

## 터널 프리캐스트 콘크리트 라이닝 적용 방안에 대한 제언



**최윤환**  
한국도로공사  
설계처장



**곽석환**  
한국도로공사  
구조설계부장



**김지엽**  
한국도로공사  
구조설계부 차장

### 1. 개요

2000년대 들어 호남고속도로 장성터널 등 대안 및 일괄입찰 설계에서 프리캐스트 콘크리트 라이닝을 적용한 터널 설계가 경쟁안으로 제출된 이래 현장타설 라이닝의 관행적 틀에서 벗어나 라이닝 재료와 설계·시공에 있어서 보다 개선된 공법에 대한 논의가 계속되고 있다. “터널공사 설계 및 시공관리 개선방안(건설교통부, 2005)”에서는 라이닝을 현장타설로 할 경우 굴착과 보강량이 늘어나므로 암반조건이나 터널규모 등을 고려하여 선택적으로 적용하는 것이 필요하다고 하였으며, 또한 터널설계기준(국토해양부, 2007)에서는 현장여건에 따라 현장타설 대신 프리캐스트 콘크리트 라이닝을 적용할 수 있는 근거도 마련되었다. 장대터널 공사시 많은 시간과 비용이 소요되며, 최근 일부 사업의 경우 터널로 인해 전체노선의 개통시기가 지연되는 사례가 발생하였는데 이는 곧 직·간접 비용 증가의 원인이 되고 있다. 또한, 정부는 건축 및 교통 체계를 녹색성장 구조로 개편하는 등 온실가스(CO<sub>2</sub>)

발생량 감소방안을 추진하고 있는데 이는 도로 구조물 중 터널 건설시 온실가스 발생량이 토공 구간의 약 2.5배에 달한다는 분석결과와 무관하지 않은 듯 하다. 이에 터널 구간에서 온실가스 발생량 감축방안이 주요 현안이 되고 있으며, 굴착량 및 콘크리트 타설량을 절감할 수 있는 프

표 1. 공법별 단면 비교

구분	현장타설 라이닝 공법	프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법
개요도		
단면구성	<p>콘크리트 타설</p> <p>부직포 및 방수막 설치</p> <p>현장타설 라이닝(t=30cm)</p>	<p>감염유보강 슛크리트 타설</p> <p>배면공간(배수)</p> <p>부직포 및 방수막 설치</p> <p>조립식 콘크리트 라이닝(15cm)</p> <p>터널 앵커 볼트</p>

리카스트 콘크리트 라이닝 공법은 좋은 대안이 될 수 있기 때문에 국내에서도 많은 기관에서 연구 및 검토가 수행되고 있다.

본 고에서는 한국도로공사와 GS건설이 공동으로 보유하고 있는 “암반 터널의 라이닝 설치방법”에 근거하여 노선의 조기 개통 및 저탄소 녹색성장이라는 사회·환경적 요구에 부응하고 터널 기술, 시공성, 환경성 등을 제고할 수 있는 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 기술 현황

### 2.1 관련 기준

터널설계기준(2007)에서는 터널 콘크리트 라이닝에 사용되는 재료는 일반적으로 현장 타설 콘크리트를 사용하고 현장여건에 따라 프리캐스트 콘크리트 라이닝도 적용할 수 있도록 하고 있다. 사실, 현장타설 콘크리트 라이닝은 굴착단면이 커져 굴착과 보강량이 늘어남은 물론 채움 공사비까지 발생하므로 암반조건이나 터널규모 등을 고려하여 선택적으로 적용하는 것이 필요하고 전면적인 2차 복공의 관행적 틀에서 벗어나 암질불량구간이나 갱구부 또는 측벽부 등 필요한 부위만 부분적으로 시행하는 방안의 적극적인 도입이 필요하다.(터널공사 설계 및 시공관리 개선방안, 건설교통부, 2005)

국외 사례를 보면 노르웨이 도로국(Norwegian Public Roads Administration)에서는 “Road Tunnels (2004)” 등의 Manual을 통하여 터널공사에 대한 Regulations, Standards, Guidelines 등을 제시하고 있으며 방수, 결로 및 동결방지를 위한 내부라이닝 방법은 터널연장, 통행량, 결로 정도, 경제성 등을 고려하여 프리캐스트 콘크리트, PE foam, 샌드위치 패널 등을 적용한다.

### 2.2 연구 현황

2000년대 초 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법(무라이닝, 싱글셀, 프리캐스트 콘크리트 라이닝 등)에 대한 소개와 국내 적용기준에 대한 연구를 시작으로 지보재 성능개선과 내구성검증 연구가 활발히 수행되었다. 특히, 숏크리트는 80년대 국내에 처음 건식 타설 방법이 도입된 이래 습식 타설방법, 강섬유 보강 등의 과정을 거쳐 최근에는 고성능 숏크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 초기 지보력과 장기 내구성을 동시에 확보할 수 있는 고성능 숏크리트는 연구지보재로서의 숏크리트 성능이 요구되는 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법 적용에 필수 불가결한 요소라고 할 수 있다.

## 3. 프리캐스트 콘크리트 라이닝 적용 방안

### 3.1 현장타설 콘크리트 라이닝

현장타설 콘크리트 라이닝 기능은 크게 구조체로서 역학적 기능과 내부 마감재로서의 미관 유지기능으로 나뉜다. 역학적 기능은 논란의 여지는 있으나 주로 지보재로서 지반이완 하중, 잔류수압을 분담하는 것이며, 마감재로서 기능은 터널내의 미관 개선 및 부속시설물 지지 역할 등이다.

현장타설 라이닝은 국내 적용실적이 많아 기술축적이 많이 이루어졌으나, 여굴 채움 콘크리트가 발생하고 천단부 균열이 발생하는 등의 단점이 있다. 또한, 굴착 후 지반변위가 수렴된 이후 인력에 상당 부분 의존하여 시공되므로 특히 장대터널 시공 시 공사기간 증가의 요인이 되며, 그 기능이 불명확한 상태에서 안전측의 설계 개념을 일률적으로 적용하여 설계하므로 배수터널에서 내부 마감재 기능으로서는 단면이 과대해지는 경향이 있다.

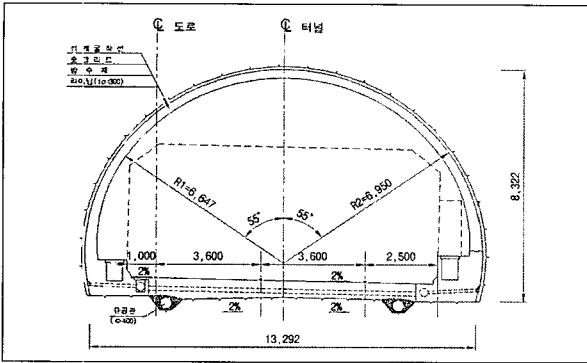


그림 1. 현장타설 라이닝

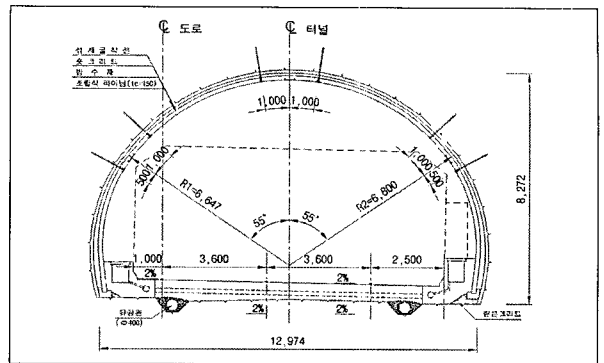


그림 2. 프리캐스트 콘크리트 라이닝

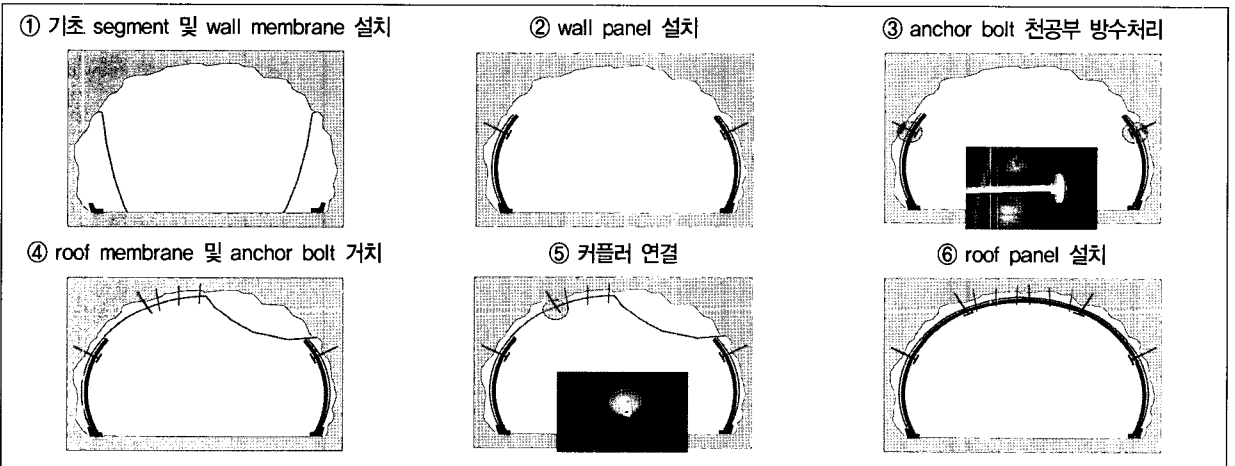


그림 3. 시공순서도

### 3.2 프리캐스트 콘크리트 라이닝

프리캐스트 콘크리트 라이닝은 여굴 채움 콘크리트가 없고 공장제작으로 품질관리가 양호한 점, 공용중 라이닝 균열이 없는 점 등이 현장타설 라이닝에 비해 장점이 될 수 있다. 또한, 양생이 필요 없이 공장제작 Segment를 운반·조립하는 방식이므로 터널이 장대화 될수록 공기단축 효과는 부각된다.

특히, 주목할 만한 점은 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법 적용시 현장타설 라이닝에 비해 굴착량 및 콘크리트량이 감소되는데 이는 최근 이슈가 되고 있는 온실가스

(CO<sub>2</sub>) 감축에 직접적으로 영향을 미친다. 최근 시공된 고속도로 터널 사례에서는 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법을 적용함으로써 절감할 수 있는 온실가스 발생량이 전체 터널 발생량의 약 20%인 것으로 나타났다.

현재까지 국내 시공 사례는 없으나 2003년 ITA(International Tunnelling Association) 조사에 의하면, 전세계 14개국 168개 터널, 총 610km에서 현장타설 라이닝을 생략한 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법 등 무라이닝 터널로 시공되었다.

프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법은 Segment를 공장제작 후 운반하여 조립하는 방식으로서 시공순서는 그림 3과 같다.

### 3.3 적용 방안

#### 3.3.1 적용 지반

##### (1) 지반조사

프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법에서는 숏크리트, 록 볼트 등 1차 지보재가 영구적인 구조물 역할을 담당하므로 1차 지보재에 작용하는 하중과 변위를 신뢰성 있게 예측하는 것이 터널의 안정성을 확보하기 위한 필수조건이다. 따라서, 조사설계 단계에서 지반 및 지질상태를 고려한 정확한 지반정수 산정이 더욱 중요하다. 설계이전 단계에서는 물리탐사, 시추조사 등 조사결과로부터 Q-Chart를 작성하고 이러한 일련의 과정을 통해 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법의 적용성을 평가한다. Q-System에서는 반영할 수 없으나 무라이닝 공법의 장기 안정성과 경제성 확보를 위하여 검토해야 될 별도의 보조적 요소, 즉 풍화, 지하수, 압착성, 팽창성, 공동, 지질구조 등을 추가적으로 고려해야 할 경우도 있다.

##### (2) 암반분류 및 지보설계

적용지반 평가시 RMR 또는 Q-System에 의한 암반등급산정 결과를 따르며, RMR 분류법에 의한 경우 Q-System과의 상관성 분석 결과를 반영하여 평가를 수행하는 것이 일반적이다.

상관성 분석 예는 다음과 같다.

- $RMR = 9\ln Q + 44$  (Bieniawski, 1976)
- $RMR = 15\log Q + 50$  (Barton, 1995)

표 2의 ⑨ CCA(Cast Concrete Arches) 와 같이 추가 보강이 요구되는 구간을 제외한 구간은 조립식 라이닝 공법의 적용이 가능하다.

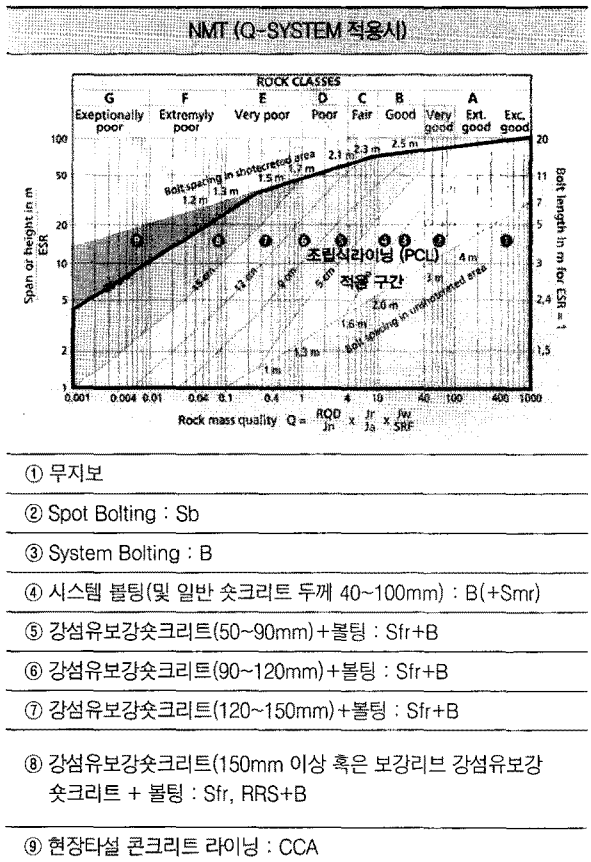
#### 3.3.2 지보재

1차 지보재는 내구성, 부식성 등에 대한 영구적 안정성 확보를 위하여 재질 및 강도 특성에 있어서 고품질을 요한다.

##### (1) 숏크리트

프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법에서의 숏크리트는 영구지보재로서의 역할을 수행해야 하므로 지반(암반) 및 각 층간에서 충분한 부착력이 발휘되고 압축력, 휨 및 전단하중에 충분한 저항력을 발휘하여야 하며 균열이 발생하여도 인성이 높아 구조 부재로서의 역할을 수행할 수 있어야 한다. 특히, 충분한 내구성을 확보하여 터널의 공용기간 동안 소요 기능을 발휘할 수 있어야 하며 이는 콘수밀성이 우수하고 방수에 있어서 고성능이 요구된다는 것을 의미한다. 2002년 이후 국내에서 고성능 숏크리트 연구를 통해 실제작 및 성능 검증이 완료되었다. 최근 개

표 2. 프리캐스트 콘크리트 라이닝 적용구간



정된 터널설계기준(2007)에서 제시하는 고성능 슛크리트(35MPa, 휨강도 4.5MPa) 적용시 영구지보재로서의 초기 강도 및 내구성 확보가 가능하다. 고성능 슛크리트에서는 일반적으로 장기강도 저하 또는 알칼리 반응에 유의하여 Alkali-Free 급결제를 사용한다. Alkali-Free는 pH가 0~7로서 중성 내지 산성이며 알칼리 양이온의 함유량이 1% 이하인 액체를 말한다. Alkali-Free 급결제는 알칼리-골재 반응의 위험을 감소시키며, 일반 급결제에 비해 장기 강도저하를 약 15~50% 억제할 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 작업원 건강 및 환경 보호에 우수하여 친환경적이나, 시공시 부식 방지 장비를 사용하는 것이 좋으며 사용 후 즉시 노즐을 세척해야 한다.

고성능 슛크리트에 사용되는 골재입도는 고르게 분산되어야 하며 리바운드 최소화를 위해 8mm 이상 골재는 10%를 넘지 않는 것이 좋다.(EFNARC) 추천 입도 분포는 표 3과 같다.

스�크리트 타설시 로봇 형식 슛크리트 기계의 운용을 위해 Compressor 용량은 12~16m<sup>3</sup>/min 이상이어야 한다. 타설압은 7bar(70kPa) 이상이어야 하나 지나치면 Bleeding 현상을 유발할 수 있으므로 유의해야 한다. 타설 작업시 공기압 7bar, 공기량 10m<sup>3</sup>/min, 물의 양 300liter/min

표 3. 추천 입도 분포

Sieve(mm)	한계값(%)	
	최소	최대
0.125	4.0	12.0
0.25	11.0	26.0
0.5	22.0	50.0
1	37.0	72.0
2	55.0	90.0
4	73.0	100.0
9	90.0	100.0
11.2	100.0	100.0
16	100.0	100.0

이상이 추천된다.(Norwegian Concrete Association, 1999)

건조수축 발생시 슛크리트 수밀성 저하로 Leaching 현상을 유발하며 이는 내구성 약화의 원인이 된다. 따라서, 이를 방지하기 위해 양생시 적절한 수분을 유지해야 한다. 양생시 물 뿜기를 최소 4일 이상 지속하여 습윤상태를 유지하고, 멤브레인을 설치하거나 화학 첨가제를 첨가하는 방안도 고려해야 한다.

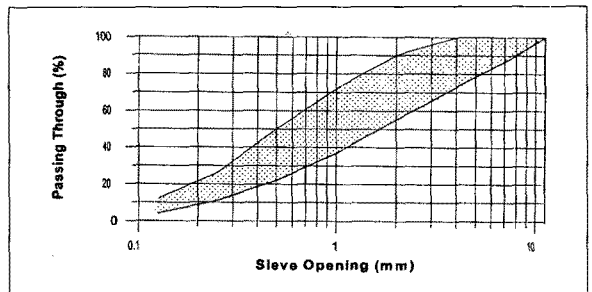


그림 4. 추천 입도 분포

표 4. 현장 품질관리 항목

종별	관리항목	관리내용 및 시험	시험 빈도		
			간격시험	일반시험	정밀시험
일상관리	배합	배합비 및 사용량 검사	매타설시	매타설시	매타설시
	시공상태	스�크리트의 부착, 성상, 반발, 분진발생 관찰	매타설시	매타설시	매타설시
	두께	핀 등에 의한 육안 검측	매타설시	매타설시	매타설시
	변상	변형 및 균열 관찰	매타설시	매타설시	매타설시
	스�크리트 온도	온도 검측	매타설시	매타설시	매타설시
	반죽질기	슬럼프 시험 수행	매타설시	매타설시	매타설시
	두께	스�크리트 두께 검측	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>	매타설시
정기관리	급결제 온도	온도 검측	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>	50m <sup>3</sup>
	급결제 양	급결제 첨가량 검사	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>	매타설시
	Water/Binder Ratio	Water/Binder 측정	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>	매타설시
			재령 1일 압축강도(범 거푸집)	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>
	강도	재령 28일 압축강도(범 거푸집)	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>	50m <sup>3</sup>
		재령 28일 휨강도, 휨인성(범 거푸집)	-	1000m <sup>3</sup>	500m <sup>3</sup>
		재령 28일 코어 압축강도	500m <sup>3</sup>	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>
	Bond	스�크리트/임반의 결합상태 확인	500m <sup>3</sup>	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>
	밀도	스�크리트 밀도 측정	500m <sup>3</sup>	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>
	강섬유 혼입량	강섬유 혼입량 측정	500m <sup>3</sup>	250m <sup>3</sup>	100m <sup>3</sup>
특별관리	강도	압축강도 및 휨강도	- 공사 착수 전 - 골재원(骨材源), 급결제 및 현경배합 설계가 바뀔 때마다 - 그 외 필요시		
	반발율	반발율의 측정			

현장 품질관리 항목은 휨강도 및 휨인성 시험(Beam Test)과 부착성 시험을 실시하며, 망치 등으로 두드리는 방법으로 부착상태를 평가하는데 타설후 7~28일 사이에 진행한다. 1차 시험에서 기준 미달된 구간은 좌우 일정구간(5m 정도)에서 2차 시험을 시도하여 부착성이 안 좋은 경우 재시공을 하여야 한다. 타설온도 또한 강도 및 부착성에 영향을 미치므로 15℃이상을 유지하도록 한다.

낮은 밀도의 슛크리트는 투수성이 커서 내구성 약화의 원인이 되므로 슛크리트 밀도 측정은 품질관리시 중요하게 이루어져야 한다.

## (2) 록볼트

보강용 록볼트는 일반 록볼트도 적용이 가능하나, 해저나 하저, 용수구간 등 부식이 예상되는 환경조건에서는 방식처리가 필요하다. 반면, 프리캐스트 콘크리트 라이닝 고정을 위한 앵커볼트는 공기중에 노출되어 있으며, 지하수와 접하는 경우가 대부분이므로 방식 처리는 필수이다.

스�크리트와 마찬가지로 영구지보재로서의 록볼트 역할을 위해서는 내구성 증대에 유리한 시멘트 모르타르에 의한 전면접착식을 적용한다. 동결융해, 염해, 황산염, 산성수, 중성화 등에 의해 록볼트 부식이 우려되는 경우 에폭시 코팅이나 아연 도금 등의 방식처리를 고려해야 한다. 모르터 흘러내림 방지장치는 완전 충전하여 지하수에 의한 부식 억제하는 데 효과적이다. 시험 항목으로 인발시험 외 비파괴 시험(Boltmeter)을 추가 확대 실시하여 품질 관리하는 것이 필요하다.

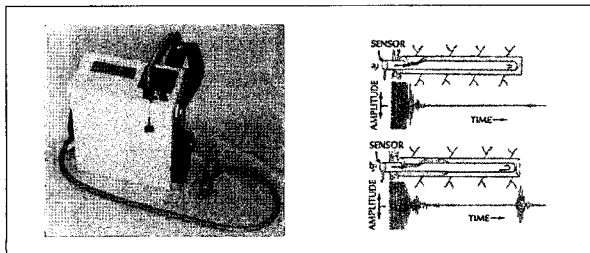


그림 5. Boltmeter

## 3.3.3 조립식 라이닝 Segment

Segment 설계시 자중, 조명하중, 건조수축, 교통 공기압, 충돌하중, 얼음하중, 온도하중, 지진하중 등을 고려한다. 설계하중 중 차량 충돌하중과 지진하중은 비대칭 하중으로서 기타 하중에 비해 Segment에 상대적으로 큰 부재력을 발생시키며 이에 저항하여 철근 배근으로 소요 강도를 확보하여야 한다.

결과적으로 조립식 라이닝 세그먼트는 현장타설 라이닝에 비해 단면 두께는 작은 반면, 전 단면이 철근보강 콘크리트 단면이 된다. 현장타설 라이닝의 경우 산악터널에서 갱구부와 일부 지질연약대를 제외한 구간은 무근 콘크리트를 적용하는데 반해 프리캐스트 콘크리트 라이닝은 전 단면 철근을 배근하므로 터널 공사비가 증가하는 요인이 된다.

프리캐스트 콘크리트 라이닝 Segment의 설계 및 시공은 4개 Panel을 이용하여 조립하며 강도는 25~45 MPa, 두께는 15~16cm(Φ10 철근 2열 배근)를 표준으로 한다. 철도 터널에서 내진 안정성 검토를 수행하여 강도 40MPa를 설계 적용한 사례(대한터널협회, 2002)도 있으나, 일반적으로는 강도 27MPa 정도를 설계에 적용하고 있다.

표 5. 조립식 라이닝 설계고려하중

구분	설계하중	산정내용
사하중	자중	• 콘크리트 자중 : 25 kN/m <sup>2</sup>
활하중	교통하중에 의한 압력과 흡인력	• 흡인력=0.939kN/m <sup>2</sup> , 압력=0.469kN/m <sup>2</sup> • $q_w = \mu \{ (V_b/3.6) + V1 \} 2 \times 1/16$ 여기서, $V_b$ =최고속도, $V1=10$ m/sec
	터널내 낙석 및 얼음 붕괴하중	• $q_r=3.0$ kN/m <sup>2</sup> (노르웨이 도로 교통국 조사보고서)
	차량충돌 하중	• $q_c=5.0$ kN/m <sup>2</sup> (판넬 바닥에서 3.5m 지점에 적용)
특수하중	지진하중	• 지진력=0.154g(내진 1등급 지역적용)
	온도하중	• $\Delta t = \pm 7.5^\circ\text{C}$ (내·외면), 계절별 온도, 건조수축영향
	가설하중	• 가설시 장비의 프리캐스트 콘크리트 라이닝지지 상태(1점지지, 2점지지) 영향

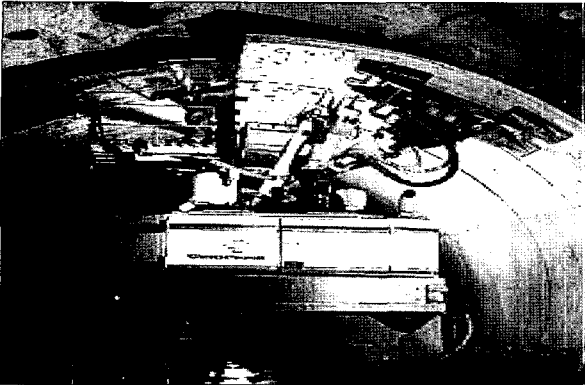


그림 6. Whole PC Lining

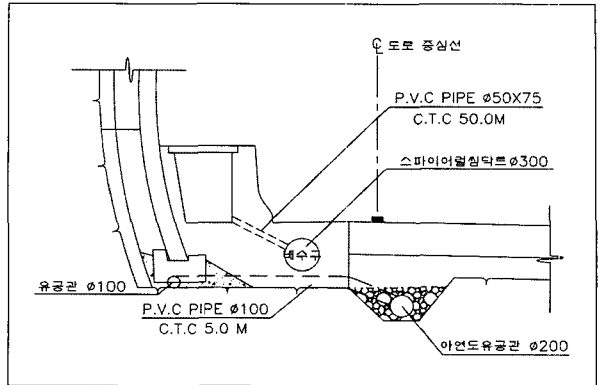


그림 8. 배수 상세도

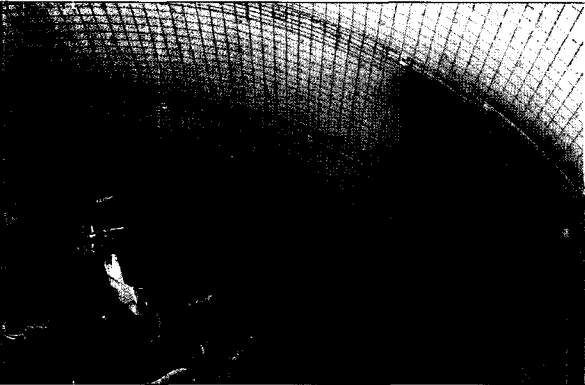


그림 7. Ekeberg Lining

은 기존의 터널과 다르게 프리캐스트 콘크리트 라이닝의 외벽에 방수시트를 부착하는 방법을 채택하였다.

방수형식의 차이로 인해 측벽 하단에 설치된 종방향 유공관으로 지하수를 유도하고 배수구가 아닌 도로하부의 맨암거에 적정 간격으로 연결하여 최종적으로 배수구를 통해서 처리한다. 이런 배수방식의 차이로 인해 굴착면적을 최소화 할 수 있고 터널 유출수와 타일 세척수를 근본적으로 분리하여 처리하므로 지하수 오염 유출을 차단하기에 용이하다. 반면, 프리캐스트 콘크리트 라이닝의 기초인 Footing Segment 설치로 인해 배면배수의 종방향 연속성이 결여되며, Footing Segment 기초인 린 콘크리트 타설이 현장 굴착면 여건에 따라 타설 품질이 불량할 가능성이 있어 그와 함께 유공관 설치 품질이 떨어질 우려가 있다.

### 3.3.5 기타 상세 검토사항

그 동안 프리캐스트 콘크리트 라이닝 적용시 발생할 수 있는 문제점에 대한 검토도 많이 진행되었으며, 검토한 내용은 다음과 같다.

- (1) 프리캐스트 Panel 배면 공간유지의 적정성
- (2) 낙석에 대한 Panel 안정성
- (3) PC Panel 하단부 침하시 안전성

### 3.3.4 방수 및 배수 시스템

방수막은 내부식성, 수밀성, 내화성이 우수하고 시방서 품질기준을 만족하는 제품으로 하며, 굴착단면과 PC-Panel 사이 이격공간에 방수시트를 고정한다. 방수형식

- (4) PC Panel 제작장 면적 확보 방안
- (5) Jet Fan 진동영향 방지 방안
- (6) PC Panel 연결부 처리 방안
- (7) 피난연락망 접속부 시공 방안
- (8) 입·출구 단면보강부 라이닝공법 적용 방안
- (9) 배면 채움 콘크리트부 방수 처리 방안
- (10) 터널의 선형조건에 따른 적용성
- (11) 벽체 파손시 교체설치 시공성
- (12) 조립식라이닝 보수 및 유지관리 방안
- (13) 프리캐스트 콘크리트 라이닝 내화성

표 7. 공사비 산출근거

공종	현장타설	프리캐스트	증감	절감사유
굴착, 버력처리	80.0	79.2	△0.8	굴착단면 5cm 축소
숫크리트	26.7	14.0	△12.7	여굴채움 타설량 감소
록볼트 등 지보공	13.3	12.8	△0.5	배면 그라우팅 삭제
라이닝	37.1	68.8	31.7	프리캐스트 콘크리트 라이닝 제작설치비 증가
방·배수공	26.2	25.4	△0.8	배수필터Con'c 감소 등
부대공, 기타	10.7	10.7	-	증감 없음
직접공사비	194.0	210.9	16.9	
총공사비	291.0	316.4	25.4	제압비 50%반영

#### 4. 프리캐스트 콘크리트 라이닝 적용 효과 분석

장대터널에서 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법 적용 시 현장 여건에 따라 차이는 있으나 현장타설 라이닝에 비해 약 8개월(2km터널 기준)의 공기단축 효과가 있는 것으로 분석되었다.

터널 공중 중 온실가스 발생에 영향이 큰 주 공종은 굴착공, 콘크리트 타설공, 철근공 등이며 현장타설에 비해 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법 적용시 굴착량 및 콘크리트 타설량 감소 등으로 인한 온실가스 감소 비율은 전체 터널 온실가스 발생량의 20% 수준이 될 것으로 분석되었다.

2km 장대터널에서 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법 적용시 공사비가 약 9% 증가하는 것으로 나타났으나, 전

체 노선의 조기 개통으로 인한 간접비용 절감 효과를 감안하고, 향후 설계 표준화를 통한 Segment 대량 생산 및 시공 노하우가 축적된다면 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 5. 결론

국내 터널은 1980년대 초 이후 현재까지도 대부분 NATM공법에 의해 시공되고 있다. 2000년대 들어와서 일부 설계에서 현장타설 대신 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법을 적용하려는 시도가 있었으나, 1차 지보재의 강도 및 내구성에 대한 검증 즉, 장기 안정성 문제, 관련기준 부재 등의 제약으로 실제 시공에 적용되지는 못하였다.

그러나, 최근 고성능 지보재에 대한 활발한 연구 등 기술 축적이 이루어졌으며, 장대터널 건설시 공기 단축·온실가스 감축 요구, 관련기준의 수립 등 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법을 재조명할 수 있는 여건이 마련되었다.

본 고에서는 그간 한국도로공사에서 건설계획 중인 고속도로 터널의 적용성을 검토한 결과에 근거하여 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법의 기술 현황, 적용 및 개선방

표 6. 공법별 공기 산출

구분	현장타설 라이닝	프리캐스트 콘크리트 라이닝
단위 공기	150m/월(2방향 기준)	375m/월(1방향 기준)
공기 산출내역	9m/조 ÷ 3일/조 × 25일 × 2방향	5m/Span × 3Span/일 × 25일
전체공기 (2km터널)	약 14월	약 6월(△8월)



안을 제시하였으며, 향후 검증 및 연구가 필요한 사항에 대해 다음과 같이 제언코자 한다.

- 1) 고성능 지보재에 대한 연구개발로 기술축적이 이루어지고 관련기준이 마련되었으므로 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법의 시험 시공 등 검증 과정을 통한 시공방안 수립이 필요하다.
- 2) 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법 적용을 계기로 장대터널에서의 공기단축, 온실가스 저감을 통한 녹색성장 기여 등과 더불어 터널기술이 한 단계 도약할 수 있는 토대를 마련할 수 있을 것으로 기대한다.
- 3) 현장타설 라이닝은 지속적인 설계·시공 경험과 공사비 절감 노력을 통하여 공사비가 현실화되었으나, 프리캐스트 콘크리트 라이닝과 같이 실제 시공 경험이 전무한 상태에서는 설계단계에서 여러 가지 불확실한 요소를 반영한 공사비 검토가 이루어져야 한다.
- 4) 향후 불확실한 요소를 제거하기 위한 심도있는 검토 즉, 지보재의 영구적 안정성 확보, 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법 적용시 문제점 및 세부 시공방안, 경제성 확보를 위한 기술자들의 지속적인 연구노력이 요구되며, 이를 통해 프리캐스트 콘크리트 라이닝 공법이 빠른 시일내에 적용될 수 있기를 기대한다.

## 참고문헌

1. 황학, 정한철, 나승훈(2001), 무라이닝 터널의 국내 적용, 한국암반공학회 기술세미나 논문집.
2. 김승렬(2002), 국내의 터널기술 환경에서 조명한 프리캐스트 세그먼트 터널 라이닝 공법, 한국지반공학회 학술발표회 논문집.
3. 서영화, 김성구, 나승훈(2002), Unlined Tunnel 공법 지보재의 설계 및 시공 기준 고찰, 한국지반공학회 학술발표회 논문집.
4. 서영화, 나승훈, 지동한, 홍은수, 이인모(2002), 무라이닝 공법 국내 적용을 위한 지보재의 안정성, 한국터널공학회 학술발표회 논문집.
5. 박해균, 이명섭, 김재권(2003), 영구 슛크리트 터널 라이닝 구축을 위한 고성능 슛크리트 개발(용수부에서의 조강시멘트와 alkali-free 급결제 적용 검토), 한국터널공학회 논문집(터널기술).
6. 이상필, 김동현, 류종현, 이상돈, 최명식(2004), 프리캐스트 콘크리트 라이닝공법을 적용하기 위한 고성능 슛크리트의 개발, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
7. 류종현, 김동현, 이상필(2005), 무라이닝 터널과 조립식 라이닝 공법, 한국콘크리트 학회지.
8. 이상필, 류종현, 이상돈, 전석원, 이정인(2007), 터널 영구 지보재로서의 슛크리트 고성능화 및 내구성 평가에 관한 연구, 한국암반공학회 논문집(터널과 지하공간).
9. 김선홍, 이상필, 장수호, 박해균(2009), 지보재의 설계와 시공 - 슛크리트 설계현황 및 개선사항, 한국터널공학회지, 제 11권, 제3호.
10. 건설교통부(2007), 터널설계기준.
11. 한국도로공사(2009), 고속도로공사 전문시방서.
12. 홍성재, 이경태(2005), 터널공사 설계 및 시공관리 개선방안.
13. Norconsult, "Kwang-ju Circuit Road PC-lining For JANG SUNG Tunnel Construction Report and Examples", 2001.