

**꺄 굴착 및 지보 기술위원회**

# **Annual Technical Report**

- 1. Open TBM 지보**
- 2. 박층 뿔칠라이너(Thin Spray-on Liner, TSL) 공법**
- 3. 터널 굴착 및 지보관련 ‘일본표준시방서 2016 주  
요 변경내용’**

**2017**

**터널 지하공간학회  
굴착 및 지보기술위원회**

**Annual Technical Report(Part 1)**

# **Open TBM 지보**

**2017**

**터 널 지 하 공 간 학 회  
굴 착 및 지 보 기 술 위 원 회**

# ■ 목 차 ■

1. 서론	1
1.1 개요	1
1.2 굴착방법에 따른 Open TBM 터널의 거동특성	2
2. Open TBM의 설계법	2
2.1 경험적 설계법	2
2.2 이론적 설계법	4
2.3 수치해석적 설계법	5
3. Open TBM의 지보설계	6
3.1 Open TBM 설계시 고려사항	6
3.2 Open TBM 지보재의 특징	7
3.3 표준지보패턴의 선정	8
3.4 지보패턴 적정성 검증 및 활용	14

# ■ 표 목 차 ■

<표 3.1> TBM 굴착직경에 따른 주지보재 선정기준(일본)	8
<표 3.2> 국내 파이롯트 선진갱 Ø5.0m (00철도, 2004)	8
<표 3.3> 일본 파이롯트 선진갱 Ø4.5~5.0m (일본 터널표준시방서(산악공법), 2006)	9
<표 3.4> 국내 피난갱 Ø5.0m (○○도로터널, 2012)	9
<표 3.5> 일본 피난갱 Ø4.5~5.0m (일본 터널표준시방서(산악공법), 2006)	9
<표 3.6> 국내 철도터널 Ø9.6m (○○전철, 2007)	10
<표 3.7> 국내 도로터널 Ø4.5~5.0m (○○도로터널(현장변경안), 2002)	10
<표 3.8> 일본 철도터널 Ø6.82m (일본 터널표준시방서(산악공법), 2006)	10
<표 3.9> 유럽 알프스 터널 Ø6.0m (Scolari, 1995)	11
<표 3.10> 국내 도수로터널 Ø3.8m (○○댐, 2002)	11
<표 3.11> 일본 도수로터널 Ø3.52m (일본 터널표준시방서(산악공법), 2006)	11

<표 3.12> Q-시스템에 의한 TBM(직경 6m)의 지보량 산정 .....	12
<표 3.13> 터널 시공실적에 따른 TBM(직경 6m)의 지보재 재선정(Scolari, 1995) .....	12

## ■ 그림 목 차 ■

[그림 1.1] NATM 시공 개요도 (Pelizza, 2005) .....	2
[그림 1.2] Open TBM 시공 개요도 (Pelizza, 2005) .....	2
[그림 2.1] Lauffer의 무지보 길이 S의 정의 (Hoek et al, 1980) .....	3
[그림 2.2] 지반등급에 따른 무지보 길이와 자립시간과의 관계 (Lauffer, 1958) .....	3
[그림 3.1] 지반등급별 지보설치 시기 .....	6
[그림 3.2] 보강 재료에 따른 슛크리트 .....	7
[그림 3.3] 지보재 설치장비(직경 9.43m, Herrenknecht) .....	7
[그림 3.4] 지반반응곡선과 지보재특성곡선 (RocSupport, 2004) .....	13
[그림 3.5] 지보시와 무지보시의 소성영역 (RocSupport, 2004) .....	13
[그림 3.6] 계측에 의한 표준지보패턴의 재선정 .....	14

# 1. 서 론

## 1.1 개요

터널의 지보설계는 안전하고 경제적인 터널 건설을 위해 반드시 필요한 기술분야이다. 하지만 지보설계는 일반구조물 설계와는 달리 다양한 터널굴착방법과 불확실한 지반조건 등으로 인하여 명확한 설계법을 제시하기 어려운 실정이다.

터널 기술자는 반세기 전부터 최적 지보설계에 대한 많은 연구를 수행하여 왔다. 그 결과 RMR(Rock Mass Rating) 시스템, Q-분류법, NATM(New Austrian Tunnelling Method) 및 NMT(Norwegian Method of Tunnelling) 등 다양한 지보설계 방법이 개발되고 있다. 이러한 지보설계방법은 어떤 이론적 배경에서 접근하기보다는 터널 기술자의 오랜 경험을 바탕으로 제안된 경험적 설계법이다. 이 설계법은 지반조건 이외에 터널굴착방법, 터널시공요인을 합리적으로 고려하기 어렵기 때문에, 터널기술의 발전과 다양한 경험의 축적에 따라 지속적으로 수정과 보완이 이루어지고 있다.

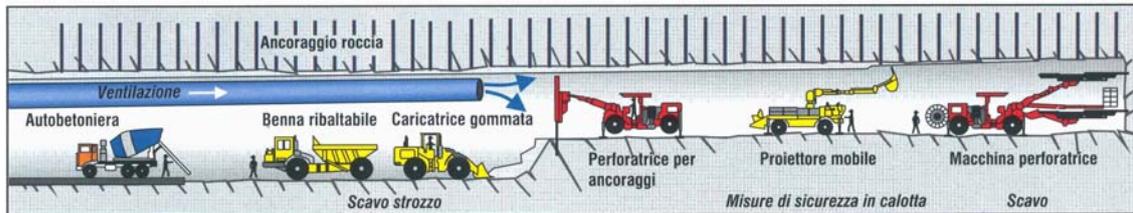
경험적 설계법은 발파하중에 의해 터널주변지반을 크게 교란시키는 NATM에 적합하도록 개발된 지보설계방법이다. TBM은 전단면 터널굴착기계로 터널을 시공하므로, NATM에 비해 터널주변지반의 교란이 현저히 줄어든다. 따라서 Open TBM은 NATM보다 상당히 경감된 지보량으로도 터널의 안정성을 확보할 수 있다. 하지만 국내의 Open TBM의 지보설계는 설계 방법이 정립되어 있지 않아 NATM의 지보설계법을 준용하는 경우가 많다. 터널기술이 발달된 선진국에서는 자국의 지반조건, TBM 굴진기술 수준 및 제반시공여건을 반영한 TBM용 지보시스템을 개발하여 TBM 현장에 적용하고 있다. 이 시스템은 경험적 설계법에서 사용하는 평가점수를 상향조정하여 지보량을 경감시켰다.

Open TBM 지보설계에 적용할 수 있는 설계 방법에는 경험적 방법, 이론적 방법 및 수치해석적 방법이 있다. 과거의 지보설계는 경험적 설계법에 많이 의존했으나, 근래에는 지반조사 기술의 발달과 컴퓨터 프로그램의 개발로 터널안정성과 경제성 확보가 용이한 수치해석법(FLAC 등)이 점차 증가하고 있다. 특히, 원형터널인 Open TBM에 대해서는 탄성해 및 탄소성해를 이용하는 이론적 설계법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Ashraf, 2006). 이 설계법들은 터널설계 단계별로 각각 장점과 단점을 가지고 있다.

따라서 본 Technical Report에서는 Open TBM과 NATM의 거동특성과 지보설계방법을 살펴보고 국내·외 Open TBM의 지보패턴사례를 정리함으로써, 국내 터널기술자가 Open TBM의 지보설계를 합리적으로 수행할 수 있도록 제시하고자 한다.

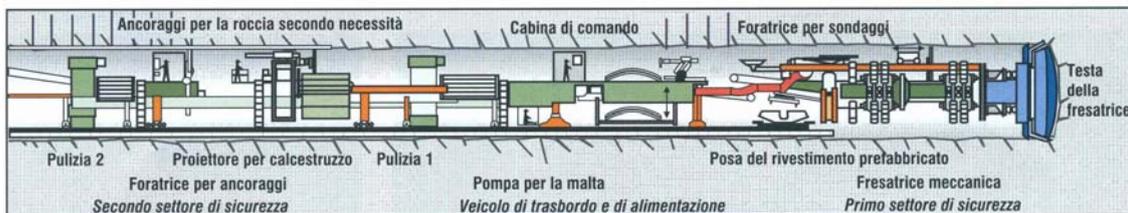
## 1.2 굴착방법에 따른 Open TBM 터널의 거동특성

터널굴착방법은 굴진면의 지반을 굴착하는 수단으로 크게 발파굴착과 기계굴착으로 나눌 수 있다. 발파굴착(Drill and Blast)은 국내에서 NATM이라 불리우고 있으며, 착암기나 점보드릴 등 천공장비에 의해 천공된 공에 화약을 장약하여 그 폭발력을 이용하여 암반을 굴착하는 방법을 말한다. 발파굴착은 일반적으로 터널 주위 암반을 크게 손상시키므로 원상태의 지반특성을 유지하기가 곤란하다(그림 1.1).



[그림 1.1] NATM 시공 개요도 (Pelizza, 2005)

기계굴착은 브레이커, 굴착기 및 TBM 등의 굴착기계를 사용한 굴착으로, 본 Technical Report에서는 Open TBM을 중심으로 살펴보고자 한다. Open TBM을 이용한 터널 굴착은 터널 주위 암반이 거의 교란되지 않고 원상태의 암반특성을 유지할 수 있다(그림 1.2).



[그림 1.2] Open TBM 시공 개요도 (Pelizza, 2005)

## 2. Open TBM의 설계법

### 2.1 경험적 설계법

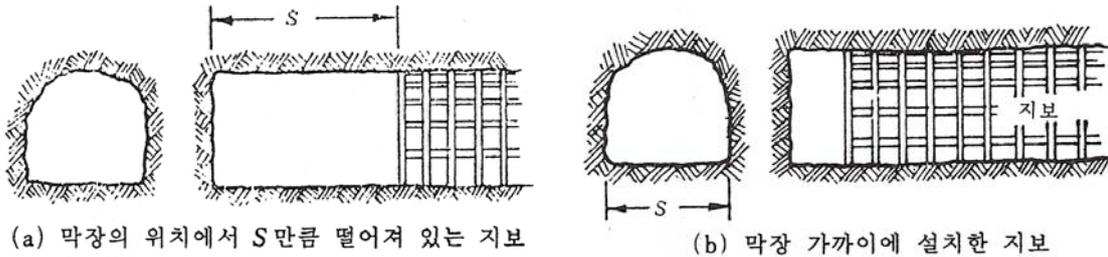
경험적 설계법은 터널변형에 대한 관찰과 다양한 지보 적용사례에 기초한 터널 기술자의 경험을 바탕으로 한 것이다. 경험적 설계법은 터널거동적 접근방법과 지반공학적 접근방법으로 구분할 수 있다. 전자는 다양한 지반조건과 초기지중응력 상태에서 굴착에 따른 터널의 변형 정도를 이용한 것으로 시공단계에서 지반등급을 분류할 때 적용되기도 한다. 후자는 지질학적 지반 특성과 지반공학적 주요 변수를 이용한 것으로 지반을

정량적으로 분류할 수 있는 방법이다.

TBM은 발파에 의한 NATM에 비해 여굴과 터널주반지반의 소성영역을 극소화할 수 있다. 즉, TBM은 NATM보다 상당히 적은 지보량으로도 터널의 안정성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 선진국은 자국의 지반조건, TBM 굴진 기술수준 및 제반시공여건을 반영하여 자체 TBM의 지보설계 시스템을 개발하였고 현재 터널현장에 적용하고 있다.

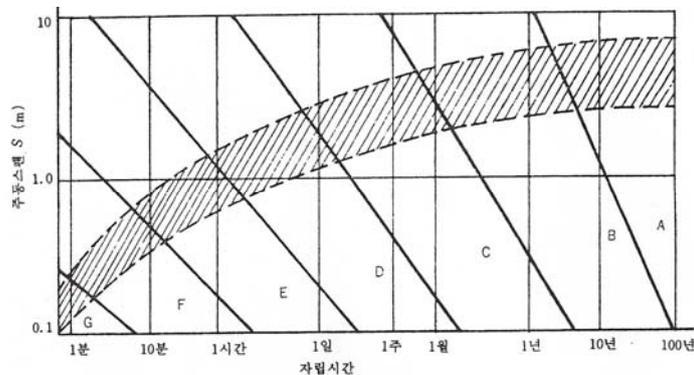
### 가. 터널거동적 접근방법

터널거동적 접근법은 Stini(1950)와 Lauffer(1958)에 의해 제안되었다. Lauffer은 터널굴착시 안정성을 확보하는데 중요한 요소로 무지보길이(Active Span)와 자립시간(Stand-up Time)이라는 매개변수를 제시하였다. 무지보길이는 터널직경 및 지보재와 굴진면의 이격거리 중에서 터널 붕괴를 유발시키는 거리로서, 지반조건과 초기지중응력에 큰 영향을 받는다(그림 2.1). 이에 대해 자립시간은 터널굴착 후 무지보 상태에서 버력처리와 지보재 설치 등을 충분히 할 수 있는 시간을 말한다.



[그림 2.1] Lauffer의 무지보 길이 S의 정의 (Hoek et al, 1980)

Lauffer는 무지보길리와 자립시간에 따라 지반을 7등급으로 구분하였다. 그림 2.2의 알파벳은 지반분류를 의미한다. 예를 들면 A는 대단히 양호한 지반이고 G는 매우 불량한 지반에 속한다.



[그림 2.2] 지반등급에 따른 무지보 길리와 자립시간과의 관계 (Lauffer, 1958)

## 나. 지반공학적 접근방법

지반공학적 접근법은 어떤 이론적 배경에서 출발되었다기 보다는 대부분 터널 현장 기술자들의 오랜 경험을 통해 제안된 방법으로 Q-분류법, RMR(Rock Mass Rating) 시스템 등의 지반분류법이 있다. 이 방법은 지반조건 이외에 터널 시공요인(작업공의 숙련도, 시공수준, 사용장비 및 굴착방법 등)의 영향이 크므로 시대적 변천에 따라 계속해서 수정되고 보완되는 특징을 가지고 있다.

일반적으로 Open TBM은 NATM보다 터널주변 지반에 미치는 영향이 작기 때문에 결과적으로 굴착에 따른 터널의 안정성을 증진시킬 수 있다. 즉, Open TBM의 지보량이 NATM보다 적게 요구된다. 따라서 Open TBM의 지보설계법은 NATM의 경험에서 얻어진 지반분류법의 평가점수를 상향조정하여 간접적으로 지보량을 경감시키는 방법을 제안하기도 하였다.

## 2.2 이론적 설계법

이론적 설계법은 균질한 지반조건에서 원형터널의 변형을 추정하고, 다양한 지보시스템과 터널과의 상호작용에 대해 접근하기 쉬운 장점을 가지고 있다. 암반과 지보간의 상호관계(Rock Support Interaction)는 내공변위제어법(Convergence-Confinement Method, CCM)으로 체계화시킬 수 있다. 이 방법은 종단변형곡선(Longitudinal Deformation Profile, LDP), 지반반응곡선(Ground Reaction Curve, GRC) 및 지보재특성곡선(Support Characteristic Curve, SCC)에 기본개념을 두고 있으며, 다음과 같은 가정하에서만 Open TBM의 거동을 완전히 분석할 수 있다.

- 지중응력영역은 등방응력상태이다.
- 지반은 등방상태이며 균질하고, 파괴는 주절리에 의해 지배되지 않는다.
- 지보 반응은 완전 탄소성 거동을 하며 균등한 지보압을 갖는다.
  - 슛크리트는 폐합되어 있다.
  - 강지보는 지반과 완전히 밀착되어 원형터널 종방향으로 균일한 간격으로 설치된다.
  - 록볼트는 원형터널 종방향 및 횡방향으로 일정한 간격으로 설치된다.

## 가. 종단변형곡선(LDP)

종단변형곡선(Longitudinal Deformation Profile, LDP)은 무지보터널에서 터널 굴진면을 중심으로 터널종단방향으로 전후방에 대한 내공변위를 그린 것이다.

## 나. 지반반응곡선(GRC)

지반반응곡선(Ground Reaction Curve, GRC)은 터널의 내압  $p_i$ 를 원지반의 지압인  $\sigma_{vo}$ 로부터 감소시켜갈 때, 내공변위  $u_r$ 의 증가양상을 보여주는 곡선이다.

## 다. 지보재특성곡선(SCC)

지보재특성곡선(Support Characteristic Curve, SCC)은 터널의 내공변위가 증가함에 따라, 지보재에 작용되는 지보압( $p_s$ )의 증가양상을 보여주는 곡선이다.

### 3.3 수치해석적 설계법

지반조건이 등방균질조건(응력지배로서 연속체)이 아닌 3~4개의 불연속면으로 블록이 형성되었거나 초기지중응력이 등방조건이 아니라면 수치해석을 이용한 터널해석이 필요하게 된다.

수치해석은 토사터널이나 혹은 등방균질조건에 유사한 암반(Rock Mass)에 터널을 굴착하는 경우에는 연속체역학으로서 유한요소법이나 유한차분법(또는 경계요소법)을 이용하고, 불연속체역학이 지배하는 경우에는 개별요소법을 적용하여야 한다.

#### 가. 탄성영역의 Open TBM 거동해석

Open TBM 굴착시 터널주변 지반이 균질하고 탄성영역에서 거동한다면 모든 초기지중응력( $K_0$ ) 조건에서 Kirsh의 탄성해를 적용할 수 있다. 이와 같은 지반조건에서는 탄성해를 이용한 이론적 설계법도 적용할 수 있다.

#### 나. 탄소성영역의 Open TBM 거동해석

Open TBM 굴착시 터널 주변지반이 균질한 탄소성영역이고 초기등방지중응력( $K_0 = 0$ )이라면 탄소성해를 적용할 수 있다. 여기서 주의할 점은 탄소성해가 터널주변지반의 소성영역 발생에 따른 사하중(이완하중)을 반영하지 못한다는 것이다.

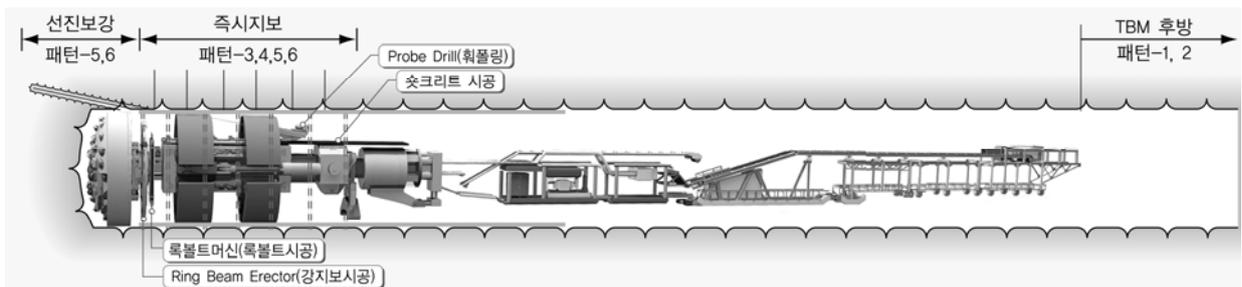
실제 터널시공현장에서 불연속체해석(DEM)이 가능하도록 공사 전에 충분히 지반조사를 실시하는 것은 어렵다. 따라서 실무에서 실제적으로 수치해석을 적용할 수 있는 것은 연속체역학일 것이다.

### 3. Open TBM의 지보설계

#### 3.1 Open TBM 설계시 고려사항

Open TBM의 지보설계는 TBM의 굴착특성, 용도, 지보재의 특징 및 지반조건에 의해 결정된다. 이 4가지 항목에 대해 자세히 살펴보면 다음과 같다.

첫째, Open TBM의 굴착특성은 그 직경에 따라 지보재 설치시기에 확연한 차이가 있다는 것이다. 대구경 TBM은 커터헤드 바로 후방에 받침대를 설치할 공간이 있어, 이곳에서 슛크리트, 록볼트, 강지보재 등 주지보재를 설치할 수 있다. 그러나 소구경 TBM은 커터헤드로부터 0.5D~2.0D(D는 굴착경) 이격된 위치에 지보재 설치가 가능하므로, 지보재의 설치시점은 NATM에 비해 그만큼 길어진다는 것을 의미한다. 따라서 지반의 자립시간이 지보재의 설치시점보다 짧은 단층대 또는 파쇄대 등 불량한 지반에서는 그림 3.1과 같이 조기에 지보재를 설치할 수 있는 장치를 TBM 제작시 고려하여야 한다.



[그림 3.1] 지반등급별 지보설치 시기

둘째, TBM의 용도는 교통터널(일반터널, 장대터널, 도심지터널, 산악터널), 수로터널(도수/하수 터널), 파이롯트 선진갱 터널로 나눌 수 있다. 교통터널과 수로터널 등의 지보재는 장기적인 지보기능이 요구되고, 대단면 터널용인 파이롯트 선진갱 등은 단기적인 지보기능이 요구된다.

셋째, TBM의 지보재 특징은 발파굴착과 달리 TBM의 굴진속도가 빠르기 때문에, 지보재의 시공시간을 최대한 단축해야한다는 것이다. 즉 TBM 굴착의 목표는 빠른 굴진율을 확보하는 것이므로, 이에 적합한 지보재를 계획하여야 한다.

마지막으로, 설계단계시 TBM공법의 지보설계는 일반적으로 시공경험으로부터 얻어진 지반등급에 근거로 한다. 시공중에는 TBM 굴착면을 관찰하고, TBM 장비로부터 얻은 데이터를 종합함으로써 지반여건을 객관성 있게 평가할 수 있다.

### 3.2 Open TBM 지보재의 특징

#### 가. 숯크리트

대구경 TBM에서는 작업공간이 넓어, NATM에서 사용하는 숯크리트를 사용할 수 있지만, 소구경 TBM에서 숯크리트는 작업공간이 협소하여 섬유보강 모르터를 주로 사용한다.



(a) 철망보강 숯크리트

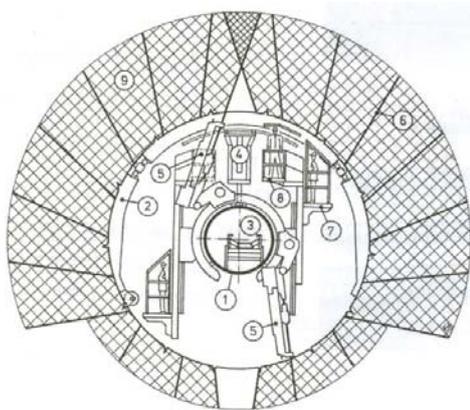


(b) 강섬유보강 숯크리트

[그림 3.2] 보강 재료에 따른 숯크리트

#### 나. 록볼트

대구경 TBM에서 록볼트 천공장비는 커터헤드와 그리퍼 사이에 배치되어 있고, 록볼트 적용범위는 그림 3.3과 같이 천장부와 인버트부에서는 록볼트를 굴착면과 직각에 가깝게 설치할 수 있으나 좌우 측벽부에서는 방사형 형태로 설치하는 것이 불가피하다.



- ① 기계 지지대
- ② 철근망 타설 장비
- ③ 컨베이어 벨트
- ④ 아치 시공 장비
- ⑤ 보링 받침틀
- ⑥ 록볼트
- ⑦ 보호 덮개가 있는 작업 스테이지
- ⑧ 보호 덮개가 있는 작업 바스켓
- ⑨ 시공 가능한 록볼트 영역

[그림 3.3] 지보재 설치장비(직경 9.43m, Herrenknecht)

#### 다. 강지보재

Open TBM의 강지보재는 NATM과 같이 굴진면의 천단 붕락이나 본체 후방의 붕락 및 붕괴의 우려가 예상되는 구간에 설치하고 있다. 강지보재의 종류로는 H-형강, U-형강, 격자지보재 (Lattice Girder) 및 ㄷ-채널 등이 있다

## 라. 철 망

철망설치는 최근까지 인력작업으로 진행되어 왔으나, 현재는 철망 설치 장비가 장착되어 기계식으로 설치하고 있다.

### 3.3 표준지보패턴의 선정

TBM 굴착은 발파굴착과 비교할 때 지반의 교란정도가 적으므로, 터널 주변지반의 지보기능을 최대한 활용하여 소요 주지보재량을 최소화할 수 있다.

#### 가. 표준지보패턴 사례

TBM의 굴착직경과 주지보재의 관계는 일본에서 연구된 결과인 표 3.1에 잘 나타나 있다.

<표 3.1> TBM 굴착직경에 따른 주지보재 선정기준(일본)

구 분		TBM 굴착직경			지보규모
		소구경	중구경	대구경	
숫크리트	일반숫크리트	○	○	△	두께 (20~50mm)
	SFRS	×	△	○	두께 (100~150mm)
철망		○	△	△	
록볼트		×	△	△	길이 (1.5~2.0m)
강지보재		○	○	○	ㄷ-40×75, ㄷ-50×100, H-100, H-125, H-150

#### ① 파이롯트 선진갱

<표 3.2> 국내 파이롯트 선진갱 Ø5.0m (00철도, 2004)

구 분		패턴-1	패턴-2	패턴-3	패턴-4
지반 등급	RMR	60 이상	60~45	45~30	30이하
	Q	10 이상	10~1	1~0.1	0.1이하
굴진장(m)		1.5	1.5	1.2	1.0
숫크리트(mm)		-	50 (일반)	50 (일반)	100
록볼트	길이(m)	2.0	2.0	2.0	2.0
	간격(중/횡,m)	랜덤	1.5/2.0	1.2/1.5	1.0/1.2
	설치위치	랜덤	90°	135°	135°
강지보재		-	-	-	H-100
보조공법		-	-	-	-

〈표 3.3〉 일본 파이롯트 선진갱 Ø4.5~5.0m (일본 터널표준시방서(산악공법), 2006)

구 분		B-T	CI-T	CII-T	D-T	E-T
지반조건		B	CI	CII	D	E
지반 등급	RMR	80~61	60~41	40~21	20 이하	
	Q	10~2	2~0.1	0.1~0.004		0.004이하
굴진장(m)		1.5	1.5	1.5	1.0 이하	
숫크리트(mm)		-	20(강섬유) 120°	20(강섬유) 180°	30(강섬유) 180°	별도 지보검토
강지보재		-		H-100×100	H-100×100	

## ② 파이롯트 피난갱

〈표 3.4〉 국내 피난갱 Ø5.0m (○○도로터널, 2012)

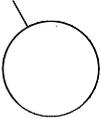
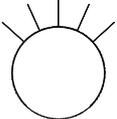
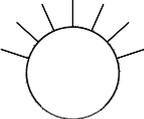
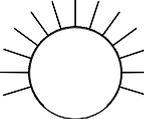
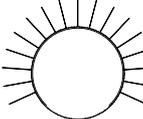
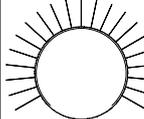
구 분		패턴 1 (본선패턴1,2)	패턴 2 (본선패턴3)	패턴 3 (본선패턴4)	패턴 4 (본선패턴5)
Q		5이상	5~0.93	0.93~0.28	0.28이하
RMR		60	60~45	45~35	35이하
굴착방법		TBM	TBM	TBM	TBM
굴진장(m)		3.0	2.0	1.5	1.0
S/C(mm)		일반 50	강섬유 50	강섬유 100	강섬유 150
보호공(mm)		50	50	50	-
R/B	길이(m)	-	2.5	2.5	2.5
	횡(m)	-	2.0 (상반90°)	1.5 (상반150°)	1.2 (상반150°)
	중(m)	-	2.0	1.5	1.0
강지보(m) (격자지보)		-	-	-	1.0 50×20×30

〈표 3.5〉 일본 피난갱 Ø4.5~5.0m (일본 터널표준시방서(산악공법), 2006)

구 분		B-T	CI-T	CII-T	D-T	E-T
지반조건		B	CI	CII	D	E
지반 등급	RMR	80~61	60~41	40~21		20 이하
	Q	10~2	2~0.1	0.1~0.004		0.004이하
굴진장(m)		1.5	1.5	1.5	1.0 이하	
숫크리트(mm)		-	20(강섬유) 260°	20(강섬유) 260°	30(강섬유) 260°	별도 지보검토
강지보재		-	-	H-100×100	H-100×100	

③ 산악터널

<표 3.6> 국내 철도터널 Ø9.6m (○○전철, 2007)

구 분		패턴-1	패턴-2	패턴-3	패턴-4	패턴-5	패턴-6
개념도							
지반 등급	RMR	65 이상	65~59	59~50	50~35	35~27	27~20
	Q	10 이상	4~10	4~1.0	1.0~0.1	0.1~0.03	0.01~0.03
굴진장(m)		Random	3.0	3.0	1.5	1.5	1.0
숫크리트(mm)		50(일반)	50(강섬유)	50(강섬유)	80(강섬유)	120(강섬유)	150(강섬유)
록볼트	길이(m)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	간격(중/횡,m)	Random	3.0/2.0	3.0/2.0	1.5/1.5	1.5/1.2	1.0/1.0
	설치범위	Random	90°	135°	260°	260°	260°
강지 보재	규격	-	-	-	50×20×30	70×20×30	70×20×30
	간격	-	-	-	3.0	4.0	4.0

<표 3.7> 국내 도로터널 Ø4.5~5.0m (○○도로터널(현장변경안), 2002)

구 분	패턴 1	패턴 2	패턴 3	패턴 4
RMR	61~100	41~60	31~40	30이하
S/C(mm)	-	30(레미탈)	50(레미탈)	100(레미탈)
록볼트	-	0.833개/m	6개/m	-
강지보	-	-	-	1.25조/m

<표 3.8> 일본 철도터널 Ø6.82m (일본 터널표준시방서(산악공법), 2006)

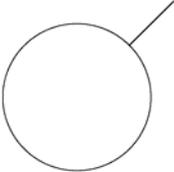
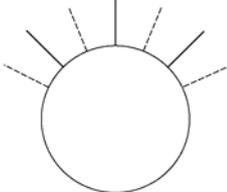
구 분		IVNP-T	III NP-T	II NP-T	I NP-T	I IP-T
지반 등급	RMR	60~41	40~21	20 이하		
	Q	2~0.1	0.1~0.004		0.004이하	
숫크리트(mm) (설치범위)		-	20 (상반 90° ~ 180°)	30 (주로 상반 180°)	주로 30 (주로 240°)	50 (180°)
록볼트 (길이×본수)		-	-	1.5×4 또는 6	1.5×0~10	1.5×6
강지보재		-	-	-	H-125 @1.2m	H-125 @1.2m
보조공법		-	-	-	-	선진파이프 선진보링

<표 3.9> 유럽 알프스 터널 Ø6.0m (Scolari, 1995)

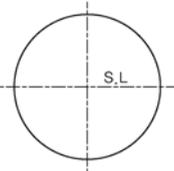
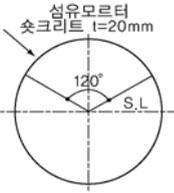
구 분		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
지반 등급	RMR	80~65	65~59	59~50	50~35	35~27	27~20	20~5
	Q	100~10	10~4	4~1	1~0.1	0.1~0.03	0.03~0.01	0.01~0.001
숫크리트(mm)		—	50	50	80	100	150	굴착전 전방지반 보강
철망(m <sup>2</sup> )		—	1.0이하	1.0~1.5	5.0~9.0	9.0~18	18~27	
록볼트	길이	2.0m	2.0m	2.0m	2.5m	2.5m	2.5m	
	개수	0.5 이하	1.0 이하	1~3개	3~5개	5~7개	7~10개	
강지보재		—	—	—	40~80kg/m	80~160kg/m	160~300kg/m	

#### ④ 수로터널

<표 3.10> 국내 도수로터널 Ø3.8m (○○댐, 2002)

구 분		Type A	Type B	Type C	Type D
지반등급 (RMR)		70 <	70~55	55~35	< 35
개요도					
록볼트	길이	3.0 m	3.0 m	—	—
	간격 (m)	Random	3.0	—	—
강지 보재	규격	—	—	H-100×100×6×8	H-100×100×6×8
	간격	—	—	1.5 m	1.0 m

<표 3.11> 일본 도수로터널 Ø3.52m (일본 터널표준시방서(산악공법), 2006)

구 분		Type A	Type B	Type C	Type D
지반등급		CH 이상	CH ~ CM	CM	CM ~ CL
개념도					
RMR		100~51	40~21	20 이하	
Q		100~2.0	2.0~0.1	0.1~0.004	0.004이하
굴진장 (m)		1.5			
숫크리트(mm)		—	20 ( 120° )	20 ( 180° )	30 ( 270° )
강지보재		—	—	—	□-150×75×65×10

나. Q-시스템에 의한 표준지보패턴의 선정

Scolari(1995)는 Ilbau가 개선한 오스트리아 TBM 지보설계와 경험적 설계법(Q-시스템, RMR 분류법)을 조합하여 합리적인 Open TBM의 지보량을 제시하였다. 그는 알프스를 통과하는 6m직경의 Open TBM의 시공경험을 바탕으로 표준지보패턴과 지반거동의 관계를 규명하였다.

① Q-시스템에서 Open TBM의 지보량 산정

<표 3.12> Q-시스템에 의한 TBM(직경 6m)의 지보량 산정

지반등급	A·B	C	D	E	F-1	F-2	G
Q	100~10	10~4	4~1	1~0.1	0.1~0.04	0.04~0.01	0.01 이하
Q보정	100~20	20~8					
숫크리트(mm)	-	-	40~70	70~130	130~150	150~200	200 이상
록볼트 (m)	길이	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	간격	-	1.9 이상	1.7~2.1	1.3~1.7	1.2~1.3	1~1.2
강지보재	-	-	-	-	-	RRS	RRS 또는 CCA

② Q-시스템과 시공실적의 지보량 분석

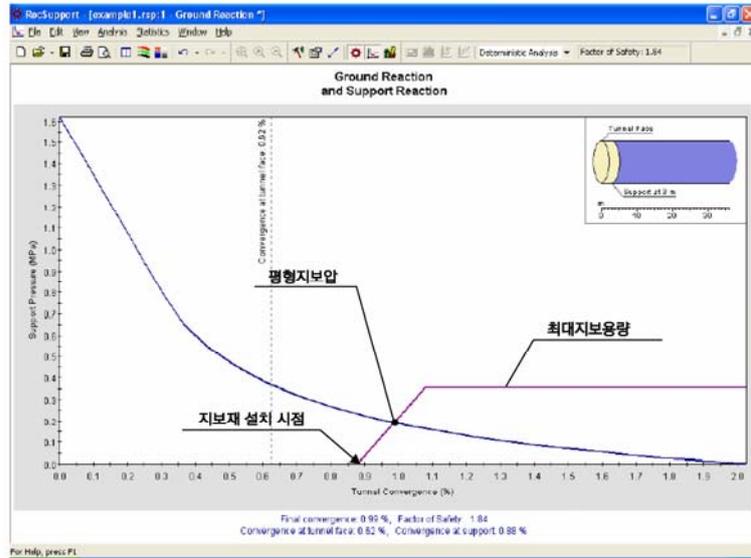
Scolari(1995)가 직경 6m의 TBM으로 알프스를 굴착하면서 시공실적에 의해 정립한 지보량은 다음 표 3.13과 같다.

<표 3.13> 터널 시공실적에 따른 TBM(직경 6m)의 지보재 재선정(Scolari, 1995)

구분	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
지반조건	시공시 지반거동	안정	소규모 낙석 발생가능	소규모 낙석	소규모 붕락	잦은 붕락 발생가능	전면부 대단위 붕락가능	자립불가
	RMR	80~65	65~59	59~50	50~35	35~27	27~20	20~5
	Q	100~10	10~4	4~1	1~0.1	0.1~0.03	0.03~0.01	0.01~0.001
개념도								
숫크리트(mm)	-	50	50	80	100	150	굴착전 전방지반 보강	
철망(m <sup>2</sup> )	-	1.0이하	1.0~1.5	5.0~9.0	9.0~18	18~27		
록볼트	길이	2.0m	2.0m	2.0m	2.5m	2.5m		2.5m
	개수	0.5 이하	1.0 이하	1~3개	3~5개	5~7개		7~10개
강지보재	-	-	-	40~80kg/m	80~160kg/m	160~300kg/m		

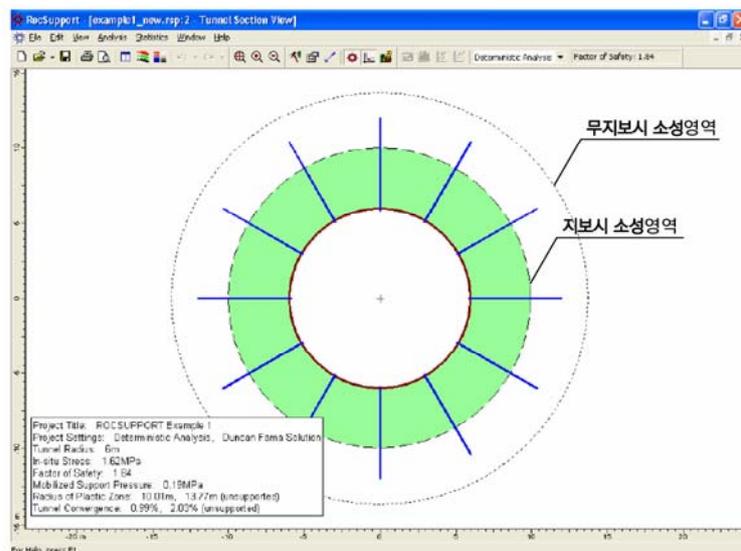
### 다. 탄소성해석에 의한 표준지보패턴의 선정

내공변위제어법 (Convergence-Confinement Method, CCM)은 지반반응곡선(GRC), 지보재특성곡선(SCC) 및 종단변형곡선(LDP)을 조합함으로써 작성할 수 있다. 지반반응곡선과 지보재특성곡선은 각각 독립적으로 작성한다(그림 3.4 참조).



[그림 3.4] 지반반응곡선과 지보재특성곡선 (RocSupport, 2004)

지반반응곡선과 지보재특성곡선을 통한 지반과 표준지보패턴의 상호작용결과는 평형지보압, 안전율 및 소성반경 크기로 나타난다. 평형지보압과 안전율은 그림 3.4로부터 구할 수 있다. 소성영역의 반경은 그림 3.5에서 무지보상태와 표준지보패턴의 총 지보량에 대해 나타나 있다.



[그림 3.5] 지보시와 무지보시의 소성영역 (RocSupport, 2004)

### 3.4 지보패턴 적정성 검증 및 활용

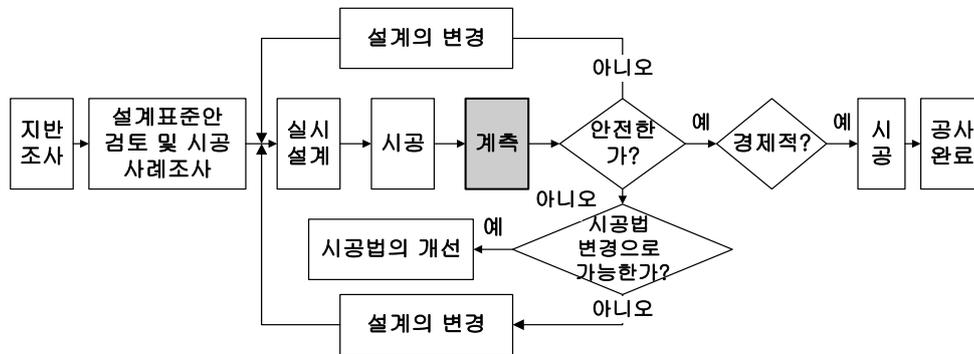
#### 가. 수치해석

설계단계의 Open TBM의 지보설계는 최종설계가 아닌 사전설계 또는 예비설계일 수 밖에 없다. 그러나 설계단계에서 수치해석은 터널굴착으로 인한 지반의 거동 및 터널 주변에의 영향을 예측하고, 설계구조물의 안정성 및 적합성을 평가하며, 시공단계에서 실시하게 될 현장계측의 관리 기준치를 결정하는데 유효한 방법이 된다.

Open TBM은 불량한 지반에서 굴진율이 현저히 저하된다. 이러한 취약구간에 대한 수치해석은 Open TBM의 표준지보패턴에 대한 안전율과 터널주변지반의 소성 발생 범위를 정량적으로 제시할 수 있으므로 지보패턴의 적정성을 검증할 수 있다.

#### 나. 계측계획

Open TBM의 계측은 NATM처럼 설계단계에서 내포된 공학적 한계성을 극복할 수 있도록 판단기준을 제공해 주고, 시공단계의 안정성과 경제성도 동시에 확보할 수 있어야 한다. 계측흐름도는 그림 3.6과 같으며, 계측결과에 따라 기존 시공방안대로 추진 또는 설계변경, 시공법 개선 등이 이루어져야 한다.



[그림 3.6] 계측에 의한 표준지보패턴의 개선절차

#### 다. 시공중 피드백 시스템

터널변위는 설계단계에서 수행한 수치해석결과와 시공단계에서 수행하는 계측결과를 상호 비교 분석해야 하며, 필요시 역해석 기법을 도입하여 터널거동에 대한 재평가가 이루어져야 한다.

시공중 역해석은 시행오차방법, 직접법, 역산법 등의 역해석 방법보다는 입력치를 재평가하는데 중점을 두어야 한다. 재평가된 지반특성치는 향후 시공될 구간에 대한 터널거동을 사전에 파악하는데 활용될 수 있다.

---

## 참고문헌

1. Ashraf, A.K. (2006), Analysis of TBM Tunnelling Using the
2. Pelizza, S. (2005), 강의자료, 토리노공과대학.
3. Hoek, E & Brown E. T. (1980), Underground excavation, Institute of Mining and Metallurgy, London, pp. 244–279.
4. Carranza-Torres C. and Fairhurst C. (2000), Application of the Convergence-Confinement Method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion, Tunnelling and Underground Space Technology Vol 15, No. 2, pp. 187–213.
5. RocSupport (2004), Tutorial manual support using ground reaction curves, Rocscience web site.
6. 일본토목학회 (2006), 터널 표준시방서 (산악공법·동해설), pp. 271–280.
7. 건설교통부 (2000), 도로설계편람 (1), pp. 605-1 ~ 605-11.
8. 국도 제 46호선 ○○터널 설계자료
9. 원주~강릉간 ○○전철 TBM터널 설계자료
10. 대구~춘천간 ○○고속도로 죽령터널 설계자료
11. ○○댐 도수터널 TBM터널 설계자료

**Annual Technical Report(Part 2)**

**박층 뿜칠라이너(Thin Spray-on  
Liner, TSL) 공법**

**2017**

**터널 지하공간학회  
굴착 및 지보기술위원회**

## ■ 목 차 ■

1. 서 론.....	1
2. TSL의 개념과 특징.....	2
2.1 TSL의 지보 매커니즘.....	2
2.2 TSL의 주요 구성재료.....	4
2.3 TSL의 특성.....	7
3. TSL의 개발 현황.....	10

## ■ 표 목 차 ■

Table.

<2.1> Comparison of physical attributes of spray-on area support coatings (Archibald & Nicholls, 2001).....	5
<2.2> TSL performance categories(Spearing, 2003).....	5
<2.3> Comparisons between Shotcrete and TSLs(Saydam, 2008).....	8
<2.4> Comparisons of construction cost, time and construct ability between shotcrete and TSLs(Steyn et al., 2007).....	9
<2.5> Classification of TSL characteristics(Steyn et al., 2007).....	10

## ■ 그림 목 차 ■

Fig.

[2.1] Mechanisms of surface support behavior(modified from Stacey, 2001).....	3
[2.2] General TSL spraying procedures(Saydam, 2008).....	6

## 1. 서 론

박층 뿔칠 라이너(Thin Spray-on Liner, 이하 TSL)는 암반면에 뿔쳐 붙여지는 폴리머(polymer) 계열의 재료로 구성되며 비교적 양호한 암반 조건에서 숏크리트와 철망을 대체할 수 있는 새로운 지보재로서 고려되고 있다(Roberts, 2001). 현재 광산에서 적용되고 있는 TSL의 일반적인 타설 두께는 3~5 mm이며 최대 10 mm미만으로서 숏크리트와 비교할 때 두께가 매우 얇은 것이 특징이다(EFNARC, 2008).

1980년대 후반에 캐나다의 Queen's University에서 최초로 TSL에 대한 연구를 수행한 이후로, 1990년대말부터 새로운 TSL 제품들이 개발되면서 본격적으로 광산에 적용되기 시작하였다. 특히, 2000년대에 들어서 TSL에 대한 관심과 적용이 급증하여 2004년 기준으로 전 세계적으로 50개 이상의 광산에서 활용되고 있으며 계속 증가 추세에 있다(Povin 외, 2004).

TSL은 신속한 타설이 가능하고 높은 초기 안정성으로 인해 숏크리트와 철망을 대체하면서 낙반을 방지할 수 있으며, 방수성과 주입성능이 우수하여 지하수 유입을 방지하고 암반을 보강할 수 있는 효과를 가지고 있다. 특히, 탄성 특성과 부착력이 매우 우수하며 시간에 따른 장기 열화가 거의 없다는 장점을 가지고 있다(Lau 외, 2008, Tannant, 2001).

하지만 TSL에 의한 암반 지보설계 과정과 방법이 확립되어 있지 않으며, 특히 숏크리트와 같이 주로 압축력을 받는 아치 거동을 하는 구조체로서 설계하는 일반적인 방법을 두께가 얇은 TSL에 적용하기가 어렵다(Povin 외, 2004). 따라서 TSL의 지보 성능을 평가하기 위한 가장 명확한 방법은 현장 및 실험실 시험을 통해 TSL의 특성을 파악하는 것이다(Tannant, 2004)

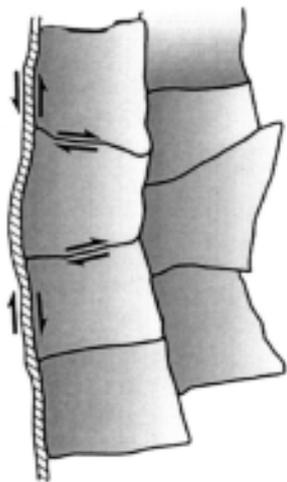
TSL의 역학적 특성을 평가하기 위한 다양한 시험방법들이 제시 및 시도되고 있지만(Stern 외, 2007, Yilmaz, 2007), EFNARC(2008)에서 제시하고 있는 두 가지 종류의 휨시험법을 제외하고는 표준화된 시험방법은 없으며 관련 시험결과들도 좀처럼 공개되지 않고 있다. EFNARC(2008)에서는 광산뿐만 아니라 토목분야의 터널에도 적용될 수 있는 것으로 보고하고 있으나 아직까지 터널에 적용된 사례는 파악되지 않고 있으며, 더욱이 우리나라에서는 TSL이 소개 또는 적용된 사례가 전무한 실정이다.

## 2. TSL의 개념과 특징

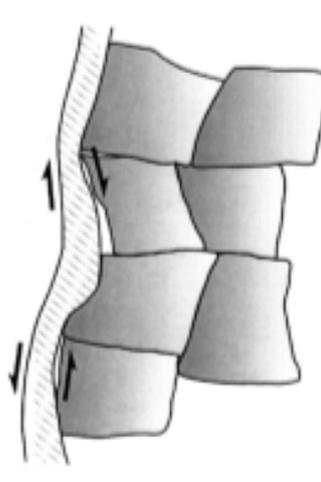
### 2.1 TSL의 지보 메커니즘

TSL의 특성 및 지보 성능 평가를 위한 시험을 실시하기 위해서는 지보의 다양한 거동 메커니즘을 고려할 필요가 있다. 이러한 지보의 거동 메커니즘은 Fig. 2에 정리된 단일 거동 또는 복합적인 거동으로 설명될 수 있다.

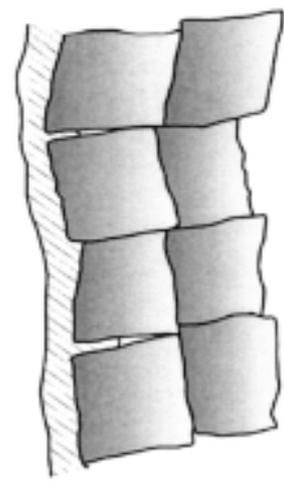
일반적으로 지보는 암반을 느슨하지 않은 상태로 유지하는 것이 주된 역할이다. 특히, 암반에 대한 TSL의 높은 부착력과 인장강도로 인해 암반 불연속면에서의 전단력 발생과 암반 블록의 회전을 방지할 수 있다(그림 2.1 a). TSL과 암반 사이의 인터페이스 형상의 불규칙성으로 인해 부착력이 좋지 못한 경우에도, 인터페이스에서 전단 강도가 발휘되어 암반면을 봉합하는 역할을 하며(그림 2.1 b), 침투성능이 우수하여 TSL 재료가 절리나 암반 균열 내로 들어가서 암반을 보강하는 효과도 기대할 수 있다(그림 2.1 c). 상대적으로 두꺼운 숏크리트의 경우에는 전단 저항에 의해 암반 블록의 이동을 방지하지만(그림 2.1 d), 높은 부착성능을 가지는 박층의 TSL에 의해서는 TSL과 암반 사이의 인터페이스에서 인장력이 발생하게 되어 암반 블록의 이동을 방지한다(그림 2.1 e). 또한 TSL의 뛰어난 기밀성(air tightness)으로 인해 갭내로부터의 공기 유입을 차단할 수 있어, 결국 암반의 팽창(dilation)을 방지하여 안정성 향상에 기여할 수 있다(그림 2.1 f). 이와 더불어 숏크리트 라이닝과 마찬가지로 아치 효과에 의한 지보 성능과 폴리머 재료의 특성으로 인해 뛰어난 내구성을 가지고 있다. 이외에도 TSL에 발생할 수 있는 파괴 메커니즘으로는 전단파괴, 휨파괴, 좌굴(buckling) 등을 들 수 있다(그림 2.1 g~i).



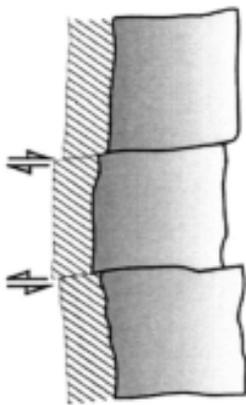
(a) Shear and rotational resistance with a bonded membrane



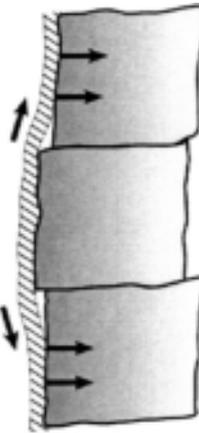
(b) Physical shear interlock with poorly bonded membrane



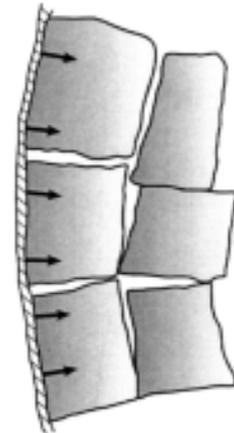
(c) Plugging of open joints and fractures



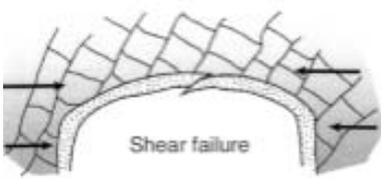
(d) Shear resistance of thicker shotcrete membrane



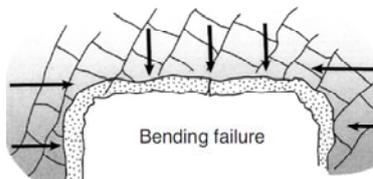
(e) Tension in membrane and bond strength



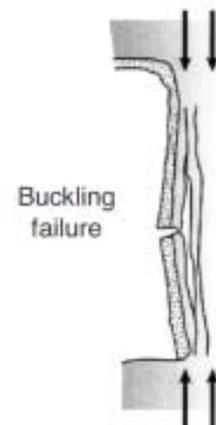
(f) Airtight membrane promoting 'suction' support pressure



(g) Shear failure of stiff/brittle membranes



(h) Bending failure of stiff/brittle membranes



(i) buckling failure of stiff/brittle membranes

[그림 2.1] Mechanisms of surface support behavior(modified from Stacey, 2001)

## 2.2 TSL의 주요 구성 재료

TSL에 사용될 수 있는 폴리머(polymer)에는 폴리우레탄(polyurethane), 폴리요소(polyurea), 메타크릴(methacrylate) 및 이소시아네이트(isocyanate)가 해당된다. 이러한 폴리머의 사용으로 인해 빠른 응결 특성과 방수성능을 발휘할 수 있다. 또한 타설면에 대한 부착력, 인성, 내구성, 탄성, 충격저항성 등이 매우 우수하며, 숏크리트와 비교할 때 분진이 크게 감소되어 시공성이 향상된다. 하지만 폴리머 재료 가운데 이소시아네이트는 건강과 안전 측면에서 자주 논란이 되는 재료로서 대부분의 광산에서는 사용하지 않는 재료이다(Povin 외, 2004). 하지만 이소시아네이트로 인해 작업자들의 건강과 안전을 저해할 수 있다는 우려가 현재 TSL이 널리 활용되지 못하고 있는 이유 중의 하나가 되고 있다, TSL에 사용되는 재료는 화학적으로 인체의 건강과 안전과 관련된 제반 규정들을 만족해야 하기 때문에 실제로는 그렇지 않다. TSL의 활용을 저해하는 또 다른 이유로는 작업자들이 숏크리트와 록볼트의 사용에 익숙해져 있기 때문이기도 하다(Povin 외, 2004).

TSL의 혼합 방식에 따라 분말 단일형 또는 액상/액상형, 액상/분말형 등의 2성분으로 구분되며, 제조사 고유의 재료와 혼합 방식을 적용하고 있다(표 2.1). 제품에 따라 다소 차이는 있지만 응결이 빨라서 조기재령에서 매우 높은 인장강도를 발휘하는 것을 알 수 있다.

재료의 반응성에 따라 TSL을 반응성 라이너(reactive liner)와 비반응성 라이너(non-reactive liner)로 구분할 수 있다. 반응성 라이너는 타설 후 10분 이내에 초기 반응과 응결이 발생하는 것을 특징으로 하며, 상온(20℃)에서 1시간 이내에 극한 인장강도의 최소 75% 발휘하는 것으로 정의된다. 폴리우레탄, 폴리요소, 메타크릴계 제품 등의 폴리머 재료가 이용되며, 일반적으로 2성분으로 구성되어 있다. 반면, 비반응성 라이너는 숏크리트나 폴리머/시멘트계 혼합물 등을 의미하는 것으로서, 양생시간이 더 길고 시간경과에 따라 감수현상과 강도 증진이 수반된다. 일반적으로 단일 성분의 펌프를 사용(액상, 분말형 또는 액상/액상)하며 반응성 라이너와 비교할 때 상대적으로 가격이 저렴하다(Povin 외, 2004).

이외에도 Spearing(2003)은 TSL의 강성에 따라 TSL의 성능 분류를 표2.2 와 같이 제시한 바 있다.

혼합방식에 따라 약간의 차이는 있으나, 숏크리트와 비교할 때 TSL의 타설장비는 매우 소형이며 낮은 압력의 압축공기로도 시공이 가능하다. 특히, TSL 재료를 타설장비의 호퍼(hopper)에 바로 투입하여 타설을 하기 때문에, 숏크리트와 달리 외부의 배치플랜트(batch plant)가 필요하지 않다는 점도 TSL의 또 다른 장점이다. 앞서 설명한 바와 같이 TSL의 재료 특성 상 빠른 응결과 높은 부착력으로 인해 조기 안정성 확보에 유리할 뿐만

아니라 타설 시 분진 발생이 숏크리트보다 적다. 일반적으로 TSL의 색상은 흰색 또는 밝은 회색 계열로서 갱내의 시인성이 향상된다는 장점도 있다(그림 2.2).

<표 2.1> Comparison of physical attributes of spray-on area support coatings(Archibald & Nicholls, 2001)

Feature	Product B	Product C	Product D	Product E	Product F
Mix type	liquid/liquid (polyerethane)	liquid/liquid (hybrid polyurea/ polyurethane)	liquid/liquid (polyurea)	liquid/liquid (methacrylate)	liquid/powder (latex-based)
Tensile strength (MPa)	10~18 (@ 1 hour)	14~16 (@ 1 hour)	18.5 (@ 1 hour)	> 2.0 (@ 1 hour)	> 1.0 (@ 8 hours) & 3.0 @ 28 days
Set time	10 seconds	10 seconds	10 seconds	< 3 minutes	N/A
90~95% cure time	10 minutes	10 minutes	10 minutes	N/A	N/A

<표 2.2> TSL performance categories(Spearing, 2003)

Category	Time to achieve 1 MPa tensile strength	Tensile strength (at 1 day)	Elongation (at 28 days)
Non-reactive and rigid	> 1 hour	> 1.0 MPa	< 5%
Non-reactive and flexible	> 1 hour	> 1.0 MPa	> 5%
Reactive and rigid	< 1 hour	> 1.0 MPa	< 5%
Reactive and flexible	< 1 hour	> 1.0 MPa	> 5%
Reactive, high strength and rigid	< 1 hour	> 5.0 MPa	< 5%
Reactive, high strength and flexible	< 1 hour	> 5.0 MPa	> 5%



(a) Batching and mixing of TSL



(b) TSL spraying



(c) TSL after spraying

[그림 2.2] General TSL spraying procedures(Saydam, 2008)

### 2.3 TSL의 특성

일반적인 슛크리트와 TSL의 특성을 비교하면 다음의 Table 3과 같다. TSL의 구성 재료에 따라 다소 차이는 있지만 양생 시간이 매우 짧으며, 특히 TSL의 리바운드는 5% 미만으로서 슛크리트와 매우 큰 차이를 보인다. 또한 얇은 두께의 박층 시공이 이루어지기 때문에 슛크리트 대비 TSL의 시공속도는 10배 내외로 향상되고 재료비용 역시 폴리우레탄계 TSL을 제외하면 슛크리트의 50% 수준 이하로 평가된다(Saydam, 2008).

〈표 2.3〉 Comparisons between Shotcrete and TSLs(Saydam, 2008)

Criteria	Shotcrete	Reinforced shotcrete	Bolts and Straps	Polyurethane TSL	Cementious TSL	Acrylic TSL	Sealant	
Material cost (AU%)	15~35	25~55	7~15	20~50	7~12	6~9	2~5	
Application rate (m <sup>2</sup> /min)	0.14~0.33	0.12~0.2	0.11~0.15	1.77~2.32	2~2.5	1.8~2	0.45~1.0	
Average labour required	3	3	2	2	2	2	2	
Rebound (%)	Wet	10~25	10~25	-	< 1	< 5	< 3	< 3
	Dry	10~30						
Rock-feature visibility	poor	poor	good	fair-good	poor	fair-good	fair-good	
Cure time (full strength)	days	days	-	minutes	1 hr	minutes	minutes	

Steyn 외(2007)가 슛크리트와 TSL의 특징을 비교한 결과에서도, 1개 재료를 제외하고는 16.5% 이상의 시공비용 절감을 기대할 수 있으며 타설 시간도 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다(표 2.4).

그러나 앞서 설명한 바와 같이 TSL의 재료, 혼합방식 등에 따라 발현되는 성능은 차이가 있으며, Steyn 외(2007)는 TSL의 제반 강도 특성에 따라 TSL을 표2.5 와 같이 세 등급으로 분류하였다.

<表 2.4> Comparisons of construction cost, time and construct ability between shotcrete and TSLs(Steyn et al., 2007)

Description (thickness)	Shotcrete (± 25 mm)	TSL A (± 3 mm)	TSL B (± 5 mm)	TSL C (± 5 mm)	TSL D (± 5 mm)
Approximate factory product cost per m <sup>2</sup> *	R 65.63	R 105.64	R 75.11	R 55.34	R 75.11
Approximate dedicated labour cost per m <sup>2</sup> *	R 90.25	R 55.00	R 55.00	R 55.00	R 55.00
Approximate total cost per m <sup>2</sup> *	R 155.88	R 160.64	R 130.11	R 110.34	R 130.11
Rebound	Poor	Average	Excellent	Excellent	Excellent
Bags per m <sup>2</sup> kg per m <sup>2</sup>	3.5 88	0.33 6.5	0.5 12.5	0.5 12.5	0.5 12.5
Ease of application	Cumbersome	difficult	Easy	Easy	Easy
Time to cover 45 m <sup>2</sup>	150 minutes	65 minutes	55 minutes	55 minutes	55 minutes
Equipment	Large	Small	Small	Small	Small
Interference with development cycle	High	Minimal	Minimal	Minimal	Minimal

\* R: Rand (Currency of Republic of South Africa)

〈표 2.5〉 Classification of TSL characteristics(Steyn et al., 2007)

Material properties	Strong TSL	Average TSL	Weak TSL
Uniaxial compressive strength (MPa)	> 30	20	10
Tensile strength (MPa)	5	3	1
Shear strength (MPa)	15	10	5
Tensile adhesive strength (MPa)	4	2	1
Shear bond strength (MPa)	5	3	1

### 3. TSL의 기술개발 현황

유럽의 EFNARC에서는 지난 2008년에 자원개발 분야 뿐만 아니라 터널 공사시에도 활용할 수 있는 TSL에 대한 시방/가이드라인을 제시하였으며, ITA에서도 최근 적용이 급증하고 있으며, TSL의 일종인 뿔칠 방수 멤브레인에 대한 가이드를 제시하고 있으며, 세계적인 기업인 BASF, MINOVA 등의 재료회사에서도 관련 재료를 개발 및 상용화 준비 중에 있다.

국내의 경우 토목분야의 지하공간 건설에 적합한 TSL재료 개발 및 성능검증 연구를 건설기술연구원에서 수행하였으며, 2017년 7월 현장적용 및 기술이전을 완료하였다.

## 참고문헌

1. 장수호, 최순욱\*, 이철호, 강태호, 황귀성, 김진태, 최명식(2016), 균질한 품질 확보와 분진 저감을 위한 2성분 박층 뿔칠 라이너의 개발과 성능평가, 터널과 지하공간, 한국암반공학회지, 제26권 제5호, pp. 441~453.
2. 이철호\*, 장수호, 이기철, 김동욱(2015), 접촉 거동을 고려한 TSL(Thin Spray-on Liner)의 수치해석 연구, 한국터널지하공간학회논문집, 제17권 제6호, pp. 665~674.
3. 장수호, 이규필, 한진태\*, 최순욱, 황귀성, 최명식(2015), 분말형 박층 뿔칠 라이너 시작품의 제작과 성능평가, 터널과 지하공간, 터널과 지하공간, 한국암반공학회지, 제25권 제3호, pp. 293~302.
4. 한진태, 이규필, 박영택, 최순욱, 황귀성, 최명식, 장수호\*(2013), 터널 지보재로서의 적용성 검토를 위한 박층 뿔칠 라이너의 부착성능과 지보성능의 평가, 한국터널지하공간학회논문집, 제15권 제6호, pp. 571~583.
5. 장수호, 이규필, 한진태\*, 박영택, 최순욱, 황귀성, 최명식(2013), 폴리머 기반 박층 라이너의 초기재령 특성 평가를 위한 실험적 연구, 터널과 지하공간, 한국암반공학회지, 제23권 제5호, pp. 413~427.
6. Archibald, J.F. and T. Nicholls, 2001, Comparison of Reinforcement Benefits of Spray-on Linings in Side-by-Side Unconfined Compression Failure Tests on Rock, Proceedings of the 103rd Annual General Meeting of the CIM, Quebec, Canada, 13-25.
7. EFNARC, 1996, European Specification for Sprayed Concrete.
8. EFNARC, 2008, Specification and Guidelines on Thin Spray-on Liners for Mining and Tunnelling.
9. Lau, V., S. Saydam, Y. Cai and R. Mitra, 2008, Laboratory Investigation of Support Mechanism for Thin Spray-on Liners, Proceedings of the 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics(IACMAG), Goa, India, 1381-1388.
10. Lee, G.-P., D.-G. Kim, G.-J. Bae and S.-H. Chang, 2005, Test Methods of Adhesion Strength of Shotcrete for Quality Control, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 25, 125-131.
11. Povin, Y., D. Stacey, J. Hadjigeorgiou and H. Yilmaz, 2004, Part 1: Thin Spray-on Liners(TSLs)-A Quick Reference Guide, Surface Support in Mining, Y. Povin, D. Stacey and J. Hadjigeorgiou(eds), Australian Centre for Geomechanics, 3-43.
12. Roberts, R., 2001, Time to look below the surface of membranes, Australian Mining Monthly, August, 62-63.

13. Spearing, A.J.S., 2003, Proposed thin support liner definitions: performance categories, and test methods, Proceedings of the 3rd International Seminar on Surface Support Liners: Thin Sprayed Liners, Shotcrete and Mesh, Section 11, Quebec, Canada.
14. Saydam, S., 2008, Ground Control - Use of Liner Support in Mining, Presentation file, MINE4300 - GEOTECHNICAL ENGINEERING, School of Mining Engineering, University of New South Wales.
15. Stacey, T.R., 2001, Review of membrane support mechanisms, loading mechanisms, desired membrane performance, and appropriate test methods, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, October 2001, 343-352.
16. Stern, J., R.J. Gerber, A.T. Harrison and P.H. Ferreira, 2007, Investigation of the characteristics of thin spray liners(TSL's) and their use as an additional support medium in block cave mining, Proceedings of the 1st international Symposium on Block and Sub-level Caving, South Africa, 217-238.
17. Tannant, D.D., 2001, Thin Spray-on Liners for Underground Rock Support, Proceedings of the 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey - IMCET 2001, 57-73.
18. Tannant, D.D., 2004, Thin Spray-on Liners for Underground Rock Support - Testing and Design Issues, Surface Support in Mining, Y. Povin, D. Stacey and J. Hadjigeorgiou(eds), Australian Centre for Geomechanics, 51-59.
19. Tannant, D.D., G., Swan, S. ESPLEY and C. Graham, 1999, Laboratory test procedures for validating the use of thin sprayed-on liners for mesh replacement, Proceedings of Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum 101st Annual General Meeting, Calgary, Alberta, published on CD-ROM, p.8.
20. Yilmaz, H., 2007, Shear-bond strength testing of thin spray-on liners, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 107, 519-530.

Annual Technical Report(Part 3)

# 터널 굴착 및 지보관련 ‘일본표준시방서 2016 주요 변경내용’

2017

터널 지하 공간 학회  
굴착 및 지보기술위원회

## 1. 서 론

본 자료는 2016년 일본의 터널표준시방서 지보와 관련된 주요 개정내용으로 향후 국내 터널표준시방서 개정 시 참고할 만한 일부내용이 있어 소개 하고자 하였다.

본 일본 터널표준시방서에는 지보관련된 내용은 3절에 수록되어져 있으며 그중에 개정된 사항은 지보공 일반의 “ ‘산성수 내포지반의 지보 성능 확보 필요성’ 록볼트 정착방식 및 정착재의 ” 전면정착방식 록볼트의 분류’ 수정(캡슐형 정착재식 내용 추가), “전면정착방식 개요’ 수정(캡슐형 정착재식 내용 추가), ‘정착재 조기강도’ 내용 추가된 부분이며, 록볼트의 배치 및 치수의 ‘수로터널 록볼트 길이 산정식’ 추가, ‘나사강봉 이형철근 고내력 볼트 ‘ 및 ‘ 나사형 PC강봉 ‘ 내용 추가 부분과 ” 록볼트의 배치 및 정착(시공관리편)의 ‘인발 내력 관리 및 정착방식에 따른 품질관리 중요성’ 내용 추가 등이다.

## 2. 일본 터널표준시방서(2016) 주요개정내용

### ○ 일본 터널표준시방서(2016) 주요개정 정리표

구분			개정 내용	비고
구분	페이지	해당 절		
1	1~2p	3.1.1 지보공 일반	• ‘지반특성곡선 및 지보특성곡선’ 내용 추가	
2	2p		• ‘산성수 내포지반의 지보 성능 확보 필요성’ 내용 추가	●
3	5p	3.1.2 지보공설계의 방식	• ‘지보 부재의 선정 기준 ‘표 삭제로 내용 삭제	
4	6p		• ‘해설 표 3.3.1 수로터널의 표준적인 지보패턴 예’ 수정	
5	8p		• ‘해설 표 3.3.2 신간선 복선터널의 표준적인 지보 패턴 예’ 수정	
6	12p		• ‘해설 표 3.3.6 고속도로 2차선 터널의 표준적인 지보 패턴 예’ 추가	
7	18p	3.1.3 지보공의 변경	• ‘해설 표 3.3.10 시공 시 지보공과 관련된 주요 변경내용’ 수정	
8	26p	3.2.2 숏크리트의 역학적 특성	• ‘강섬유보강 숏크리트에 대한 굴곡 인성 사양의 예’ 도표 및 내용 삭제	
9	30~31p	3.2.4 숏크리트의 배합	• ‘슬러리 급결제, 고로슬래그, 플라이애시’ 내용 추가 • ‘분진저감제의 습식, 건식시 첨가방법’ 설명 삭제	
10	33p		• ‘해설 표 3.3.12 배합 사례 ‘수정 - 철도터널 사례를’ 석회석 미분말과 실리카폼을 사용하는 경우 ‘와’ 플라이 애쉬를 사용하는 경우 ‘로 분류함	
11	42p	3.3.4 록볼트 정착방식 및 정착재	• ‘제50조 록볼트 정착방식’ 및 ‘제51조 록볼트 정착재’ 병합 • 캡슐형 정착재식 내용 추가	
12	45p		• ‘해설 도표 3.3.5 전면정착방식 록볼트의 분류’ 수정(캡슐형 정착재식 내용 추가)	●
13	46p		• ‘해설 표 3.3.17 전면정착방식 개요’ 수정(캡슐형 정착재식 내용 추가)	●
14	47p		• ‘정착재 조기강도’ 내용 추가	
15	48,50p	3.3.2 록볼트의 배치 및 치수	• ‘해설 표 3.3.18 정착방식과 정착재 적용범위의 개념’ 수정(캡슐형 정착재식 내용 추가 및 적용범위 내용 추가)	
16	49p		• ‘인버트부 록볼트 설치’ 내용 추가(삽도 추가)	●
17	54p	3.3.3 록볼트의 재질 및 형상	• ‘수로터널 록볼트 길이 산정식’ 추가	●
18	63p	3.4.3 강제지보공의 단면 및 재질	• ‘나사강봉 이형철근 고내력 볼트 ‘및’ 나사형 PC강봉 ‘내용 추가	●
19	78p	4.3.1 기계굴착일반	• ‘해설 표 3.3.20 강제 지보공에 사용되는 일반적인 강제 사양의 예 ‘수정 - H형 HT590/SS540 치수 H-100X100X8X12, H-108X104X8X12 추가	
20	79p	4.3.2 굴착	• ‘미니 벤치 컷을 통한 조기 폐합’ 내용 추가	
21	-	3.3.2 록볼트의 배치 및 정착 (사공관관련)	• ‘조기 폐합’ 내용 추가	
		3.3.2 록볼트의 배치 및 정착 (사공관관련)	• ‘인발 내력 관리 및 정착방식에 따른 품질관리 중요성’ 내용 추가 등	●

○ 일본 터널표준시방서(2016) 주요개정 내용 비교 검토  
 (1)지보공 일반사항

구 분			개정 내용	비고
구분	페이지	해당 절		
2	2p	3.1.1 지보공 일반	• ‘산성수 내포지반의 지보 성능 확보 필요성’ 내용 추가	●

2006년(기준)	2016년(개정)	터널설계기준(2016)
일반적으로 지보공의 부재로는 슛크리트, 록볼트, 강제지보공 등이 있으며 이들 지보 부재의 특징을 고려하여 단독 혹은 조합하여 이용해 효과적인 지보공을 만들어야 한다. 지반조건이 현저히 나쁜 등의 특수한 경우에는 라이닝 콘크리트에도 지보 기능의 일부를 추가하여 설계하기도 한다.	지보공의 부재로서는 슛크리트, 록볼트, 강제지보공 등이 있으며 이들 지보 부재의 특징을 고려하여 단독 혹은 조합하여 이용해 효과적인 지보공을 만들어야 한다. 특히 불리한 지반조건에서는 라이닝이나 인버트에 역학적 성능을 부가하여 설계할 수도 있다. <u>또한 산성수를 내포한 지반에서는 지보의 성능이 장기적으로 저하할 가능성이 있으므로 내구성 확보에 유의할 필요가 있다.</u>	- 내용 없음 -
		철도설계기준(2014)
		< KR C-12030 터널지보재 > •해설 5. 록볼트/ 1. 볼트의 역할 (3) 록볼트의 작용효과를 장기적으로 기대하는 경우에는 록볼트가 부식되지 않도록 충분한 검토가 필요하며, 특히 <u>강산성지반(온천, 산성용출수 등이 존재하는 지반) 및 해수의 영향을 받는 지역에서는 내부식성 재료 등을 사용하는 등의 대책을 강구해야 한다.</u>

검 토 의 견	•기존 일본터널표준시방서 대비하여, <u>산성수 내포지반의 지보 성능 확보 필요성</u> 내용이 추가됨 •철도설계기준에서는 <u>록볼트에 대한 강산성지반 대책 강구 필요성</u> 내용이 기술됨
---------	--

(2) 록볼트 정착방식 및 정착재 관련

구 분			개정 내용	비고
구분	페이지	해당 절		
12	45p	3.3.4 록볼트 정착방식 및 정착재	<ul style="list-style-type: none"> <li>· '해설 도표 3.3.5 전면정착방식 록볼트의 분류' 수정(캡슐형 정착재식 내용 추가)</li> <li>· '해설 표 3.3.17 전면정착방식 개요' 수정(캡슐형 정착재식 내용 추가)</li> </ul>	●

① 정착방법 분류

2006년(기준)	2016년(개정)	터널설계기준(2016)
<p>해설 도표 3.4 전면정착방식 록볼트의 분류</p>	<p>해설 도표 3.3.5 전면정착방식 록볼트의 분류</p>	<p>5.4 록볼트 /5.4.3 록볼트 정착방법의 선정 시에는 다음 사항을 따라야 한다. (1) 록볼트의 정착방법으로는 <b>선단정착형, 전면접착형, 혼합형</b> 등이 있으며 사용 목적, 지반 조건, 시공성 등을 고려하여 정착방법을 선정하여야 한다.</p> <p>철도설계기준(2014)                  &lt; KR C-12030 터널지보재 &gt;                  •해설 5. 록볼트/ 2. 록볼트의 종류와 선정 / 2.1 록볼트의 종류</p> <p>그림 25. 정착 방법별 록볼트의 분류</p>

검 토 의 건	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기존 일본터널표준시방서 대비하여, <b>정착재식에 캡슐형</b>이 별개로 분리함</li> <li>· 철도설계기준에서는 정착재식에 <b>시멘트 캡슐형</b>으로 기술함</li> <li>· 터널설계기준에서는 정착방법을 <b>선단정착형, 전면접착형, 혼합형</b>으로만 구분하여 기술함</li> </ul>
---------	--

② 정착방법 개요

해설 표 3.17 전면정착방식 개요			
	정착방법	특징	적용범위
2006년 (기존)	정착재식	정착재를 사용해 심재 전장을 지반에 정착시킨다. 지반조건(균열, 응축수 상태)와 천공의 자립성 등에 따라 종류는 다양하다.	경암, 중경암, 연암, 토사 지반부터 팽창성 지반까지 다양한 지반에 적용할 수 있다.
	마찰식	강관팽창형에서는 천공된 구멍 안에 선단을 폐색한 강관을 삽입한다. 고수압을 주입해 강관을 팽창시켜 순식간에 지보 효과를 얻을 수 있다. 강관 표면의 부식과 공벽 면에 주어진 밀착력 저하 등 내구성 감소에 대해 충분히 검토해야 한다.	마찰식은 응축수가 많은 지반에 적용 가능하다. 강관팽창형은 천공된 구멍 반경 방향으로 커다란 소성 변형이 일어날 수 있으므로 공벽이 자립한다면 광범위한 지반에 적용할 수 있다.

해설 표 3.3.17 전면정착방식 개요			
	정착방법	특징	적용범위
2016년 (개정)	정착재식	정착재를 사용해 심재 전장을 지반에 정착시킨다. 지반조건(균열, 응축수 상태)와 천공의 자립성 등에 따라 종류는 다양하다.	경암, 중경암, 연암, 미고결 지반부터 팽창성 지반까지 다양한 지반에 적용할 수 있다.
	마찰식	강관팽창형에서는 천공된 구멍 안에 선단을 폐색한 강관을 삽입한다. 고수압을 주입해 강관을 팽창시켜 순식간에 지보 효과를 얻을 수 있다. 강관 표면의 부식과 공벽 면에 주어진 밀착력 저하 등 내구성 감소에 대해 충분히 검토해야 한다.	마찰식은 응축수가 많은 지반에 적용 가능하다. 강관팽창형은 천공된 구멍 반경 방향으로 커다란 소성 변형이 일어날 수 있으므로 공벽이 자립한다면 광범위한 지반에 적용할 수 있다.

터널 설계기준 (2016)

•5.4 록볼트  
/5.4.3 록볼트 정착방법의 선정 시에는 다음 사항을 따라야 한다.  
(1) 록볼트의 정착방법으로는 선단정착형, 전면접착형, 혼합형 등이 있으며 사용 목적, 지반 조건, 시공성 등을 고려하여 정착방법을 선정하여야 한다.

표 29. 록볼트의 정착방식				
	정착방법	특징	적용범위	
철도 설계기준 (2014)	선단 정착형	기계적으로 정착하는 썬기형 및 확장형과 캡슐에 의한 정착형이 있으며 록볼트의 선단 정착 후 너트로 조인다.	썬기형은 자주 사용하지 않는다. 확장형 및 캡슐정착형은 복합효과를 목적으로 하는 경우에 사용한다. 기계식의 경우에는 정착부의 원지반 상태에 따라 정착력이 부족하거나 발파에 따라 이완 등의 문제가 발생할 수 있다. 그러나 확장형은 발파후 적당히 다시 조이기를 하면 적용할 수 있는 경우도 있다.	절리 또는 균열 발달이 비교적 적은 경암 또는 보통암 층에서 일부 사용된다.
	전면 접착형	정착재로 수지, 결합제 모르타르 등을 사용하거나 기계적인 방법으로 록볼트 전장을 원지반에 정착시킨다.	록볼트 전장에서 원지반을 구속한다. 원지반의 강도, 절리, 균열의 상태, 지하수의 유입상태 및 막장부의 자립성 등에 따라 여러 종류가 있다.	경암, 보통암, 연암, 토사 원지반에서 팽창성 원지반까지 적용 범위가 넓다.
	혼합형	선단을 기계적으로 정착 후 결합제 밀크를 주입하는 방법과 전면접착형의 정착재로 충전시 선단에 급결용의 캡슐을 사용하는 방법 등이 있다.	선단 정착형과 전면 접착형을 혼합한 것으로 시공 공정이 2단계에 걸쳐 이루어지며, 시공에 따라서는 선단의 급결성이 얻어지지 않는 경우도 있다.	선단을 기계적으로 정착하는 록볼트는 많이 사용되고 있지 않다. 팽창성 원지반 또는 프리스트레스를 도입하는 경우에 유효하다.

검 토 의 견

- 일본터널표준시방서는 정착재식을 기본으로 기술되어 있음
- 철도설계기준에서는 전반적인 록볼트 정착방법이 기술되어 있음
- 터널설계기준에서는 정착방법 분류(선단정착형, 전면접착형, 혼합형)만 기술되고 특징 및 적용범위는 기술되지 않음

③ 정착재 적용범위

**해설 표 3.18 정착방식과 정착재 적용범위의 개념 (문헌<sup>1)</sup>을 가필·수정)**

공벽의 조건	정착방식		정착재	일반 지반				특수지반		특수 조건				비고		
				중경암	경암	연암	토사	미고결	팽창성	애추	전석	다균열	구멍손상		용출수	
2006년 (기준)	자립함	정착재식	선충전형	조강 몰탈	○	○	○	△	△	△	—	—	△	△	—	충전 호스의 삽입성, 용출수로 인한 몰탈의 유출에 주의
			캡슐 사용 (몰탈계, 수지계)	○	○	○	—	—	—	—	—	—	△	—	△	캡슐의 삽입성, 정착재의 누출, 용출수 상황에서의 경화 성능에 주의
		후주입형	몰탈계	—	—	—	△	△	○	△	—	△	△	△	△	특볼트의 삽입성, 정착재의 누출, 용출수 상황에서의 경화 성능에 주의
			수지계	—	—	—	△	△	○	△	—	○	△	○	○	특볼트의 삽입성, 정착재의 누출, 용출수 상황에서의 경화 성능에 주의
마찰식	강관팽창형	△	○	△	—	—	—	—	—	—	—	—	○	불량지반의 마찰력에 주의		
자립하지 않음	정착재식	후주입형 (자천공)	몰탈계	—	—	—	○	○	○	△	○	△	○	△	전공 성능, 주입재의 누출, 용출수 상황에서의 경화 성능에 주의	
			수지계	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	전공 성능, 주입재의 누출, 용출수 상황에서의 경화 성능에 주의

주) ○: 적당, △: 조건에 따라 부적당

**해설 표 3.3.18 정착방식과 정착재 적용범위의 개념 (예)**

정착방식	정착재	지반조건					공벽의 상태 등				비고	
		경암, 중경암	연암	미고결	팽창성	애추	다균열	구멍손상	용출수			
2016년 (개정)	정착재식	선충전형	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	경암부터 미고결 지반까지 적용 가능하고 표준적인 길이나 보통의 시공 조건에서는 가장 넓게 적용된다. 공벽의 거칠기와 용출수 등 특수한 조건내에서는 다른 방식으로 검토할 필요가 있다. 충전 호스의 삽입성, 용출수로 인한 모르타르 유출에 주의한다.	
		캡슐형	모르타르계	○	○	○	○	○	△	△	○	용출수에 의한 선충전형의 정착재가 대부분 또는 일부가 유출하는 등, 적합하지 않는 경우 등에 적용된다. 캡슐의 삽입성, 정착재의 누출, 용출수 상황에서의 경화 성능에 주의한다.
			수지계	○	○	×	○	×	△	△	○	용출수에 의한 선충전형의 정착재가 대부분 또는 일부가 유출하는 등, 적합하지 않는 경우 등에 적용된다. 캡슐의 삽입성, 정착재의 누출, 용출수 상황에서의 경화 성능에 주의한다.
	후주입형	모르타르계	○	○	○	○	○	○*	○*	△	공벽이 거칠어지고 충전 호스의 삽입이 곤란한 경우, 소정의 인발 내력을 얻을 수 없는 연약한 지반 등 가압 주입에 의한 부착력의 향상을 도모하는 경우 등에 적용된다. 특볼트의 삽입성, 정착재의 누출, 용출수 상황에서의 경화 성능에 주의한다.	
수지계		○	○	○	○	○	○*	○*	△	용출수에 의한 선충전형 또는 캡슐형 등의 정착재가 유출하는 경우에 적용된다. 특볼트의 삽입성, 불량한 지반 등에서 천공한 구멍 지름을 필요 이상으로 확대할 경우 마찰력에 주의한다.		
마찰식	강관팽창형	○	○	△	○	△	○	△	○	용출수에 의한 선충전형 또는 캡슐형 등의 정착재가 유출하는 경우에 적용된다. 특볼트의 삽입성, 불량한 지반 등에서 천공한 구멍 지름을 필요 이상으로 확대할 경우 마찰력에 주의한다.		

주) ◎ : 적용할 수 있음(가장 일반적), ○: 적용할 수 있음, △: 조건에 따라 적용할 수 없는 경우도 있음(충분한 정착효과가 발휘된 경우가 있다.), × : 거의 적용할 수 없음

터널 설계기준 (2016)	- 내용 없음 -
철도 설계기준 (2014)	- 내용 없음 -

검 토 의 견	<ul style="list-style-type: none"> <li>•일본터널표준시방서는 정착재식을 기본으로 하여, <b>지반조건별 적용성을 분석</b>했으며, 2016년 개정을 통해 각 <b>정착방식에 따른 적용범위</b>를 제시함</li> <li>•철도설계기준에서는 <b>지반조건별 적용성 및 정착재식 세부 적용범위 언급이 없음</b></li> </ul>
---------	---

④ 정착재 조기강도

구 분			개정 내용	비고
구분	페이지	해당 절		
13	46p	3.3.4 록볼트 정착방식 및 정착재	• ‘정착재 조기강도’ 내용 추가	●

2006년(기존)	2016년(개정)	터널설계기준(2016)
<p>정착재에는 몰탈과 수지 등이 있다. 일반적으로는 공장에서 조강 시멘트, 첨가제, 세사를 혼합해 생산된, 품질 차이가 적은 프리믹스타입 조강 몰탈이 흔히 사용된다.</p>	<p>정착재에는 모르타르와 수지 등이 있다. 일반적으로 품질 차이가 적은 프리믹스형 모르타르가 많이 사용된다. <u>일반적으로 이용되는 모르타르계 정착재 조기강도로는 철도터널에서 재령3일, 고속도로터널에서 재령1일로 각각 10N/mm<sup>2</sup> 이상의 압축강도라는 설정 사례가 있다. 게다가, 고속도로터널에서는 강제지보공이 이용되지 않는 지보패턴에서 봉합효과나 내압효과를 조기에 발휘해야하는 경우에는 재령 12시간으로 10N/mm<sup>2</sup> 이상의 압축강도가 발현되는 조강 모르타르가 사용되는 사례도 있다.</u></p>	- 내용 없음 -
		철도설계기준(2014)
		- 내용 없음 -

검 토 의 견	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 일본터널표준시방서 대비하여, <u>철도터널, 고속도로터널에 대한 정착재 조기강도 사례 등을 기술하고 있음</u></li> <li>• 철도설계기준에서는 <u>해당 사항 없음</u></li> </ul>
---------	--

(3) 록볼트의 배치 및 길이 관련

구 분			개정 내용	비고
구분	페이지	해당 절		
16	49p	3.3.2 록볼트의 배치 및 치수	• ‘수로터널 록볼트 길이 산정식’ 추가	●

2006년(기준)	2016년(개정)	터널설계기준(2016)																		
해당 사항 없음	<p>또한 수도터널의 경우처럼, 록볼트의 길이를 굴착 지름(De)을 기준으로 0.4De~0.6De로 삼는 결정 방식도 있다(해석 표 3.3.1참조).</p> <p><b>해설 표 3.3.1 수도터널의 표준적인 지보패턴 예</b> (굴착경 2.7m 이상 약 4m 이하)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>터널 타입</th> <th>지질 상황</th> <th>록볼트 길이 (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>균열이 작은 신선한 암석</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>B1 B2</td> <td>균열이 있는 다소 풍화된 암석 또는 연암</td> <td>0.4De</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>풍화암, 파쇄암, 경토</td> <td>0.5De</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>D1 D2</td> <td>현저한 풍화암, 단층파쇄대, 연질토사 등</td> <td>막장이 자립된 지반 막장이 자립되지 못해 록볼트가 필요하거나 지보공이 침하되거나 압출이 있는 지반</td> <td>0.6De</td> </tr> </tbody> </table>	터널 타입	지질 상황	록볼트 길이 (cm)	A	균열이 작은 신선한 암석	-	B	B1 B2	균열이 있는 다소 풍화된 암석 또는 연암	0.4De	C	풍화암, 파쇄암, 경토	0.5De	D	D1 D2	현저한 풍화암, 단층파쇄대, 연질토사 등	막장이 자립된 지반 막장이 자립되지 못해 록볼트가 필요하거나 지보공이 침하되거나 압출이 있는 지반	0.6De	- 내용 없음 -
터널 타입	지질 상황	록볼트 길이 (cm)																		
A	균열이 작은 신선한 암석	-																		
B	B1 B2	균열이 있는 다소 풍화된 암석 또는 연암	0.4De																	
C	풍화암, 파쇄암, 경토	0.5De																		
D	D1 D2	현저한 풍화암, 단층파쇄대, 연질토사 등	막장이 자립된 지반 막장이 자립되지 못해 록볼트가 필요하거나 지보공이 침하되거나 압출이 있는 지반	0.6De																
		철도설계기준(2014)																		
		- 내용 없음 -																		

검 토 의 견	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개정판 일본터널표준시방서에서는 <b>수로터널에 대한 록볼트 길이 산정식</b>을 기술함</li> <li>• 철도설계기준에서는 <b>해당 사항 없음</b></li> </ul>
---------	---

(3) 록볼트의 재질 및 형상 관련

구분			개정 내용	비고
구분	페이지	해당 절		
17	54p	3.3.3 록볼트의 재질 및 형상	• '나사강봉,이형철근 고내력 볼트' 및 '나사형 PC강봉' 내용 추가	●

2006년(기존)			2016년(개정)			터널설계기준(2016)																																																																																																																								
<p><b>해설 표 3.19 정착재식 및 마찰식 록볼트의 기계적 성질</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>종류</th> <th>종류의 기호</th> <th>볼트 호칭지름</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">나사강봉</td> <td rowspan="2">STD610*2</td> <td>TD21</td> </tr> <tr> <td>TD24</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">이형철근</td> <td rowspan="2">SD345*2</td> <td>D25</td> </tr> <tr> <td>D22</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">나사형 이형철근</td> <td rowspan="2">SD295A</td> <td>D22</td> </tr> <tr> <td>D25</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">SD345*2</td> <td>D22</td> </tr> <tr> <td>D29</td> </tr> <tr> <td>SD490</td> <td>D25</td> </tr> <tr> <td>SD585</td> <td>D19</td> </tr> <tr> <td>SD700</td> <td>D19</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">강관팽창형</td> <td rowspan="2">SS1232*2</td> <td>37T2</td> </tr> <tr> <td>37T3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">STKM12A</td> <td>37T2</td> </tr> <tr> <td>37T3</td> </tr> <tr> <td>SS400*4</td> <td>36T2.0</td> </tr> <tr> <td>SS490*4</td> <td>36T2.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>• 위 표와 같이 종류별 나사부 및 소재부의 기계적 성질 (단면적, 항복하중, 파괴하중) 및 단위질량 기술됨</p>			종류	종류의 기호	볼트 호칭지름	나사강봉	STD610*2	TD21	TD24	이형철근	SD345*2	D25	D22	나사형 이형철근	SD295A	D22	D25	SD345*2	D22	D29	SD490	D25	SD585	D19	SD700	D19	강관팽창형	SS1232*2	37T2	37T3	STKM12A	37T2	37T3	SS400*4	36T2.0	SS490*4	36T2.2	<p><b>해설 표 3.3.16 록볼트의 기계적 성질</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>종류</th> <th>종류의 기호</th> <th>볼트 호칭지름</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>나사강봉*3</td> <td>STD510</td> <td>TD24</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">이형철근*3</td> <td>SD345</td> <td>D25</td> </tr> <tr> <td>SD390</td> <td>D22</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">나사형 이형철근*3</td> <td>SD295A</td> <td>D22</td> </tr> <tr> <td>SD345</td> <td>D25</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">나사강봉 이형철근 고내력볼트*5</td> <td>SD685</td> <td>D24</td> </tr> <tr> <td>SD700</td> <td>M27</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">나사형 PC강봉*4</td> <td rowspan="3">SBPD930/1080</td> <td>D23</td> </tr> <tr> <td>D26</td> </tr> <tr> <td>D32</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">강관팽창형*5</td> <td rowspan="2">S355MC</td> <td>37T2</td> </tr> <tr> <td>37T3</td> </tr> <tr> <td>NTRB-400*2</td> <td>36T2.0</td> </tr> <tr> <td>NTRB-540*2</td> <td>36T2.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>• 위 표와 같이 종류별 나사부 및 소재부의 기계적 성질(단면적, 항복하중, 파괴하중) 및 단위질량 기술됨</p>			종류	종류의 기호	볼트 호칭지름	나사강봉*3	STD510	TD24	이형철근*3	SD345	D25	SD390	D22	나사형 이형철근*3	SD295A	D22	SD345	D25	나사강봉 이형철근 고내력볼트*5	SD685	D24	SD700	M27	나사형 PC강봉*4	SBPD930/1080	D23	D26	D32	강관팽창형*5	S355MC	37T2	37T3	NTRB-400*2	36T2.0	NTRB-540*2	36T2.3	<p>철도설계기준의 '표 27. 록볼트로 사용되는 이형 봉강의 기계적 성질' 과 동일</p> <p><b>철도설계기준(2014)</b></p> <p>&lt; KR C-12030 터널지보재 &gt;</p> <p>• 해설 5. 록볼트/ 3. 록볼트의 재질과 형상 / 3.1 록볼트의 재질</p> <p>④ 록볼트의 재질 및 강도는 한국산업규격(KS E 3132와 KS D 3504)에 제정되어 있는 바와 같이 인장강도와 연신율이 큰 것이어야 한다. 록볼트로 사용되는 이형 봉강의 주요 기계적 성질을 요약하면 &lt;표 27&gt;과 같다.</p> <p>표 27. 록볼트로 사용되는 이형 봉강의 기계적 성질</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">종류</th> <th rowspan="2">재질 기호</th> <th colspan="3">기계적 성질</th> </tr> <tr> <th>항복강도 (MPa)</th> <th>인장강도 (MPa)</th> <th>연신율 (%) (시험편 2호 기준)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">이형 봉강</td> <td>SD 350</td> <td>350 이상</td> <td>490 이상</td> <td>18 이상</td> </tr> <tr> <td>SD 400</td> <td>400 이상</td> <td>560 이상</td> <td>16 이상</td> </tr> </tbody> </table> <p>현재 터널에서 주로 사용하고 있는 이형봉강의 허용인장응력을 기준(철도설계기준(노반편)참조)으로 각 재질별 및 규격별로 허용응력, 허용내하력, 항복강도 및 항복내하력은 &lt;표 28&gt;과 같다.</p> <p>표 28. 록볼트용 이형봉강의 내력표</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>재질</th> <th>규격</th> <th>단면적(mm<sup>2</sup>)</th> <th>허용응력 / 항복강도 (MPa)</th> <th>허용내하력 / 항복내하력 (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">SD350</td> <td>D22</td> <td>387.1</td> <td>175/350</td> <td>68/135</td> </tr> <tr> <td>D25</td> <td>506.7</td> <td>175/350</td> <td>89/177</td> </tr> <tr> <td>D29</td> <td>642.4</td> <td>175/350</td> <td>112/225</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">SD400</td> <td>D22</td> <td>387.1</td> <td>180/400</td> <td>70/155</td> </tr> <tr> <td>D25</td> <td>506.7</td> <td>180/400</td> <td>91/203</td> </tr> <tr> <td>D29</td> <td>642.4</td> <td>180/400</td> <td>116/257</td> </tr> </tbody> </table>				종류	재질 기호	기계적 성질			항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%) (시험편 2호 기준)	이형 봉강	SD 350	350 이상	490 이상	18 이상	SD 400	400 이상	560 이상	16 이상	재질	규격	단면적(mm <sup>2</sup> )	허용응력 / 항복강도 (MPa)	허용내하력 / 항복내하력 (kN)	SD350	D22	387.1	175/350	68/135	D25	506.7	175/350	89/177	D29	642.4	175/350	112/225	SD400	D22	387.1	180/400	70/155	D25	506.7	180/400	91/203	D29	642.4	180/400	116/257
종류	종류의 기호	볼트 호칭지름																																																																																																																												
나사강봉	STD610*2	TD21																																																																																																																												
		TD24																																																																																																																												
이형철근	SD345*2	D25																																																																																																																												
		D22																																																																																																																												
나사형 이형철근	SD295A	D22																																																																																																																												
		D25																																																																																																																												
	SD345*2	D22																																																																																																																												
		D29																																																																																																																												
	SD490	D25																																																																																																																												
	SD585	D19																																																																																																																												
SD700	D19																																																																																																																													
강관팽창형	SS1232*2	37T2																																																																																																																												
		37T3																																																																																																																												
	STKM12A	37T2																																																																																																																												
		37T3																																																																																																																												
	SS400*4	36T2.0																																																																																																																												
	SS490*4	36T2.2																																																																																																																												
종류	종류의 기호	볼트 호칭지름																																																																																																																												
나사강봉*3	STD510	TD24																																																																																																																												
이형철근*3	SD345	D25																																																																																																																												
	SD390	D22																																																																																																																												
나사형 이형철근*3	SD295A	D22																																																																																																																												
	SD345	D25																																																																																																																												
나사강봉 이형철근 고내력볼트*5	SD685	D24																																																																																																																												
	SD700	M27																																																																																																																												
나사형 PC강봉*4	SBPD930/1080	D23																																																																																																																												
		D26																																																																																																																												
		D32																																																																																																																												
강관팽창형*5	S355MC	37T2																																																																																																																												
		37T3																																																																																																																												
	NTRB-400*2	36T2.0																																																																																																																												
NTRB-540*2	36T2.3																																																																																																																													
종류	재질 기호	기계적 성질																																																																																																																												
		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%) (시험편 2호 기준)																																																																																																																										
이형 봉강	SD 350	350 이상	490 이상	18 이상																																																																																																																										
	SD 400	400 이상	560 이상	16 이상																																																																																																																										
재질	규격	단면적(mm <sup>2</sup> )	허용응력 / 항복강도 (MPa)	허용내하력 / 항복내하력 (kN)																																																																																																																										
SD350	D22	387.1	175/350	68/135																																																																																																																										
	D25	506.7	175/350	89/177																																																																																																																										
	D29	642.4	175/350	112/225																																																																																																																										
SD400	D22	387.1	180/400	70/155																																																																																																																										
	D25	506.7	180/400	91/203																																																																																																																										
	D29	642.4	180/400	116/257																																																																																																																										

검 토 의 견	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 일본터널표준시방서 대비하여, '나사강봉 이형철근 고내력볼트' 가 별도로 기술되고, '나사형 PC강봉' 이 추가됨</li> <li>• 철도설계기준에서는 '이형봉강 SD350 및 SD400에 대한 기계적 성질 및 내력표' 를 기술함</li> <li>• 터널설계기준에서는 철도설계기준의 '표 27. 록볼트로 사용되는 이형 봉강의 기계적 성질' 과 동일한 내용을 기술함</li> </ul>
---------	---

(4) 록볼트의 배치 및 정착관련

구 분			개정 내용	비고
구분	페이지	해당 절		
21	-	3.3.2 록볼트의 배치 및 정착 (시공관리편)	• ‘인발 내력 관리 및 정착방식에 따른 품질관리 중요성’ 내용 추가 등	●

2006년(기존)				2016년(개정)				개정 내용
해설 표 7.2 록볼트공의 천공 정밀도 관리 예				해설 표 5.3.2 록볼트공의 천공 정밀도 관리 예				
관리 항목	관리 방법	관리 빈도	비 고	관리 항목	관리 방법	관리 빈도	비 고	
위 치 구멍 수	육안 관찰	시공 시마다	강지보공을 시공하는 경우, 사전에 강지보공에 록볼트 위치를 마킹해 둔다.	위 치 구멍 수	육안 관찰	시공 시마다	록볼트 위치를 마킹해 둔다.	• ‘강지보공을 시공하는 경우, 사전에 강지보공에’ 삭제
방 향	실측	필요 시마다	경사자로 확인한다.	방 향	실측	필요 시마다	경사자로 확인한다.	
구멍 지름	실측	필요 시마다	비트경으로 확인한다.	구멍 지름	실측	필요 시마다	비트경으로 확인한다.	
길 이	실측	필요 시마다	록볼트 길이로 확인한다.	길 이	실측	필요 시마다	록볼트 길이로 확인한다.	
(2)에 대해 공벽의 황폐와 붕괴 등으로 록볼트 삽입과 정착재 충진이 어려워지는 경우가 있으므로, 사전에 소요 구멍이 확보되어 있는지 확인해야 한다.				(2)에 대해 연암이나 미고결 지반 등에서는 공벽의 황폐와 붕괴 등으로 록볼트 삽입과 정착재 충진이 어려워지는 경우가 있으므로, 사전에 소요 구멍이 확보되어 있는지 확인해야 한다.				
일반적으로 인장 내력은 록볼트의 항복점 내력(통상 나사부의 항복점 내력)과 같은 정도가 되도록 정하고, 제품의 제조공장 또는 품질 변경이 있을 때마다 확인할 필요가 있다.				록볼트의 정착력은 볼트와 정착재의 부착력, 정착재와 지반의 부착력에 의존하기 때문에 시공관리에서는 인발 내력을 보다 관리하도록 한다. 일반적으로 인장 내력은 록볼트의 항복점 내력(통상 나사부의 항복점 내력)과 같은 정도가 되도록 정하고, 제품의 제조공장 또는 품질 변경이 있을 때마다 확인할 필요가 있다.				• ‘인발 내력 관리 중요성’ 추가
통상적으로 정착재는 록볼트 삽입 전에 충전되는 것으로, 그러한 선행 충전형 몰탈의 콘시스턴스 시험, 강도 시험 사례를 해설 표 7.4에 기재한다.				정착재의 시공방법으로는 정착재를 록볼트 삽입 전에 충전하는 선충전형, 정착재를 봉입한 캡슐부터 삽입하는 캡슐형, 록볼트 삽입 후에 주입하는 후주입형이 있는데, 각각 이용 정착 재재 성능이 다르므로, 각각에 따른 품질 관리가 중요하다. 선충전형의 몰탈의 콘시스턴스 시험, 강도시험의 사례를 해설 표 5.3.4에 기재한다.				• ‘정착방식에 따른 품질관리 중요성’ 추가
마찰실에서는 록볼트를 공벽에 밀착시켜서 얻을 수 있는 마찰력을 통해 정착되므로 천공 정밀도에 주의하고, 강관 팽창형인 경우에는 강관이 충분히 팽창해서 필요한 정착력이 확보되었는지 인장 시험 등을 통해 확인할 필요가 있다.				마찰실에서는 록볼트를 공벽에 밀착시켜서 얻을 수 있는 마찰력을 통해 정착되므로 천공 정밀도에 주의하고, 강관 팽창형인 경우에는 강관이 충분히 팽창해서 필요한 정착력이 확보되었는지 인장 시험 등을 통해 확인할 필요가 있다. 또한 장기적인 내부식성을 고려하여 피복 처리한 볼트의 사용을 검토하는 경우도 있다.				• ‘내부식성을 고려한 볼트 사용 내용’ 추가
- 없음 -				참고문헌 1) (공사) 토목학회: 2012년 제정 콘크리트 표준시방서(시공편), p.389, 2012.				•참고문헌 추가

검 토 의 견	• 기존 일본터널표준시방서 대비하여, ‘한정적인 의미를 담은 내용을 일부 삭제하고, 인발 내력 관리의 중요성 및 정착방식 종류 등 부가적 내용’ 을 추가 기술함
---------	---