

과업요약문

1. 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”(이하 “시설물안전법”이라 한다.) 제11조 및 동법 시행령 제8조에 의한 정밀안전점검(시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 조치를 취하며, 상태 및 구조적 안전성, 사용성을 종합적으로 검토·평가하여 적절한 보수·보강방법 및 유지관리방안을 수립), 동법 제40조 및 동법 시행령 제28조에 규정에 따른 성능평가(시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 조사·평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진)의 시행을 통한 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

2. 시설물 개요

가. 과업명 : 2023년 부산울산고속도로 정밀안전점검 및 성능평가용역

나. 과업기간 : 2023년 02월 20일 ~ 2023년 08월 23일

다. 대상시설물 개요

<표 2.1> 대상시설물 개요

터널명	노선명	위 치	연장 (m)	차선폭 (m)	형 식	준공년도	비고
해운대터널 (부산)	부산울산선 (0.893km)	부산광역시 해운대구 좌동~송정동	680.0	7.2	NATM	2008	편도 2차선
해운대터널 (울산)	부산울산선 (0.903km)	부산광역시 해운대구 좌동~송정동	680.0	7.2	NATM	2008	편도 2차선

3. 과업범위 및 내용

3.1 과업범위

- 가. 자료 수집 및 분석
- 나. 현장조사 및 시험
- 다. 상태평가
- 라. 안전성평가(선택과업)
- 마. 보수·보강방법(선택과업)
- 바. 보고서 및 부록 작성

3.2 과업의 세부내용

가. 기본과업

기본과업은 시설물의 구분 없이 기본적으로 실시하여야 하는 과업을 말한다.

기본과업의 현장조사 및 시험 항목은 최소필요 조건으로 특별한 사유가 있는 경우에는 추가 또는 축소할 수 있다. 이러한 경우, 그 사유를 과업지시서, 과업수행계획서 및 실시결과보고서에 명기하여야 한다.

<표 3.1> 대상시설물의 범위

구분	부재명	점검 및 진단 실시범위			금회 실시범위	비고
		정기 안전점검	정밀 안전점검	정밀 안전진단		
◦ 기본시설물	◦ 라이닝	○	○	○	●	
	◦ 갱문	○	○	○	●	
	◦ 개착터널	○	○	○	-	해당없음
	◦ 지하차도	○	○	○	-	해당없음
	◦ 지하역사	○	○	○	-	해당없음
◦ 부대시설물	◦ 연직갱 및 경사갱	○	○	○	-	해당없음
	◦ 환기구	○		○	-	해당없음
	◦ 피난연락갱	○		○	-	해당없음
	◦ 연결터널(환기시설)	○		○	-	해당없음
	◦ 갱구부옹벽	○		○	●	
◦ 공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설	○	○	○	●	
	◦ 도로포장	○	○	○	●	
	◦ 도로부 신축이음부	○	○	○	●	
	◦ 환기구 등의 덮개	○	○	○	●	

1) 자료 수집 및 분석

- 준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서
- 시공·보수·보강도면, 제작 및 작업도면
- 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 자료, 계측자료
- 시설물관리대장
- 기존 안전점검·정밀안전진단 실시결과
- 보수·보강이력

2) 현장조사 및 시험

- 기본시설물 또는 주요부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성
 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등
 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식상태 등
- 간단한 현장 재료시험 등
 - 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험)
 - 콘크리트 탄산화 깊이 측정

3) 상태평가

- 외관조사 결과 분석
- 현장 재료시험 결과 분석
- 대상 시설물(부재)에 대한 상태평가
- 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 책임기술자의 소견 (안전등급 지정)

4) 보고서 및 부록 작성

- 보고서 작성
- 부록 작성

- | | |
|---------------|------------------|
| 1. 과업지시서 | 2. 외관조사망도 |
| 3. 측정, 시험 성과표 | 4. 상태평가결과 자료 |
| 5. 시설물관리대장 사본 | 6. 사용장비 및 기기의 사진 |
| 7. 사전조사자료 | 8. 사진대지 |
| 9. 기타 자료 | |

나. 선택과업

선택과업은 시설물의 여건에 따라 실시하여야 하는 과업으로서 정밀안전점검의 목적을 달성하기 위하여 대상 시설물의 특성 및 현지여건 등을 감안하여 실시하여야 한다.

1) 자료수집 및 분석

- 구조·수리·수문 계산(계산서가 없는 경우)
- 실측도면 작성(설계도서가 없는 경우 반드시 실측도면을 작성하여야 함)

2) 현장조사 및 시험

- 전체 부재에 대한 외관조사망도 작성
- 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치·해체 등
- 조사용 접근장비 운용
- 조사부위 표면청소
- 마감재의 해체 및 복구
- 기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성평가 등에 필요한 조사·시험

3) 안전성평가

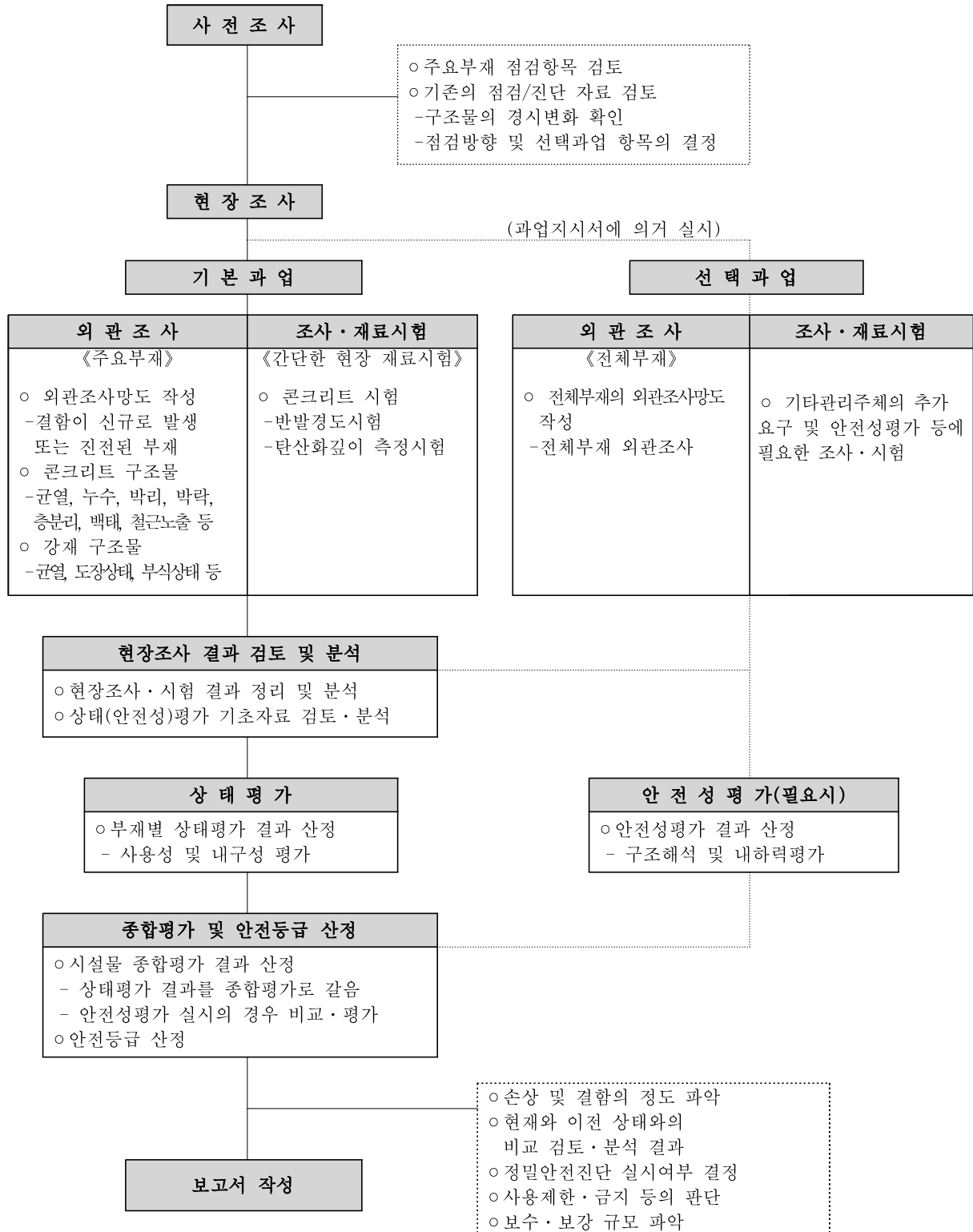
- 필요한 부위의 구조·지반·수리·수문 해석 등 안전성평가
- 보수·보강방법을 제시한 경우 보수·보강 시 예상되는 임시 고정하중에 대한 안전성 평가

4) 보수·보강 방법

- 보수·보강 방법 제시

4. 과업수행 흐름도

본 터널의 정밀안전점검 과업수행 흐름도는 다음과 같다.



<그림 4.1> 과업수행 흐름도

5. 해운대터널(부산)

5.1 시설물개요

5.1.1 해운대터널(부산) 전경



5.1.2 터널현황

본 과업 대상구조물인 해운대터널(부산)의 터널현황은 다음 표와 같다.

<표 5.1.1> 해운대터널(부산) 터널현황

터널명	해운대터널(부산)		
시설물번호	TU2008-0000190	관리번호	-
노선명	부산울산고속도로 (고속국도65호선)	시행청	부산울산고속도로(주)
시점	부산광역시 해운대구 송정동 산 53-41	종점	부산광역시 해운대구 송정동
터널형식	NATM	관리주체	부산울산고속도로(주)
차선수	편도 2차로	환기방식	자연환기-배기
연장	L = 680m	설계사	신성엔지니어링(주)
내공단면	폭 : 7.2m(차도폭) 높이 : 7.3m	시공사	울트라건설(주)
배수형식	배수식	감리사	-
종단기울기	-1.1%	착공	2001년 11월 29일
평균선형	직선	준공	2008년 12월 31일
연결통로	-	개문형식	면벽식(시점), 원통절개식(종점)
주요공법	강섬유보강 슛크리트, 락볼트	보조공법	격자지보, 휘폴링, 강관 다단 그라우팅

5.1.3 위치도



<그림 5.1.1> 위치도

5.2 외관조사 결과

부재	주요결합 및 외관조사결과	검토의견
천단부	◦ 콘크리트 라이닝의 천단부에 대한 외관조사결과, 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 보수부 재균열(0.3mm미만), 시공이음부 박락, 마감불량 등의 손상이 발생한 것으로 조사되었다.	① 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상) 천단부의 종방향 균열이 발생하는 공간적인 위치는 대부분 천단부 터널 중심선 기준 좌·우 20°의 범위이며, 원인은 콘크리트 온도변화 및 건조수축, 2차 라이닝에 작용하중 증가 등에 따른 라이닝 인장 취약부에 자중, 라이닝 두께 차이에 의한 응력불균형, 1차 라이닝의 소성변형에 따른 추가하중, 지반의 Creep 등의 복합적인 요인 등에 의하여 발생하는 것으로 연구·검토되고 있다. 본 해운대터널(부산)의 균열은 NATM터널(무근) 구간에서 연구결과와 유사하게 천단부 터널 중심선 기준으로부터 좌·우 20°의 범위에 종방향으로 발생하고 있으며, 균열 및 보수부 재균열(0.3mm미만, 0.3mm이상)의 발생면적을 균열길이당 0.25m의 폭으로 적용하여 면적율(균열발생면적÷천단부 전체 표면면적×100%)을 계산한 결과 균열 비중은 약 1% 정도로 손상 비중은 적은 것으로 판단되나 콘크리트 라이닝의 내구성 저하방지를 위해 균열폭(0.3mm미만: 표면보수, 0.3mm이상: 주입보수)에 따른 보수를 시행하여 유지관리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. ② 보수부 재균열(0.3mm미만, 0.3mm이상) 보수부 재균열은 균열부위에 대한 보수 미흡(표면보수층의 두께 부족, 부분 미충진 등의 충전불량)으로 인한 표면 보수재 경화로 균열이 재노출되거나 공용년수 증가에 따라 주입보수부 재손상이 발생한 것으로 판단된다. ③ 균열의 진행성 검토 콘크리트 라이닝에 발생한 균열폭 $C_w=0.3\text{mm}$ 이상의 균열 및 보수부 재균열은 보수·보강 이력사항을 확인한 결과 “2022년 울산지사 관내 시설물 연간 유지보수공사(2022.12)_진양건설(주)” 균열에 대한 주입보수를 시행한 것으로 검토되었다. 이전 정밀안전점검(2021.08)에서 조사된 균열(0.3mm미만)에 대한 진행성 여부를 측정·조사한 결과 균열폭 및 단차 등의 변화는 관찰되지 않아 균열의 진행성은 없는 것으로 판단되며, 금회 점검시 추가로 조사된 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상)은 새로운 손상이 아닌 이전 점검자가 미처 확인하지 못하여 조사가 누락된 손상으로 보여진다. 또한, 시공이음부를 경계로 어긋나면서 연속적으로 발생한 종균열이 S6~S7(보수부 재균열 $C_w=0.2\text{mm}$), S47~S48(보수부 재균열 $C_w=0.2\text{mm}$) 스팬(Span)에서 조사되었으며, 손상은 보수 미흡 및 공용년수 증가로 보수재가 경화되면서 균열이 재노출된 것으로 관찰되고 시공이음 주변에 박리, 박락, 단차 등의 손상이 없어 진행성은 없는 것으로 판단된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
천단부	◦ (계속)	④ 시공이음부 들뜸, 박락 콘크리트 라이닝 시공이음부 주변 들뜸 및 박락은 반원형 균열의 진전 및 강재거푸집 설치에 따른 유압 Jack의 불균형에 의한 국부적인 지압력과 거푸집 조기탈형에 의한 양생불량 등의 요인에 의한 손상으로 판단되며, 향후 손상부 탈락으로 주행차량의 안전사고가 우려되므로 손상 제거 후 보수(단면보수)가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 기 보수부 박락은 보수 미흡(치핑 미실시, 표면보수층의 두께 부족 등) 및 공용년수 증가로 인한 표면 보수재 경화 등의 요인으로 손상이 재노출된 것으로 판단되며, 이 또한, 손상부의 탈락으로 주행차량의 안전사고가 우려되므로 손상부에 대한 제거 후 보수(단면보수)가 요구된다. ⑤ 파손 Span 56, 57의 조명시설 고정 앵커 주변에 파손이 발생한 것으로 조사되었으며, 이는 조명시설 설치시 천공미흡에 의한 손상으로 보여지고 손상면적은 경미하나 손상부에 대한 단면보수를 실시하여 유지관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. ⑥ 마감불량 천단부 Span 2의 마감불량은 이전 안전점검에서 보수가 시행된 것으로 조사되었으나, 금회 점검시 보수미흡으로 재손상이 발생한 것으로 확인되어 손상부에 대한 단면보수가 요구된다.
측벽부	◦ 측벽부에 대한 외관조사결과, 균열(0.3mm미만), 타일 균열 및 탈락 등의 손상이 일부 구간에서 발생한 것으로 조사되었다.	① 균열(0.3mm미만) 측벽부의 콘크리트 라이닝에서 균열이 일부 스팬(Span)에 발생하였으며, 측벽에 타일마감이 시공된 경우에는 반사균열의 형태로 균열이 조사되었다. 금회 점검시 조사된 횡균열은 공동구 및 배수구 등 하부구조물을 우선 시공한 후 강재거푸집을 기존 타설부 및 신설부에 맞대어 2차 라이닝을 타설하게 되며, 이때 2차 라이닝 하부는 외적으로 기존 타설된 공동구 및 배수구의 단부구속 영향을 받게 되고 내적으로는 2차 라이닝의 소성수축과 건조수축에 따라 접속부로부터 인장응력이 발생하여 횡균열이 발생한 것으로 판단된다. 라이닝에 발생한 균열에 대한 이전 안전점검(2021.08)과 비교결과 균열폭 및 단차 등의 변화는 관찰되지 않아 균열의 진행성은 없는 것으로 판단되며, 콘크리트 라이닝의 내구성 저하방지를 위해 균열폭(0.3mm미만: 표면보수, 0.3mm이상: 주입보수)에 따른 보수를 시행하여 유지관리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한 타일에서 조사된 균열은 타일제거 후 균열 보수가 시행되어야 하는 번거로움과 유지보수비용 대비 효율이 낮을 것으로 판단되어 지속적인 점검을 통한 주의관찰 후 타일부 손상 증가 및 타일 교체시 보수를 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
측벽부	◦ (계속)	② 타일 균열 측벽부 Span 27, 71에 타일 균열이 발생한 것으로 조사되었으며, 이는 콘크리트 라이닝의 횡균열이 타일부착부에 반사되어 나타나는 현상으로 손상정도가 경미하여 지속적인 점검을 통한 주의관찰이 요구된다. ③ 타일 탈락, 파손 본 터널 측벽부에 조사된 타일 탈락 및 파손은 시공이음 주변, 타일 상단 및 하단부에 집중적으로 발생하고 있으며, 이는 공용중 외부 충격 및 온도변화에 따른 신축·터널내 지속적인 진동·타일 부착력 저하 등의 복합적 요인에 의한 것으로 판단되고 현 상태에서의 보수보다는 지속적인 점검을 통한 주의관찰이 요구된다.
갱문	◦ 갱문 및 본선과의 접속부에 대한 외관조사결과, 구조물에 손상이 발생되지 않은 건전한 상태인 것으로 조사되었다.	① 갱문 상태양호 시·종점에 시공된 갱문은 특이 손상이 발생되지 않은 건전한 상태이며, 현 상태를 지속적으로 유지할 수 있도록 주기적인 점검을 통한 유지관리가 요구된다.
배수시설	◦ 터널 내부 배수시설에 대한 외관조사결과, 측구에 균열(0.3mm미만)이 다수 발생하고 일부 파손이 조사되었으며, 그레이팅이 설치된 집수구의 내부에 이물질이 퇴적된 것으로 확인되었다.	① 측구 균열(0.3mm미만) 측구에서 다수 조사된 균열은 콘크리트 경화시 수축과 구속의 영향으로 공동구에서 횡방향으로 발생하고 있으며, 점검일 현재 균열폭은 대부분 $Cw=0.3\text{mm}$미만의 균열로 조사되어 보수보다는 주의관찰이 요구된다. ② 측구 파손 Span 1의 측구 파손은 포장부와의 경계인 종방향 시공줄눈 주변에서 발생하였으며, 이는 공용중 차량의 충격하중에 의한 손상으로 판단되고 시점부에서 유입되는 우수 및 동결융해작용으로 손상이 심화될 수 있어 단면보수를 통한 유지관리가 요구된다. ③ 집수구 이물질퇴적 집수구 상면에 설치된 그레이팅은 전반적으로 양호한 상태이나, 배수시설 내부는 환경적인 요인 등의 영향으로 이물질이 퇴적되고 있는 것으로 조사되었다. 배수시설 내부에 이물질이 지속적으로 유입될 시 배수 기능의 상실이 우려되므로 원활한 배수처리를 위해 주기적인 준설 및 청소가 요구된다.
공동구	◦ 공동구에 대한 외관조사결과, 측면에 균열(0.3mm미만)이 다수 발생하고 있으며, 일부 시공이음부 균열이 관찰되고 공동구 측면 파손 및 덮개 파손이 조사되었다.	① 균열(0.3mm미만) 공동구 측면에서 다수 조사된 균열은 콘크리트 경화시 수축과 구속의 영향으로 수직방향으로 발생하고 있으며, 점검일 현재 균열폭은 대부분 $Cw=0.3\text{mm}$ 미만의 균열로 조사되어 보수보다는 지속적인 점검을 통한 주의관찰이 요구된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
공동구	◦ (계속)	② 시공이음부 균열(0.3mm 이상) 시공이음 균열은 공동구 및 배수구의 하부구조물과 2차 라이닝의 접속부에서 발생하고 있으며, 금회 점검시 Span 1 및 Span 2에서 조사되었다. 시공이음 균열은 기존 타설부 및 신설부에 맞대어 2차 라이닝 타설 공정시 강재거푸집 설치미흡, 콘크리트 타설 시간 차이, 시공불량 등의 요인에 의한 손상으로 판단되며, 손상부의 균열폭은 $Cw=0.3mm$ 이상으로 주입보수를 통한 유지관리가 요구된다. ③ 파손 공동구 측면에서 발생한 파손은 주행차량의 추돌에 의한 손상으로 판단되며, 손상정도는 경미하나 내구성 저하 방지를 위해 손상부에 대한 보수를 시행하여 유지관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. ④ 덮개 파손 공동구의 덮개에서 조사된 파손은 덮개판 설치시 충격 및 공용중 외력에 의한 손상으로 판단되며, 유지관리시 점검자 및 관리자의 안전사고 발생 위험을 내재하고 있어 손상부에 대한 덮개 재설치가 요구된다.
포장부	◦ 포장부에 대한 외관조사결과, 포장 균열 및 파손, 패임, 재료분리가 발생하고 있는 것으로 조사되었다.	① 포장 균열 일부 구간에서 조사된 포장부 균열은 건조수축 및 온도변화, 공용중 반복적인 차량 운하중 재하 등의 요인에 의한 손상으로 판단되며, 손상 정도가 경미하여 주의관찰이 요구된다. ② 포장 파손 포장부에 설치된 줄눈 주변으로 파손이 국부적으로 발생하고 있으며, 이는 온도변화에 따른 강성포장체의 신축거동, 반복적인 차량 통행에 의한 하중 등의 요인에 의한 손상으로 판단된다. 금회 점검시 조사된 포장부 줄눈에 발생한 단면손상은 방치시 심화 및 증가할 것으로 예상되어 진행을 억제하고 차량의 주행성 및 안전성을 확보할 수 있도록 손상부 절삭 후 무수축콘크리트 타설을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. ③ 패임 및 재료분리 포장부에서 조사된 패임, 재료분리는 콘크리트 타설시 품질관리미흡(배합 및 골재불량, 다짐미흡 등)에 의한 손상으로 판단되며, 향후 차량의 반복적인 통행에 의한 하중으로 마모, 골재 탈리 등의 손상이 발생할 수 있으므로 보수를 시행하여 유지관리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
부대시설	◦ 갱구부 웅벽 갱구부 웅벽에 대한 외관조사결과, 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 보수부 들뜸 및 박락이 발생한 것으로 조사되었다. ◦ 사면 사면에 대한 외관조사결과, 시점부 녹생토 탈락, 시·중점부 웬스 파손이 발생한 것으로 조사되었다. ◦ 터널 외부배수로 터널 외부배수로에 대한 외관조사결과, 갱구부 및 웅벽 상단에 설치된 배수로는 이물질퇴적이 없는 것으로 조사되었으며, 사면의 소단 배수로도 전반적으로 양호한 상태로 관찰되었다.	① 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상) 웅벽의 상단부에서 조사된 균열은 $Cw=0.2mm \sim 0.3mm$의 균열폭으로 측정되었으며, 균열의 형상 및 크기(폭, 길이) 등을 검토한 결과 발생한 원인은 건조수축이나 온도변화에 의한 손상으로 판단된다. 금회 안전점검에서 조사된 균열은 1~2년 안에 발생한 균열은 아닌 것으로 관찰되며, 이전 안전점검에서 누락된 손상으로 판단된다. 또한, 신규로 조사된 균열은 이전 자료와 비교할 수 없어 진행성 유무는 명확히 확인할 수 없으나, 균열폭 및 단차 등의 변화는 관찰되지 않아 균열의 진행성은 없는 것으로 판단하였다. 웅벽은 외부에 노출된 시설물로서 환경적인 원인(우수유입, 동결융해작용, 온도변화 등)으로 균열부 손상이 내구성 저하를 유발할 수 있어 균열폭(0.3mm미만: 표면보수, 0.3mm이상: 주입보수)에 따른 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. ② 보수부 들뜸, 박락 웅벽의 단면보수 부위에서 들뜸 및 박락이 조사되었으며, 이는 단면손상부에 대한 보수공사시 치핑을 실시하지 않아 신·구 콘크리트가 일체화지 못하고 단면 보수부위의 접착력이 저하되어 발생한 손상으로 판단된다. 웅벽에서 조사된 단면손상은 내구성 저하 방지를 위해 손상부에 대한 치핑 후 단면보수가 요구된다. ① 녹생토 탈락 사면의 표면보호를 위해 시공된 녹생토가 시점부에서 일부 탈락되어 능형망이 관찰되나 전체적으로는 식생 활착이 양호한 상태로 보수보다는 주의관찰이 요구된다. ② 웬스 파손 사면 내에 웬스가 일부 구간에 설치되어 있는 것으로 확인되었으며, 공용중 외력에 의한 웬스가 일부 파손된 것으로 조사되었다. 사면에 설치된 웬스는 야생 동물이 고속도로로 진입하지 못하게 하여 주행중인 차량의 안전사고를 예방하기 위한 야생동물유도울타리로서 웬스 파손에 대한 부분적인 보수가 요구된다. ① 외부 배수로 상태양호 본 터널의 외부에 시공되어 있는 배수로는 전반적으로 낙엽 및 이물질퇴적이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 향후 터널 주변 식생의 영향으로 낙엽 및 토사 등이 퇴적되어 배수로의 기능이 저하될 수 있으므로 매년 우기철 전·후로 배수시설에 대한 정비가 요구된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
기타 부속시설	◦ 기타 부속시설에 대한 외관조사결과, 내부에 설치 및 비치된 부속시설의 외관 및 관리상태는 양호한 것으로 확인되었다.	① 기타 부속시설 상태양호 본 터널의 내부에 설치된 부속시설의 설치상태가 양호하고 시설물의 사용성을 저해할만한 문제점은 없는 것으로 판단되며, 공용중 부속시설의 상태변화 및 제기능 확보에 대한 지속적인 관찰 및 점검이 요구된다.
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설 (사면 내 점검계단)	◦ 터널의 시·종점 사면에 안전점검 및 유지관리를 위하여 점검계단이 설치되어 있으며, 외관조사결과 연결부 체결상태 및 고정상태는 전반적으로 양호한 것으로 조사되었으나, 외기 노출부재의 특성상 지속적인 수분접촉으로 경미한 부식이 발생하여 주의관찰이 요구된다. 금회 조사된 손상은 기능에 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태로 중대한 결함은 없는 것으로 조사·검토되었다.
	◦ 도로포장 (교면포장)	◦ 본 해운대터널(부산)은 총 연장 680.0m로 콘크리트 포장 이 시공되어 있으며, 포장균열 및 파손, 패임, 재료분리 등의 손상이 조사되었으며, 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아닌 것으로 검토되었다. 금회 조사된 손상은 일부 보수가 요구되나, 중대한 결함은 발생하지 않은 것으로 검토되었다.
	◦ 환기구 등의 덮개 (공동구 덮개, 배수시설 그레이팅)	◦ 본 공동구의 상부에는 콘크리트 덮개가 설치되어 시설물의 안전점검 및 유지관리자가 이용하고 있어 공중이 이용하는 부위에 대한 점검결과 덮개 파손이 발생한 것으로 조사되었으며, 덮개 손상으로 유지관리에 안전사고 발생 위험을 내재하고 있어 손상부에 대한 일부 보수가 필요한 상태로 검토되었다. 또한, 포장부 좌·우측에는 측구가 시공되어 일정한 간격으로 집수구가 위치하고 상면에는 철재 그레이팅 덮개가 설치된 것으로 확인되었다. 배수시설의 그레이팅 덮개는 차량이동 구간에 인접하게 설치된 상태이며, 공용중 덮개 유실, 지지상태 불량 등으로 주행차량의 안전사고 발생 가능성이 있어 공중이 이용하는 부위에 포함하였다. 그레이팅 덮개에 대한 점검결과 덮개의 지지상태는 양호하였으며, 덮개 유실 등의 손상이 발생하지 않은 상태로 지속적인 점검을 통한 주의관찰이 요구된다.
유해· 위험요인 (10대)	◦ 본 과업대상 해운대터널(부산)은 중대시민재해를 유발할 수 있는 위험요인으로 낙하물(고드름 낙하사고), 콘크리트 열화(터널 배수구 뚜껑파손) 등의 항목이 해당된다.	◦ 공중이용시설 10대 위험요소 중 터널에 해당하는 항목에 대한 점검결과, 본 터널은 포장부 좌·우측에 측구를 시공하여 일정간격으로 집수구(그레이팅 덮개)가 설치되어 있으며, 일부 균열 및 파손 등의 손상이 확인되었지만, 재해를 유발할 정도의 손상은 아닌 것으로 검토되었다. 또한 터널의 입·출구부의 라이닝의 누수는 없는 상태이며, 향후 소형 결함으로도 재해 발생 가능성이 있으므로 유해·위험요인이 있는 취약시설물에 대한 중점관리 및 예방 차원의 긴급보수·보강 등의 유지관리가 요구된다.

5.3 내구성 조사

시 험 명	시험부위		시험 결과	책임기술자 의견
비파괴강도 (MPa)	라이닝		26.3 ~ 27.1	· 설계강도 이상을 확보 - 라이닝: 24.0MPa
탄산화시험 (mm)	라이닝	탄산화 깊이	3.7 ~ 7.1	· 탄산화 등급은 “a”등급
		잔여깊이	49.9 ~ 57.3	
종합평가	· 비파괴강도 측정결과, 라이닝의 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정·검토됨. 건전부와 비건전부 비교결과 비건전부의 강도저하는 있으나 설계기준강도 100%이상으로 강도부족에 의한 내구성저하는 없는 것으로 분석됨. · 탄산화시험결과, 라이닝의 탄산화 잔여깊이는 30mm이상으로 상태평가 기준“a”등급으로 조사되어 탄산화에 대한 철근부식 발생 우려는 없는 것으로 판단됨.			

5.4 종합평가

1) 상태평가

구조물	결함지수	상태평가 결과	시설물의 결함지수(F)	
기본시설	0.174	B	기본시설 결함지수(F) × 부대시설 가중치(W) = 0.174 × 1.00	
부대시설 (가중치)	0.142 (1.00)	A		
			결함지수	0.174
			상태평가 등급	B

본 해운대터널(부산)의 상태평가 결과 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태”인 「B등급」으로 평가되었다.

2) 종합평가

구분	상태평가		안전성평가	
	평가지수	평가기준	안전율	평가기준
평가결과	0.174	B	미 실시 (정밀안전진단 과업)	
안전등급 지정				
	상태평가 B		안전성평가 (미 실시) -	
	안전등급 B			

안전등급은 상태평가 결과와 안전성평가 결과 중 낮은 등급을 안전등급으로 지정하나 금회 실시한 정밀안전점검에서는 안전성평가(정밀안전진단 과업)를 실시하지 않아 안전등급은 B등급 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태”로 지정되었다.

3) 공중이 이용하는 부위 상태평가

구분	시설물명	등급	비고
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설	b	사면 내 점검계단
	◦ 도로포장	b	콘크리트 포장
	◦ 도로부 신축이음부	-	해당없음
	◦ 환기구 등의 덮개	c	공동구 덮개, 배수시설 그레이팅 덮개

본 터널은 공중이 이용하는 부위로 추락방지시설(사면 내 점검계단), 도로포장, 환기구 등의 덮개(공동구 덮개, 배수시설 그레이팅 덮개) 등이 해당되며, 금회 점검시 조사된 결함으로 각 평가항목 및 기준에 따라 상태평가 결과 중대한 결함은 발생하지 않은 상태로 평가되었다.

5.5 정밀안전진단 및 사용제한 필요성

정밀안전점검 대상 시설물인 해운대터널(부산)은 2008년 준공 후 15년이 경과된 터널으로서 금회 정밀안전점검 결과 시공상태가 양호하고, 활하중 작용 등 외력에 의한 구조적 결함이나 손상이 없는 상태로서 국부적으로 발생한 손상·결함부에 대해 보수를 시행한다면 구조물의 기능성과 안전성을 확보할 수 있으므로 현재 상태의 정밀안전진단 및 사용제한 등의 필요성이 없으며 향후 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”에 의한 정기점검, 정밀안전점검 등의 시행과 동절기와 해빙기를 전·후하여 특별점검 등 지속적 유지관리를 행하면 설계시 의도한 내구연한을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

5.6 보수·보강 방안

1) 보수·보강 방안 및 개략공사비

점검부위	결합 및 손상내용	손상물량	보수물량	단위	보수·보강(안) 공법	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위	비고
천단부	균열, 재균열(0.3mm미만)	139.70	34.93	m/m ²	표면보수	65	2,270	3	
	균열, 재균열(0.3mm이상)	2.40	2.40	m	주입보수	80	192	1	
	박락, 보수부 박락	0.31	1	m ² /식	제거 후 단면보수	3,000	3,000	1	
	파손	0.08	1.00	m ²	단면보수	240	240	2	
	마감불량	0.09	1.00	m ²	단면보수	240	240	2	
측벽부	균열(0.3mm미만)	2.70	1.00	m/m ²	표면보수	65	65	3	
배수시설	측구 파손	0.64	1.00	m ²	단면보수	240	240	2	
	집수구 이물질 퇴적	12	12	EA	청소	20	240	1	
공동구	시공이음 균열(0.3mm이상)	11.00	11.00	m	주입보수	80	880	1	
	파손	2.52	3.78	m ²	단면보수	240	907	2	
	덮개 파손	29	29	EA	덮개 재설치	500	14,500	2	
포장부	파손	0.49	1.00	m ²	절삭 후 단면보수	300	300	2	
	패임	0.06	1.00	m ²	절삭 후 단면보수	300	300	3	
	재료분리	5.55	8.33	m ²	절삭 후 단면보수	300	2,499	3	
옹벽	균열(0.3mm미만)	2.00	1.00	m/m ²	표면보수	65	65	3	
	균열(0.3mm이상)	3.00	3.00	m	주입보수	80	240	1	
	보수부 들뜸, 박락	0.15	1.00	m ²	단면보수	240	240	2	
사면	웬스 파손	31.00	31.00	m	웬스 재설치	300	9,300	3	
순 공사비							35,718		
제경비(순공사비×0.5)							17,859		
총 공사비							53,577		

※ 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건 상 변동될 수 있음.

5.7 종합결론

1) 해운대터널(부산)은 준공 후 15년이 경과된 NATM 터널으로 금회 정밀안전점검결과 콘크리트 라이닝에서 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 보수부 재균열(0.3mm미만), 시공이음부 들뜸 및 박락, 파손, 마감불량 등이 발생하고 터널 주변시설의 배수시설 집수구 막힘, 측구 균열 및 파손, 공동구 균열 및 파손, 덮개 파손, 포장부 균열 및 줄눈 주변 파손 등의 손상이 조사되어 손상부에 대한 적절한 보수가 요구된다.

콘크리트 라이닝의 시공이음부에 발생한 들뜸 및 박락은 향후 손상부 탈락으로 주행차량의 안전사고가 우려되므로 우선적으로 손상 제거 후 보수 등의 유지관리가 요구된다.

2) 내구성시험 결과, 반발경도법에 의한 비파괴 강도는 설계강도 대비 100%을 상회하는 것으로 측정되어 강도저하는 없는 것으로 판단되고 탄산화 시험은 모든 측정부위에서 탄산화 잔여깊이가 30mm이상으로 탄산화에 의한 내구성 저하는 발생하지 않은 것으로 검토되었다.

3) 따라서, 본 터널은 「보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부 보수가 필요한 상태」인 “B등급”으로 평가되었으며, 금회 점검시 조사된 손상·결함부에 대하여 보수를 시행한다면 공용상의 문제는 없을 것으로 판단되고 시설물 등급의 상향 또는 현 상태의 등급을 지속적으로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 정밀안전진단 및 시설물의 사용제한의 필요성 여부

- 금회 정밀안전점검 실시결과 시설물의 사용제한 필요 없는 것으로 판단된다.

5) 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

- 콘크리트 라이닝 균열(0.3mm이상)의 진전 및 추가 발생유무
- 시공이음 들뜸 및 박락의 손상부 탈락 발생유무
- 포장 줄눈 주변 파손의 심화 및 주행성 저하 유무

6) 기타 필요한 사항

- 터널의 효율적인 유지관리를 위한 내부에 스팬(Span) 번호(No.)가 적힌 명판 설치 필요
- 일부 공동구 덮개파손으로 점검·유지관리자의 이동시 전도 등의 안전사고가 발생할 수 있으므로 덮개 파손부 교체와 함께 점검·유지관리자에 대한 안전교육 필요

6. 해운대터널(울산)

6.1 시설물개요

6.1.1 해운대터널(울산) 전경



6.1.2 터널현황

본 과업 대상구조물인 해운대터널(울산)의 터널현황은 다음 표와 같다.

<표 6.1.1> 해운대터널(울산) 터널현황

터널명	해운대터널(울산)		
시설물번호	TU2008-0000191	관리번호	-
노선명	부산울산고속도로 (고속국도65호선)	시행청	부산울산고속도로(주)
시점	부산광역시 해운대구 좌동 산 117-4	종점	부산광역시 해운대구 송정동
터널형식	NATM	관리주체	부산울산고속도로(주)
차선수	편도 2차로	환기방식	자연환기-배기
연장	L = 680m	설계사	신성엔지니어링(주)
내공단면	폭 : 7.2m(차도폭) 높이 : 7.3m	시공사	울트라건설(주)
배수형식	배수식	감리사	-
종단기울기	-1.1%	착공	2001년 11월 29일
평균선형	직선	준공	2008년 12월 31일
연결통로	-	개문형식	면벽식(시점) 원통절개식(종점)
주요공법	강섬유보강 슛크리트, 락볼트	보조공법	격자지보, 휘폴링, 강관 다단 그라우팅

6.1.3 위치도



<그림 6.1.1> 위치도

6.2 외관조사 결과

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
천단부	◦ 콘크리트 라이닝의 천단부에 대한 외관조사결과, 균열(0.3mm미만, 0.3mm 이상), 보수부재균열(0.3mm미만), 균열부백태, 시공이음부 박락 등의 손상이 발생한 것으로 조사되었다.	① 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상) 천단부의 종방향 균열이 발생하는 공간적인 위치는 대부분 천단부 터널 중심선 기준 좌·우 20°의 범위이며, 원인은 콘크리트 온도변화 및 건조수축, 2차라이닝에 작용하중 증가 등에 따른 라이닝 인장 취약부에 자중, 라이닝 두께 차이에 의한 응력불균형, 1차라이닝의 소성변형에 따른 추가하중, 지반의 Creep 등의 복합적인 요인 등에 의하여 발생하는 것으로 연구·검토되고 있다. 본 해운대터널(울산)의 균열은 NATM터널(무근) 구간에서 연구결과와 유사하게 천단부 터널 중심선 기준으로부터 좌·우 20°의 범위에 종방향으로 발생하고 있으며, 기 정밀안전점검(2021.08) 이후 균열(0.3mm 이상)에 대한 전반적인 보수를 시행하여 금회 점검시 Span. 12, 20, 34, 60에서 조사되었다. NATM터널(무근) 구간에서 조사된 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상)의 손상물량은 15.5m로 터널 총 연장(680.0m)을 고려하면 손상 비중은 적은 것으로 판단되나, 콘크리트 라이닝의 내구성 저하방지를 위해 균열폭(0.3mm미만: 표면보수, 0.3mm이상: 주입보수)에 따른 보수를 시행하여 유지관리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한, NATM터널(철근) 구간의 Span. 1, 2에서 발생한 균열은 $C_w=0.3\text{mm}$ 미만으로 시공초기의 건조수축 및 온도변화 등의 요인에 의한 손상으로 판단되며, 조사된 균열(0.3mm미만)에 대한 표면보수가 요구된다. ② 보수부 재균열(0.3mm미만) Span. 2에서 조사된 보수부 재균열은 균열부위에 대한 보수 미흡(표면보수층의 두께 부족, 부분 미충진 등의 충전불량)으로 인한 표면 보수재 경화로 균열이 재노출된 것으로 판단되며, 손상부에 대한 보수가 요구된다. ③ 균열의 진행성 검토 콘크리트 라이닝에 발생한 균열폭 $C_w=0.3\text{mm}$ 이상의 균열 및 보수부 재균열은 보수·보강 이력사항을 확인한 결과 “2022년 울산지사 관내 시설물 연간 유지보수공사(2022.12_진양건설(주))” 균열에 대한 주입보수를 시행한 것으로 검토되었다. 이전 정밀안전점검(2021.08)에서 조사된 균열(0.3mm미만, 0.3mm 이상)에 대한 진행성 여부를 측정·조사한 결과 균열폭 및 단차 등의 변화는 관찰되지 않아 균열의 진행성은 없는 것으로 판단되며, 금회 점검시 추가로 조사된 균열(0.3mm미만, 0.3mm 이상)은 새로운 손상이 아닌 이전 점검자가 미처 확인하지 못하여 조사가 누락된 손상으로 보여진다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
천단부	◦ (계속)	④ 균열부백태(0.3mm미만) 천단부 Span. 32에서 조사된 균열부백태는 균열 발생 부위로 자연환경의 미묘한 변화 및 대기중의 부유 오염 물질 등의 영향을 받아 콘크리트 내부에 존재하는 석회화합물과 반응하여 표면에 퇴적되어 나타나는 현상으로서 내구성 저하 방지를 위한 주입보수가 요구된다. ⑤ 시공이음부 들뜸, 박락 콘크리트 라이닝 시공이음부 주변 들뜸 및 박락은 반원형 균열의 진전 및 강재거푸집 설치에 따른 유압 Jack의 불균형에 의한 국부적인 지압력과 거푸집 조기탈형에 의한 양생불량 등의 요인에 의한 손상으로 판단되며, 향후 손상부 탈락으로 주행차량의 안전사고가 우려되므로 손상 제거 후 보수(단면보수)가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 기 보수부 박락은 보수 미흡(치핑 미실시, 표면보수층의 두께 부족 등) 및 공용년수 증가로 인한 표면 보수재 경화 등의 요인으로 손상이 재노출된 것으로 판단되며, 이 또한, 손상부의 탈락으로 주행차량의 안전사고가 우려되므로 손상부에 대한 제거 후 보수(단면보수)가 요구된다.
측벽부	◦ 측벽부에 대한 외관조사결과, 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 망상균열, 백태, 타일 균열 및 탈락 등의 손상이 발생한 것으로 조사되었다.	① 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 망상균열 측벽부에서 조사된 종방향 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상)은 천단부와 벽체와의 곡선반경이 변하는 구간에서 발생하고 있으며, 이는 굴착면의 품질관리 미흡과 숏크리트에 작용하는 응력집중 및 불균형, 여굴과 미굴에 따른 라이닝 좌·우 두께 차이, 숏크리트와 라이닝의 들뜸에 따른 지반-구조물 상호작용의 차이, 거푸집 밀착과 탈형을 위한 Jacking force 등의 복합적인 원인에 의한 것으로 판단된다. 또한, 측벽부의 Span. 4, 26, 28, 39에서 망상균열이 조사되었으며, 균열폭은 0.1~0.2mm 정도로 시공초기에 다짐불량, 재료적수축, 거푸집조기 탈형 등의 원인으로 망상균열이 발생한 것으로 판단된다. 측벽부의 콘크리트 라이닝에서 횡균열이 Span. 24, 27, 29~33, 52, 55에 발생하였으며, 측벽에 타일마감이 시공된 경우에는 반사균열의 형태로 균열이 조사되었다. 금회 점검시 조사된 횡균열은 공동구 및 배수구 등 하부구조물을 우선 시공한 후 강재거푸집을 기존 타설부 및 신설부에 맞대어 2차 라이닝을 타설하게 되며, 이때 2차 라이닝 하부는 외적으로 기존 타설된 공동구 및 배수구의 단부구속 영향을 받게 되고 내적으로는 2차 라이닝의 소성수축과 건조수축에 따라 접속부로부터 인장응력이 발생하여 횡균열이 발생한 것으로 판단된다. 금회 점검시 조사된 균열은 구조물의 내구성 저하 방지를 위해 균열폭(0.3mm미만: 표면보수, 0.3mm이상: 주입보수)에 따른 보수를 시행하여 유지관리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
측벽부	◦ (계속)	② 균열의 진행성 검토 콘크리트 라이닝에 발생한 균열폭 $C_w=0.3\text{mm}$ 이상의 균열은 보수·보강 이력사항을 확인한 결과 “2022년 울산지사 관내 시설물 연간 유지보수공사(2022.12)_진양건설(주)” 균열에 대한 주입보수를 시행한 것으로 검토되었다. 이전 정밀안전점검(2021.08)에서 조사된 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상)에 대한 진행성 여부를 측정·조사한 결과 균열폭 및 단차 등의 변화는 관찰되지 않아 균열의 진행성은 없는 것으로 판단되며, 금회 점검시 추가로 조사된 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상)은 새로운 손상이 아닌 이전 점검자가 미처 확인하지 못하여 조사가 누락된 손상으로 보여진다. ③ 백태, 표면오염 Span. 1에서 조사된 백태는 균열 발생 부위로 수분 유입 및 대기중의 부유 오염 물질 등의 영향을 받아 콘크리트 내부에 존재하는 석회화합물과 반응하여 표면에 퇴적되어 나타나는 현상으로 내구성 저하 방지를 위한 주입보수가 요구된다. 또한, 종점 갭구부는 원통절개식으로 외기에 노출된 부재의 특성상 우기시 표면수가 유입되어 Span. 76에서 백태 및 표면오염이 조사되었으며, 콘크리트 부재의 열화, 박리 등을 야기할 수 있으므로 손상부에 대한 표면보수가 요구된다. ④ 타일 탈락, 파손 본 터널 측벽부에 조사된 타일 탈락 및 파손은 시공이음 주변, 타일 상단 및 하단부에 집중적으로 발생하고 있으며, 이는 공용중 외부 충격 및 온도변화에 따른 신축·터널내 지속적인 진동·타일 부착력 저하 등의 복합적 요인에 의한 것으로 판단되고 현 상태에서의 보수보다는 주의관찰이 요구된다. ⑤ 타일 균열 측벽부 Span. 32, 33에 타일 균열이 발생한 것으로 조사되었으며, 이는 콘크리트 라이닝의 횡균열이 타일부착부에 반사되어 나타나는 현상으로 손상정도가 경미하여 주의관찰이 요구된다.
갭문	◦ 갭문 및 본선과의 접속부에 대한 외관조사결과, 구조물에 손상이 발생되지 않은 건전한 상태인 것으로 조사되었다.	① 갭문 상태양호 시·종점에 시공된 갭문은 특히 손상이 발생되지 않은 건전한 상태이며, 현 상태를 지속적으로 유지할 수 있도록 주기적인 점검을 통한 유지관리가 요구된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
배수시설	◦ 터널 내부 배수시설에 대한 외관조사결과, 측구에 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 망상균열, 파손이 조사되었으며, 그레이팅이 설치된 집수구의 내부에 이물질이 퇴적된 것으로 확인되었다.	① 측구 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상) 측구에서 조사된 균열은 콘크리트 경화시 수축과 구속의 영향으로 공동구에서 횡방향으로 발생하고 있으며, 점검일 현재 균열폭은 대부분 $Cw=0.1\sim0.3mm$의 균열로서 주의관찰이 요구되고 향후 포장부 보수시에 일괄적으로 보수하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. ② 측구 파손 측구 파손은 포장부와의 경계인 종방향 시공줄눈 주변 및 측구 균열에서 발생하였으며, 이는 온도변화에 따른 강성포장체의 신축거동, 공용중 차량의 충격하중, 손상부 동결융해작용 등의 요인에 의한 것으로 판단되고 손상이 심화되지 않도록 단면보수를 통한 유지관리가 요구된다. ③ 집수구 이물질퇴적 집수구 상면에 설치된 그레이팅은 전반적으로 양호한 상태이나, 배수시설 내부는 환경적인 요인 등의 영향으로 이물질이 퇴적되고 있는 것으로 조사되었다. 배수시설 내부에 이물질이 지속적으로 유입될 시 배수 기능의 상실이 우려되므로 원활한 배수처리를 위해 주기적인 준설 및 청소가 요구된다.
공동구	◦ 공동구에 대한 외관조사결과, 측면에 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 백태, 파손, 박락, 누수흔적, 덮개 파손이 발생한 것으로 조사되었다.	① 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상) 공동구 측면에서 다수 조사된 균열은 콘크리트 경화시 수축과 구속의 영향으로 수직방향으로 발생하고 있으며, 점검일 현재 균열폭은 대부분 $Cw=0.1\sim0.3mm$의 균열로 조사되고 균열폭 $Cw=0.3mm$ 이상의 균열에 대해서는 주입보수를 실시하여 유지관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. ② 파손 공동구 측면에서 발생한 파손은 주행차량의 추돌에 의한 손상으로 판단되며, 손상정도는 경미하나 내구성 저하 방지를 위해 손상부에 대한 단면보수가 요구된다. ③ 백태, 누수흔적 Span. 32의 시공이음부에서 백태 및 누수흔적이 발생한 것으로 조사되었으며, 이는 콘크리트 라이닝 배면에서 유입된 침투수에 의한 손상으로 판단되고 점검일 현재 손상부는 건조한 상태로서 표면보수를 시행한 후 지속적인 점검을 통한 유지관리가 요구된다. ④ 덮개 파손 공동구의 덮개에서 조사된 파손은 덮개판 설치시 충격 및 공용중 외력에 의한 손상으로 판단되며, 유지관리시 점검자 및 관리자의 안전사고 발생 위험을 내재하고 있어 손상부에 대한 덮개 재설치가 요구된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
포장부	◦ 포장부에 대한 외관조사결과, 포장 균열 및 망상균열, 파손, 재료분리가 발생하고 있는 것으로 조사되었다.	① 포장 균열, 망상균열 일부 구간에서 조사된 포장부 균열은 건조수축 및 온도변화, 공용중 반복적인 차량 윤회중 재하 등의 요인에 의한 손상으로 판단되며, 손상 정도가 경미하여 주의관찰이 요구된다. ② 포장 파손(줄눈 주변) 포장부에 설치된 줄눈 주변으로 파손이 국부적으로 발생하고 있으며, 이는 온도변화에 따른 강성포장체의 신축거동, 반복적인 차량 통행에 의한 하중 등의 요인에 의한 손상으로 판단된다. 급회 점검시 조사된 포장부 줄눈에 발생한 단면손상은 방치시 심화 및 증가할 것으로 예상되어 진행을 억제하고 차량의 주행성 및 안전성을 확보할 수 있도록 손상부 절삭 후 무수축콘크리트 타설을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. ③ 파손(패임) 및 재료분리 포장부에서 조사된 파손(패임), 재료분리는 콘크리트 타설시 품질관리미흡(배합 및 골재불량, 다짐미흡 등)에 의한 손상으로 판단되며, 향후 차량의 반복적인 통행에 의한 하중으로 마모, 골재 탈리 등의 손상이 발생할 수 있으므로 보수를 시행하여 유지관리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.
부대시설	◦ 갹구부 옹벽 갹구부 옹벽에 대한 외관조사결과, 손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다. ◦ 사면 사면에 대한 외관조사결과, 종점부에 웬스 파손이 발생한 것으로 조사되었다. ◦ 터널 외부배수로 터널 외부배수로에 대한 외관조사결과, 시점 갹구부 상단에 설치된 도수로에서 균열(0.3mm이상)이 1개소 발생한 것으로 조사되었다.	① 갹구부 옹벽 상태양호 시점의 우측에 시공된 갹구부 옹벽은 특이 손상이 발생하지 않은 건전한 상태이며, 현 상태를 지속적으로 유지할 수 있도록 주의관찰이 요구된다. ① 사면 표면보호공 상태양호 사면의 표면보호를 위해 시공된 녹생토는 전반적으로 식생 활착이 양호한 상태로 조사되어 주의관찰이 요구된다. ② 웬스 파손 사면 내에 웬스가 일부 구간에 설치되어 있는 것으로 확인되었으며, 공용중 외력에 의한 웬스가 일부 파손된 것으로 조사되었다. 사면에 설치된 웬스는 야생 동물이 고속도로로 진입하지 못하게 하여 주행중인 차량의 안전사고를 예방하기 위한 야생동물유도울타리로서 웬스 파손에 대한 부분적인 보수가 요구된다. ① 도수로 균열(0.3mm이상) 시점 갹문 상단부에 설치된 도수로에서 조사된 균열은 균열부위에 대한 보수 미흡(표면보수층의 두께 부족, 부분 미충진 등의 충전불량)으로 인한 표면 보수재 경화로 균열이 재노출된 것으로 판단되며, 손상부는 균열폭(0.3mm미만: 표면보수, 0.3mm이상: 주입보수)에 따른 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

부재	주요결함 및 외관조사결과	검토의견
기타 부속시설	◦ 기타 부속시설에 대한 외관조사결과, 내부에 설치 및 비치된 부속시설의 외관 및 관리상태는 양호한 것으로 확인되었다.	① 기타 부속시설 상태양호 본 터널의 내부에 설치된 부속시설의 설치상태가 양호하고 시설물의 사용성을 저해할만한 문제점은 없는 것으로 판단되며, 공용중 부속시설의 상태변화 및 제기능 확보에 대한 지속적인 관찰 및 점검이 요구된다.
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설 (사면 내 점검계단)	◦ 터널의 시·종점 사면에 안전점검 및 유지관리를 위하여 점검계단이 설치되어 있으며, 외관조사결과 연결부 체결상태 및 고정상태는 전반적으로 양호한 것으로 조사되었으나, 외기 노출부재의 특성상 지속적인 수분접촉으로 경미한 부식이 발생하여 주의관찰이 요구된다. 금회 조사된 손상은 기능에 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태로 중대한 결함은 없는 것으로 조사·검토되었다.
	◦ 도로포장 (교면포장)	◦ 본 해운대터널(울산)은 총 연장 680.0m로 콘크리트 포장 이 시공되어 있으며, 포장균열 및 망상균열, 파손, 재료분리 등의 손상이 조사되었으며, 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아닌 것으로 검토되었다. 금회 조사된 손상은 일부 보수가 요구되나, 중대한 결함은 발생하지 않은 것으로 검토되었다.
	◦ 환기구 등의 덮개 (공동구 덮개, 배수시설 그레이팅)	◦ 본 공동구의 상부에는 콘크리트 덮개가 설치되어 시설물의 안전점검 및 유지관리자가 이용하고 있어 공중이 이용하는 부위에 대한 점검결과 덮개 파손이 발생한 것으로 조사되었으며, 덮개 손상으로 유지관리에 안전사고 발생 위험을 내재하고 있어 손상부에 대한 일부 보수가 필요한 상태로 검토되었다. 또한, 포장부 좌·우측에는 측구가 시공되어 일정한 간격으로 집수구가 위치하고 상면에는 철재 그레이팅 덮개가 설치된 것으로 확인되었다. 배수시설의 그레이팅 덮개는 차량이동 구간에 인접하게 설치된 상태이며, 공용중 덮개 유실, 지지상태 불량 등으로 주행차량의 안전사고 발생 가능성이 있어 공중이 이용하는 부위에 포함하였다. 그레이팅 덮개에 대한 점검결과 덮개의 지지상태는 양호하였으며, 덮개 유실 등의 손상이 발생하지 않은 상태로 지속적인 점검을 통한 주의관찰이 요구된다.
유해· 위험요인 (10대)	◦ 본 과업대상 해운대터널(울산)은 중대시민재해를 유발할 수 있는 위험요소로 낙하물(고드름 낙하사고), 콘크리트 열화(터널 배수구 뚜껑파손) 등의 항목이 해당된다.	◦ 공중이용시설 10대 위험요소 중 터널에 해당하는 항목에 대한 점검결과, 본 터널은 포장부 좌·우측에 측구를 시공하여 일정간격으로 집수구(그레이팅 덮개)가 설치되어 있으며, 일부 균열 및 파손 등의 손상이 확인되었지만, 재해를 유발할 정도의 손상은 아닌 것으로 검토되었다. 또한 터널의 입·출구부의 라이닝의 누수는 없는 상태이며, 향후 소형 결함으로도 재해 발생 가능성이 있으므로 유해·위험요인이 있는 취약시설물에 대한 중점관리 및 예방 차원의 긴급보수·보강 등의 유지관리가 요구된다.

6.3 내구성 조사

시 험 명	시험부위		시험 결과	책임기술자 의견
비파괴강도 (MPa)	라이닝		26.8 ~ 27.1	· 설계강도 이상을 확보 - 라이닝: 24.0MPa
탄산화시험 (mm)	라이닝	탄산화 깊이	4.7 ~ 5.5	· 탄산화 등급은 “a”등급
		잔여깊이	53.5 ~ 57.3	
종합평가	· 비파괴강도 측정결과, 라이닝의 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정·검토됨. 건전부와 비건전부 비교결과 비건전부의 강도저하는 있으나 설계기준강도 100%이상으로 강도부족에 의한 내구성저하는 없는 것으로 분석됨. · 탄산화시험결과, 라이닝의 탄산화 잔여깊이는 30mm이상으로 상태평가 기준“a”등급으로 조사되어 탄산화에 대한 철근부식 발생 우려는 없는 것으로 판단됨.			

6.4 종합평가

1) 상태평가

구조물	결함지수	상태평가 결과	시설물의 결함지수 (F)	
기본시설	0.202	B	기본시설 결함지수(F) × 부대시설 가중치(W) = 0.202 × 1.00	
부대시설	0.000	A		
			결함지수	0.202
			상태평가 등급	B

본 해운대터널(울산)의 상태평가 결과 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태”인 「B등급」으로 평가되었다.

2) 종합평가

구분	상태평가		안전성평가	
	평가지수	평가기준	안전율	평가기준
평가결과	0.202	B	미 실시 (정밀안전진단 과업)	
안전등급 지정				
	상태평가 B		안전성평가 (미 실시) -	
	안전등급 B			

안전등급은 상태평가 결과와 안전성평가 결과 중 낮은 등급을 안전등급으로 지정하나 금회 실시한 정밀안전점검에서는 안전성평가(정밀안전진단 과업)를 실시하지 않아 안전등급은 B등급 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태”로 지정되었다.

3) 공중이 이용하는 부위 상태평가

구분	시설물명	등급	비고
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설	b	사면 내 점검계단
	◦ 도로포장	b	콘크리트 포장
	◦ 도로부 신축이음부	-	해당없음
	◦ 환기구 등의 덮개	c	공동구 덮개, 배수시설 그레이팅 덮개

본 터널은 공중이 이용하는 부위로 추락방지시설(사면 내 점검계단), 도로포장, 환기구 등의 덮개(공동구 덮개, 배수시설 그레이팅 덮개) 등이 해당되며, 금회 점검시 조사된 결함으로 각 평가항목 및 기준에 따라 상태평가 결과 중대한 결함은 발생하지 않은 상태로 평가되었다.

6.5 정밀안전진단 및 사용제한 필요성

정밀안전점검 대상 시설물인 해운대터널(울산)은 2008년 준공 후 15년이 경과된 터널으로서 금회 정밀안전점검 결과 시공상태가 양호하고, 활하중 작용 등 외력에 의한 구조적 결함이나 손상이 없는 상태로서 국부적으로 발생한 손상·결함부에 대해 보수를 시행한다면 구조물의 기능성과 안전성을 확보할 수 있으므로 현재 상태의 정밀안전진단 및 사용제한 등의 필요성이 없으며 향후 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”에 의한 정기점검, 정밀안전점검 등의 시행과 동절기와 해빙기를 전·후하여 특별점검 등 지속적 유지관리를 행하면 설계시 의도한 내구연한을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

6.6 보수·보강 방안

1) 보수·보강 방안 및 개략공사비

점검부위	결합 및 손상내용	손상물량	보수물량	단위	보수·보강(안) 공법	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위	비고
천단부	균열(0.3mm미만)	10.00	2.50	m/m ²	표면보수	65	162	3	
	균열(0.3mm이상)	10.00	10.00	m	주입보수	80	800	1	
	균열부백태	1.00	1.00	m	주입보수	80	80	1	
	박락, 보수부 박락	0.48	1.00	m ² /식	제거 후 단면보수	3,000	3,000	1	
측벽부	균열(0.3mm미만)	92.60	23.15	m/m ²	표면보수	65	1,505	3	
	균열(0.3mm이상)	1.50	1.50	m	주입보수	80	120	1	
	망상균열	6.25	9.38	m ²	표면보수	65	609	3	
	백태	1.25	1.88	m ²	표면보수	65	122	3	
배수시설	측구 파손	0.31	1.00	m ²	단면보수	240	240	2	
	집수구 이물질 퇴적	28	28	EA	청소	20	560	1	
공동구	균열(0.3mm이상)	8.50	8.50	m	주입보수	80	680	2	
	백태	0.15	1.00	m ²	표면보수	65	65	2	
	파손	0.31	1.00	m ²	단면보수	240	240	2	
	박락	0.20	1.00	m ²	단면보수	240	240	2	
	누수흔적	0.01	1.00	m ²	표면보수	65	65	2	
	덮개 파손	16	16	EA	덮개 재설치	500	8,000	2	
포장부	파손	1.40	2.10	m ²	절삭 후 단면보수	300	630	2	
	재료분리	9.30	13.95	m ²	절삭 후 단면보수	300	4,185	3	
사면	웬스 파손	2.00	2.00	m	웬스 재설치	300	600	3	
도수로	재균열(0.3mm이상)	1.00	1.00	m	주입보수	80	80	2	
순 공사비							21,983		
제경비(순공사비×0.5)							10,992		
총 공사비							32,975		

※ 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건 상 변동될 수 있음.

6.7 종합결론

1) 해운대터널(울산)는 준공 후 15년이 경과된 NATM 터널으로 금회 정밀안전점검결과 콘크리트 라이닝에서 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 균열부백태, 망상균열, 백태, 시공이음부 들뜸 및 박락 등이 발생하고 터널 주변시설의 배수시설 집수구 막힘, 측구 균열 및 파손, 공동구 균열 및 파손, 덮개 파손, 포장부 균열 및 줄눈 주변 파손 등의 손상이 조사되어 손상부에 대한 적절한 보수가 요구된다.

콘크리트 라이닝의 시공이음부에 발생한 들뜸 및 박락은 향후 손상부 탈락으로 주행차량의 안전사고가 우려되므로 우선적으로 손상 제거 후 보수 등의 유지관리가 요구된다.

2) 내구성시험 결과, 반발경도법에 의한 비파괴 강도는 100%을 상회하는 것으로 측정되어 강도저하는 없는 것으로 판단되고 탄산화 시험은 모든 측정부위에서 탄산화 잔여깊이가 30mm이상으로 탄산화에 의한 내구성 저하는 발생하지 않은 것으로 검토되었다.

3) 따라서, 본 터널은 「보조부제에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부 보수가 필요한 상태」인 “B등급”으로 평가되었으며, 금회 점검시 조사된 손상·결함부에 대하여 보수를 시행한다면 공용상의 문제는 없을 것으로 판단되고 시설물 등급의 상향 또는 현 상태의 등급을 지속적으로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 정밀안전진단 및 시설물의 사용제한의 필요성 여부

- 금회 정밀안전점검 실시결과 시설물의 사용제한 필요 없는 것으로 판단된다.

5) 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

- 콘크리트 라이닝 균열(0.3mm이상)의 진전 및 추가 발생유무
- 시공이음 들뜸 및 박락의 손상부 탈락 발생유무
- 포장 줄눈 주변 파손의 심화 및 주행성 저하 유무

6) 기타 필요한 사항

- 터널의 효율적인 유지관리를 위한 내부에 스팬(Span) 번호(No.)가 적힌 명판 설치 필요
- 일부 공동구 덮개파손으로 점검·유지관리자의 이동시 전도 등의 안전사고가 발생할 수 있으므로 덮개 파손부 교체와 함께 점검·유지관리자에 대한 안전교육 필요