

# 무라이닝 터널과 조립식 라이닝 공법

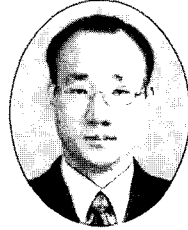
- Unlined Tunnel and Precast Concrete Lining method -



류종현\*  
Jong-Hyun, Ryu



김동현\*\*  
Dong-Hyun, Kim



이상필\*\*\*  
Sang-Pil, Lee

## 1. 머리말

우리나라 터널은 1980년대 초 이후로 대부분 NATM(New Austrian Tunneling Method)에 의해 시공되고 있다. NATM은 터널공법이라기 보다는 터널의 지보원리에 해당하는 것으로, 원지반의 변형을 최대한 억제하기 위해 강지보재 위주로 보강하던 재래식 터널공법과 달리 원지반의 강성을 최대한 활용하여 지반 상태에 따라, 록볼트(rock bolt), 샷크리트(shotcrete) 등의 지보재를 적용한다. 굴착 후 지반이 충분히 안정화 된 후 최종적으로 현장 타설 콘크리트 라이닝을 설치하여 터널을 마감한다.

그러나 현장타설 콘크리트 라이닝은 전체 터널 공기의 약 20~30%를 차지하고 있으며, 이 기간을 줄일 수만 있다면 비용 면에서도 많은 이점을 얻을 수 있다. 콘크리트 라이닝은 터널의 종류나 설계자에 따라 약간의 차이를 보이지만 일반적으로 차중 및 잔류수압과 장기적으로 발생할 수 있는 지반의 이완하중 등에 저항하도록 설계·시공되고 있으며, 이러한 기능 외에

도 누수 및 동해방지, 갱내설비, 미관확보 등의 역할도 수행하고 있다. 한편, 국내에서 NATM 공법을 기반으로 하여 콘크리트 라이닝을 설치하는 시공방법이 적용된 지도 20여년 이상이 경과하였지만, 콘크리트 라이닝의 역할에 대한 구체적 개념이 확립되지 않음으로 인하여 그 필요성에 대한 논란이 여전히 계속되고 있다.

1970년대부터 노르웨이 등 주로 암반이 양호한 북유럽 국가를 중심으로 적용되고 있는 무라이닝(unlined tunnel)공법은 현장 타설 콘크리트 라이닝을 생략한 형태의 모든 터널을 말하며 경제성, 시공성, 유지보수 면에서 장점을 지녀 세계 각국으로 확대되고 있고 우리나라에서도 교통터널에 대한 적용시도가 계속되고 있다. 그러나 어느 특정 지역의 지반조건과 시공기술에 맞게 발달되어온 터널공법이 다른 상황 및 여건에서도 적용되기 위해서는 적용조건에 대한 검토와 검증이 필요하다. 특히 지보재의 경우 무라이닝 터널의 안정성을 위한 핵심기술로서 일반 구조물과 달리 기후, 지반조건, 재료, 시공여건 등에 많이 좌우되므로 국내 상황에 맞는 무라이닝 터널의 지보재 공법을 정착시키기 위해서는 무라이닝 터널공법의 실체를 정확히 이해하고 세계 각국에서 어떻게 변형 적용되

고 있는지를 파악한 후 국내 적용 시 해결해야 할 과제를 규정하고 이에 대한 해법을 제시하는 과정이 필요하다.

한편, 조립식 라이닝(PCL: Precast Concrete Lining)은 무라이닝 터널에서 미관, 방수, 결빙방지, 운전자의 시각적인 안정성 등을 목적으로 터널 벽면과 이격되어 설치하는 내부 라이닝(inner lining)이며, 조립식 라이닝 공법은 공장에서 제작된 프리캐스트 콘크리트를 최종 터널 마감재로 사용하기 때문에, 공기, 공사비, 유지관리 등 여러 면에서 기존 현장타설 라이닝 터널공법보다는 유리하다. 본고에서는 한층 진보된 터널공법이라 할 수 있는 무라이닝 터널공법의 개념과 국내의 적용 현황을 살펴보고 국내 환경에 적합한 무라이닝 터널공법인 조립식 라이닝 공법의 설계 및 시공 방법에 대해 간단히 소개함으로써, 향후 무라이닝 터널의 국내 현장 적용을 위한 논의와 활성화에 도움이 되었으면 한다.

## 2. 무라이닝 터널공법 개요

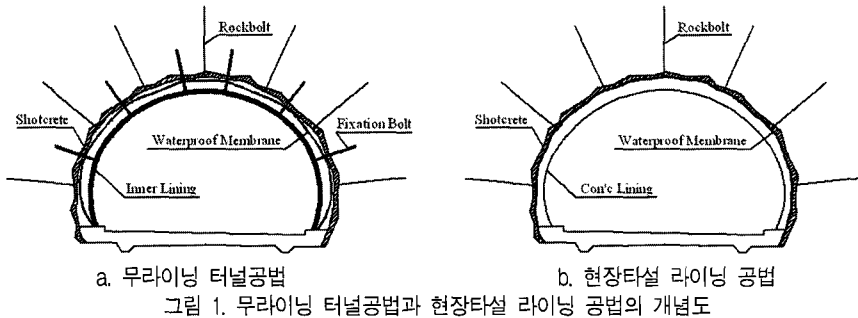
### 2.1 무라이닝 터널의 개념

무라이닝 터널공법은 양호한 암반 터널

\*정회원, GS건설 기술연구소 전임연구원

\*\*정회원, GS건설 기술연구소 선임연구원

\*\*\*정회원, GS건설 지하공간팀 팀장



a. 무라이닝 터널공법  
b. 현장타설 라이닝 공법  
그림 1. 무라이닝 터널공법과 현장타설 라이닝 공법의 개념도

에서 1차 지보재(록볼트 & 슛크리트)와 암반 자체 지지력으로 충분한 안정성을 확보할 수 있다는 전제하에 2차 지보재(콘크리트 라이닝)를 생략하는 공법이다. 본고에서 현장타설 콘크리트 라이닝을 생략한 형태의 터널공법 전체를 일컫는 말로서 포괄적 의미를 가지며 노르웨이 등지에서 발달된 이른 바 NMT(Norwegian Method of Tunneling) 또는 SPTL(Single Pass Tunnel Lining method) 공법 등을 포함하며 상대적으로 연약한 지반에서 발달되어온 Single Shell 공법까지 포함한 개념이다.

〈그림 1〉은 무라이닝 터널공법의 개념을 그린 것이다. 라이닝이 생략되어 있는 대신 필요에 따라 마감재(PC-Panel 등)가 슛크리트 보강 단면과 일정간격 이격되어 설치되고, 그 사이에 방수막이 앵커볼트에 의해 고정되도록 시공되어 진다. 이 경우 마감재는 구조재로서 작용하지 않고 미관이나 배수 목적으로 활용된다. 특히 암반이 아주 양호한 경우에는 1차 지보재마저도 생략하는 터널이 증가하고 있다.

### 2.2 무라이닝 터널의 특징

무라이닝 터널공법은 원지반을 주지보재로 이용하는 NATM의 이론을 최대한 이용하는 것으로 PC-Panel 등의 마감재를 이용하거나, 양호한 암반조건인 경우 내부 라이닝을 생략하기도 한다. 내부 라이닝은 공장에서 제작되어 현장에서 조립되어지는 것으로 기존의 현장 타설 라이닝 공법에 비해 공기 측면에서 유리하다. 일반적으로 라이닝 공법에서는 1 스펙(9m) 시공 시

3일이 소요되는데 비하여 무라이닝 터널공법에서는 2 set(약 10m) 설치가 1일에 가능하며, 라이닝 공정이 전체 터널공정에 20~30% 정도를 차지하는 것을 감안하면 공기 단축이 15~20%에 이를 것으로 추산된다. 마감재는 공장 제작으로 균질한 품질이 유지될 수 있어 균열 발생의 우려가 적으며 파손 시에도 신속한 교체 및 보수가 가능하다. 또한 원지반의 균열 발생 시 라이닝 공법에 비해 보강이 간편한 장점이 있다.

또한 보통의 라이닝 공법에서 지하수가 완전히 배수되지 않으면 잔류 수압이 발생하고, 이것이 설계에 고려되지 않았을 경우 라이닝에 추가 하중으로 작용하여 균열의 원인이 될 수 있다. 그러나 무라이닝 터널공법에서는 마감재와 슛크리트 면 사이가 이격되어 터널 내부로 침투되는 지하수를 효과적으로 터널 외부로 유도배수 할 수 있어 지하수 처리에 보다 유리하다.

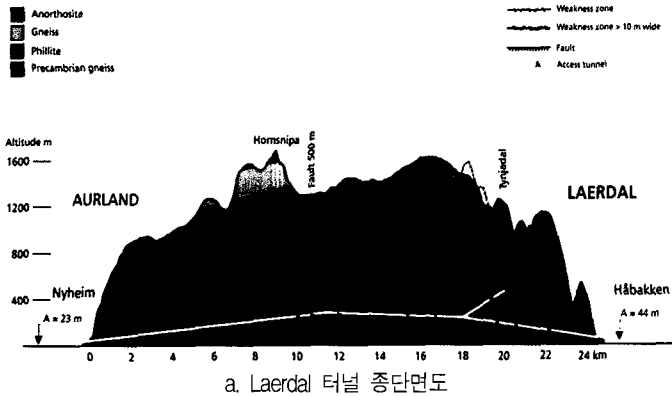
그렇지만 이러한 무라이닝 터널이 완벽한 안정성을 유지하기 위해서는 1차 지보재가 영구 지보재의 역할을 담당할 수 있을 정도의 고품질이 요구된다. 무라이닝 터널에서 1차 지보재는 최종지보재의 역할을 해야 하며, 경우에 따라 최종 마감재로서도 작용해야 하기 때문이다. 무라이닝 터널에서는 기존의 현장타설 콘크리트 라이닝에 의한 추가적, 잠재적인 안전을 확보가 없기 때문에 대상터널이 1차 지보재로 충분한 안정성을 확보할 수 있는지에 대한 검증이 먼저 이루어져야 하며, 이후 장기내구성 확보를 위한 1차 지보재의 성능 향상과 이를 위한 시공 측면이 고려되어야 한다.

### 2.3 고성능 슛크리트의 필요성

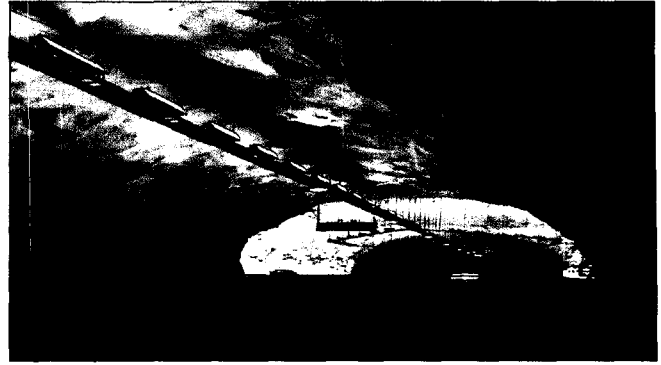
무라이닝 터널에서는 1차 지보재인 슛크리트가 최종 마감구조재 역할을 해야하며, 원지반과 접촉되고 동시에 외부에 노출되므로 영구지보재로서의 강성과 내구성 확보가 필수적이다. 슛크리트의 강성 및 내구성에 영향을 미치는 요소로는 급결제, 혼합재료, 슛크리트 타설 작업자의 숙련도, 시공조건 등을 들 수 있다. 급결제는 시멘트의 응결 및 경화속도를 조절하는 혼화제로서 주성분별로 구분하면 알루미늄이트계, 실리케이트계, 알칼리 프리계와 시멘트 광물계 급결제 등으로 구분할 수 있다. 실리케이트계 급결제는 사용량이 많아 초기강도가 낮고, 장기강도 저하 현상이 발생하며, 현재 국내 터널 현장에서 많이 사용되고 있는 알루미늄이트계 급결제는 알칼리함유량이 높고, 인체에 유해한 면이 있어 타설 작업자의 안전에 악영향을 주는 단점이 있다. 분말형태의 시멘트 광물계 급결제는 응결시간이 매우 빠르고 용수 대응능력이 좋기 때문에 용수가 많은 일본에서 주로 사용하고 있으며, 최근 국내 터널에 적용을 시도하고 있다. 유럽에서는 응결시간이 빠른 알루미늄이트계 급결제 및 알칼리 프리계 급결제가 사용되며, 최근에는 작업자의 안전, 환경오염 등의 이유로 알칼리 프리계 급결제의 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 작업자의 숙련도와 관련된 사항으로서 슛탕 노출의 작업반경, 회전속도, 타설거리, 노즐 움직임 등에 따라 리바운드와 품질 면에서 차이가 발생할 수 있다. 시공조건으로는 부착될 암반의 종류, 여굴 발생량 등 지반 조건의 변화에 따라서 부착성능이나 품질 면에서 차이가 발생한다.

현재 국내 슛크리트 성능에 대한 품질기준(한국도로공사 품질기준)은 압축강도가 19.6MPa 정도로서, 유럽 기준인 EFNARC의 40MPa에 비해 절반 수준에 불과하고, 휨강도의 경우에는 국내 기준과 유럽기준이 비슷한 4.4MPa 정도이다.

스�크리트의 열화요인으로는 암반면에서



a. Laerdal 터널 종단면도



b. Laerdal 터널 내부전경

그림 2. Laerdal 터널

유입되는 지하수에 의한 숏크리트 동결융해와 자동차에서 나오는 배기가스 성분 중 이산화탄소에 의한 숏크리트 중성화, 겨울철 사용되는 제설재(염화칼슘 또는 염화나트륨)에 대한 염해 등이 있으며, 요즘 관심이 높아지고 있는 화재에 대한 내화특성 등에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다.

유럽의 고성능 숏크리트에 대한 연구는 1990년대 초반부터 시작되어 왔지만, 아직 국내에서는 고성능 숏크리트에 대한 연구가 많이 이루어지지 않은 실정이며, 국내 고성능 숏크리트에 대한 품질기준 자체도 설정되어 있지 않다.

### 3. 무라이닝 터널 적용 현황

현재 노르웨이에 건설된 도로 터널은 약 700여 개에 달하며 이중 3%의 구간만 현장타설 콘크리트 라이닝이 설치될 정도로 무라이닝 터널공법이 일반화되어 있다. 또한 매년 15~20 km의 도로터널이 시공 중에 있고, 그 중에서 현장 타설 콘크리트 라이닝이 설치되는 구간은 매년 500 m 미만이다. 2001년에 완공된 24.5 km에 달하는 세계 최장의 도로터널인 Laerdal 터널의 경우 역시 터널 심도가 최대 1,400 m임에도 불구하고 대부분의 구간에 숏크리트나 암반면이 그대로 노출되고 마감재가 없는 무라이닝 터널공법을 적용하였다.(그림 2)

Romeriksporten 터널(13.9 km), Bekkedalshogda 터널(1.5 km) 등 시속 200 km 이상의 고속철도 구간 터널 공사

에서도 0.5~2%에 해당하는 구간만 현장타설 콘크리트 라이닝으로 시공된 사례가 있으며, 해저 터널 역시 7.23 km의 세계최장 해저 도로 터널인 Oslo Fjord 터널, Alesund 터널, Freifjord 터널의 시공사례 등 철도 및 해저 터널에서도 무라이닝 터널공법은 일반화되어 적용되고 있다.

노르웨이에서는 1916년도부터 수력발전소를 건설하였고, 현재 약 200여 개의 발전소를 보유하고 있다. 이들은 안정성과 비용절감의 이유로 90% 이상이 지하에 라이닝이 없는 상태로 건설되었으며, 지금까지 단 한번의 사고사례도 보고되지 않았다.

그리고, 지하저장시설에 대해서도 원유, 가스, 혹은 디젤 등의 정제된 석유의 저장을 위해 8개의 대규모 Unlined Cavern이 건설되어 현재 가동 중에 있다. 또한 이외에도 농수산물의 보관을 위한 지하 냉동 저장시설을 보유하고 있으며 주민 체육 시설로서 비상시에는 방공호로 이용할 수 있는 지하 시설물들이 무라이닝 터널공법

으로 도시 곳곳에 건설되었다. 국내에도 많이 알려진 Gjoevik Olympic Mountain Hall이 대표적 사례이다. 이와 같이 도로 및 철도 터널을 비롯하여 발전소, 저장시설 등의 산업시설은 물론 체육시설도 무라이닝 터널이 적용되고 있는 실정이다.

노르웨이를 비롯한 북유럽을 중심으로 무라이닝 터널 적용이 점점 확대되고 있으며, <그림 3>에서 보듯이 2003년도까지 10여 개국, 160여 개 터널에서 총 610 km가 시공된 것으로 보고 되어 있다. <표 1>에서처럼 도로, 철도, 지하철에 이르기까지 적용대상이 다양하고, 국가별로 특성에 맞게 적용하였다. 체코의 예처럼 숏크리트의 강도를 증가시키기보다 두께를 증가시킨 경우가 있고 오스트리아의 예처럼 초고강도를 적용한 예가 있다.

국내에서도 에너지 비축기지로 활용하기 위한 대규모 지하 Cavern이나 지하농수산물 저장창고의 경우 이미 무라이닝 터널로 설계, 시공된 사례가 있다. 지금까지

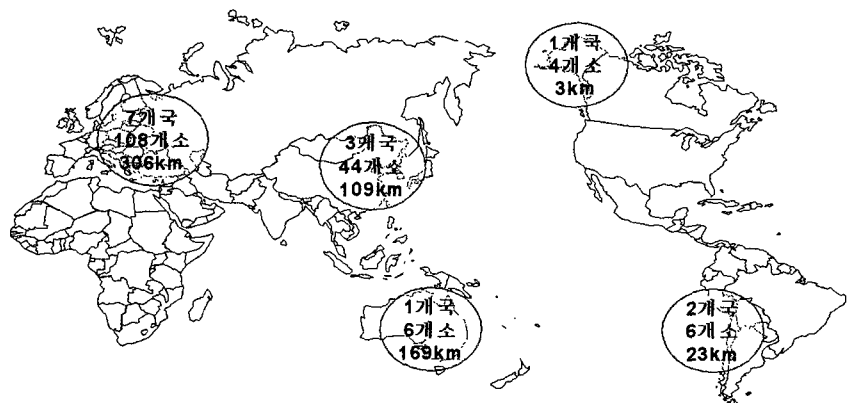


그림 3. 세계 무라이닝 터널시공 현황

표 1. 무라이닝 공법 적용사례 (ITA world Tunnelling Congress 2003, W/G 12 shotcrete use)

터널	국가	용도	준공년도	길이(m)	단면크기(m <sup>2</sup> )	-shotcrete 두께(cm)	shotcrete 강도(MPa)
Subway Line B	Argentina	지하철	2002	500	38.2	60	16.7
WMC Leinster Nickel	Australia	광산터널	공사중	60,000	25	7.5	44.1
Hall Stadt	Austria	도로	1966	1,063 ~ 1,203	24	15	28.4 ~ 67.7
BC rail	Canada	철도	1983	640	47	10	39.2
Lo Prado II	Chile	도로	2001	2,800	-	15 ~ 30	29.4 이상
Praha	Czech	지하철	1998	140	41 ~ 61	45	19.6 이상
Taino	Japan	철도	2000	351	-	7	36.3
Y-2	Korea	비축기지	1999	1,594	343	5 ~ 14	19.6
Freifjord	Norway	도로(해저)	1992	5,086	65	6.5 ~ 14	45
Laedal	Norway	도로	2001	24,500	48	6 ~ 15	40
Disentiser	Switzerland	철도	1999	346	36.9 ~ 85.1	30 ~ 45	33.7 ~ 46.4
Sodra	Sweden	도로	1998	16,600	-	6 ~ 9	39.2 이상

표 2. 무라이닝 터널에 적용되는 마감재 특징

라이닝 대체재	적용터널	장점	단점	비용(노르웨이 기준)
샌드위치 패널	외곽의 소규모 터널	· 시공이 간편 · 곡률이 300m도 가능	· 강성이 약함 · 재료비가 비쌌	재료 USD 850/m 시공 USD 100/m
PE-Foam+ shotcrete	상대적으로 교통량이 적은 대규모 터널	· 대단면 터널에도 경제적으로 시공	· shotcrete가 열화되어 떨어지는 현상이 발생 · 방화성능이 떨어질	재료 USD 400/m 시공 USD 1,400/m
PC-Panel	도심의 교통량이 많은 대규모 터널	· 외관상 가장 안정적 · 방수, 방화 성능이 우수	· 시공비용이 높고 설치 시 특별한 장비가 필요	재료+시공 USD 2,500/m

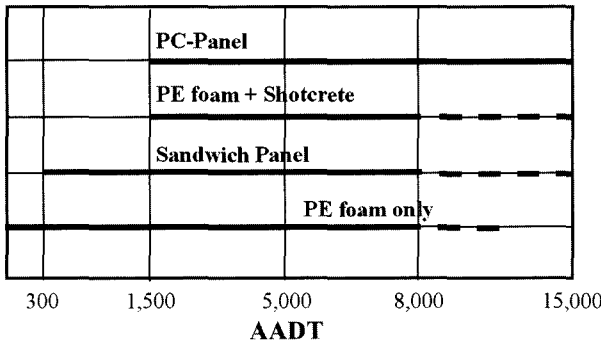


그림 4. 교통량에 따른 마감재 선택기준

국내에 건설된 유류나 LPG 비축기지는 총 12 곳으로 대부분 도심도, 대단면의 터널에 해수가 유입되어 공사가 불리한 환경조건 하에 건설되었으며 대부분 안정성에 문제없이 운영되고 있다. 국내에서 에너지 비축기거나 농수산물 저장고 등의 지하공간 공사 사례는 향후 교통 수송용 터널의 무라이닝 터널공사에 중요한 경험으로 작용할 것이다.

#### 4. 국내에 적합한 무라이닝 터널공법

같은 무라이닝 터널이라도 설치되는 마감재의 종류에 따라 1차지보재의 역할, 특히 최종마감재로서의 역할이 상이하므로

우선적으로 국내 터널에 적합한 터널 마감재의 종류를 조사하였다.

무라이닝 터널공법에서는 현장 타설 콘크리트 라이닝 대신에 단열, 방/배수, 운전자의 시각적 안정성 및 미관, 조명/환기/방재 시설의 설치 목적으로 마감재를 설치한다. 마감재는 시공성 및 경제성을 고려한 다양한 형식이 있으며 그 종류를 대별하면 단열된 샌드위치 패널 시공법, PE-Foam+shotcrete 시공법 그리고 PC-Panel 시공법으로 나눌 수 있으며 특징은 <표 2>와 같다.

Norwegian Public Road Administration(1990)에 의하면 터널 마감재의 형식은 터널 교통량에 따라 결정한다

<그림 4>. 이는 무라이닝 터널의 오랜 시공 및 유지관리 경험에 의한 것이다. 이 시방규정에 의하면 일년 평균 하루 교통량(AADT, Average Annual Daily Traffic)이 8,000대 이상인 터널을 전단면 PC-Panel을 시공하도록 추천하고 있다. 이는 교통량이 많은 터널에 높은 안전율을 부여하기 위한 규정이다. 전단면 PC-Panel공법은 동결융해에 대한 방지책으로 가장 적당하며, 방·배수공을 시공하기도 좋고, 풍동압에 대한 안정성이 가장 좋은 형식이고, 차량 충돌 시 윈 지반에 손상이 가지 않도록 상충하는 작용을 하며 방화성능 또한 뛰어나다. 현재 우리나라 도로 터널의 AADT는 98년 기준으로 고속도로는 4만 3,000대, 일반국도는 1만 2,000대로서 모두 8,000대 이상으로 전단면 PC-Panel 공법이 적합하다.

PC-Panel 시공법은 터널 전단면에 걸쳐 단열 및 방화 성능이 우수한 콘크리트 Element를 시공하는 공법이다. 공장에서 콘크리트로 만들어지는 PC-Panel은 그 시공 현장의 여건에 따라서 단열 및 비 단열로 구분되며 이는 동결 여부에 의해서 결정된다. PC-Panel의 크기 및 형상은

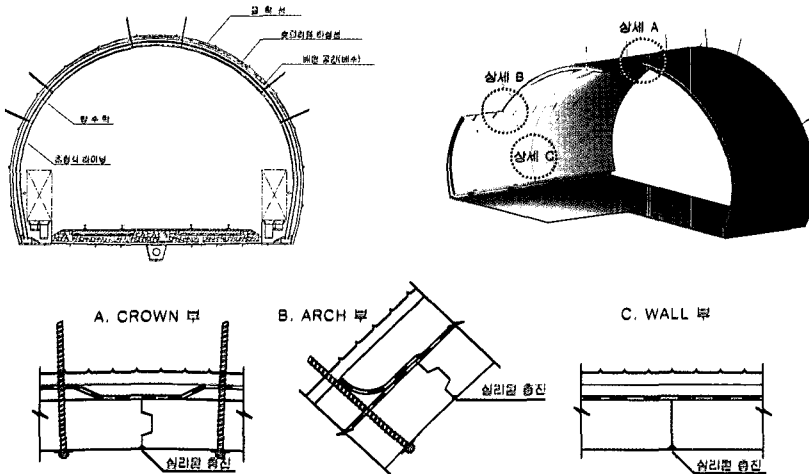


그림 5. PCL 공법의 개념도

표 3. PCL 공법의 시공순서

<p>공장제작 및 양생</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 현장 부지에 PCL 제작장 설치</li> </ul>	
<p>기초판 세그먼트 설치 및 방수 시트 설치</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설치개소 측정표기</li> <li>· 린 콘크리트 타설 및 세그먼트 거치</li> <li>· 고도 측정 및 교정</li> <li>· 측벽 Panel의 기초가 되므로 세그먼트 거치 위치가 정확해야 완전조립이 가능하므로 정밀시공 계획 필요</li> <li>· 방수 시트 거치 볼트 삽입 및 설치</li> </ul>	
<p>벽 패널 설치</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설치개소 확인</li> <li>· 기초판 세그먼트 위에 Erector를 통해 거치</li> <li>· 측벽 상단부 앵커 구멍을 통한 천공 및 앵커 볼트 설치</li> <li>· 패널 배면 앵커 볼트 및 너트 거치</li> </ul>	
<p>앵커 패널 설치</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설치개소 확인</li> <li>· 벽 패널 위에 Erector를 거치 후, 앵커 볼트 설치</li> <li>· 양측 패널 조립 후, 연결판 설치</li> <li>· 전 공정을 걸쳐 설치 개구부 및 케이블 슬리브(sleeve) 위치 확인</li> <li>· 슬리브 연결용 유도실선삽입 보호</li> </ul>	
<p>부대설비 설치</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 매립 전 설치</li> <li>· 공동구 거푸집 조립 및 콘크리트 타설</li> <li>· 도로 포장</li> <li>· 개통 및 완료</li> </ul>	

터널의 단면, 운반 장비, 양중 장비 등을 고려하여 PC-Panel을 분할하고, Wall Element와 Roof Element의 크기를 결정해야 한다. 일반적으로 안정성의 향상을 위해서 Wall Element의 크기를 키우는 경향이 있다.

## 5. 조립식 라이닝(PCL : Precast Concrete Lining) 공법

### 5.1 조립식 라이닝 공법 개요

조립식 라이닝(이하 PCL)공법은 굴착으로 발생된 원지반의 해방응력이 굴착시공 중에 완전히 수렴된 상태에서 내부라이닝인 PCL(Precast Concrete Lining)을 설치하는 터널공법으로 이론상으로는 NATM의 기본개념인 원지반의 강성을 최대한 활용하는 공법이라 할 수 있다. PCL은 공장에서 제작되어 현장에서 조립하는 공정으로 이루어지기 때문에 일반적으로 장대터널에서는 현장타설 콘크리트 라이닝보다 공사기간 면에서 우수하며, PCL과 슛크리트면 사이에 일정간격의 이격이 있으므로 터널내로 침투되는 지하수를 효과적으로 터널외부로 유도배수 시킬 수 있는 장점도 있다. 또한 PCL의 파손이 발생되었을 경우 신속한 교체 및 보수, 내부라이닝에 발생될 수 있는 균열현상을 현장타설 콘크리트 라이닝보다 현저히 줄일 수 있는 장점도 있다.

### 5.2 조립식 라이닝 공법의 설계개념

PCL의 설계개념은 현장타설 콘크리트 라이닝과는 상당한 차이가 있다. 즉 현장타설 콘크리트 라이닝의 설계 시 주된 하중으로는 주변지반의 이완토압, 라이닝의 자중, 지하수압 및 부대설비에 대한 하중이 주하중인 반면 PCL은 이완토압과 지하수압이 제외된 하중이 설계 시 감안된다. 이는 터널 굴착으로 인해 발생하는 토압이 전적으로 지반자체와 1차 지보재에 의해 지지되며 터널 내부로 유입되는 지하수는 PCL과 굴착면 또는 슛크리트면 사

이의 공간으로 유도 배수되기 때문에 부가적인 지하수압은 작용하지 않게 된다(그림 5). 그러나 PCL은 이와 같은 라이닝과 슛크리트면 사이의 공간으로 인해 현장타설 콘크리트 라이닝에서 비해 불리한 조건의 하중이 작용할 수 있다. 즉, 차량통행시 발생하는 공기압, 차량의 라이닝 충돌시 발생하는 충돌압, 라이닝 배면에 발생할 수 있는 낙빙하중과 낙석하중이 작용할 수 있으며 특히 PCL과 슛크리트면 사이의 공간으로 인해 PCL은 지진이 발생할 경우 주변지반의 지지력을 발휘할 수 없게 되므로 PCL설계 시 이러한 하중조건에 대해서는 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 현장타설 콘크리트 라이닝의 하중조건과는 상당한 차이가 있다 할 수 있으며, 현재 국내는 이와 관련된 설계 기준이 정립되지 않은 상황이다.

### 5.3 조립식 라이닝 공법의 시공

PCL은 일정한 두께를 갖는 4개 이상의 Precast Concrete Panel이 연결되어 라이닝을 이루게 된다. Panel과 슛크리트면과의 이격거리는 최소 15cm를 유지시키는 것이 일반적인 PCL의 단면 특성이며 유공관은 PCL 설치 완료 후 기초판과 기초판 사이에 설치하고, 중앙에 연결관을 두어 배수하게 된다. PCL 공법의 일반적인 시공순서는 표 3과 같다.

### 6. 맺음말

전 국토의 70% 이상이 산악인 우리나라의 도로 및 철도는 필연적으로 터널구간

이 많이 발생하며, 고속·직선화로 인해 장대터널의 비율은 점증적으로 증가하는 추세이다. 국내 산악지역의 기반암은 견고한 결정질 암석이 주류를 이루고 있어 지반상태로 보아 무라이닝 터널공법을 적용하기에 좋은 것으로 국내외 전문가에게 평가받고 있다. 하지만 무라이닝 터널공법은 많은 장점에도 불구하고 지반을 대상으로 하는 터널공법의 특성상 2차 지보재에 의해 보완되는 장기적인 터널의 안정성에 대한 우려 때문에 적용이 쉽게 이루어지지 않고 있다.

무라이닝 터널공법은 외국에서는 해수의 침입을 받는 해저터널 또는 Rock Burst 현상이 발생할 수 있는 대심도 터널에서도 적용되고 있는 공법이나 만큼, 국내에서도 터널 건설의 경제성과 시공성을 고려하여 신중하게 적용을 검토할 시기라고 생각한다. □

### 참고문헌

1. 박홍용, "강섬유 보강 슛크리트 강도특성 시험연구보고서", 호남고속도로 광주시 우회도로 건설공사 제1공구 설계보고서 부록 I, 2001.
2. 윤지선, 김성명, "Single Shell NATM의 설계(I)", 터널기술 제4권 제1호, 2002. pp.73~85.
3. 일본 SFRC 구조설계시공연구회, "강섬유 보강 슛크리트 설계시공 매뉴얼", 1995.
4. 김형준, "지진동으로인한 프리캐스트 콘크리트 라이닝(PCL)의 내진성능평가에 관한 연구", 한양대학교 석사학위 논문, 2004.
5. Davik, K. I. "Durability of Sprayed

- Concrete in Subsea Road Tunnels," The Proceedings of the Second International Symposium on Sprayed Concrete, 1996.
6. Grimstad, E. and Barton, N., "Updating of Q-System for NMT," Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Fagernes, Oslo, 1993.
7. Melbye, T. and Garshol, K. F., "Sprayed Concrete for Rock Support," MBT International Underground Construction Group, Zurich, Switzerland, 1994.
8. Naoki Tomisawa, "List of permanent Shotcrete Lining," ITA Working Group 12(Shotcrete Use) Internet Site, 2002~2003.
9. Norwegian Concrete Association, "Sprayed Concrete for Rock Support," 1999.
10. Norwegian Public Road Administration, "Road Tunnels," 1990.
11. Sundholm, S. and Forsén, O., "Corrosion of Rock Bolts Cement Mortar as Corrosion Protection for Rock Bolts," Research Report: TTK-KAL-A-15, Helsinki Univ. of Tech., Finland, 1995.
12. 대한터널협회, "경춘선 복선전철 본선터널 PCL 공법적용 타당성에 관한 연구(제7공구)", 2001.
13. LG건설 기술연구소, "Unlined Tunnel을 위한 고성능 Shotcrete 설계 및 시공 기술 연구 1차보고서", 2003.

## 신간소개 : 유동화 콘크리트

### ◆ 소개

: ... 이 시리즈는 그간 각 분야별로 학회지 특집기사에 참여한 전문가들의 경험과 축적된 연구결과 및 국내외에서 개발된 각종 기술 등에 대하여 체계적이고 깊이 있는 내용을 수록하고 있어 관련분야에 종사하는 실무자나 학생들에게 매우 유익한 도서가 될 것이다.

- 저 자: 한국콘크리트학회
- 출판사: 기문당
- 발행일: 2004년 12월 30일
- 정 가: 11,000원(회 원: 8,800원)
- ISBN: 89-7086-633-7
- 총쪽수: 174 쪽(판형: B5)

