

터널 콘크리트 라이닝의 보수·보강공법*1

번역자 : 김동규*2, 백용*3

1. 시작하며

산업화와 더불어 도심지 교통량 및 물류교통망의 증가, 국가전역의 생활권화에 따라 도로, 지하철, 철도 및 통신구 건설 등이 증대 되고 있다. 이에 따라 터널건설의 수요가 급격히 증가하고 있으며, 터널의 수명 또한 점점 증대하고 있다. 공용중인 터널은 터널주변 및 터널내부의 환경변화에 따라 터널의 노후화가 진행되고 있다. 철도터널의 경우 2002년까지 총 499 개소(연장 242.6km) 가운데 39.4%인 196 곳이 개통한 지 50년 이상 지났고, 41~50년이 83 곳(16.6%), 31~40년이 96곳(19.2%) 등 노후화가 심각한 수준이며, 도로터널인 경우 2003년까지 전체 연장 약 339km 가운데 공용 30년 이상된 터널은 약 3.5%이고, 지하철 터널은 2003년까지 총 연장이 369.2km로 보고되고 있다. 향후 대대적 신규 국토개발사업의 중요시점에 도달될 국내실정을 고려할 때, 구조물에 대한 신규 건설비보다는 기존 구조물에 대한 유지관리비가 급격히 증가될 것으로

예상된다. 공용중인 터널구조체의 손상 및 붕괴는 막대한 인명 및 경제적 손실을 초래함과 동시에 교통장애, 불안감 조성 등 사회적 문제를 야기할 수 있으며, 터널공용 중 터널구조체의 붕괴는 붕괴터널의 처리 및 새로운 구조체의 건설로 인해 공사기간이나 공비가 신설 터널시공과 비교해서 증가할 수 있다.

도로, 철도 및 지하철의 경우, 터널구조물이 노후화되면서 유지관리에 어려움이 많이 발생하고, 구조물의 특수성으로 인하여 점검자의 기술력, 점검 시기 및 적절한 보수보강시점이 중요하다. 국내의 경우도 터널의 노후화로 인하여 보수 보강의 문제가 대두되기 시작하였으며 이에 대한 적절한 대책공법의 마련이 필요한 시기가 도래된 것으로 생각된다.

본 고에서는 최근 국내에서도 연구가 진행되고 있는 공용중인 터널의 보수보강 공법 개발에 도움이 되고자 일본의 보수보강사례를 소개하고자 한다. 사례로서 1960년대에 준공된 2개소의 터널을 대상으로 재료열화 현상과 붕괴 현상을 보수보강한 사례에 대하여 살펴보기로 한다.

*1 원저자 및 출처 : 猪熊明, 現場 技術者を 爲す トンネル 維持管理 實態, 산해당, 2004, pp 95~103

*2 한국건설기술연구원, 지반연구부, 선임연구원 (dgkim2004@kict.re.kr)

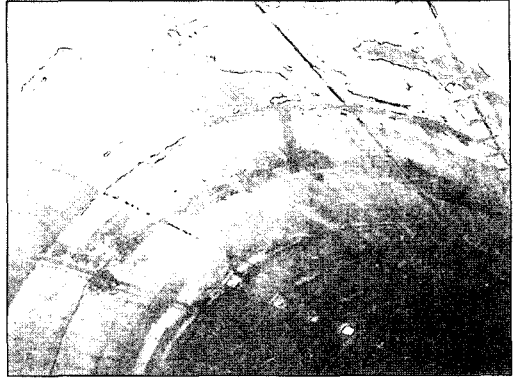
*3 한국건설기술연구원, 지반연구부, 선임연구원 (baek44@kict.re.kr)

2. FRP판넬을 이용한 보수보강 공법

2.1 터널 기본 자료



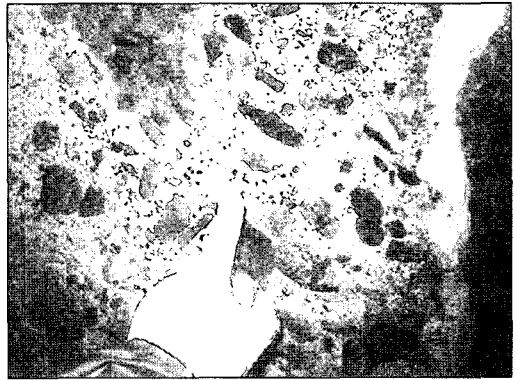
(a) 터널내 전경



(b) 콘크리트 라이닝의 아치부 1



(c) 콘크리트 라이닝의 아치부 2



(d) 콘크리트 라이닝의 박리/박락

사진 1. 콘크리트라이닝의 변형상태

콘크리트 라이닝 시공시 콘크리트의 불균질한 타설로 인하여 콘크리트 라이닝 두께가 일정하지 않고 누수에 의한 동결융해작용으로 콘크리트 라이닝의 박리/박락 현상이 진행되는 등 콘크리트 라이닝의 열화가 진행되었다.

2.3 보수 및 보강공법

(a) 설계

대상터널에서 열화된 콘크리트 라이닝의 박리/박락 방지대책으로 두개의 FRP(Fiber Reinforced

Plastic)판넬사이에 비닐섬유시트를 삽입하여 만든 복합판넬을 적용하여 터널내부에 시공하였다. 그림 4는 대책공법의 표준단면도를 보여주고 있다. 그림 3은 터널내부에서 FRP복합판넬을 사용하여 보강된 위치를 보여주고 있다.

그림 5에서 보여주는 것과 같이 FRP복합판넬은 강화섬유를 고강도FRP판넬사이에 삽입하여 만든 것으로 경량이며 내화성을 가지고 있다. 일반적으로 콘크리트 라이닝의 국부파괴에 의한 박리/박락 방지를 위하여 인장강도가 큰 섬유를 사용하는데, 본 공법에서 사용된 FRP복합판넬은 인장강도가 큰

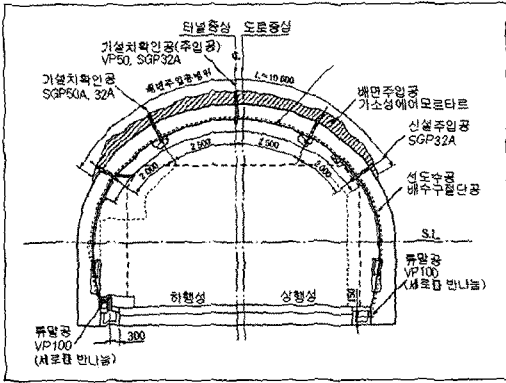


그림 4. 대책공법 단면도

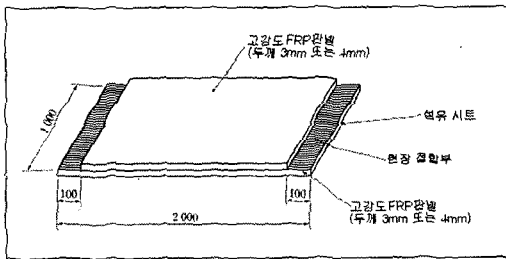


그림 5. FRP 복합판넬 구조

섬유를 사용하지 않으므로, 시공성과 경제성 측면에서 매우 강점을 가지고 있다.

FRP복합판넬이 대상터널의 보수보강을 위해 사용된 이유는 다음과 같다.

- ① 강재는 일반적으로 시공성의 문제가 존재하고 기존터널이 해안에 근접하여 염해에 의한 부식이 조기에 발생하는 점
- ② 기존에 사용되고 있는 섬유시트 접착공법은 콘크리트 라이닝 표면으로부터 열화깊이가 깊을 경우 섬유시트의 접착강도를 충분히 확보할 수 없는 점
- ③ 기존의 FRP판넬제품을 사용함으로써 재료비가 싸고 경제성이 유리한 점

그리고, 박리/박락 방지대책 이외에 터널내로 유입되는 지하수처리를 위하여 FRP복합판넬의 횡단

이음매 부분에 홈을 만들어 배수로를 만들었고(사진 2(c) 참조), 콘크리트 라이닝의 균열에 누수방지를 위한 주입을 하였고, 동시에 콘크리트 라이닝배면에 존재하는 대규모의 공동을 채우기 위하여 배면주입공법을 적용하였다.

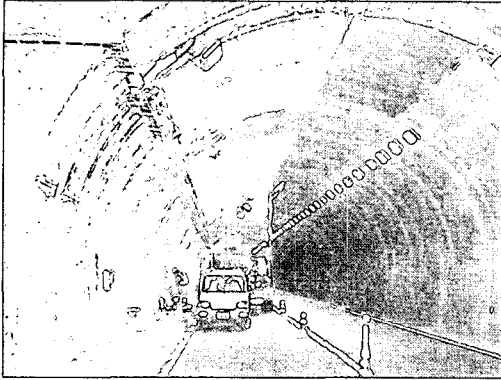
(b) 시공

FRP복합판넬을 이용하여 실시된 보수보강공법은 교통흐름을 원활하게 하기 위하여 야간에 도로 1차로만 통제하고 실시되었다. 사진 2는 콘크리트 라이닝의 보수보강을 위해 채택된 FRP복합판넬의 설치광경을 보여주고 있다. 시공순서는 다음과 같다.

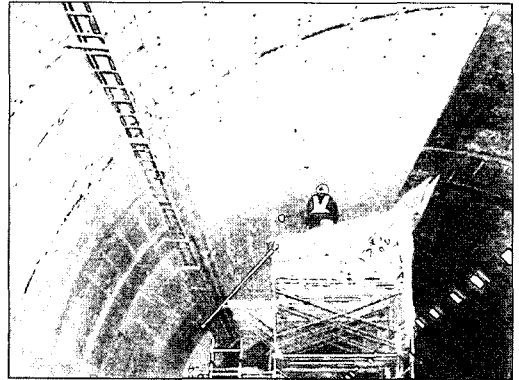
- ① 콘크리트 라이닝 배면에 존재하는 공동채움을 위한 주입
- ② 콘크리트 라이닝 표면처리(세정, 표면 보수, 누수처리)
- ③ FRP복합판넬 설치(여러지점을 콘크리트 앵커로 고정하고 판넬주위를 코킹)
- ④ 수지접착(에폭시계 수지를 주입하고 콘크리트 라이닝에 접착)
- ⑤ 표면처리 마감(주입파이프 제거 등)

2.4 주의점

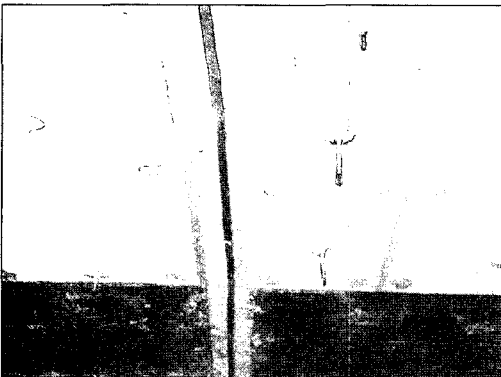
콘크리트 라이닝의 표면 상태가 양호하다면 본 공법보다는 탄소섬유시트를 이용한 박리/박락 대책공법이 경제적인 측면에서 유리한 경우가 있기 때문에 보수보강공법을 선정할 때에는 표면처리 비용을 포함하여 전반적인 시공비의 비교검토를 수행할 필요가 있다. 또 콘크리트라이닝의 열화가 광범위하고 깊은 깊이까지 진행된 상태에는 판넬의 접착고정이 불충분하게 되고 판넬을 포함한 콘크리트 라이닝의 열화부분이 떨어질 가능성이 있기 때문에 콘크리트



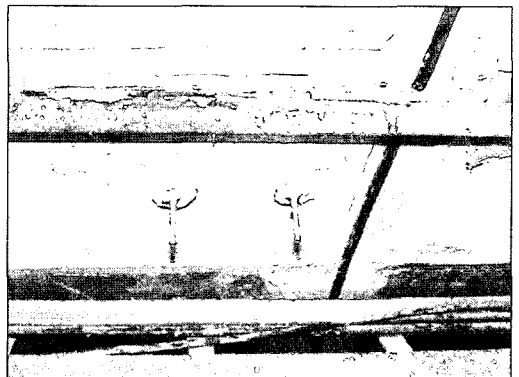
(a) 시공상황 ①



(b) 시공상황 ②



(c) 판넬형단이음부분의 배수로



(d) 판넬접착용 수지주입파이프

사진 2. 보수보강공법의 시공상황

라이닝의 열화 상태를 충분히 파악한 후 본 공법의 적용성을 검토할 필요가 있다.

또 콘크리트 라이닝의 표면에 요철이 있고, 판넬과 콘크리트 라이닝 표면과의 간격이 클 경우에는 접착수지의 소비량이 많게 되고 공사비용이 증대하기 때문에 표면보수층면을 고려하여 시공할 필요가 있다.

3. 탄소섬유시트를 이용한 보수보강공법

3.1 터널 기본 사항

연장 : 1256.0m

준공년월 : 1967년

단면 형상 : 그림 6 참조

3.2 조사 및 변형

표 1은 콘크리트 라이닝의 변형조사 결과의 일부를 표시한 것이다. 변형의 개요로는 「콘크리트 라이닝 배면의 공동」, 「콘크리트 라이닝의 균열 및 박리」

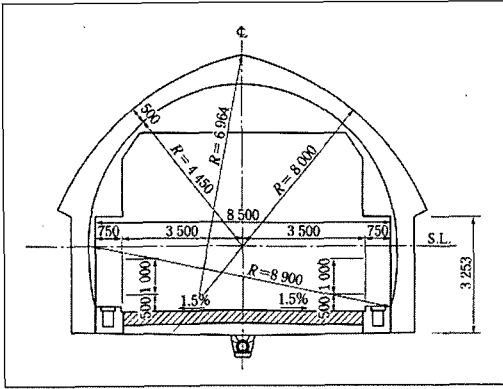


그림 6. 표준단면도

및 「측벽상부쪽으로부터 용수」 3가지 항목으로 열거할 수 있다. 특히, 배면공동들은 천단부에서 30cm 이상이고 최대 96cm의 규모를 가지며 거의 연속적으로 연결되어 있었다. 콘크리트 라이닝의 두께는 평균적으로 35cm 이상이지만 일부 부분에서는 타음법 조사중 떨어지는 부분도 있었다.

3.3 보수보강공법

그림 7은 탄소섬유시트를 이용한 보수보강의 설

표 1. 조사 결과(720~800m 구간)

시공블럭		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
들뜸, 박리 낙하의 우려가 있음	아치부	-	-	-	-	◎	-	-	-	-	○
	측벽	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
crack 폭	5mm 이상										
	3~5mm										
	3mm미만	max 0.40	max 0.30	max 0.30	max 0.50	max 0.50	0.20	max 0.40	max 0.40	max 0.50	max 0.50
crack 길이	10m 이상										
	5~10m	max 6.0	max 7.2		max 8.0				max 5.0	max 5.0	
	5m 미만			max 3.6		max 3.5	3.0	max 4.2			max 4.0
crack 진행성		불명									
crack 밀도	다·중·소										
		6	6	5	9	6	1	6	7	8	8
crack 방향	수평/중	수평	수평	수평	수평	수평	수평	수평	수평	수평	수평
		·중	·중	·중	·중	·중	·중	·중	·중	·중	·중
누수	아치부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	측벽	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	노면:동결/누수										
기타 변형											
종합평가(◎: 대책요)		724	741	766							
			◎	-				◎			
구간거리(m)		-				39					
비고(대책공법)		배면주입				(배면주입·단면보수)					
설계두께		50				70				50	

지보공	
토피두께(m)	
지질	
기타사항	791m 좌측어깨부분(공동카메라관찰)
	0.00~0.25 m 콘크리트
	0.25~0.75 m 공동
	0.75 ~ 사암(경암)

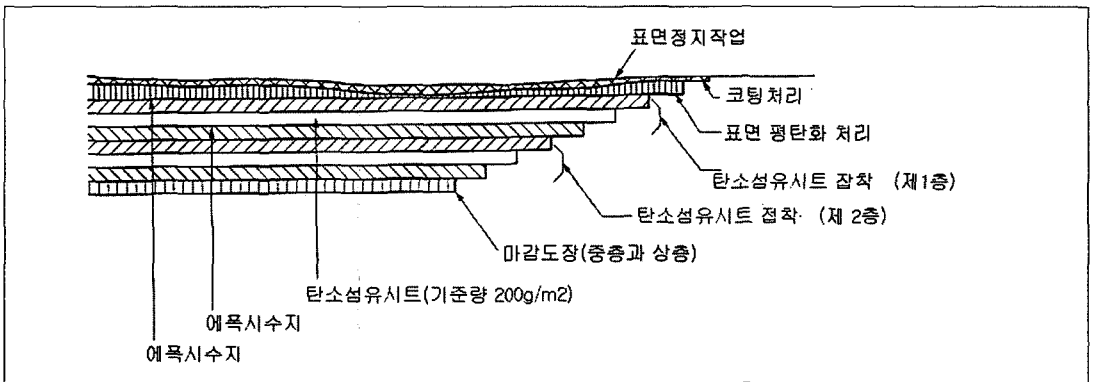


그림 7. 탄소섬유시트 접착상세도

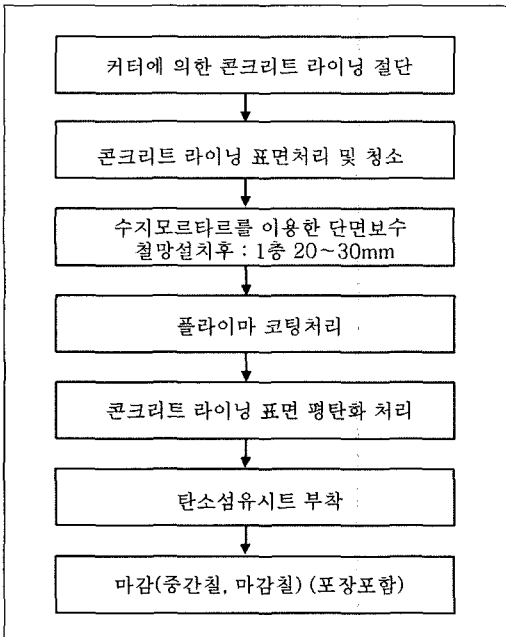


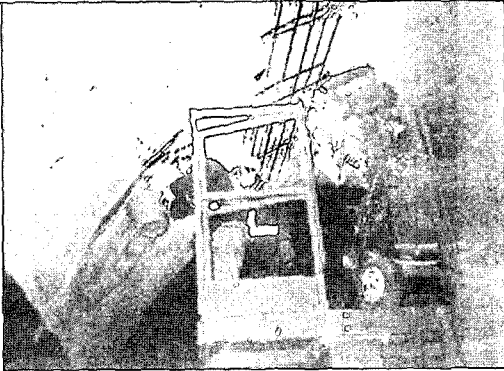
그림 8. 탄소섬유시트를 이용한 보수보강의 시공흐름도

표 2. 사용재료의 사양

공종	사양
표면처리	와이어프러쉬, 데스크센터 등
단면보수처리	폴리머 시멘트모르타르
프라이머 도포	에폭시수지(0.2kg/m ²)
표면 평탄화처리	에폭시수지(1.5kg/m ²)
탄소섬유시트 접착	에폭시수지(0.3kg/m ²) 탄소섬유크로스 시트 t=0.06mm
마감도장(중간덧칠)	우레탄계 도료(0.15kg/m ²)
마감도장(마감덧칠)	우레탄계 도료(0.15kg/m ²)

치상세도를 보여주고 있다. 내면보강을 위하여 단면의 결손부를 섬유모르타르로 보수하였고 동시에 탄소섬유시트를 2층 구조로 하여 시공하였다. 탄소섬유시트의 섬유방향 조인트는 L=100mm로 하였다.

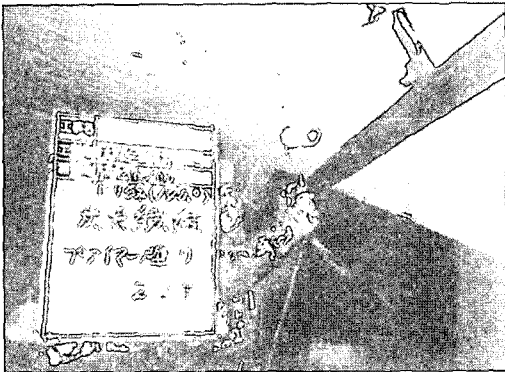
보수보강을 위한 시공은 그림 8에 표시된 시공흐름도에 따라 실시되었다(사진 3 참조). 단, 사용재료 등에 대한 상세설명은 표 2와 같다.



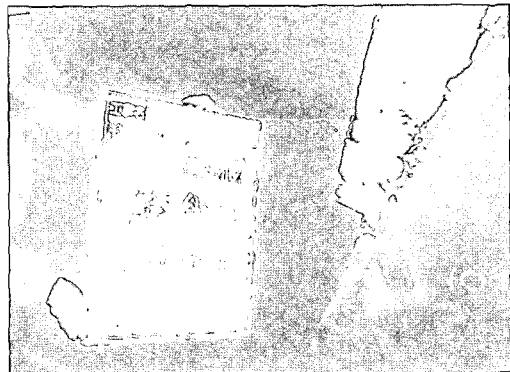
(a) 표면정지작업 및 청소



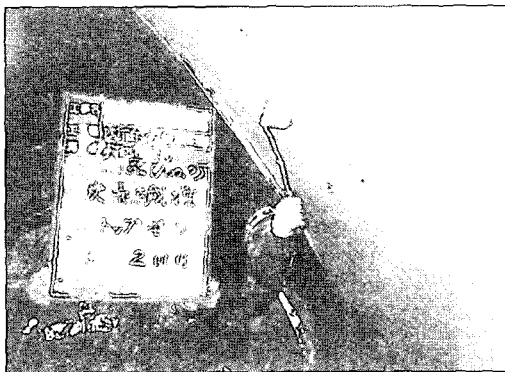
(b)수지모르타르로 단면채움



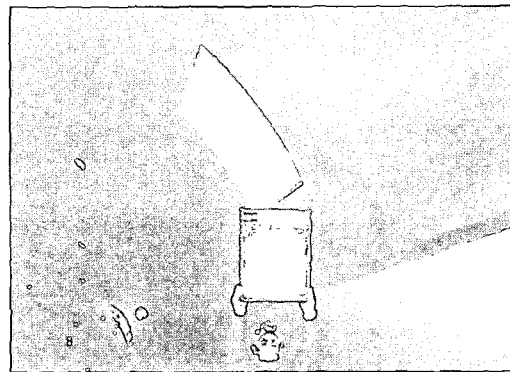
(c)프라이머 코팅처리



(d) 탄소섬유시트 접착



(e)마감도료



(f) 탄소섬유시트 접착완료

사진 3. 탄소섬유시트 보수보강공법

3.4 주의점

탄소섬유 시트를 이용한 단면보수공법은 기존에 시공된 콘크리트 라이닝에 탄소섬유 시트를 접착하고 콘크리트 라이닝을 일체화함으로써 박리박락을 방지하는 방법이다.

본공법은 접착을 위해 사용된 에폭시수지의 접착 내구성이 공법의 신뢰성과 내구성을 좌우한다. 그러므로, 보수보강이 이루어질 시공범위의 콘크리트 라이닝 표면에 붙어있는 더러운 물질과 심하게 열화된 부분을 제거하기 위한 적절한 표면처리 계획을 세우는 것이 중요하다. 또 시공범위에 누수가 없고 박리나 균열이 있는 경우에도 탄소섬유시트의 접착이 균일하게 이루어지도록 단면보수나 균열주입에 의해 표면처리가 철저히 이루어져야 할 것이다.

누수가 있는 경우에는 탄소섬유시트의 접착이 충분이 확보될 수 없기 때문에 확실한 지수처리를 실시하여야 한다. 누수가 많은 터널의 경우는 지수대책을 세워 탄소섬유시트 배면에 재누수되어 시트가 떨어져 나가지 않도록 하여야 한다. 특히, 추운 지역에서는 누수에 의해 동결팽창작용으로 탄소섬유시트가 분리되는 위험성이 많으므로 주의하여야 할 것이다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 방습공을 설

치하는 경우도 있다.

탄소섬유시트를 이용한 단면보수공법은 최근에 터널 보수의 표준적인 공법으로 채택되어 많은 현장에 적용되어지고 있다. 그러나 본 보수보강법은 터널에 적용된지 10여년 정도밖에 지나지 않은 새로운 공법이고 콘크리트 라이닝 이음부의 적용방법등에 대하여는 연구단계에 있다. 또 탄소섬유시트 이외에도 아라미트 섬유시트, 유리질 섬유시트 등 신소재가 개발되고 있다.

4. 맺음말

본 기사에서는 일본의 30년 이상 노후된 터널에서 FRP복합판넬과 탄소섬유시트를 이용하여 보수보강한 사례를 살펴보았다. 국내에서도 노후화된 터널의 안전관리 및 유지관리에 대한 관심이 점차 증폭되고 있지만 체계적인 보수보강공법이 정립되어 있지 않고, 보수보강후 성능향상을 판단할 수 있는 체계가 매우 미흡하다. 그러므로 이러한 사례들을 바탕으로 국내 터널의 유지보수를 위한 체계적인 시스템개발이 이루어져야 할 것이다.

