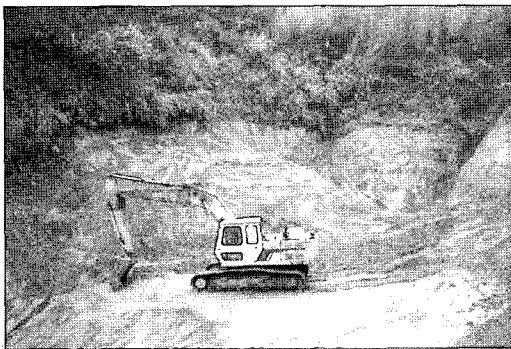
Table 4는 시방서에 규정된 복토재료로 사용한 소일시멘트에 대한 필요 물성치를 정리한 것으로 7일 및 28일 압축강도는 각각 3.5, 5 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이어야 한다<sup>3)</sup>.

**Table 4.** Engineering characteristics of the soil-cement fill

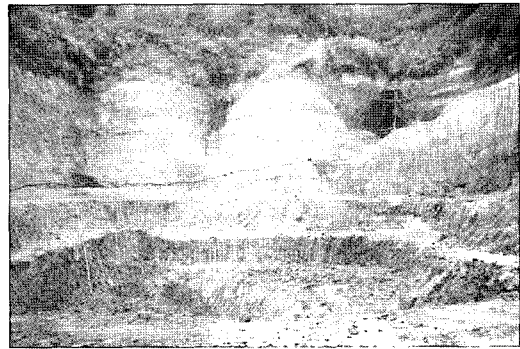
Engineering characteristics	Requirement
Compressive Strength(7 days)	> 3.5 kgf/cm <sup>2</sup>
Compressive Strength(28 days)	> 5.0 kgf/cm <sup>2</sup>
Modulus of Elasticity	> 1,200 kgf/cm <sup>2</sup>
Deformation Modulus	> 1,200 kgf/cm <sup>2</sup>
Cohesion	> 1 kgf/cm <sup>2</sup>
Angle of Internal Friction	> 35°

원지반 표토층을 우선 백호우로 제거한 후 현장 부근에서 Grader로 혼합한 소일시멘트를 2시간 이내에 백호우로 포설하였다. 1회 포설시 층의 두께는 130~250 mm 범위가 되도록 하였고, 도저를 이용하여 표면을 고르게 한 후 진동롤러로 다짐을 수행하였다<sup>3)</sup>.

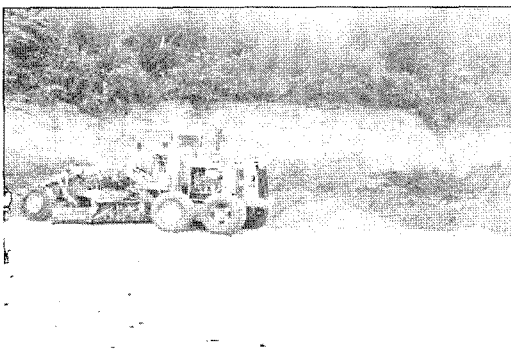
Fig. 10의 (a)는 현장의 원지반 표토층을 제거하는 모습이고, (b)는 표토층 제거가 완료된 모습이다. (c)는 도저와 롤러를 이용하여 소일시멘트를 고르게 다진 후의



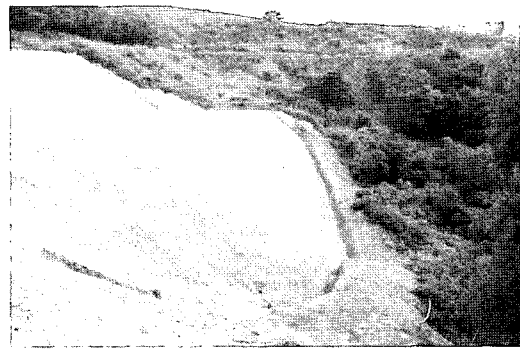
(a) Surface excavation



(b) Prepared surface for soil-cement fill



(c) Spreading and compaction



(d) Slope of soil-cement fill

**Fig. 10.** Construction sequence of soil-cement fill

지표면 모습이고, (d)는 소일시멘트 복토가 완료된 사면의 모습이다.

Fig. 11은 Shihu 터널 Sta. 114+118의 막장면 모습이며 상부반단면 우측부는 소일시멘트로 좌측부 원지반과의 경사진 경계면이 보인다.

#### 4. 사면 안정 해석 사례

##### 4.1 해석 내용

저토피 구간 및 토피가 없는 터널구간에 대해 기존의 토피를 제거하고 소일시멘트로 복토를 하게되면 지형과 지반상태에 따른 다양한 형태의 사면이 형성되는데 이러한 사면의 안정성을 TALREN 97 프로그램을 사용하여 해석하였다.

사면해석을 위해 적용한 소일시멘트의 물성값은 단위중량이 2.1 kN/m<sup>3</sup>, 배수 전단강도가 100 kN/m<sup>2</sup>, 배수 마찰각이 33°이다. 상재 하중으로는 공사중 장비의 통과등을

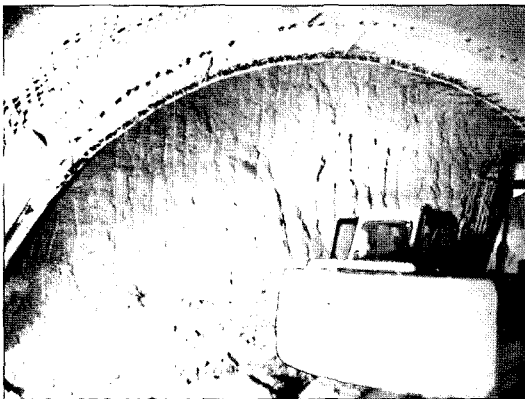


Fig. 11. Tunnel face of Sta.114+118 at which soil-cement was backfilled

고려한 10 kN/m<sup>2</sup>를 적용하였고, 사면과 인접하여 도로가 있는 구간에 대해서는 31.2 kN/m<sup>2</sup>를 적용하였다.

터널이 굴착된 상태에서의 사면안정해석을 위해 배수터널 단면을 모델링에 포함시켜 이 부분은 zero parameter를 적용하였고, 안전율이 최소로 나타나는 파괴포락선(터널 단면 통과)을 표시하였습니다

사면 안정성의 판단 기준은 영구사면의 경우 전기시 및 우기시 안전율이 각각 1.5, 1.2 이상, 설계기준 0.34 g 규모의 지진을 고려한 경우 안전율이 1.1 이상이다.

##### 4.2 Shihu 터널 구간

이 구간의 표토층 두께는 최대 3m 정도이고, 암반은 수십 cm 두께의 사암층과 이암층이 층상으로 교대로 나타난다.

Fig. 12의 a), b), c)는 각각 대표 단면에 대한 전기시와 우기시, 지진시의 사면 안정해석 결과 사례이다<sup>4)</sup>. 이 단면에 대한 해석결과 소일시멘트 사면의 안전율은 전기시 및 우기시와 지진시 모두 기준안전율을 상회하는 2.06, 1.96, 1.41로 나타났다.

##### 4.3 Tungshiao 터널 구간

이 구간의 표토층 두께는 약 2~3 m 정도이고, 암반은 사암층과 이암층이 층상으로 교대로 나타나지만 사암층이 더 많은 영역을 차지하고 있으며, 지하수위는 최대 터널의 천단부 부근까지인 것으로 나타났다.

Fig 13의 (a)와 (b)는 각각 원 지반상태에서 저토피 터널굴착시와 흙과 시멘트 배합물에 의한 피복 사면 형성 후 터널굴착시에 대한 사면 안정해석 결과 사례이다<sup>5)</sup>.

원 지반상태에서는 안전율이 1.59이었으나 터널굴착시 영구 사면에 대한 기준안전율인 1.5 이하인 1.37로 나타났다. 반면 소일시멘트 복토 사면 형성 후 터널을 굴착하는 경우는 사면 안전율이 기준 안전율을 크게 상회하는 2.17로 나타났다.

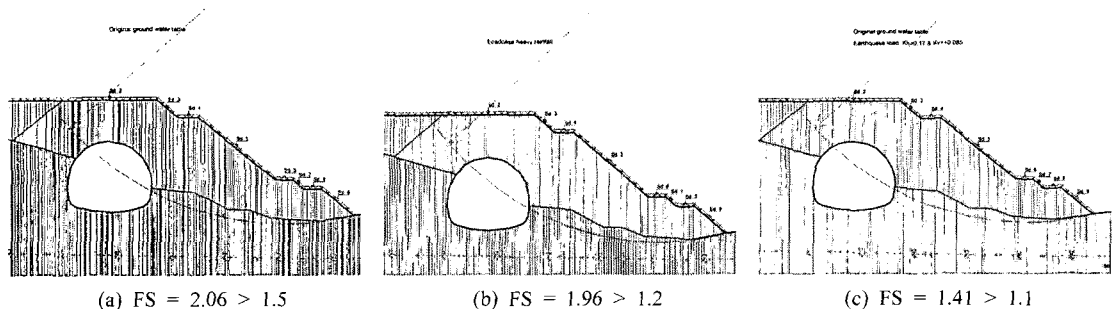


Fig. 12. Stability analysis for soil cement slope

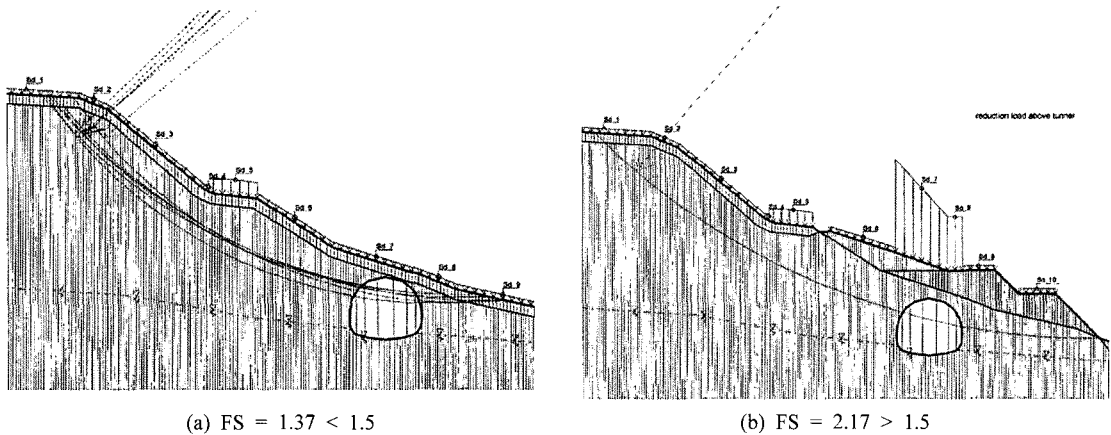


Fig. 13. Stability analysis of original surface and soil-cement slope

### 5. 터널 안정성 해석 사례

이 장에서는 FLAC 프로그램을 이용하여 소일시멘트 복토후 터널 굴착시 터널 안정성을 해석한 결과를 소개한다. 해석은 Tungshiao 터널의 소일시멘트 복토 적용구 간중 저토피와 편토압에 의해 가장 위험하다고 평가된 STA.123+766에 대해 수행하였다<sup>6)</sup>. Fig. 14는 이 위치의 해석단면으로 원지반의 최소토피는 3 m이고, 터널 천단으로부터 소일시멘트 복토 지표면까지의 최단 이격거리는 약 9.5 m이다.

이 위치의 암반등급은 Table 1에 제시된 RM3이고, 적용 지보패턴은 Fig. 5에 제시한 P/Sb 지보패턴이다. FLAC 해석을 위해 암반과 소일시멘트에 적용한 입력 물성치가 Table 5에 나타나 있는데, 공사시방서<sup>2)</sup>에 제시된 소일시멘트 재료의 최소 물성치에 따라 점착력, 내부마찰각과 함께 소일시멘트의 탄성계수 등을 사용하였다.

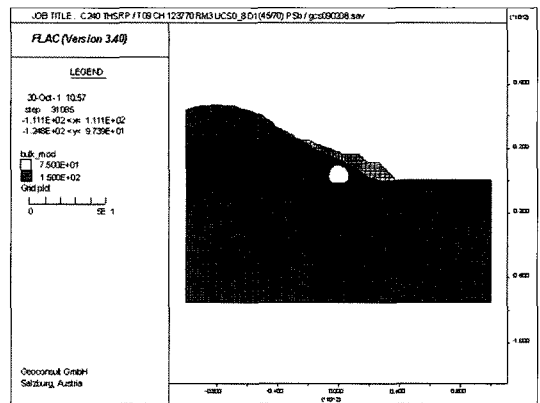


Fig. 14. Model of STA. 123+766 section for FLAC

Table 6에 터널 안정성 평가를 위한 해석단계가 제시되어 있는데, 1~5단계는 소일시멘트 복토, 상반굴착 및 보강, 하반굴착 및 보강, 인버트 굴착 및 보강의 시공순

Table 5. Input properties of rock mass and soil-cement fill

Input property	Rock mass(RM3)	Soil-cement fill
Unit weight, kN/m <sup>3</sup>	22	21
Young's Modulus, MPa	240	120
Bulk Modulus, MPa	200	100
Shear Modulus, MPa	92	46
Poisson's Ratio	0.3	0.3
Drained cohesion, kPa	245	100
Drained friction angle	27°	33°

**Table 6.** Analysis steps considered with the Finite Difference Method

STEP	Analysis Step	Structure
Step 1	Initial ground stresses + Compacted soil cement backfill installed	Analysis of the Outer lining
Step 2	Top heading excavation.	
Step 3	Top heading support installation.	
Step 4	Bench excavation.	
Step 5	Invert excavation and support installation.(quick ring closure)	
Inner lining analysis start from the outer lining calculation step 5		
Step 6	Start from step 5. Inner lining installation.	Analysis of the Inner lining
Step 7 (Water Pressure only)	This load case analyses short-term conditions after inner lining installation. The ground water pressure of 5m will act on the inner lining but the earth pressure will not be mobilized yet.	
Step 8 (Earth + Water Pressure)	Start from step 5. This load case analyses long-term conditions after inner lining installation, the outer lining and rock bolts are removed. Both ground water pressure and earth pressure are considered to act on the inner lining.	
Step 9 (Earth Pressure only)	Start from Step 6. The outer lining and rock bolts are removed. This load case analyses long-term conditions after inner lining installation, without consideration of ground water pressure.	

서에 따른 해석단계이다.

5단계까지의 각 단계별 해석에서는 숏크리트 구조에 대한 응력과 변위를 평가하였다. 설계강도가  $280 \text{ kgf/cm}^2$  인 콘크리트 라이닝이 타설되는 6단계 이후의 7, 8, 9단계는 콘크리트 라이닝에 가해지는 하중 조건에 따라 각각 해석이 이루어졌다. 7단계는 수압만이 작용하는 경우이고, 8단계는 수압과 지압이 동시에 작용하는 경우이며, 9단계는 지압만이 작용하는 경우이다.

대만 고속철도의 설계기준에는 최종 구조물인 터널내 콘크리트 라이닝이 모든 하중을 견딜 수 있어야 하므로, 7~9단계의 해석은 5단계까지 설치된 지보재인 숏크리트와 록볼트 등을 모두 제거한 후 이루어졌다.

Fig. 15는 FLAC을 이용한 해석결과 예로 수압만이 작용하는 경우인 Step 7에서 콘크리트 라이닝에 가해지는 축응력과 변위를 나타내고 있다.

Table 7은 하중조건별 7, 8, 9 단계에서 콘크리트 라이닝에 가해지는 최대 단면력과 변위를 정리한 것이다. 수압만이 작용하는 경우가 수압과 지압 또는 지압만이 작용하는 경우에 비해 큰 응력과 변위가 발생하는 것으로 나타났으나 최종 구조물인 콘크리트 라이닝의 구조적 안정성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

## 6. 결 론

본 사례 연구에서는 매우 낮은 강도의 퇴적암으로 이루어진 대만고속철도 C240 현장에서 소일시멘트를 이용한 복토 후 터널 굴착과 관련하여 소일시멘트 배합과 물성치, 시공 및 복토 사면과 터널의 안정성 평가를 소개하였다.

기준의 표토층을 제거한 후 입도 관리한 토사와 포틀



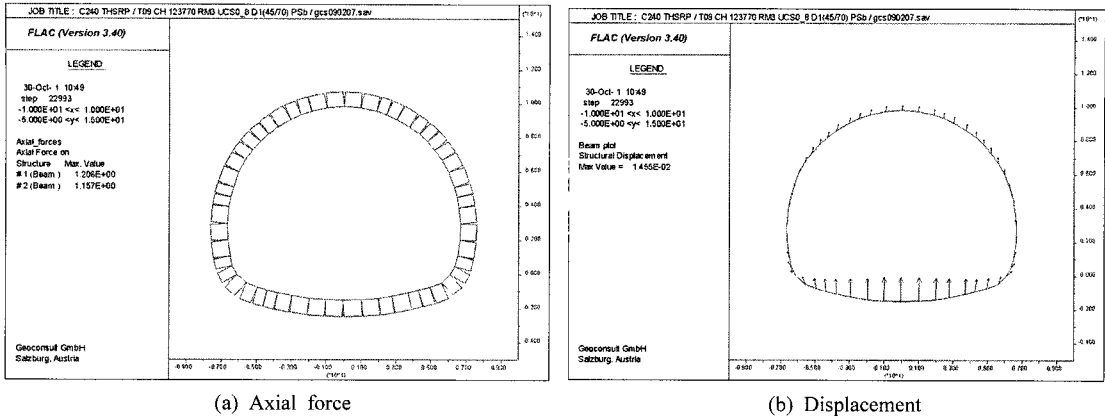


Fig. 15. Results of Inner lining at step 7

Table 7. Summary for calculation results

Maximum sectional forces and displacement				
Step	Moment(kN-m)	Normal force(kN)	Shear force(kN)	Displacement(cm)
Step 7	563.9	1206	217.1	1.4
Step 8	159.1	1030	169.6	0.5
Step 9	111.6	705	85.8	0.4

랜드 시멘트를 혼합한 소일시멘트를 이용하여 복토한 영구 사면에서는 갱구부 수준의 지보를 적용하였을 때 터널 굴착시 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

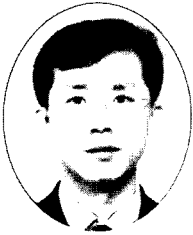
터널상부의 토피가 최소 3 m인 경우 소일시멘트로 사면을 형성한 이후 터널 굴착시 사면 및 터널의 안정성을 확보하는 것으로 나타났다. 또한 터널의 천단부에 부분적으로 토피가 전혀 없어 소일시멘트를 굴착하는 경우에도 터널 및 사면 안정성이 확보되었으며 실제 터널굴착 시에도 철저한 품질관리와 다짐으로 양호한 지반상태를 나타내었다.

국내 터널공사에서는 입출구부나 터널 중간부에 터널 굴착시 터널안정성 확보가 어려운 저토피 구간이 있는 경우 대부분 이 구간을 개착터널로 시공하고 있다. 이러한 구간의 시공방안을 결정하기 위해서는 주변 현황과 경제성 및 시공성 등이 종합적으로 고려되어야 하나 토사터널의 경우 본 연구에서 소개한 소일시멘트 복토를 통해 충분한 토피를 확보한 후 터널을 굴착하는 방안은 적절한 대안이 될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. THSR Contract C240, 2000, Design manual - volume 2, Mined Tunnel
2. Hyundai-Chung Lin JV, 2003, Work Specification for Soil Cement Fill
3. Hyundai-Chung Lin JV, 2001, Method Statement for Soil Cement Fill
4. Hyundai-Chung Lin JV, 2002, Shihu No.2 Tunnel - Mined Section T03 - Design and Analysis of Compacted Backfill
5. Hyundai-Chung Lin JV, 2001, Tungshiao No.5 Tunnel - Mined Section T09 - Design and Analysis of Low Cover Section
6. Hyundai-Chung Lin JV, 2002, Tungshiao No.5 Tunnel - Mined Section T09 - Inner Lining - Numerical Analysis

**신 일 재**



1992년 서울대학교 공과대학 자원공학과  
공학사  
1994년 서울대학교 대학원 자원공학과  
공학석사  
1999년 서울대학교 대학원 자원공학과  
공학박사

Tel: 031-713-4501  
E-mail: windsij@hdec.co.kr  
현재 현대건설(주) 기술개발원 과장

**강 준 호**



1989년 서울대학교 공과대학 자원공학  
과 공학사  
1991년 서울대학교 대학원 자원공학과  
공학석사  
1997년 서울대학교 대학원 자원공학과  
공학박사

Tel: 031-280-7660  
E-mail: juno@hdec.co.kr  
현재 현대건설(주) 기술개발원 차장

**서 영 호**



1986년 서울대학교 공과대학 자원공학과  
공학사  
1988년 서울대학교 대학원 자원공학과  
공학석사  
1993년 서울대학교 대학원 자원공학과  
공학박사

Tel: 031-280-7653  
E-mail: skkim@dic.co.kr  
현재 현대건설(주) 기술개발원 부장