

# 조적식 라이닝 터널의 안정성 해석 및 보수·보강기법

이 준석, 이성혁 (한국철도기술연구원)

## 1. 서론

국내에서 철도터널 지보재의 한 방편으로 적용되는 조적식 라이닝 (masonry lining) 은 1900년대 초부터 사용되어 왔으나 1980년대 이후로는 적용 예를 찾아보기 힘들다. 그러나 경부고속철도 일부 구간 중 기존 경부선을 활용하는 방안이 대두됨에 따라 기존선내 조적식 라이닝 터널의 확장에 따른 안정성 검토와 보수·보강기법에 대한 연구가 필요한 시점이 되었다. 따라서 본 고에서는 조적식 라이닝의 거동 분석을 위한 각종 수치해석 기법과 보수 및 보강기법에 대한 최근의 국내의 사례를 중심으로 조적식 라이닝의 특성을 간략히 소개하고자 한다.

## 2. 조적식 라이닝의 특성

국내 철도터널에 적용된 바 있는 라이닝 재료는 크게 콘크리트, 조적식 및 철근 콘크리트로 대별될 수 있으며 이들의 시공 실적비는 그림 1에 나타내었다. 한편 본 고에서 고려하는 조적식 라이닝을 구성 재료별로 구분하면 그림 2와 같다 [1]. 그림 2의 여러 재료 중 석재는 가공하기 쉽고 비교적 균질·등방성을 유지하므로 라이닝 재료로 많이 사용되며 일반적인 석재의 일축 압축강도는 표 1의 값을 적용한다. 한편 벽돌의 압축강도는 100~150kgf/cm<sup>2</sup> 이상, 인장강도는 20kgf/cm<sup>2</sup> 정도이지만,

통상 이보다 높은 것으로 알려져 있으며 벽돌의 강도는 흡수율이 클수록 약해지는 경향을 보인다. 흡수율은 동결 등에 대한 내구성과 관계가 있으며, 벽돌의 재질을 평가할 때 유효한 기준이 된다. 라이닝으로 쌓아 올린 벽돌의 강도는 벽돌 자체의 강도뿐만 아니라 벽돌 쌓기 형식과 숙련도, 줄눈 모르터의 형식에 따라 결정되므로 벽돌 자체의 강도보다 다소 작은 것이 보통이다.

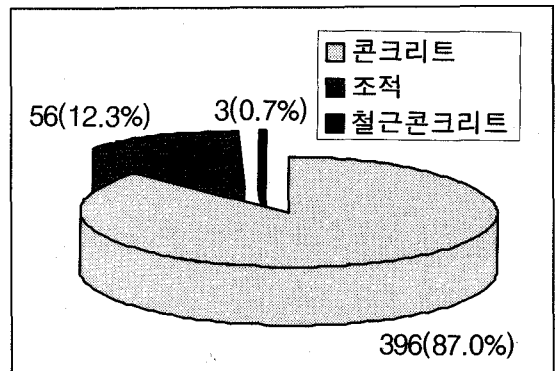


그림 1 : 철도터널의 라이닝 재료별 시공현황

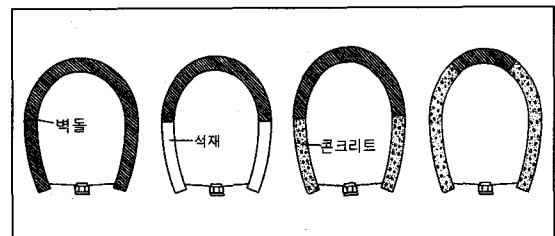


그림 2 : 조적식 라이닝 재료의 조합 예

표 1 : 석재의 일축압축강도  $\sigma_c$  [2]

$\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	석재
2,000	특히 단단한 현무암, 안산암 등
1,500~2,000	세립의 화강암류, 안산암 · 현무암류, 치밀한 사암 등
1,000~1,500	보통의 화강암류, 고생대 · 중생대의 사암, 석회암 등
500~1,000	조립의 화강암류, 사암, 다공질인 안산암 · 현무암 등
500이하	제3기의 사암, 응회암, 특히 다공질인 화산암 등

터널 라이닝 재료로서의 콘크리트 품질에 대해서는 콘크리트 표준시방서, 토목 공사 표준시방서 등에 규정되어 있으므로 이 규정에 따라 충분한 시공관리가 되면 문제는 없으나 시방서가 제정되기 이전에 건설된 콘크리트에는 품질의 편차가 있다. 특히 건설경기로 인해 자재가 부족했던 시기에는 자재 절약을 위해 시멘트량이 적은 콘크리트가 사용된 것도 있으며, 재질이 불량한 것이 사용된 예도 적지 않다. 콘크리트 블록과 현장타설 콘크리트의 구조상 문제점을 비교하면, 전자는 설계 라이닝 두께가 확실히 얻어지는 반면 줄눈의 시공 결합에 따라 응력 집중이 생기거나 열화 현상이 라이닝 내부까지 미친다는 결점이 있다. 한편 후자는 양호한 시공이 되면, 응력 집중이나 라이닝 내부로의 열화 진행은 적으나 일반적으로 아치에서 설계 라이닝 두께를 얻기 어렵다.

벽돌, 석재, 콘크리트 블록을 사용한 라이닝의 줄눈재로는 회반죽 또는 모르타르가 이용되고 있으나 누수에 의한 유실 혹은 동해 등에 의한 재질 열화가 발생하기 쉽고, 벽돌이나 블록의 박락, 낙하의 원인이 되는 경우도 있다. 회반죽은 주로 점토에 석회를 혼합한 것과 석회 · 모래 · 해조류 · 마섬유를 혼합한 것이 이용되었으나 모르타르가 줄눈재로서 이용되면서 대부분 사용되고 있지 않다. 줄눈 모르타르는 시멘트 · 모래 · 물을 혼합하여 만든 것으로 시멘트와 모래의 배합비는 1:3정도의 것이 많이 이용된다.

한편 일반적인 터널 라이닝의 변상원인에 대하여는 참고문헌 [3] 에 잘 요약되어 있으며 조적식 라이닝의 변상현상은 줄눈 깨짐이나 박리 · 박락 등이 추가적으로 고려될 수 있다. 줄눈 깨짐은 벽돌이나 콘크리트 블록 라이닝에서 균열이나 매연 피해 등에 의해서 모르타르의 열화가 진행되고 그 결과 줄눈이 빠져 나가는 현상으로서 대부분의 경우 균열과 같은 의미를 가지고 있으나 주로 벽돌이나 콘크리트 블록의 줄눈 부분에만 발생하는 특징이 있다. 일반적으로 벽돌이나 석재의 강도는 줄눈보다 강하고 내구성도 있기 때문에 이러한 구조는 줄눈부의 강도에 따라서 전체 조적식 구조물의 강도가 결정된다. 따라서 줄눈 부분의 균열이 깊은 경우는 구조물로서의 외관은 유지되어도 강도를 저하시키는 원인이 된다.

반면에 박리 · 박락은 균열이나 줄눈 깨짐이 밀집되면서 라이닝 재료의 표면 일부가 박리하여 붕락하는 현상을 의미하며 벽돌 혹은 석재가 열화하거나 또는 벽돌이나 석재는 건전하여도 줄눈재의 열화나 차량 등의 충돌에 의해 박리나 결손이 발생할 수 있다. 이밖에 모르타르에 의한 누수 방지공의 박리 · 박락 사례가 많으며, 특히 아치부에 박리 · 박락이 생길 때는 운행상 지장이 많고 사고의 위험도 뒤따를 수 있다.

### 3. 조적식 라이닝의 안정성 해석과정

터널내 조적식 벽체 및 아치부 라이닝의 해석 및 안정성 검토를 위한 해석기법은 여러 가지 가능성을 고려할 수 있으며 다음에서는 최근의 연구 동향 및 결과 등을 기술하였다. 아래의 수치해석적 방법들은 따로 해석용 프로그램을 개발하지 않고도 기존 상용 프로그램에 손쉽게 적용할 수 있으며 따라서 조적식 라이닝의 안정성 검토시 직접 적용이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.1. 모르터 및 벽돌의 개별 모형화

이 방법은 유한요소법을 이용하는 경우에 가능하며 모르터 및 벽돌을 대상으로 각각에 대하여 세밀한 유한요소망을 구성하여 모형화할 수 있으나 (Ali & Page, 1988) 유한요소망을 구성하는데 필요한 시간 및 노력을 고려해 볼 때 공학적 견지에서 바람직하지 않다. 이 방법을 사용할 때 유의할 사항은 모르터와 벽돌의 탄성계수 비가 비교적 큰 차이를 보이는 경우, 모르터와 벽돌 경계 부근에서는 상당히 세밀한 유한요소망이 요구되며 따라서 아치부 등과 같이 규모가 큰 구조물을 모델링하는 경우에는 유한요소망의 크기가 방대해 질 수 있다는 점이다.

### 3.2. 모르터와 벽돌을 함께 고려한 분산형 모형의 적용

이 방법은 한 개의 유한요소 혹은 유한차분 요소에 대하여 벽돌과 모르터가 함께 공존한다고 가정하고 이들 혼합체 (homogenized or composite medium) 의 물성 값을 계산한 후 상용 프로그램의 비등방 물성 모델을 사용한다. 이 방법에 의한 혼합체의 물성을 계산하기 위하여는 다음과 같은 두 가지 접근법을 사용할 수 있다.

1) 변형률 에너지법 : 이 방법은 하나의 대표 체적 (Representative Elementary Volume, REV) 을 정하고 미지의 혼합체 물성을 포함한 가상의 재료에 대한 변형률 에너지는 같은 대표 체적내 모르터 및 벽돌에 의한 각각의 변형률 에너지의 합과 같다고 가정함으로써 비등방 물성을 계산할 수 있다. (Lee 등, 1996). 이 때, 벽돌과 수평 모르터간의 혼합 및 이를 이용한 수직 모르터와의 혼합 등 두 단계의 혼합체 기법을 적용하여야 한다. 이 방법은 비교적 작은 요소망으로 원하는 정밀도를 얻을 수 있으며 혼합체 물성에 의한 응력 및 변형률을 그대로 해석과정에서 사용할 수 있다는 장점이 있다. 다만, 모형화 과정에서 지그재그형으로

쌓은 벽돌의 기하학적 형상을 정밀히 모형화할 수 없고 벽돌과 모르터 경계에서의 응력집중 현상을 정확히 알 수 없다는 단점이 있다.

2) Eshelby의 모형을 적용하는 방법 : 이 방법은 Eshelby (1957) 가 제안한 기법을 근거로 벽돌 및 수평 모르터의 혼합체에 수직 모르터의 물성을 수학적 방법에 의해 삽입하는 방법으로서 좀 더 엄밀한 비등방 물성을 계산할 수 있으나 그 결과는 앞서 제시한 변형률 에너지법과 유사하며 이 둘에 대한 비교는 Lee 등 (1998) 에 기술되어 있다. 이 방법 역시 두 단계에 걸쳐 벽돌 및 모르터의 혼합체 물성을 계산한 후 이를 상용 프로그램의 비등방 물성 조건을 사용하여 비교적 간단히 모델링할 수 있으나 아치부 등과 같이 물성 축 (material axis)이 변하는 부위에 대하여는 주의가 필요하다.

이 들 분산형 모형에 의한 벽돌과 모르터의 관계식은 다음과 같다. 여기서, 벽돌과 모르터는 완전 부착이며 수직 모르터는 연속적이라고 가정하고 조적식 라이닝의 비등방 물성을 그림 3과 같이  $\overline{E}_x, \overline{E}_y, \overline{E}_z, \overline{\nu}_{xy}, \overline{\nu}_{yz}, \overline{\nu}_{zx}, \overline{G}_{xy}, \overline{G}_{yz}, \overline{G}_{zx}$  라고 표기하면 조적식 라이닝의 전체 응력-변형률 관계식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

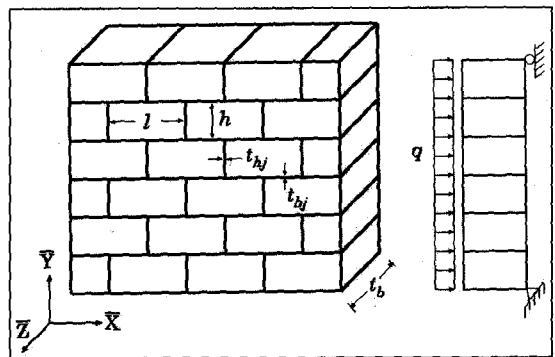


그림 3 : 조적식 라이닝 일반도

$$\bar{\sigma} = \{ \bar{D} \} \bar{\epsilon} \quad (1)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \sigma &= \{ \sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{xy}, \tau_{zx} \}^T \\ \epsilon &= \{ \epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{ya}, \gamma_{zx} \}^T \end{aligned} \quad (2)$$

이 고 식 (1)의 강성도 행렬을 유연도 행렬로 표시하면 (즉,  $[C] = [D]^{-1}$ ) 다음과 같다

$$[C] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & -\frac{\nu_{xz}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_{yx}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{yz}}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_{zx}}{E_z} & -\frac{\nu_{zy}}{E_z} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_z} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{zx}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)의 비등방 물성은 벽돌의 크기 및 물성, 모르타르의 물성 및 두께의 함수로 표현되며 각 비등방 물성에 대한 자세한 내용은 참고문헌 [5]에 기술되어 있다.

식 (3)의 물성 및 전체 조적식 라이닝의 응력-변형률 관계식이 정립되면 벽돌 및 수평, 수직 모르타르의 응력-변형률 관계식 (구조 관계식) 도 유도할 수 있으며 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_b &= [S_b] \bar{\sigma} \\ \sigma_{bj} &= [S_{bj}] \bar{\sigma} \\ \sigma_{hj} &= [S_{hj}] \bar{\sigma} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, 아래 첨자  $b, bj$  및  $hj$  는 각각 벽돌, 수평 모르타르 및 수직 모르타르를 의미하고 각 구조 관

계식의 자세한 내용은 참고문헌 [5]에 기술되어 있다. 앞서와 마찬가지로 각 구조 관계식은 벽돌 및 모르타르의 형상과 물성의 함수로 표현된다.

### 3.3. 기타 수치해석 모형

위에 언급한 방법 이외에도 벽돌과 주위 모르타르의 일부를 하나의 유한요소로 간주하여 모형화하는 방법 (Anthoine & Pegon, 1995) 이 있으나 이는 새로운 구성방정식 및 프로그래밍이 필요하며 실제 터널 구조물의 경우에는 적용하기에 어려움이 따른다. 또한 개별요소법 (Discrete Element Method)을 적용할 수도 있으나 이 방법 역시 널리 적용되지 못하고 있다. 한편 벽체식 조적식 구조물의 경우, 경계조건이 비교적 간단하다면 극한하중 (ultimate load) 해석법에 의한 근사해석이 가능하며 실험결과와 유사한 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있으나 (Sinha, 1980) 아치형 조적식 구조물의 경우에는 적용이 곤란한 단점이 있다.

### 3.4. 탄소성 모형의 적용

앞서 논의한 바와 같이 조적식 라이닝의 열화현상은 줄눈 깨짐이나 박리 · 박락 등에 의해 가시화된다. 일반적인 조적식 구조물의 해석 및 설계 과정에서 이와 같은 현상을 고려할 필요가 없겠으나 라이닝 열화원인 규명 및 보수 · 보강방안 마련을 위하여는 위의 비탄성 거동을 해석 혹은 모사하기 위한 복합체의 탄소성 모형을 고려할 필요가 있다. 통상적으로 복합체의 탄소성 모형은 범용 프로그램에서는 정형화되어 있지 않고 따라서 사용자 정의 함수나 새로운 프로그램을 개발하여야 한다. 이 경우, 복합체의 탄소성 해석기법은 참고문헌 [5]에서와 같이 복합체의 응력/변형률로부터 벽돌, 수평 모르타르 및 수직 모르타르의 응력/변형률을 계산하고 이 들을 고전적인 탄소성 해석기법의 소성 교정 (plastic corrector) 과정을 거친 후, 다시 복합체의 평형 및 적합조건에 맞게 수정하는 방법을 사용할 수 있다.

이와는 별개로 조적식 라이닝의 탄소성 거동 중 그 영향이 가장 큰 벽돌에 대한 탄소성 거동을 해석하거나 (Pietruszczak & Niu, 1992), 복합체의 항복함수를 도출하여 이를 탄소성 알고리즘에 적용하는 방법 (Anthoine & Pegon, 1995) 이 있다. 또한, 모르터를 절리 요소 (joint element) 등의 비연속체 속성을 사용하여 해석하는 기법도 도입되어 실험결과와 비교·분석한 사례도 보고된 바 있다 (Louren'co, 1996).

그러나 위에서 소개한 각종 탄소성 해석기법은 그 효과의 우수성에 비해 투자하는 노력과 시간을 무시할 수 없을 뿐만 아니라 수치해석 모형을 개발

하여야 하는 번거로움이 따른다. 따라서 일반적인 조적식 구조물의 거동분석 및 보강 효과를 검증하기 위하여는 탄성해석 결과를 이용하고 필요시 적절한 하중계수 등을 도입하여 극한 상태를 예측하는 기법이 요구된다고 할 수 있다.

## 4. 조적식 라이닝의 유지·보수

### 4.1. 개요

조적식 라이닝이 외부 하중 및 열악한 환경에 의해 열화된 경우, 유지·보수를 위한 여러 시공법 중 현재 국내 터널에서 정밀안전진단 또는 안전점

표 2 : 열화된 조적식 라이닝의 대책공법 선정표 (2)  
(지압 등 외력이 있는 경우는 지압대책 여부를 병행하여 종합적으로 검토하여야 함)

대책공법 유형	이치 또는 특성	이치								비고	
		국부적				광범위					
		(열화부위)				(열화부위)					
표면청소	○	△	△	△	△	△	△	△	△	· △: 다른 보수공법의 전처리로서 시행한다.	
깨어내기			○	○	△	△	△	○	△	△	· △: 다른 보수공법의 전처리로서 시행한다. · 단면보강두께의 여유가 없는 경우에도 시행한다. · 필요에 따라 단면 복구를 한다.
포인팅			○		○		○		○		
받침판			△	△	△	△					· 새들, 내측 단면보강 등의 내공여유가 없는 경우에도 적용
철망·네트			△	△	△	△					· 내공여유가 없는 경우
단면 보강	뿔어붙임		○	○	○	○			○	○	· 뿔어붙임 : 내공여유가 충분하지 않은 경우 현장타설 : 내공여유가 충분한 경우
	현장타설		○	○	○	○			○	○	· 라이닝 내하력 증강이 요구되는 경우
보강 새들			△	△	△	△					· 내공여유가 있는 경우 · 라이닝 내하력 증강이 요구되는 경우
부분개축				○	○	○		○	○	○	· 열화 정도가 현저하여 심부(두께의 1/2이상)에 미치고 있는 경우 * : 국부적으로 두께가 부족하여 배면에 공극이 존재하는 경우
기타(개축 등)					○	○			○	○	· 보수만으로 대처할 수 없는 경우

(범례) ○ : 적용할 수 있는 공법  
△ : 응급처치 또는 다른 공법의 병용이 필요

주) 1) 열화범위 : 「국부적」 - 원칙적으로 열화범위가 10m<sup>2</sup> 정도 미만인 경우  
「광범위」 - 원칙적으로 열화범위가 10m<sup>2</sup> 정도 이상인 경우  
2) 열화상황 : 낙하물의 크기 「대」 - 벽돌 또는 이상의 크기  
「소」 - 벽돌 이하의 크기  
열화의 정도 「대」 - 열화심도가 10cm<sup>2</sup> 정도 이상인 경우  
「소」 - 열화심도가 10cm<sup>2</sup> 정도 미만인 경우  
열화부위 「줄눈」 - 줄눈재는 열화되어 있으나 모재는 건전  
「모재」 - 모재가 열화된 경우

점에 의해 다수 사례로 보고되고 있는 열화 대책공법은 다음의 표 2와 같다. 또한 새로운 보강기술로 대두되고 있는 터널 내면 보강 기술인 섬유 시트(탄소섬유, 아라미드 섬유) 보강 기술에 대해서도 개략적으로 소개하였다.

#### 4.2 열화대책공법의 종류 및 특징

##### (1) 깨어내기

깨어내는 것은 벽돌보다 작은 라이닝 조각이 낙하할 우려가 있는 경우나 라이닝 표면이 국부적으로 열화되어 있는 경우에 적용하거나, 혹은 다른 보수공법으로 시공하기 위한 전처리로 시행한다. 균열이나 줄눈 깨짐 등으로 라이닝 조각이 박리하고 있으며, 박락에 의해 열차 운행에 지장을 줄 우려가 있는 경우에 햄머나 정 등으로 두드려 깨어 내며, 깨어내기를 시행한 개소에는 상황에 따라 적절한 보수재를 이용한 단면 복구가 필요하게 된다.

##### (2) 포인팅

벽돌 · 석재 · 콘크리트 블록을 라이닝 재료로서 사용한 터널에서 줄눈재는 열화되어 있으나 모재는 건전한 경우에 시행하며 수작업에 의한 방법 및 기계(모르터 건)에 의한 방법이 있다. 포인팅은 작업이 어려워 비효율적이라는 단점이 있으나 모재가 열화되어 있지 않는 한 시공당시의 재료를 활

용하여 줄눈재를 보수하는 것만으로 라이닝의 기능을 확실히 회복할 수 있다. 따라서 기본적으로는 줄눈은 열화되어 있으나 벽돌 등 라이닝 재료 자체는 건전하고 지압 등 외력에 의한 변상이 없는 경우에는 포인팅에 의해 보수하는 것이 바람직하다. 그림 4에는 포인팅 시공의 개요를 나타내었으며 그림에서 알 수 있는 바와 같이 표면 청소 후 주입파이프를 부착하고 급결성 시멘트를 사용하여 줄눈부를 봉합(seal) 하는 한편 에폭시 수지계를 이용하여 줄눈 주입을 실시하는 순서로 시공한다.

##### (3) 받침판

균열이나 줄눈 깨짐, 부분적인 재료 열화에 의해 비교적 좁은 범위에서 라이닝 재료가 낙하할 우려가 있는 경우, 또, 내공 여유가 없어 시멘트나 단면보강으로는 대처할 수 없는 경우에 적용되며 비교적 좁은 범위의 라이닝 면에 평강이나 강판 등을 앵커 볼트 등으로 정착함으로써 박락을 방지한다. 기존 라이닝과의 일체화에 의해 라이닝 내력을 어느 정도 강화시킬 수도 있으나, 일반적으로는 응급보강 또는 보수에 사용된다.

##### (4) 와이어메쉬 · 네트

균열이나 줄눈 깨짐, 부분적인 재료열화에 의해 비교적 좁은 범위에서 라이닝 재료가 낙하할

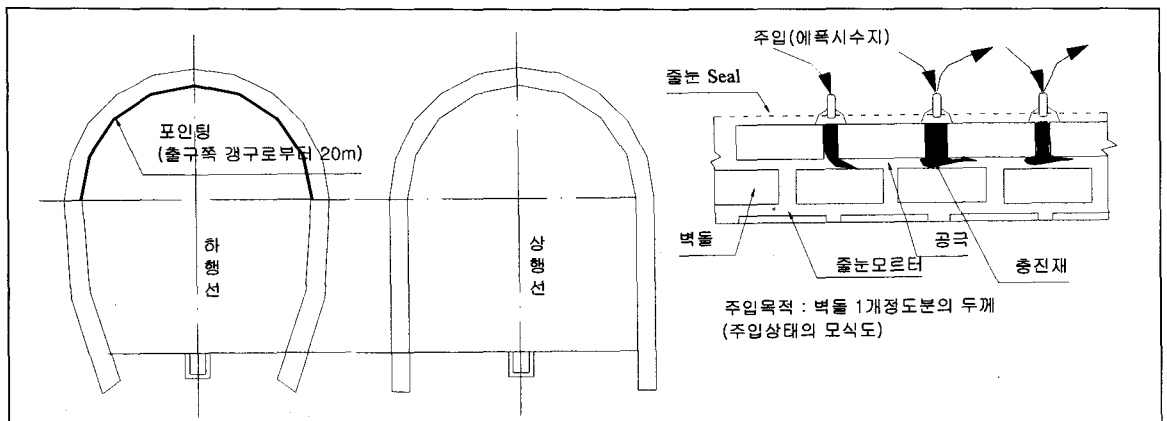


그림 4. 포인팅 (줄눈채움) 시공 개요도

우려가 있는 경우로서 터널 단면에 여유가 적은 경우에 시행한다. 라이닝 표면에 앵커 볼트 등을 사용하여 와이어메쉬나 네트를 고정하고 시공범위가 넓은 경우는 평강이나 형강으로 와이어메쉬·네트를 고정시킨다. 주로 중간 정도(벽돌 정도의 크기보다 작음) 이하의 낙하물이 예측되는 경우에 적합하다고 판단되지만, 그 이상 크기의 낙하물이 예상되는 경우나 지압 등 외력의 영향이 고려되는 경우에는 시멘트나 록볼트와 병용하는 방안이 필요하다. 와이어메쉬·네트는 대책공을 시공한 후에도 변상개소의

추적조사를 시행할 수 있다는 이점이 있다.

(5) 단면보강

열화부가 10㎡정도 이상 광범위한 경우에 적용한다. 열화상태나 지압 등 외력의 영향 유무·정도, 한계 여유량 등 현장 여건에 따라 뽑어 붙임 공법 및 현장 타설 콘크리트 공법을 적절히 선정한다. 표 3에는 공법별, 사용재료별 단면보강의 표준적인 적용두께를 보였으며 그림 5에는 단면보강의 시공 개요도를 도시하였다.

표 3 : 공법별 시공두께의 표준 예 (11)

공법		시공두께 (mm)	비고
뽑어 붙임 공법	고분자재료 첨가 모르터	30 이하	인장강도 등의 증가가 필요한 경우는 GFRC를 이용 인장강도 등의 증가가 필요한 경우는 SFRC를 이용
	모르터	30 ~ 75	
	GFRC*		
	콘크리트	70 ~ 150	
SFRC**			
현장타설콘크리트 공법		125 이상	

\* : Glass Fiber Reinforced Concrete : 유리섬유 보강 콘크리트

\*\* : Steel Fiber Reinforced Concrete : 강섬유 보강 콘크리트

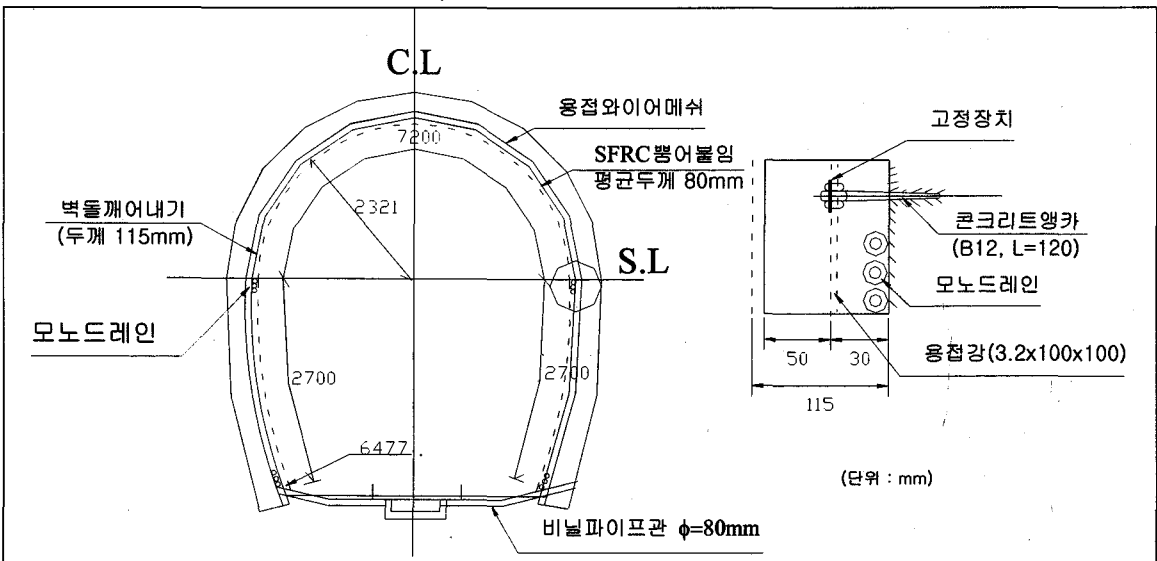


그림 5. 단면보강 시공 개요도

(6) 보강 새들

보강 새들은 휨 가공된 H형강 등의 강재를 라이닝 내면에 밀착하여 적당한 간격으로 설치하는 공법이다. 지압 대책을 겸하여 이용하는 경우도 많으나 열화 라이닝 대책으로서 이용하는 목적은 다음과 같다.

- 박리·박락의 위험성이 높은 라이닝을 억제
- 열화에 의해 유효 라이닝 두께가 감소된 라이닝을 응급적으로 보강

또한 라이닝 배면 공동에 뒷채움 주입을 하는 경우, 주입압에 의한 라이닝의 변상 방지가 필요한 경우에 시행한다.

(7) 부분 개축

균열이나 줄눈 깨짐, 박리·박락 등 라이닝의 재료 열화의 정도가 현저하고 더욱이 심부에 미치는 경우로서 포인팅, 반침판 등으로는 불충분 경우에 시행한다. 부분 개축은 열화된 부분을 제거하여 콘크리트 등으로 치환하고 라이닝의 내력, 내구성을

유지시키는 공법이다. 부분개축의 설계·시공에 있어서 특히 주의해야할 점은 기존 라이닝과의 일체성에 있다. 즉, 시공 이음부의 처리가 나쁘면 그 개소가 누수 등에 취약점으로 되는 경우가 있으므로 설계·시공에 있어서 유의하여야 한다.

(8) 내면 보강공

앞의 사례와 달리 외부 하중에 의해 변상된 조적식 라이닝의 보강방안도 여러 가지가 있으나 근래 국내에 적용되는 방법으로는 강판, 탄소섬유, 아라미드 섬유, 유리섬유 등이 있으며 이 들 보강재를 FRP판에 의해 라이닝 내면에 부착하거나 강판을 부착함으로써 인장 보강재로서 균열의 진전이나 라이닝의 변형을 억제하고 아울러 라이닝 조각의 박리·박락을 방지할 수 있다. 특히 이 방법들은 내공 단면의 여유가 없는 경우에도 적용할 수 있는 특징이 있으며 그림 6 및 그림 7에 섬유 시트 및 강판에 의한 조적식 라이닝의 보수 단면도를 나타내었다.

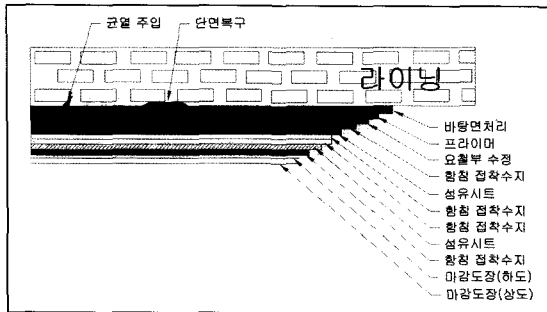


그림 6. 섬유시트 접착공법의 단면도 (12)

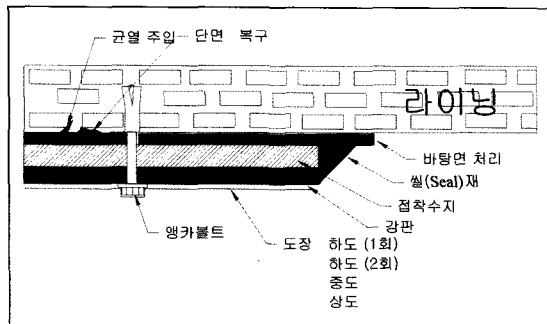


그림 7. 강판접착공법의 단면도 (12)

5. 결론

본 고에서는 국내 철도터널의 상당수를 차지하고 있는 조적식 터널의 유지·보수를 위한 여러 방안 중 현실적으로 적용 가능한 공법에 대하여 고찰하였다. 이를 위하여 조적식 라이닝의 열화 원인 및 안정성 해석을 위한 여러 수치해석 기법을 제시하였으며 특히 조적식 라이닝을 복합체로 간주한 후 비등방 물성을 이용한 탄성 및 탄소성 해석 기법에 대하여 논하였다. 마지막으로 실제 환경적 열화 요인 및 외부 하중에 의한 손상 발생시 적용 가능한 보수·보강 공법에 대하여 소개하였다.

향후 계속될 연구에서는 실제 모형 실험을 통한 조적식 라이닝의 거동 분석 및 수치해석 모형의 검증, 그리고 터널의 보수·보강에 적합한 재료의 개발 및 적용 기술을 개발해 나갈 수 있을 것으로 사료된다.



참고문헌

1. 한국철도기술연구원, "변상터널의 보강공법에 관한 연구" 철도청, pp.278-290, 1998.
2. (재)철도종합기술연구소, "터널 보강·보수 매뉴얼" 일본철도종합기술연구소, pp.171-181, 1990.
3. 박 남서, "터널의 변상원인과 보수 및 보강" 대한터널협회지, Vol. 1, pp.59-66, 1999.
4. S. Ali & A. W. Page, "Finite element model for masonry subjected to concentrated loads", J. Str. Eng., ASCE, Vol. 114, pp.1761-1784, 1988.
5. J. S. Lee, G. N. Pande, J. Middleton & B. Kralj, "Numerical modelling of brick masonry panels subject to lateral loading" Comp. & Str., Vol. 61, pp.735-745, 1996.
6. J. D. Eshelby, "The determination of elastic field of an ellipsoidal inclusion and related problems", Proc. Roy. Soc., A241, pp.376-396, 1957.
7. J. S. Lee, G. N. Pande & B. Kralj, "A comparative study on the approximate analysis of masonry structures", Mat. & Str., Vol. 31, pp.473-479, 1998.
8. A. Anthoine & P. Pegon, "Numerical analysis and modelling of the damage and softening of brick masonry", Proc. Num. Anal. & Modelling Comp. Mat., Ed. J. W. Bull, pp.153-184, 1995.
9. S. Pietruszczak & X. Niu, "A mathematical description of macroscopic behaviour of brick masonry", I. J. Solids & Str., Vol. 29, pp.531-546, 1992.
10. P. B. Louren o, "Computational Strategies for Masonry Structures", Ph.D. Dissertation, Delft University, The Netherlands, 1996.
11. 高坂清和 外, "철도토목구조물의 유지관리" (사)일본철도시설협회, pp. 247~251, pp. 326~337, 1998.
12. (재)철도종합기술연구소, "변상터널 대책공 설계 매뉴얼" 일본철도종합기술연구소, pp. 107~109, 1998.
13. B. P. Sinha, "An ultimate load analysis of laterally loaded brickwork panels", I. J. masonry Const., Vol. 1, pp.57-61, 1980.