

제3장

현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 해운대터널(부산) 외관조사

3.3 콘크리트 내구성조사

3.4 현장조사 및 시험 결과요약

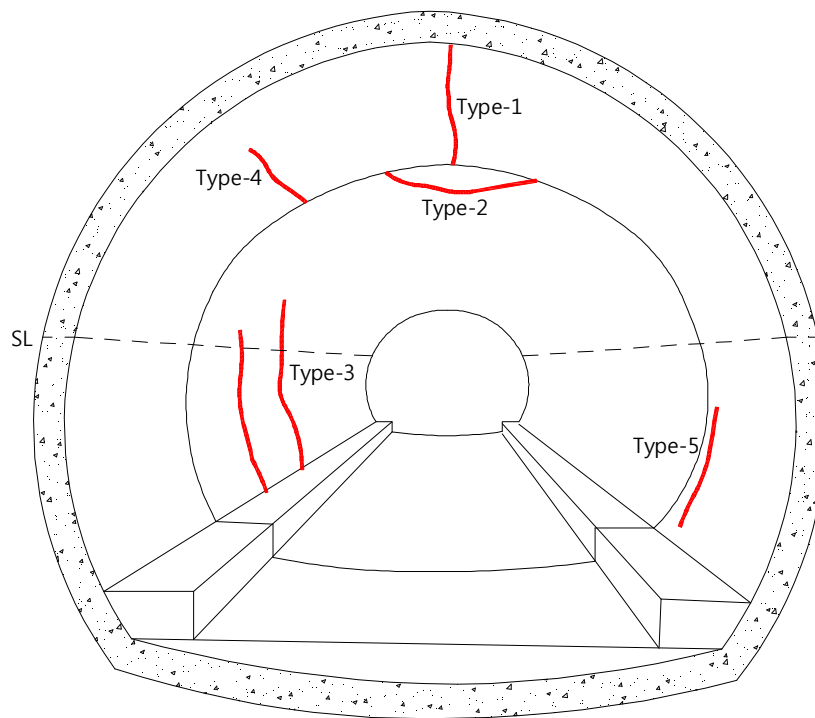
제3장 현장조사 및 시험

3.1 개요

해운대터널(부산)은 부산광역시 해운대구 좌동과 송정동을 연결하는 곳에 위치하고 있으며, 편도 2차로의 마제형 단면으로 시공되어 있다. 터널 형식은 NATM으로 2008년에 준공되었다.

본 과업의 대상구간 총 연장 $L=680.0\text{m}$ 이며 차도 폭 $B=7.2\text{m}$, 높이 $H=7.3\text{m}$ 로 구성되어 있으며, 부속설비로는 실내용 조명, 소방용 소화전, 출구유도 표시등 등이 있다.

금번 외관조사는 아래 제시된 그림<3.1>와 같이 터널 구조물에 발생될 수 있는 주요 손상에 대한 발생원인과 조사 방향은 아래 제시된 표와 같이 정리하였다.



〈그림 3.1〉 터널구간 Type별 균열형상

〈표 3.1〉 터널구간 Type별 균열현상

균열 및 단면손상		발 생 원 인	비 고
종방향균열(천장부)	Type-1	■ 시공초기 발생시 - 거푸집 조기 탈형 - 시공중 초과 가설하중 재하 - 인장철근의 절단위치 불량 ■ 공용중 발생시 - 단면의 내하력 저하 - 설계하중 이상의 초과하중 (토압, 지하수압, 활하중 등)	
Joint부 반원형균열	Type-2	- 거푸집 제거 및 이동시 충격	
횡방향균열	Type-3	- 수화열, 건조수축	
종방향균열(어깨부)	Type-4	- 수화열, 건조수축 - 콘크리트 급속타설에 의한 균열	
Joint부 주변 균열	Type-5	- 건조수축	

〈표 3.2〉 균열의 원인별, 발생시기별 형태별 특징①

분 류				원 인	발생시기	형 태	특징
재 용 재 료	사 멘 트	시	A1	이상응결	수시간~1일	표면	폭이 크고 짧은 균열이 비교적 빨리 불규칙하게 발생.
			A2	수화열	수일	표면관통	콘크리트 단면에서 1~2주간 지난 후부터 직선상의 균열이 거의 등간격으로 규칙적으로 발생. 표면에 발생하는 것과 부재를 관통하는 것이 있다.
			A3	이상팽창	수10일 이상	표면 그물모양	방사형의 그물 모양 균열.
	골 재	골	A4	점토성분	수시간~1일	표면 그물모양	콘크리트 표면의 건조에 따라서 불규칙하게 그물모양의 균열이 발생.
			A5	저품질	수시간~1일	표면	불규칙한 짧은 균열 발생.
			A6	반응성	수10일 이상	표면 그물모양	콘크리트 내부에서부터 거북등 모양으로 발생. 다습한 곳에 많다.
료	콘 크 리 트		A7	염분	수10일 이상	표면 그물모양	표면이 침식되고, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 균열이 발생.
			A8	침하·블리딩	수시간~1일	표면	타설 후 1~2시간에서, 철근의 상부와 벽, 상판의 경계 등에서 단축적으로 발생.
			A9	소성수축	수시간	표면 그물모양 관통	개구부나 기둥, 보로 둘러싸인 코너부위에는 경사균열이, 상판·보 등에서는 가는 균열이 등간격으로 수직하게 발생.
				경화수축	수시간~1일		
				건조수축	수일~수10일		
				장기건조수축	수10일 이상		

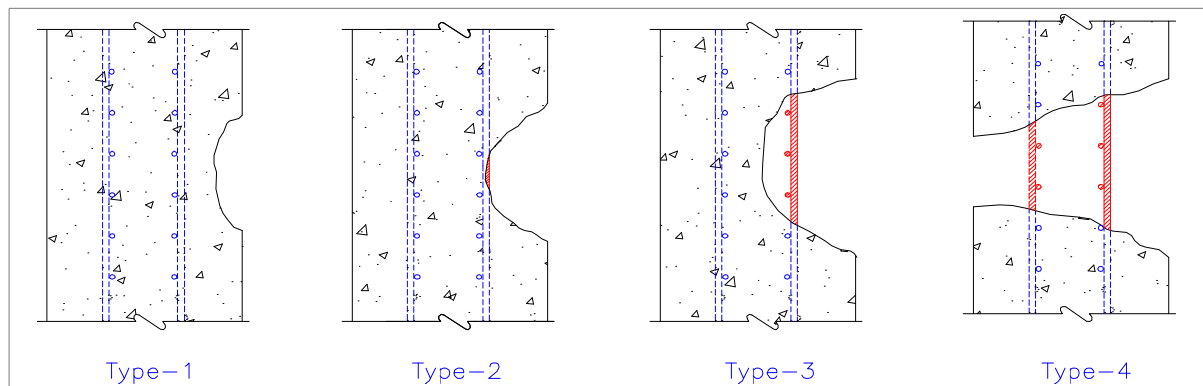
면 류	면 인	발생시기	형태	특 징
-----	-----	------	----	-----

〈표 3.4〉 균열의 원인별, 발생시기별 형태별 특징③

분 류				원 인	발생시기	형 태	특 징
사 용 및 환 경	물 리 적	온도·습도	C1	외부온도·습도의 변화	수10일 이상	표면 관통	건조수축의 균열과 유사. 발생한 균열은 습도변화에 따라 변동.
			C2	부재양면의 온도·습도차	수10일 이상	표면	저온측 또는 저습측의 표면에 휨방향과 직각으로 발생.
			C3	동결·융해의 반복	수10일 이상	표면 그물 모양	표면이 부풀어 올라서 부슬부슬 떨어지게 됨.
			C4	화재	수10일 이상	표면 그물 모양	표면 전체에 가는 거북등 모양의 균열이 발생.
			C5	표면가열			
	화 학 적	화 학 작 용	C6	산염분에 의한 화학작용	수10일 이상	표면 그물 모양	표면이 침식되고, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 균열이 발생.
			C7	탄산화에 의한 내부철근의 녹			철근을 따라 큰 균열이 발생. 콘크리트의 피복이 떨어져 나가고 녹이 유출됨.
			C8	염화물에 의한 내부철근의 녹			
구 조 및 외 력	하 중	장기·단기·동적하중	D1	설계하중이내의 장기하중	수10일 이상	표면 관통	주로 휨하중에 의해 보나 슬래브의 인장측에 수직으로 균열이 발생.
			D2	설계하중을 초과하는 장기하중			
			D3	설계하중이내의 단기·동적하중	수10일 이상	표면 관통	전단하중에 의해서 기둥, 보, 벽 등에 45° 방향으로 균열이 발생.
			D4	설계하중을 초과하는 단기·동적하중			
	구 조 설 계		D5	단면·철근량 부족	수10일 이상	표면 그물 모양	휨하중과 전단하중에 의한 균열 발생과 같은 형태. 상판과 채양 등에서 처진 방향으로 평행한 균열이 발생.
	지 지 조 건		D6	구조물의 부등침하	수10일 이상	표면 관통	45° 방향으로 큰 균열이 발생.
			D7	지반의 동결	시공중 및 사용중	표면 관통	동결조건에 따라 다양.
기 타			E				기타.

〈표 3.5〉 단면손상종류에 따른 발생원인

손상종류		발생원인	조사방향
박리 · 박락 (피복두께 1/2이하)	Type-1	■ 피복부족, 철근부식 ■ 균열진전, 탄산화, 염해	■ 발생규모, 깊이 조사 ■ 철근노출 여부 조사 ■ 청음조사
박락, 철근노출 (철근표면노출)	Type-2	■ 피복부족, 철근부식 ■ 균열진전, 탄산화, 염해	■ 부식 철근의 종류 조사 (인장 · 압축철근, 배력 · 가외철근) ■ 발생규모, 깊이 조사 ■ 철근부식 상태 조사
철근노출 (철근깊이 이상)	Type-3	■ 피복부족, 철근부식 ■ 세굴, 침식	■ 부식 철근의 종류 조사 (인장·압축철근, 배력·가외철근) ■ 발생규모, 깊이 조사 ■ 유실 철근량 조사(단위길이당 평균량) ■ 유수의 영향 조사
전 두께 단면유실	Type-4	■ 재료분리 ■ 세굴, 침식	■ 발생규모, 깊이 조사 ■ 철근상태 조사 ■ 유수의 영향 여부 조사



〈그림 3.2〉 단면손상 단계

〈표 3.6〉 누수의 발생원인

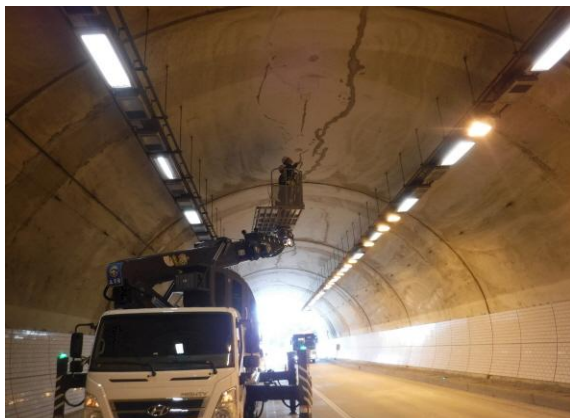
손상종류	발생원인	조사방향
Type-1	■ 관통균열을 통한 누수(선상누수)	■ 누수량, 위치, 규모 ■ 누수부에 대한 균열 발생 유무
Type-2	■ 박락, 골재분리 등을 통한 누수 (면상누수)	■ 누수량, 위치, 규모 ■ 코어채취를 통한 콘크리트 품질확인 (누수규모가 심각한 경우)
Type-3	■ 신축이음부 및 Cold Joint 누수	■ 누수량, 위치, 규모

〈표 3.7〉 백태의 발생원인

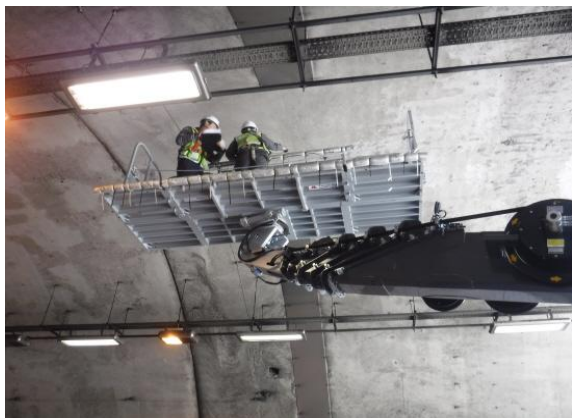
손상종류	발생원인	조사방향
Type-1	■ 면상누수에 의한 백태	■ 누수량, 위치, 규모 ■ 균열 발생 유무
Type-2	■ 균열부 백태	■ 누수여부, 균열폭, 균열깊이
Type-3	■ 배수시설 및 유수를 통한 표면백태	■ 위치, 규모

〈표 3.8〉 기타손상 발생원인

손상발생 현황	발생원인	조사방향
망상균열	■ 거푸집에 물이 채수된 상태에서 콘크리트 타설 ■ 콘크리트 비비기를 시작하여 타설하기까지의 시간 과다 ■ 거푸집 조기탈형	■ 망상균열의 범위, 균열폭 ■ 콘크리트 표면 상태
파손 및 손상	■ 매설물 설치에 따른 인위적파손 ■ 유수에 의한 이물질 충돌	■ 규모 및 발생위치 ■ 추가손상 발생여부
배수로하면 퇴적	■ 공용에 따른 이물질 퇴적 ■ 종단기울기 불량	■ 퇴적위치, 높이
거푸집 연결재 미제거	■ 시공 후처리 불량	■ 규모, 발생위치
박스내 지장물 조사	■ 박스내 각종 지장물 설치	■ 지장물의 종류, 위치조사 ■ 통수단면 감소 여부 조사



고소작업차를 이용한 근접외관조사①



고소작업차를 이용한 근접외관조사②

〈사진 3.1〉 외관조사 현황

3.2 해운대터널(부산) 외관조사

해운대터널(부산)은 부산광역시 해운대구 좌동에 위치한 연장 680.0m, 폭 7.2m, 높이 7.3m의 규모로 NATM공법으로 시공된 2차로 도로 터널로써 주요현황은 다음과 같다.

〈표 3.9〉 해운대터널(부산) 현황표

구분	내용	구분	내용
노선명	고속국도65호선	시설물번호	TU2008-0000190
시점	부산광역시 해운대구 좌동	종점	부산광역시 해운대구 송정동
터널형상	마제형	관리주체	부산울산고속도로(주)
차선수	2차로	환기방식	자연환기-배기
연장	L = 680.0m	설계자	신성엔지니어링(주)
내공단면	B = 7.2m(차도폭), H = 7.3m	시공자	울트라건설(주)
배수형식	배수식	감리사	-
종단경사	-1.1%	착공	2001. 11. 29
곡선반경	-	준공	2008. 12. 31
연결통로	-	갱문형식	시점부 :면벽식 종점부 : 원통절개식
주요공법	NATM	보조공법	록볼트



3.2.1 라이닝 및 벽체

가. 외관조사 결과

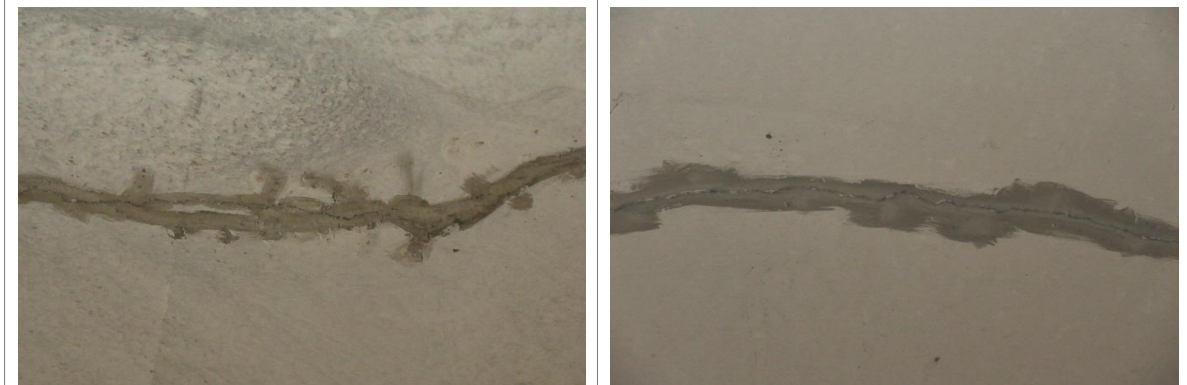
- 해운대터널(부산) 라이닝 천부 및 벽체 등의 현재 상태에 대하여 도보조사 및 접근장비를 이용한 근접조사를 실시한 결과, 관찰된 손상은 천단부에서 종방향 균열($cw=0.2\sim0.3mm$, 폭 $1.0mm/6.0m$ 1개소)과 망상균열, 어깨부에서 횡방향 균열($cw=0.2\sim1.0mm$), 시공이음부에서 반원형 균열($cw=0.2\sim0.3mm$), 콘크리트 박락 및 박리, 파손, 마감불량, 벽체 타일 파손 및 탈락 등의 손상이 조사되었다.
- 조사된 손상중 균열은 총 115개소이며, 이 중 48개소는 기존 표면처리 보수부에서 발생한 보수부 재균열($cw=0.2\sim0.3mm$)로 조사되었다. 기 손상부에 대해서는 표면처리 등 부분적으로 보수가 시행된 상태이기는 하지만, 균열폭 $0.3mm$ 이상의 균열에 대해서도 주입보수가 아닌 표면처리 공법을 적용한 보수를 실시한 상태로 보수부에서 재균열이 다수 조사된 것으로 확인되었다.
- 기 점검시 조사된 균열폭 $0.3mm$ 미만의 균열에 대해서는 표면처리공법을 적용한 보수가 시행된 것으로 확인되었으며, 보수상태는 양호한 것으로 조사되었다.

〈표 3.10〉 라이닝 및 벽체 외관조사 결과

구 분	결함 및 손상내용	수 량	비고
라이닝	균열(0.3mm이상)	- 19개소(L=43.5m)	
	균열(0.3mm미만)	- 11개소(L=30.5m)	
	보수부재 균열(0.3mm이상)	- 22개소(L=190.0m)	
	보수부재 균열(0.3mm미만)	- 25개소(L=179.0m)	
	망상균열	- 2개소(A=16.0㎡)	
	파손	- 1개소(A=0.01㎡)	
	박락	- 28개소(A=1.01㎡)	
	마감불량	- 1개소(A=0.09㎡)	
	보수 불량	- 1개소(A=0.04㎡)	
벽체	균열(0.3mm이상)	- 14개소(L=14.1m)	
	균열(0.3mm미만)	- 23개소(L=50.2m)	
	보수부재 균열(0.3mm이상)	- 1개소(L=2.0m)	
	망상균열	- 1개소(A=3.75㎡)	
	박리	- 7개소(A=1.96㎡)	
	보수 불량	- 1개소(A=0.04㎡)	
	균형	- 1개소(A=0.45㎡)	
	타일 파손	- 24개소(24EA)	
	타일탈락	- 3개소(3EA)	

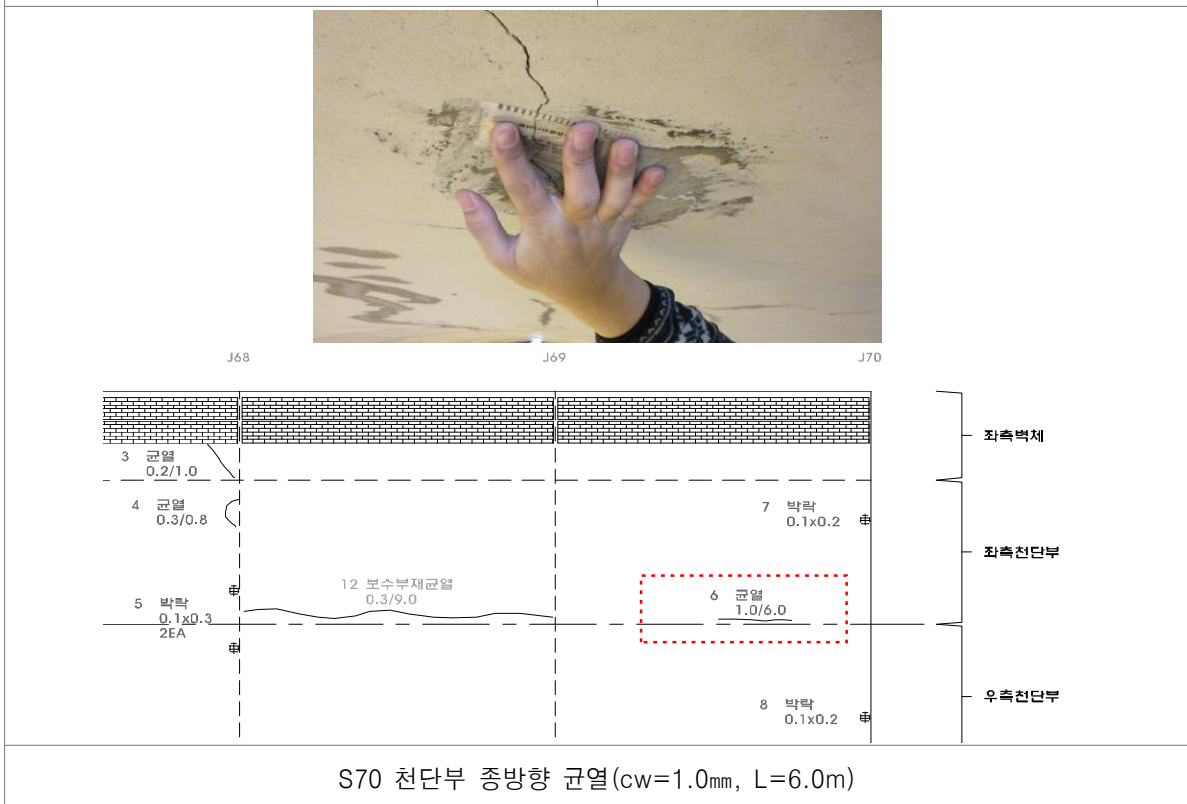


S71 천단부 종방향 보수부재균열



S5 천단부 종방향 보수부재균열(cw=0.2mm)

S43 천단부 종방향 보수부재균열(cw=0.3mm)



S70 천단부 종방향 균열(cw=1.0mm, L=6.0m)

〈사진 3.2〉 라이닝 및 벽체 외관조사 현황

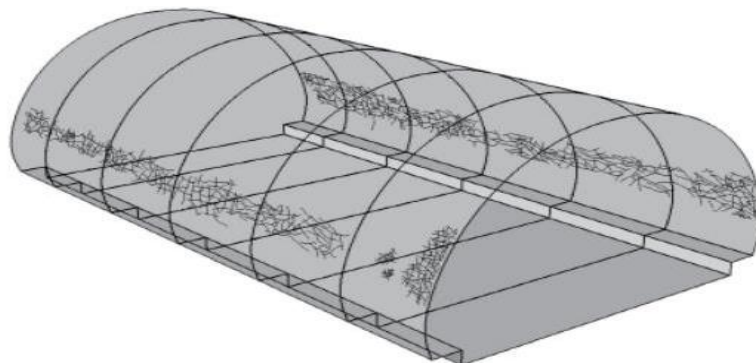
S29 천단부 종방향 균열(cw=0.3mm)	S68 시공이음부 반원형균열(cw=0.3mm)
S62 천단부 종방향 균열 보수 현황	S14 어깨부 횡방향 균열(cw=1.0mm)
S14 어깨부 횡방향 균열(cw=1.0mm) 현황	

〈사진 3.2〉 라이닝 및 벽체 외관조사 현황(계속)

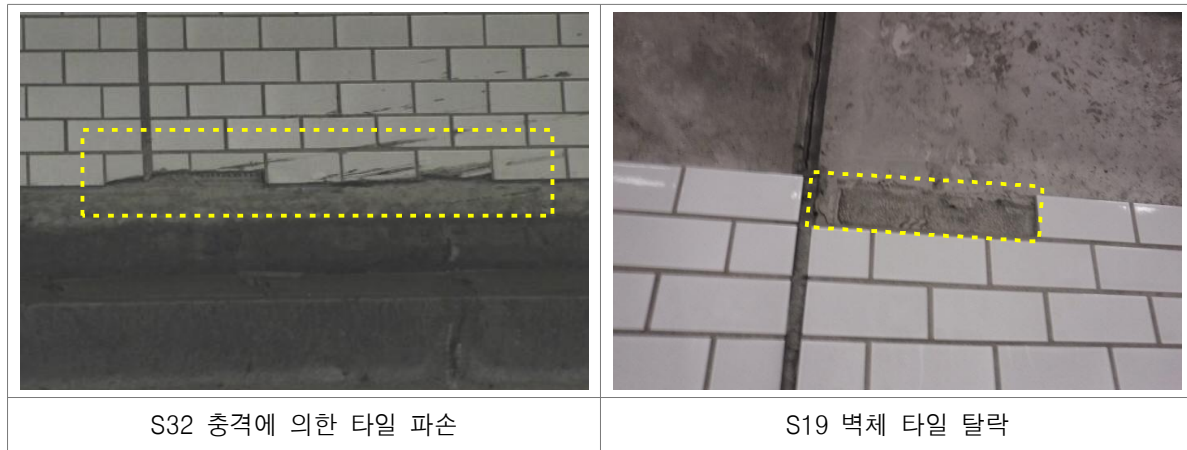
나. 손상 원인 및 대책

1) 외관조사 결과

- 천단부에 조사된 종방향 균열 및 시공이음부 주변 반원형균열은 시공초기 콘크리트 타설 후 양생시 증발속도가 빨라 생긴 소성수축, 천단부 콘크리트 라이닝 배면의 공극으로 인한 단면 부족이나, 과발파로 인한 이완하중, 라이닝 콘크리트 시공방법(벽체→아치부→천단부 순으로 콘크리트 하중에 의해 타설), 거푸집 조기 탈형에 따른 콘크리트 자체 하중 등에 의해 발생 가능한 균열로 판단되며, 라이닝의 균열은 균열의 폭이 허용치 이내인 경우는 구조적으로 안정하나 균열이 점진적으로 발달됨에 따라 구조물의 내구성을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있으므로, 균열 손상부에 대해서는 표면처리(균열폭 0.3mm 미만의 균열) 및 주입보수(균열폭 0.3mm 이상의 균열과 재균열 손상 포함) 등을 시행하여 내구성을 확보하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 어깨부에서 주로 조사된 횡방향 균열은 주로 터널 중심선에 직교하여 횡방향으로 발생하는 균열 형태이며, 시공이음부 전 주변장과 터널 어깨부, 천단부에서 주로 발생하며, 터널내 전체 균열의 손상중 약 25~30% 정도를 차지하는 경향으로 알려져 있다. 횡방향 균열은 숏크리트 정리가 불충분 한 경우에 집중하중이 작용하여 발생하는 경우가 많으므로 시공당시 면정리를 할 때 철저히 해야 하는 것이 중요하며, 장기적인 내구성 확보를 위하여 균열 폭 0.3mm 이상의 균열에 대해서는 주입 보수를, 균열 폭 0.3mm 미만의 균열에 대해서는 표면처리 공법을 통한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 망상균열의 발생원인은 라이닝 작업 중 다짐과 연관성이 있으며 2차 라이닝 타설시 점검창에 vibrator를 넣어 다짐하거나 강재거푸집에 부착된 형태로 vibrator를 설치하여 다짐을 실시하게 되며, 이때, 작업자의 과다짐 및 workability를 위한 W/C의 부배합은 다짐시 표면으로 간극수의 이동을 발생시키며 표면에 레이턴스(laitance)를 유발시켜 라이닝 경화 초기의 미세균열(망상균열)을 발생시키는 것으로 판단되며, 손상에 대해서는 지속적인 관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



- 벽체에서 조사된 벽체 타일 파손 및 타일 탈락은 터널내 주행차량의 사고 충격에 의한 타일의 파손과 초기 시공미흡에 따른 집착 불량에 의한 타일 탈락으로 지속적인 유지관리후 일괄 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

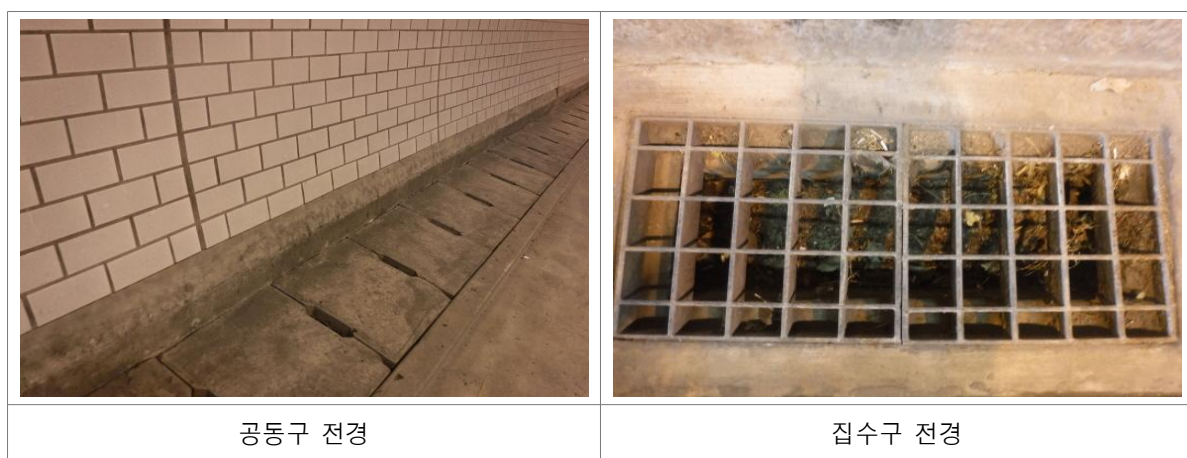


〈사진 3.3〉 벽체 타일 손상 현황

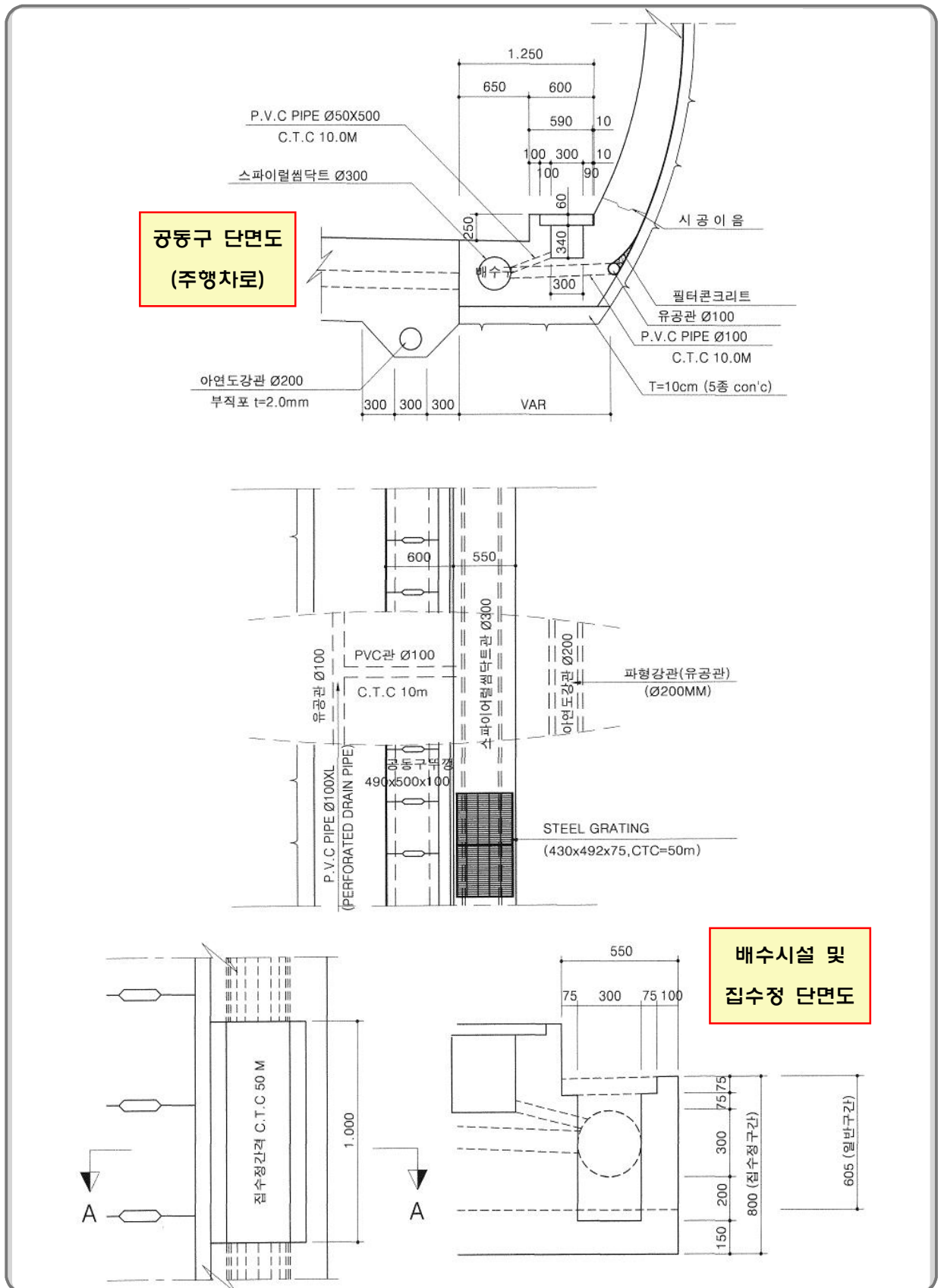
3.2.2 공동구 및 배수시설

가. 외관조사 결과

- 공동구는 측벽 하단에 위치한 비구조적인 구조물이며, 해운대터널(부산) 공동구에 대한 외관조사 결과 조사된 주요 손상은 주로 공동구 벽체에서 균열(폭 0.3mm 이상 및 미만)이 다수 조사되었으며, 백태, 파손, 공동구 덮개 파손 등의 손상이 국부적으로 확인되었다.
- 배수시설은 공용기간 증가에 따른 집수구의 토사퇴적이 다수 확인되었으며, 집수구 주변으로 콘크리트 균열, 파손 등의 손상이 발생된 것으로 조사되었다.



〈사진 3.4〉 공동구 및 배수시설 전경



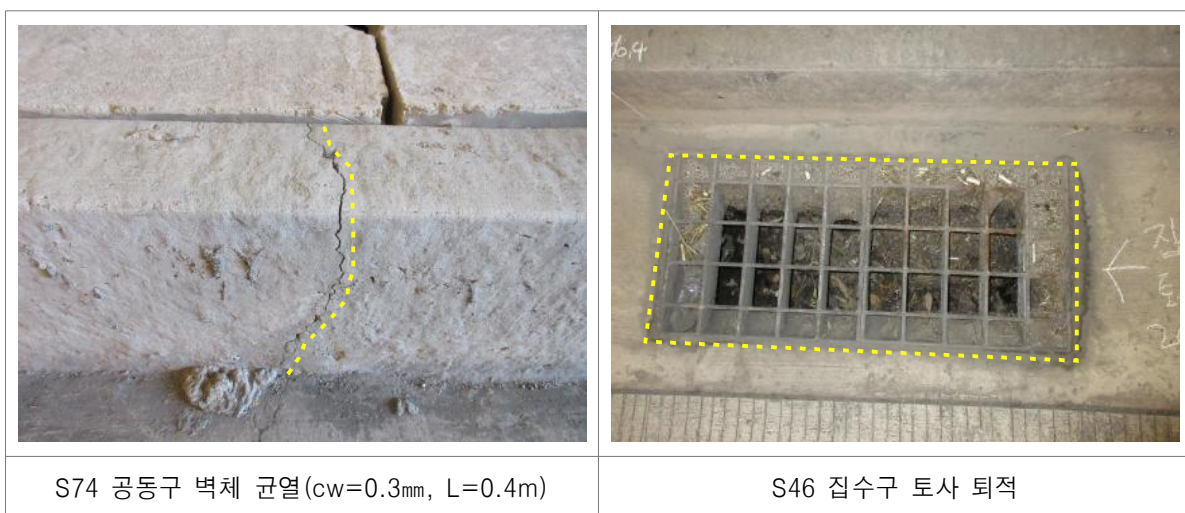
〈그림 3.3〉 공동구 및 배수시설 상세도

〈표 3.11〉 공동구 외관조사 결과

구 분	결함 및 손상내용	수 량	비고
공동구	균열 (0.3mm이상)	- 14개소 (L=5.5m)	
	균열 (0.3mm미만)	- 80개소 (L=31.5m)	
	백태	- 1개소 (A=0.01 m ²)	
	파손	- 15개소 (A=1.31 m ²)	
	공동구 덮개파손	- 17개소 (17EA)	
배수로	균열 (0.3mm미만)	- 47개소 (L=28.2m)	
	파손	- 1개소 (A=0.54 m ²)	
배수시설	집수구토사퇴적	- 11개소 (11EA)	

나. 손상 원인 및 대책

- 공동구 및 배수시설에서 조사된 균열(폭 0.3mm 이상 및 미만)은 시공초기 건조수축 및 공용기간 증가에 따른 진동 등에 의한 손상으로, 긴급을 요하는 보수 사항은 아니지만, 장기적인 내구성 확보를 위하여 균열폭 0.3mm 이상의 균열에 대해서는 주입 보수 등의 단계적인 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한, 터널내 원활한 배수 기능 유지를 위하여 집수구 내부의 토사 퇴적에 대해서는 일괄청소가 필요할 것으로 판단된다.



〈사진 3.5〉 공동구 및 배수시설 손상 현황

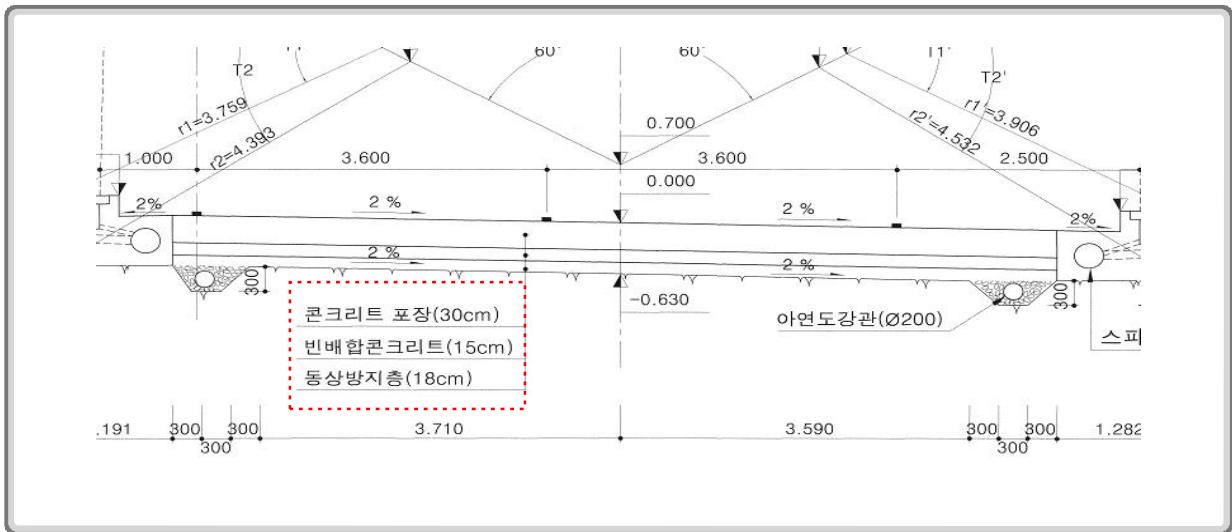
3.2.3 포장부 및 기타시설

가. 포장부

- 해운대터널(부산)의 포장부는 노반에서 동상방지층 0.18m, 빈배합 콘크리트 0.15m, 콘크리트 포장 0.3m의 두께로 시공되었으며, 2%의 구배를 두어 터널내 배수를 유도하고 있는 것으로 확인되었다.



〈사진 3.6〉 터널 포장면 전경



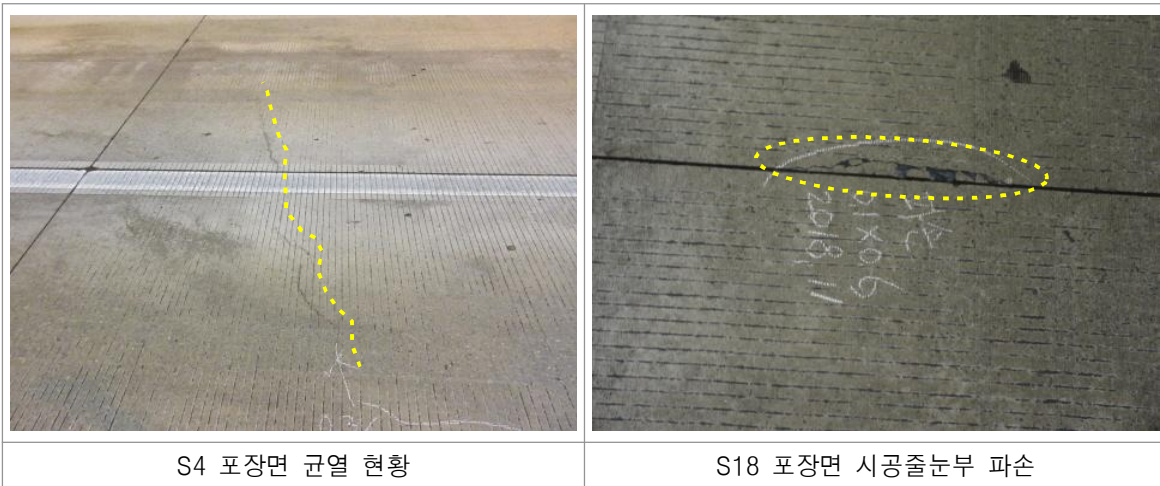
〈그림 3.4〉 포장면 현황도

1) 외관조사 결과

- 포장면에 대한 외관조사를 실시한 결과 포장균열, 파손, 패임, 재료분리 등의 손상이 조사되었으며, 손상의 원인은 공용기간 증가 및 중차량의 통행에 따른 손상으로 조사된 손상의 형태로 볼 때 통행 차량의 주행성을 저해할만한 규모의 손상은 없는 것으로 판단되며, 상태는 경미하므로 긴급한 보수를 요하는 상태는 아니지만, 손상의 진전여부에 따른 안전성을 확보하기 위하여 지속적인 주의 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

〈표 3.12〉 포장면 외관조사 결과

구 분	결함 및 손상내용	수 량	비고
포장부	포장균열	- 3개소(L=3.2m)	
	포장파손	- 3개소(A=0.121 m ²)	
	포장패임	- 6개소(A=0.06 m ²)	
	포장재료분리	- 3개소(A=1.55 m ²)	



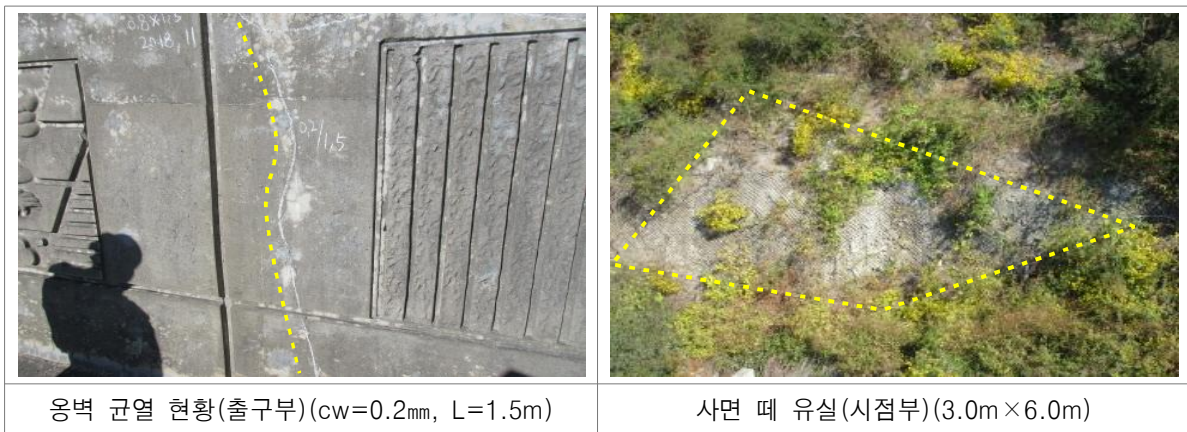
〈사진 3.7〉 포장면 외관조사 현황

나. 갱구부 및 옹벽, 사면

- 해운대터널(부산방향)의 갱구부 및 옹벽, 사면 등에 대한 외관조사를 실시한 결과, 갱구부는 별다른 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 확인되었고, 옹벽에서 폭 0.3mm 미만의 균열이 2개소에서 길이 2.5m 규모로 확인되며, 망상균열이 1개소에서 조사되었으며, 발생한 균열의 양상으로 볼 때 시공 초기 건조수축에 의한 균열로 사료되므로 당장의 보수보다는 지속적인 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.
- 갱구부 상단에 위치한 사면에 대한 외관조사를 실시한 결과 균열이나 배수로 유실 등의 손상은 조사되지 않았으나, 사면에 부착된 떼의 유실이 18.0m² 정도의 규모로 조사되었으며, 기 손상으로 당장의 보수보다는 지속적으로 유지관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



〈사진 3.8〉 갱구부 및 옹벽, 사면 전경



〈사진 3.9〉 갱구부 및 옹벽, 사면 외관조사 현황

〈표 3.13〉 갱구부 및 옹벽, 사면 외관조사 결과

구 분	결함 및 손상내용	수 량	비고
옹벽	균열 (0.3mm미만)	- 2개소(L=2.5m)	
	망상균열	- 1개소(A=1.2㎡)	
사면	뚫 유실	- 1개소(A=18㎡)	

다. 기타시설

- 해운대터널(부산)에 설치된 부속 시설물로서 터널 내부에는 조명시설, 소화시설 및 비상전화, 비상유도등 전원장치 등이 설치되어 있으며 설치 상태 및 작동 상태에 대한 확인결과 별다른 고장이나 문제점은 없는 양호한 상태인 것으로 확인되었다.



〈사진 3.10〉 기타시설 전경