

요 약 문

1. 과업의 명칭

2023년 국도42호선 상하터널(상) 등 6개소 정밀안전점검 용역

2. 과업의 목적

본 용역은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제11조에 따른 정밀안전점검으로서, 시설물에 대한 물리적·기능적 결함을 조사하고, 구조적 안전성 및 손상상태를 점검하여, 재해를 예방하고 시설물의 효용을 증진시켜 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

3. 과업의 기간

- 과업수행기간 : 착수일로부터 72일간
- 계약기간 : 2023년 3월 30일 ~ 2023년 6월 9일

4. 대상시설물 현황

구 분	내 용	구 분	내 용
터널명	능안터널(하)		
시 행 청	수원국토관리사무소	관리주체	수원국토관리사무소
노 선 명	일반국도 42호선	시설물번호	TU2018-0000169
시설물종류	도로터널	시설물종별	2종
시설물위치	시점 : 경기도 용인시 처인구 삼가동 447-5 종점 : 경기도 용인시 처인구 삼가동		
연 장	390.0m	설계사	(주)한맥기술, (주)도우엔지니어즈
종단구배	S = -0.500%	시공사	(주)대우건설, 한라산업개발(주)
곡선반경	R=2,300m	감리사	(주)동일기술공사
내공단면	-	착공일자	2009년 03월 03일
배수형식	배수식	준공일자	2018년 11월 29일
갱문형식	변형 벨마우스	환기방식	자연환기
주요공법	NATM	보조공법	강관다단그라우팅

5. 과업의 범위 및 내용

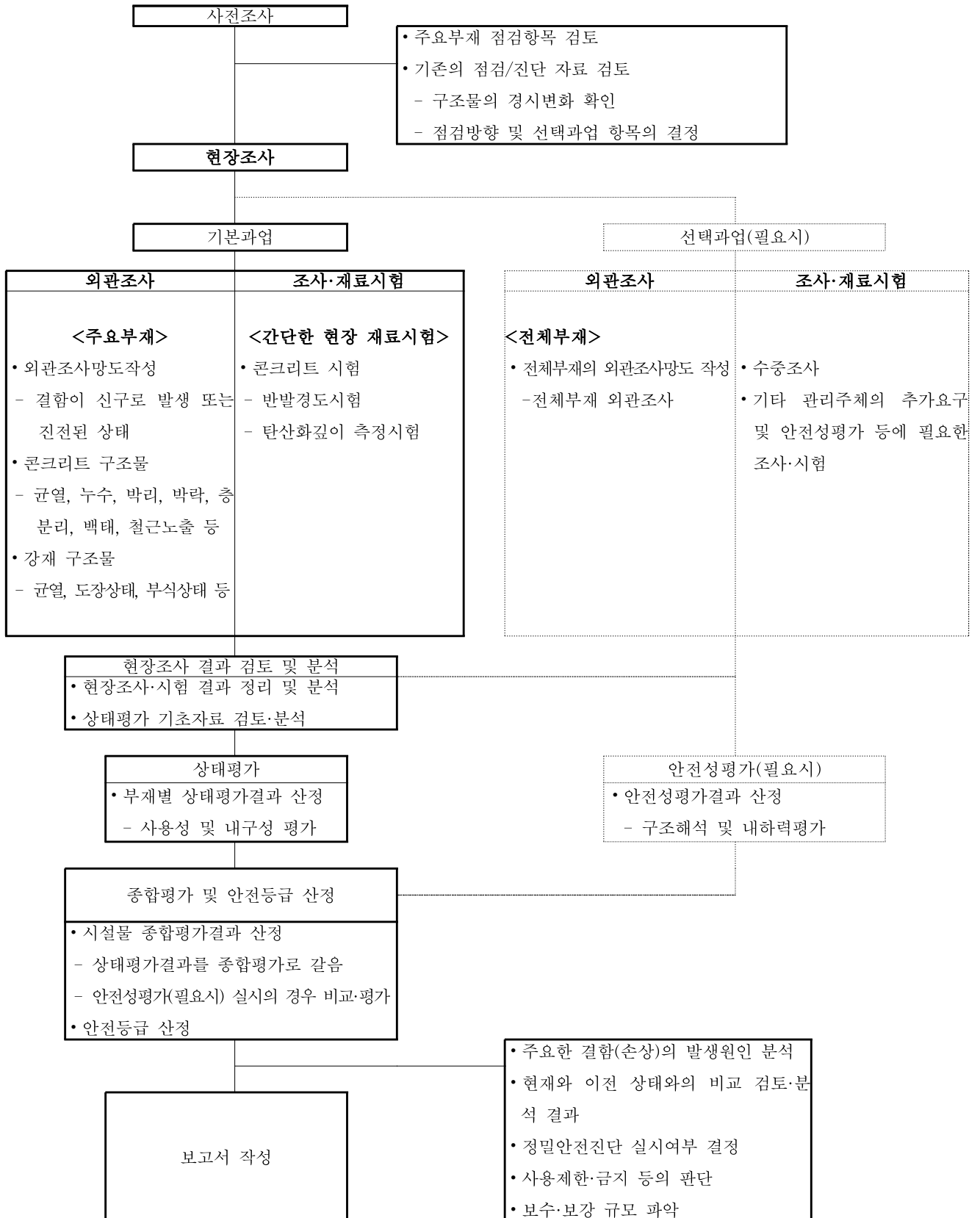
5.1 과업의 범위

- 1) 자료수집 및 분석(시설물 이력, 관련도면, 유지관리자료, 기 진단·점검보고서 등)
- 2) 현장 외관조사, 내구성조사 및 시험(결합조사 및 원인 분석, 장비에 의한 시험)
- 3) 상태평가(현장조사 결과에 따른 시설물의 상태평가 실시)
- 4) 종합평가 및 안전등급(조사 및 평가결과를 종합한 결과 및 안전등급 지정)
- 5) 보수·보강방안 및 유지관리 방안 제시
- 6) 보고서 작성 및 준공

5.2 과업의 내용

구 분		내 용	비 고
자료수집 및 분석		·설계자료, 준공도면, 시설물관리대장 등 관련자료 수집 및 분석 ·기존 점검 및 진단보고서, 보수·보강 이력, 유지관리자료 검토	
현장 조사 및 시험	외관 조사	·부재 및 경간별 결합 및 손상 조사 ·신축이음장치 및 교량받침 기능상태 조사	
	재료시험 및 측정	·콘크리트 강도시험(반발경도시험) ·콘크리트 탄산화 깊이 측정	
상태평가		·외관조사 및 재료시험 결과분석 및 반영 ·부재별 상태평가 실시 후 중요도에 따른 가중치를 고려한 시설물 전체에 대한 상태평가 결과 산정, 결과에 대한 소견	
종합평가 및 안전등급		·조사 및 평가 결과를 종합한 평가 실시, 시설물의 안전등급 지정	
보수 및 보강 방안 제시		·결합 및 손상부위에 대한 원인분석 및 대책수립 ·기능 회복 및 향상을 위한 보수·보강 방안 제시, 우선순위 결정	
유지관리방안 제시		·유지관리상 중점 점검사항 작성 ·효율적인 유지관리를 위한 방안 제시	
보고서 작성		·최종보고서 작성, 제출	

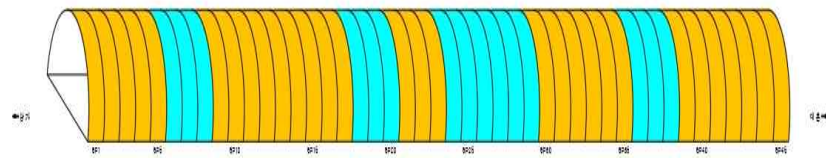
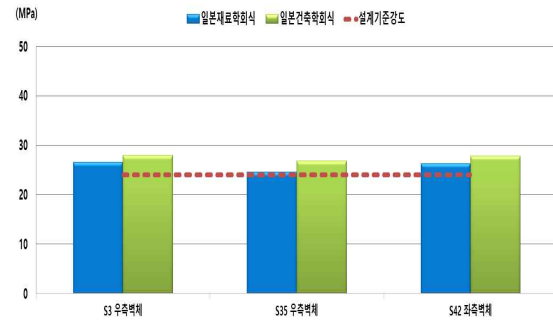
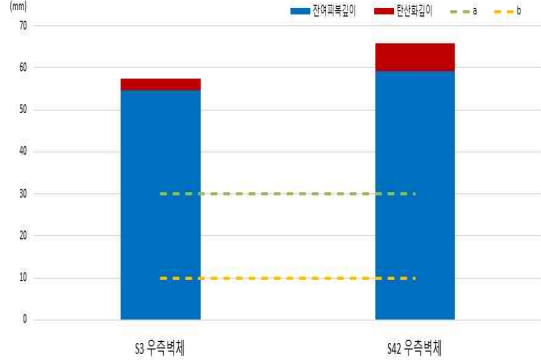
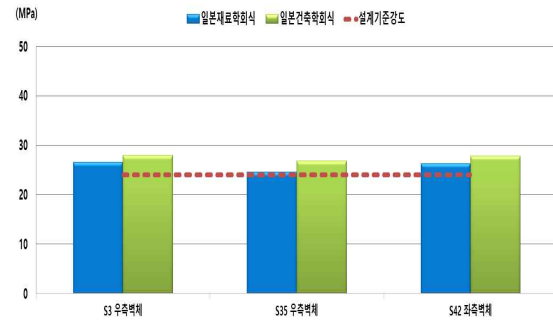
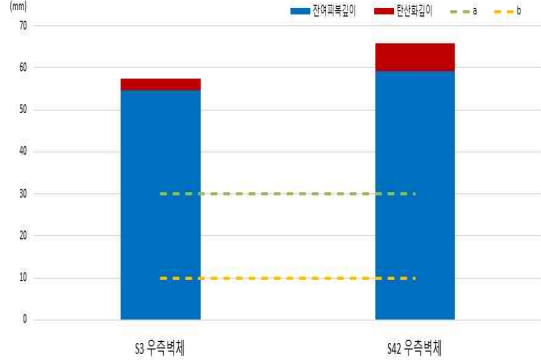
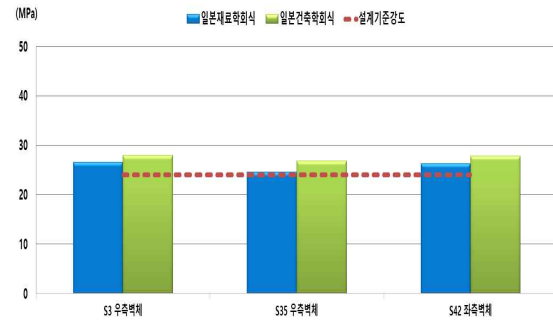
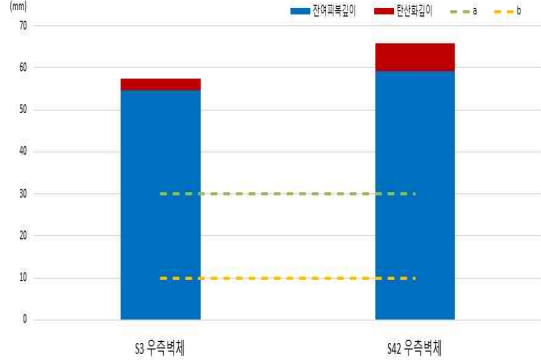
5.3 과업수행 흐름도



5.4 과업의 수행 일정

공 정 \ 기 간		용역기간: 2023. 03. 30. ~ 06. 09.(착수일로부터 72일간)															비 고
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	72	
1. 자료수집 및 분석 (도로공사 신고)																	계약 3/28
2. 현장조사 및 시험																	
3. 시설물 평가 1) 상태평가 2) 안전등급 지정																	
4. 조사결과 정리 및 분석																	
5. 보수·보강방안 수립																	
6. 유지관리방안																	
7. 보고서 작성/ 성과품 제출																	과업 종료 6/9 준공 9/25
계획공정(%)	계	5	5	5	8	7	10	10	8	8	10	8	6	6	2	2	
	누계	5	10	15	23	30	40	50	58	66	76	84	90	96	98	100	

5.5 정밀안전점검 결과 요약

구 분		내 용		구 분		내 용																			
외 관 조 사 결 과	 능안터널(하) <table><tr><th>구 분</th><th>구 분</th><th>구 분</th><th>구 분</th><th>구 분</th></tr><tr><td>구 분</td><td>구 분</td><td>구 분</td><td>구 분</td><td>구 분</td></tr><tr><td>구 분</td><td>구 분</td><td>구 분</td><td>구 분</td><td>구 분</td></tr></table>			구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	구 분	보 수 방 안	•주의관찰, 표면처리, 주입보수, 단면보수, 공동구 덮개재설치 등					
				구 분	구 분	구 분	구 분	구 분																	
구 분	구 분	구 분	구 분	구 분																					
구 분	구 분	구 분	구 분	구 분																					
개 략 공 사 비	•하자보수 및 개략공사비			<table><tr><th>구 분</th><th>능안터널(하)</th></tr><tr><td>개략공사비(천원)</td><td>48,900,010</td></tr></table>			구 분	능안터널(하)	개략공사비(천원)	48,900,010															
구 분	능안터널(하)																								
개략공사비(천원)	48,900,010																								
내 구 성 조 사	<table><tr><th>반발경도에 의한 콘크리트 강도시험</th><th>탄산화 깊이 측정</th></tr><tr><td>•압축강도시험 결과 설계기준강도(24.0MPa)를 상회함</td><td>•탄산화 깊이 측정결과 전 개소 “a”의 상태(탄산화 잔여 깊이 30mm이상)로 평가됨</td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>			반발경도에 의한 콘크리트 강도시험	탄산화 깊이 측정	•압축강도시험 결과 설계기준강도(24.0MPa)를 상회함	•탄산화 깊이 측정결과 전 개소 “a”의 상태(탄산화 잔여 깊이 30mm이상)로 평가됨			중 점 유 지 관 리 사 항	<table><tr><th>중점유지 관리 사항</th><th>관련사진</th><th>중점유지 관리 사항</th><th>관련사진</th></tr><tr><td>•터널 균열(cw=0.3mm이상)→ 현시점 상태등급“C”등급의 균열에 대해 진전여부 손상 비교가 필요할 것으로 판단 됨</td><td></td><td>•누수, 누수 및 백태 → 박리 및 박락은 진행 여 부에 따라 탈락 위험이 있어 주행차량의 사고의 원인이 될 수 있으므로 보수후 주의 관찰이 필요</td><td></td></tr><tr><td>•누수→ SPAN3~4 구간에 누수가 조사됨.(스며있는 경 미한 상태)누수 발생으로 인한 콘크리트 열화여부 및 진행여부 점검이 필요함</td><td></td><td>•산마루 측구 배수로 아격 → 현시점 배수계통에 문제 는 없으나 주기적인 점검을 통해 손상진전에 대한 비교 점검이 필요함</td><td></td></tr></table>			중점유지 관리 사항	관련사진	중점유지 관리 사항	관련사진	•터널 균열(cw=0.3mm이상)→ 현시점 상태등급“C”등급의 균열에 대해 진전여부 손상 비교가 필요할 것으로 판단 됨		•누수, 누수 및 백태 → 박리 및 박락은 진행 여 부에 따라 탈락 위험이 있어 주행차량의 사고의 원인이 될 수 있으므로 보수후 주의 관찰이 필요		•누수→ SPAN3~4 구간에 누수가 조사됨.(스며있는 경 미한 상태)누수 발생으로 인한 콘크리트 열화여부 및 진행여부 점검이 필요함		•산마루 측구 배수로 아격 → 현시점 배수계통에 문제 는 없으나 주기적인 점검을 통해 손상진전에 대한 비교 점검이 필요함	
	반발경도에 의한 콘크리트 강도시험	탄산화 깊이 측정																							
•압축강도시험 결과 설계기준강도(24.0MPa)를 상회함	•탄산화 깊이 측정결과 전 개소 “a”의 상태(탄산화 잔여 깊이 30mm이상)로 평가됨																								
																									
중점유지 관리 사항	관련사진	중점유지 관리 사항	관련사진																						
•터널 균열(cw=0.3mm이상)→ 현시점 상태등급“C”등급의 균열에 대해 진전여부 손상 비교가 필요할 것으로 판단 됨		•누수, 누수 및 백태 → 박리 및 박락은 진행 여 부에 따라 탈락 위험이 있어 주행차량의 사고의 원인이 될 수 있으므로 보수후 주의 관찰이 필요																							
•누수→ SPAN3~4 구간에 누수가 조사됨.(스며있는 경 미한 상태)누수 발생으로 인한 콘크리트 열화여부 및 진행여부 점검이 필요함		•산마루 측구 배수로 아격 → 현시점 배수계통에 문제 는 없으나 주기적인 점검을 통해 손상진전에 대한 비교 점검이 필요함																							
상태 · 종합 평가 결과	<table><tr><th>구 분</th><th>결합도 지수</th><th>평가결과</th><th>안전등급</th><th>비 고</th></tr><tr><td>능안터널(하)</td><td>0.164</td><td>B</td><td>B등급</td><td></td></tr></table>			구 분	결합도 지수	평가결과	안전등급	비 고	능안터널(하)	0.164	B	B등급		종합 결론	•금회 정밀안전점검의 대상 시설물인 능안터널(하)에 구조적인 문제를 일으킬 만한 손상 및 기타 사항은 조사 및 평가되지 않았으며, 조사된 손상에 대한 적절한 보수, 재설치 등을 실시한다면 공용에는 큰 문제가 없을 것으로 판단됨										
구 분	결합도 지수	평가결과	안전등급	비 고																					
능안터널(하)	0.164	B	B등급																						

5.6 시설물 개요

본 과업대상 시설물인 능안터널(하)은 2018년 11월 30일에 준공되어 현재까지 약 5년째 공용중인 2중 시설물로서 연장 390m의 NATM형 도로터널이다.

본 터널의 평면선형은 곡선($R=2,276$) 및 직선 구간으로 시공되어 있으며, 종단구배는 -0.5이다. 공법은 NATM 및 개착터널이며, 본선의 지보패턴은 표준단면- 3, 4, 5, 6 으로 시공되었다.

	
시점측 갭문 전경	터널내부 천단부

5.7 외관조사

5.7.1 외관조사 결과 분석

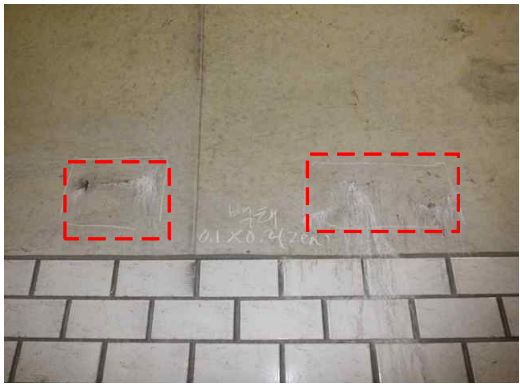
구 분	외관조사 결과 분석
사면	•2018년 준공되어 약 5년이 경과된 상태로 현시점 표토층이 형성되어 암반은 비노출 상태였으며, 표토층의 상태는 적절한 녹생토 시공으로 초, 목류 등 식생이 활발한 상태로 사면 불안정에 따른 이상 징후는 없는 양호한 상태임
배수계통	•2018년 준공되어 약 5년이 경과한 현재 시점 산마루 측구 배수로에 일부 낙엽 퇴적과 이격 1개소가 조사되었다. 해당 손상은 측구 시점부에서 발생하였으며 배수기능에는 문제가 없는 것으로 확인되어 보수보다는 점검시 주의관찰이 필요할 것으로 판단됨

구 분	외관조사 결과 분석
본 선 라이닝	• 균열 -금회 점검시 균열발생 조사 결과 대부분의 균열은 종방향 및 횡방향 균열로 조사되었으며, 국부적으로 반원형 균열, 사방향 균열, 망상균열이 조사됨 -기존 균열발생 수량과 금회 점검 시 균열 발생 물량 비교 결과 SPAN17~19, SPAN25~28 구간에서 다수 증가한 것으로 나타났으며, 전회차 점검 시 조사된 균열 들은 대부분 진전이 없는 상태임 -NATM 터널은 지반변위가 수렴된 이후에 콘크리트 라이닝을 시공하기 때문에 준공 후 지반이 안정된 상태라면 라이닝에 지반의 소성압, 이완하중 등의 외력이 작용하는 경우는 극히 드물지만 원지반에 협재된 취약한 특정 암반의 스웰링(Swelling)과 스퀴징(Squeezing) 등으로 인해 장기 소성변형이 진행 중이거나 터널 내 배수불량으로 인한 잔류수압, 인접위치에서의 굴착공사나 천재지변 등에 의한 지각변동, 석회암 지대의 용식작용과 같은 지반조건의 변화가 있는 경우에는 추가적인 응력이 작용할 수 있다. 자료수집 및 분석 결과 능안터널(하)의 경우 전회차 점검 이후 지반조건의 변화가 없는 상태로 전회차 점검과 균열 손상물량은 큰 변동이 없으며, 신규균열 또한 대부분 미세균열로 지반이완 및 소성압, 이완하중, 팽창압에 의한 구조적 균열 발생은 아닌 것으로 판단됨 -능안터널(하)에서 발생한 균열은 전회차 점검과 비교 시 균열 폭의 진전은 없는 것으로 조사되어 향후 점검시 지속적으로 균열 폭 및 길이진전 등 주의관찰이 필요 -조사된 균열중 상태등급 “c”등급 이상의 균열은 없는 것으로 조사되었으며, 폭 0.3mm이상 균열또한 구조적요인에 의해 발생한 것은 아니지만 내구성 확보 차원의 주입보수가 필요한 것으로 판단됨 -종방향 균열 발생현황 분석결과 지반 및 지형과 관련없이 라이닝의 전 구간에 걸쳐 조사되었으며, 대부분 상태등급 “a~b”에 해당하는 폭 0.3mm이하 균열로 조사됨 -종방향 균열은 Span내에서 한정되어 발생하였고 특히 철근구간에서는 c등급에 해당하는 0.3mm초과 균열은 조사되지 않았으며, 균열 단차 또한 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 전회차 정밀안전점검시 조사된 균열의 진전성 여부를 확인한 결과 대부분 균열의 진전성은 조사되지 않아 종방향 균열의 발생원인은 시공초기 수화열 및 건조수축과 급속타설 등이 복합적으로 작용한 시공초기 균열로 판단됨

구 분	외관조사 결과 분석	
본 선 라이닝	-횡방향 균열 발생현황 분석결과 지반 및 지형과 관련없이 라이닝의 전 구간에 걸쳐 조사되었으며, 대부분 상태등급 “a~b”에 해당하는 0.3mm이하 균열 (52.01%), 0.3mm이상 균열(47.99%) 로 조사되었다. -횡방향 균열 발생현황 분석결과 대부분 벽체 및 어깨부에 발생한 것으로 조사 되었으며, 대부분 벽체하단부에서 수직형태로 일부는 어깨부까지 발생되었고 균열의 방향성은 벽체 하단부에서 상단부로 발생한 것으로 조사되었다. 따라서 균열의 발생원인은 시공초기 수화열에 의한 외부구속응력(선 타설된 콘크리트) 과 건조수축 등이 복합적으로 작용된 비구조적 균열로 판단되며, 일부개소에서 발생한 보수부 재균열은 보수재 노후화 및 시공미흡으로 인해 발생한 것으로 추정됨 -반원형 균열은 신축이음부와 인접하여 발생하였으며, 금회 정밀안전점검시 무 근콘크리트 라이닝에서 폭0.3mm이하 균열(9개소), 폭0.3mm이상 균열(1개소)가 조사됨 -반원형 균열의 발생요인은 강재거푸집을 이용한 라이닝 시공시 기존타설 라이닝과 밀실성 및 연속성을 위해 거푸집 임의길이를 겹쳐 유압잭으로 밀착하게 되며, 이때 기존타설된 라이닝의 경화정도, 유압의 불균형과 이로 인한 라이닝 응력분포차이 등으로 발생한 것으로 판단된다. 현재 반원형 균열에 대한 박락 위험은 없는 것으로 확인되었으나, 공용년수 경과 등에 의해 박락으로 진전될 우려가 있으므로 균열폭에 맞는 보수가 필요	
		
	S4 천단부 종방향 균열(cw=0.2)	S37 천단부 횡방향 균열(cw=0.3)

구 분	외관조사 결과 분석	
본 선 라이닝	-사방향 균열은 터널 진행방향에서 약 45°정도 기울어진 형태로 발생한 균열로 대부분의 균열이 상태등급 “a~b”에 해당하는 폭0.3mm이하 균열(5개소)로 조사됨 -외력에 의한 전단균열의 경우 균열폭이 크고 동일패턴의 균열이 반복적으로 발생하는데 비해 조사된 사방향 균열은 균열폭이 작고, SPAN별 산발적인 발생 분포를 보이며, 어깨부 및 벽체부 하단에서 독립적으로 발생한 형태로 라이닝 연장대비 국부적으로 발생하여 전단균열이 아닌 재료적, 시공적 원인에 의해 발생된 것으로 판단됨 -망상균열의 발생은 대부분 벽체부에서 폭 0.1mm이하의 미세균열로 조사되었으며, 신규손상이 5개소 조사되어 기존 점검과 비교시 증가된 것으로 조사됨 -망상균열은 라이닝 타설 중 다짐과 관련하여 발생하는 것이 일반적이며, 2차 라이닝 타설 시 과다짐 및 workability를 위한 W/C의 부배합은 다짐시 간극수의 이동이 발생되어 표면에 레이턴스를 유발시키며 라이닝 경화 초기의 균열을 발생시키고, 표면수의 영향으로 표면 백태가 발생하기도 한다. 또한, 과다짐과 더불어 재료적 수축, 공기단축을 위한 거푸집 조기탈형 등의 원인으로도 발생됨 -능안터널(하)에서 발생한 망상균열은 표면균열인 것으로 판단되나, 구조물의 내구성 확보차원의 표면보수가 필요한 것으로 판단됨 •누수 -콘크리트 라이닝에 발생한 누수는 전회차 정밀안전점검시 S3에서 발생되었으며, 금회 정밀안전점검시에는 손상의 진전은 없는 것으로 조사됨	
		
	S14 천단부 반원형 균열(cw=0.2)	S12 좌측벽체부 사방향 균열(cw=0.2)

구 분	외관조사 결과 분석
본 선 라이닝	-누수 발생부위는 벽체 하단부이며 시공당시 배면 방수시트 접합이 다소 불량 부위가 라이닝 콘크리트 타설시 외적 요인에 의한 손상으로 우기시 지하수위 상승으로 인해 배면 침투수가 미세한 균열 및 공극부를 통해 유입된 것으로 판단된다. 조사시점시 손상부에 누수가 스며있는 상태로 확인되었으며, 콘크리트 내구성 확보차원의 보수조치가 필요하다. 누수는 건기시와 우기시 및 계절별로 차이가 발생할 수 있고 공용년수 경과에 따른 지수재의 노후화로 인해 누수가 추가발생가능성이 있으므로 향후 유지관리시 주기적인 점검을 통한 주의관찰이 필요한 것으로 판단됨 •재질열화 -금회 정밀안전점검시 조인트에서 박리/박락 7개소가 조사되었다. 시공시 강재 거푸집 설치에 따른 Jack-up 과정에서의 지압력 발생과 거푸집 조기 탈영의 원인과 공용기간 동안의 건조수축에 따른 응력집중 등의 복합적인 요인으로 발생한 손상으로 판단된다. 박리 및 박락은 진행 여부에 따라 탈락 위험이 있어 주행차량의 사고의 원인이 될 수 있으므로 손상 부위 제거 후 단면보수가 필요 -S4 좌측벽체부에서 백태 1개소가 조사되었으며, 시공당시 배면 방수시트 접합이 불량한 부위가 라이닝 콘크리트 타설시 외적 요인에 의한 손상으로 우기시 지하수위 상승으로 인해 배면 침투수가 미세한 균열 및 공극부를 통해 유입된 것으로 판단된다. 또한 점검시 백태 발생부 하부로 누수흔적이 관찰되지는 않았으나 우기시 지속적인 점검이 필요하며, 내구성 저하방지를 위한 표면처리가 필요 •기타손상 -능안터널(하)의 기타손상으로 타일탈락, 신축이음 실링재 탈락, 점검등 미점등 및 설치불량 등의 기타손상은 발생되지 않은 건전한 상태로 조사됨
	 
	S43 좌측벽체부 망상균열(cw=0.1) S3~4 좌측벽체부 누수

구 분	외관조사 결과 분석	
본 선 라이닝		
	S4 우측벽체부 백태	S7 좌측벽체부 박리
터널 부속시설	• 갱문 -주·야간 시·종점 갱문에 대한 외관조사 결과, 준공후 약 5년이 경과한 현재 시·종점측 갱문에서 발생된 손상은 없는 것으로 조사됨	
		
	시점 갱문 전경	종점 갱문 전경
	• 공동구 및 배수시설 -주·야간 시·종점 갱문에 대한 외관조사 결과, 준공후 약 5년이 경과한 현재 시·종점측 갱문에서 발생된 손상은 없는 것으로 조사됨 -공동구파손 및 박리, 덮개파손은 모서리부에 발생되었으며 시공당시 및 공용중 외부충격에 의한 것으로 손상 정도에 따른 보수조치가 필요할 것으로 판단됨 -배수시설은 경미한 토사, 이물질퇴적은 있으나 배수기능에 영향을 미칠만한 수준의 퇴적이 발생하지 않은 상태로 조사되었으며, 상시 원활한 배수기능을 유지할 수 있도록 주기적인 정비가 필요하다.	

구 분	외관조사 결과 분석	
터널 부속시설		
	S25 우측공동구 덮개파손	배수시설 전경
	•포장부 -포장부에 포장균열, 포장 파손 등의 손상이 조사되었다. 발생한 손상은 시공초기 건조수축 및 공용중 중차량 반복하중에 의해 발생한 것으로 확인된다. 포장균열은 손상의 정도가 경미하여 주행차량의 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, SPAN28 구간 포장파손 손상은 방치 시 반복된 차량통행으로 인하여 손상이 진전될 수 있으므로 단면보수를 통한 보수가 필요한 것으로 판단됨 •부속시설 -본 터널의 부속시설은 조명시설, 소화시설, 분기차단기함, CCTV 등으로 구성되어있으며 점검문 개폐후 외관조사 실시 결과 건전한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사됨	
		
공중이 이용하는 부위	•본 터널은 추락방지시설에 대한 해당 사항은 없는 것으로 확인됨 •교면포장 주요손상으로는 포장균열, 소규모 파손이 조사되었으며, 점검일 현재 차량에 직접적인 파손을 유발하여 즉각적인 보수가 필요한 상태는 아니나, 차량 운전자에게 불편감을 유발할 수 있어 주의관찰 및 장기적인 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요할 것으로 판단됨 •본 터널은 도로부 신축이음부에 대한 해당 사항은 없는 것으로 확인됨 •본 터널의 환기구 등의 덮개 시설물은 없는 것으로 조사됨	
		CCTV(영상정보처리기기)현황

5.7.2 기 점검(2021년 정밀안전점검) 결과 비교 분석

금회 정밀안전점검 대상 능안터널(하)은 본선라이닝, 피난연락갱, 공동구, 배수시설, 포장부, 부착시설 등을 최근에 실시한 2021년 정밀안전점검 외관조사 결과와 비교·검토를 수행하였다.

본 터널에 대한 정밀안전점검 결과를 비교·분석한 결과, 금회 점검 시 상세조사 및 공용기간 증가, 차량통행, 외부환경 등에 의해 신규로 라이닝 균열, 망상균열, 재질열화, 공동구 균열, 공동구 파손, 공동구 박리, 덮개파손, 포장균열, 포장 파손, 산마루 측구 배수로 이격 등의 손상물량이 추가로 조사되었다. 기 발생된 손상은 대부분 진전이 없으며, 구조적인 문제는 없을 것으로 판단되나, 보수, 재설치 등을 실시하는 것이 추가손상 방지 및 내구성 확보를 위해 바람직할 것으로 판단된다.

구 분	손 상 내 용	손 상 물 량				단 위	증 감
		2021년 정밀안전점검		2023년 정밀안전점검			
		물 량	개 소	물 량	개 소		
라이닝	횡균열(cw=0.3mm미만)	88.0	37	16.8	12	m	▲ 4.9
	종균열(cw=0.3mm미만)			60.8	12		
	사균열(cw=0.3mm미만)			4.7	5		
	반원형균열(cw=0.3mm미만)			10.6	9		
	횡균열(cw=0.3mm이상)	-	-	15.5	5	m	▲ 24.5
	종균열(cw=0.3mm이상)			5.0	1		
	반원형균열(cw=0.3mm이상)			4.0	1		
	망상균열	41.65	12	72.85	17	m ²	▲ 31.2
	박리 및 박락	0.12	1	0.5	5	m ²	▲ 0.42
	백태	0.04	2	0.04	2	m ²	-
누수	0.16	1	-	-	m ²	▼ 0.16	
공동구	측면 균열(cw=0.3mm미만)	10.5	26	10.5	26	m	-
	측면 균열(cw=0.3mm이상)	1.6	4	2.6	5	m	▲ 1.0
	파손	0.13	1	0.38	2	m ²	▲ 0.25
	박리	-	-	9.0	1	m ²	▲ 9.0
	공동구 덮개 파손	-	-	1.0	1	EA	▲ 1.0
포장부	균열	2.1	3	4.1	5	m	▲ 2.0
	포장파손	-	-	0.04	1	m ²	▲ 0.04
사면	배수로 이격	-	-	0.07	1	m	▲ 0.07

5.8 재료시험 및 측정

구분	시험결과			결과분석
콘크리트 강도시험 (MPa)	위치	반발경도시험 (MPa)	설계강도 (MPa)	반발경도시험에 의한 콘크리트강도 추정결과, 모두 설계기준강도를 상회함
	철근 콘크리트 라이닝	26.3~26.6	24.0	
	무근 콘크리트 라이닝	24.6	24.0	
탄산화 깊이 측정 (mm)	구분	탄산화깊이 (mm)	잔여깊이 (mm)	탄산화 깊이 측정에 의한 잔여피복두께 평가결과, 상부 및 하부구조 모두 'a'로 평가됨
	철근 콘크리트 라이닝	2.83~6.70	54.5~59.2	

5.9 상태평가

5.9.1 상태평가 결과

부재명	라이닝 결함점수		주변상태	결함지수	연장별 가중치	최종 결함지수	상태평가 등급
라이닝	개착식	3.500	2.0	$(3.500+2.0)/43 = 0.127$	0.092	0.164	B
	무근	3.917		$(3.917+2.0)/34 = 0.174$	0.805		
	철근	3.000		$(3.000+2.0)/43 = 0.116$	0.103		
부재명	결함지수결과		상태평가 결과		허용가중치(W)		
부대시설	0.000		A		1.000		

5.9.2 공중이 이용하는 부위 상태평가

구분	평가 결과	조사자 의견
추락방지시설	-	◦ 해당사항 없음
도로포장	b	• 교면포장은 콘크리트 포장(LMC)으로 시공되어 있으며 포장균열, 파손이 조사되었다. 점검 일 현재 균열은 경미한 수준으로 차량주행에 문제는 없으며 점검시 결함의 진행 여부를 지속적 으로 관 찰하여 보수 여부를 진행하는 것이 바람직할 것으로 판단됨
도로부 신축이음부	-	◦ 해당사항 없음
환기구 등의 덮개	-	◦ 해당사항 없음
공중이 이용하는 부위 상태평가 결과		◦ 공중이 이용하는 부위 상태평가 결과 중대한 결함(d 등급)에 해당되는 사항이 없는 것으로 평가되었음

5.9.3 기 정밀안전점검 결과 비교·분석

구 분	2019년 초기안전점검		2021년 정밀안전점검		금회 정밀안전점검	
	결함도 지수	평가결과	결함도 지수	평가결과	결함도 지수	평가결과
기 점검 상태평가 결과	0.119	A	0.172	B	0.164	B
기 점검 상태평가 비교	상태평가 점수 상태평가기준 "d" 상태평가기준 "c" 상태평가기준 "b" 상태평가기준 "a" 초기안전점검 2021년 정밀 2023년 정밀					
검토의견	◦ 기 정밀안전점검 대비 결함도 지수 0.119 ⇨ 0.172 ⇨ 0.164 순으로 전회차 정밀안전점검(2021) 대비 결함도 지수가 감소한 것으로 나타났으나, 상태평가 등급은 동일한 “B등급”으로 평가됨 ◦ 신규손상이 조사되었으나 평가에 영향을 미칠만한 손상은 아닌 것으로 분석됨 ◦ 2021년 점검과 결함도 지수 변동은 터널의 주변상태에서 금회 점검 상태평가 시 배수상태 항목의 점수 부여의 차이에 의한 것으로 분석됨					

5.10 종합평가 및 안전등급 지정

5.10.1 종합평가

구 분	종합평가 결과
상태평가	B(0.164)
종합평가	B
고 찰	• 표토층이 형성되어 암반은 비노출 상태였으며, 표토층의 상태는 적절한 녹생토 시공으로 초, 목류 등 식생이 활발한 상태로 사면 불안정에 따른 이상 징후는 없는 양호한 것으로 관찰됨 • 시·중점부 배수계통은 2018년 준공되어 약 5년이 경과한 현재 시점 산마루 측구 배수로에 일부 낙엽 퇴적과 이격 1개소가 조사되었다. 해당 손상은 측구 시점부에서 발생하였으며 배수기능에는 문제가 없는 것으로 확인되어 보수보다는 점검시 주의관찰이 필요 • 금회 점검시 균열발생 조사 결과 대부분의 균열은 종방향 및 횡방향 균열로 조사되었으며, 국부적으로 반원형 균열, 사방향 균열, 망상균열이 조사됨. 기존 균열발생 수량과 금회 점검 시 균열 발생 물량 비교 결과 SPAN17~19, SPAN25~28 구간에서 다수 증가한 것으로 나타났으며, 전회차 점검 시 조사된 균열 들은 대부분 진전이 없는 상태임. NATM 터널은 지반변위가 수렴된 이후에 콘크리트 라이닝을 시공하기 때문에 준공 후 지반이 안정된 상태라면 라이닝에 지반의 소성압, 이완하중 등의 외력이 작용하는 경우는 극히 드물지만 원지반에 협재된 취약한 특정 암반의 스웰링(Swelling)과 스퀴징(Squeezing) 등으로 인해 장기 소성변형이 진행 중이거나 터널 내 배수불량으로 인한 잔류수압, 인접위치에서의 굴착공사나 천재지변 등에 의한 지각변동, 석회암 지대의 용식작용과 같은 지반조건의 변화가 있는 경우에는 추가적인 응력이 작용할 수 있다. 자료수집 및 분석 결과 능안터널(하)의 경우 전회차 점검 이후 지반조건의 변화가 없는 상태로 전회차 점검과 균열 손상물량은 큰 변동이 없으며, 신규균열 또한 대부분 미세균열로 지반이완 및 소성압, 이완하중, 팽창압에 의한 구조적 균열 발생은 아닌 것으로 판단됨 • 조사된 균열중 상태등급 “c”등급 이상의 균열은 없는 것으로 조사되었으며, 폭0.3mm이상 균열또한 구조적요인에 의해 발생된 것은 아니지만 내구성 확보 차원의 주입보수가 필요한 것으로 판단됨 • 누수 발생부위는 벽체 하단부이며 시공당시 배면 방수시트 접합이 다소 불량 부위가 라이닝 콘크리트 타설시 외적 요인에 의한 손상으로 우기시 지하수위 상승으로 인해 배면 침투수가 미세한 균열 및 공극부를 통해 유입된 것으로 판단됨

구 분	종합평가 결과
고 찰	조사시점시 손상부에 누수가 스며있는 상태로 확인되었으며, 콘크리트 내구성 확보차원의 보수조치가 필요하다. 누수는 건기시와 우기시 및 계절별로 차이가 발생할 수 있고 공용년수 경과에 따른 지수재의 노후화로 인해 누수가 추가발생가능성이 있으므로 향후 유지관리시 주기적인 점검을 통한 주의관찰이 필요한 것으로 판단됨 • 금회 정밀안전점검시 조인트에서 박리/박락 7개소가 조사되었다. 시공시 강재거푸집 설치에 따른 Jack-up 과정에서의 지압력 발생과 거푸집 조기 탈영의 원인과 공용기간 동안의 건조수축에 따른 응력집중 등의 복합적인 요인으로 발생한 손상으로 판단된다. 박리 및 박락은 진행 여부에 따라 탈락 위험이 있어 주행차량의 사고의 원인이 될 수 있으므로 손상 부위 제거 후 단면보수가 필요 • S4 우측벽체부에서 백태 1개소가 조사되었으며, 시공당시 배면 방수시트 접합이 불량한 부위가 라이닝 콘크리트 타설시 외적 요인에 의한 손상으로 우기시 지하수위 상승으로 인해 배면 침투수가 미세한 균열 및 공극부를 통해 유입된 것으로 판단된다. 또한 점검 시 백태 발생부 하부로 누수흔적이 관찰되지는 않았으나 우기시 지속적인 점검이 필요하며, 내구성 저하방지를 위한 표면처리가 필요 • 시·중점 갭문에 대한 외관조사 결과, 준공후 약 5년이 경과한 현재 갭문에서 발생한 손상은 없는 것으로 조사됨 • 공동구는 비구조적인 부재로써 균열의 발생원인은 온도변화 및 건조수축 등에 의한 균열로 판단되며, 균열폭은 0.2~0.3mm로 조사되어 콘크리트 내구성 확보차원의 보수조치가 필요한 것으로 판단된다. 공동구파손 및 박리, 덮개파손은 모서리부에 발생되었으며 시공당시 및 공용중 외부충격에 의한 것으로 손상 정도에 따른 보수조치가 필요할 것으로 판단됨 • 배수시설은 경미한 토사, 이물질퇴적은 있으나 배수기능에 영향을 미칠만한 수준의 퇴적이 발생하지 않은 상태로 조사되었으며, 상시 원활한 배수기능을 유지할 수 있도록 주기적인 정비가 필요 • 포장부에 포장균열, 포장 파손 등의 손상이 조사되었다. 발생한 손상은 시공초기 건조수축 및 공용중 중차량 반복하중에 의해 발생한 것으로 확인된다. 포장균열은 손상의 정도가 경미하여 주행차량의 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, SPAN28 구간 포장 파손 손상은 방치 시 반복된 차량통행으로 인하여 손상이 진전될 수 있으므로 단면보수를 통한 보수가 필요한 것으로 판단됨 • 재료시험 및 측정 결과, 콘크리트 강도 및 탄산화 잔여깊이 등은 양호한 상태인 것으로 확인됨 • 능안터널(하) 전체에 대한 상태평가 결과 B (0.164)로 종합평가 결과는 “B”로 산정됨

5.10.2 안전등급 지정

본 대상시설물의 상태평가 및 종합평가 결과를 종합적으로 검토하여 안전등급을 지정한 결과, “B등급”으로 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태”로 평가되었다.

구 분	종합평가	안전등급	비 고
능안터널(하)	B	B등급(양호)	

5.11 보수·보강 및 유지관리 방안

5.11.1 하자보수 방안 개략공사비

구분	손상 내용	보수방안	단위	손상 물량	보수 물량	단가 (원)	개략공사비 (원)	비고
라이닝	형균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	m	16.8	4.2	275,000	1,155,000	m→m²
	중균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	m	60.8	15.2	275,000	4,180,000	m→m²
	사균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	m	4.7	1.18	275,000	324,500	m→m²
	반원형균열 (cw=0.3mm미만)	표면처리	m	10.6	2.65	275,000	728,750	m→m²
	형균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	m	15.5	20.1	167,000	3,356,700	
	중균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	m	5.0	6.50	167,000	1,085,500	
	반원형균열 (cw=0.3mm이상)	주입보수	m	4.0	5.20	167,000	868,400	
	망상균열	표면처리	m²	72.85	94.71	275,000	26,045,250	
	백태	표면처리	m²	0.04	0.052	275,000	14,300	
	박리 및 박락	단면보수	m²	0.5	0.65	760,000	494,000	
공동구	균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	m	10.5	2.62	275,000	720,500	m→m²
	균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	m	2.6	3.38	167,000	564,460	
	파손	단면보수	m²	0.38	0.50	760,000	380,000	
	박리	단면보수	m²	9.0	11.7	760,000	8,892,000	
	공동구 덮개 파손	덮개재설치	EA	1.0	1.0	70,000	70,000	
포장부	포장 파손	단면보수	m²	0.04	0.05	413,000	20,650	
개략공사비(원)							48,900,010	

주1) 상기 개략공사비는 재경비가 포함된 금액이며, 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 변동될 수 있음

주2) 적용된 공법 및 대가기준은 개략적인 비용을 산출하기 위한 것으로서 실제 보수 시에는 별도의 설계를 통해 공법 및 대가를 산정해야 함

주3) 각 손상물량별로 추가보수 등 여유수량을 감안하여 할증(30%)을 적용하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증 적용을 제외하였음

주4) 2022년 수원국토관리사무소 공종별 유지보수 단가, 2022년 한국도로공사 공종별 유지보수 단가, 2022년 서울시 예산편성 기초 단가 평균 등을 적용하였음.

주5) cw=0.3mm미만 균열(A=0.25m×길이) 적용

5.11.2 중점유지관리 방안

구분	유지관리 내용	관련사진
라이닝	- 터널 균열($cw=0.3\text{mm}$ 이상) → 현시점 상태등급“C”등급의 균열에 대해 진전여부 손상비교가 필요할 것으로 판단 됨.	
	- 박리 및 박락 → 박리 및 박락은 진행 여부에 따라 탈락 위험이 있어 주행차량의 사고의 원인이 될 수 있으므로 보수후 주의관찰이 필요	
	- 누수 → SPAN3~4 구간에 누수가 조사됨.(스며있는 경미한 상태) - 누수 발생으로 인한 콘크리트 열화여부 및 진행여부 점검이 필요함	
배수시설 (터널내)	- 배수시설 → 금회 조사시 이물질퇴적, 토사퇴적 등의 손상은 조사되지 않았으며, 주기적인 점검이 필요할 것으로 판단됨	
배수계통 (터널주변)	- 산마루 측구 배수로 이격 → 현시점 배수계통에 문제는 없으나 주기적인 점검을 통해 손상진전에 대한 비교점검이 필요함	

5.12 종합결론

본 과업에서는 “능안터널(하)” 시설물에 대해 과업수행계획에 따라 시설물 외관조사, 재료시험 및 측정 등의 현장조사를 수행하였으며, 상태평가를 바탕으로 종합평가 및 안전등급 등을 산정한 결과 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태”인 “B등급”으로 산정되었다.

금회 점검 시 상세조사 및 공용기간 증가에 의해 신규 및 추가로 발생한 신규손상과 상태평가(터널 주변 상태 결함점수) 산정시 배수상태에 대한 점수 부여 차이로 인해 결함도지수는 다소 감소한 것으로 평가되었다.

금회 정밀안전점검 결과 구조적인 문제를 일으킬 만한 손상 및 기타 사항은 조사 및 평가되지 않았으며, 조사된 손상에 대한 적절한 보수를 실시한다면 공용에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.