제 1 장 정밀안전점검 개요

1.1 과업의 목적

1.2 과업의 범위 및 내용

1.3 과업수행 일정

1.4 대상구조물의 현황

1.5 사용장비 및 시험기기 현황

1.6 터널기호 정의

제 1 장 정밀안전점검 개요

1.1 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 보수·보강방법 제시) 및 동법 제40조 및 동법 시행령 제28조에 의한 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.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

가. 자료수집 및 분석

1) 자료수집 및 분석

2) 현장조사 및 시험

3) 상태평가

4) 종합평가 및 안전등급 지정

5) 보수 · 보강방법 및 유지관리방안 제시

6) 보고서 작성 및 점검결과 전산입력

1.2.2 과업수행기간

- 2020. 03. 23 ~ 2020. 09. 18 (180일간)

1.2.3 과업의 내용

본 과업은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2019.01, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 의거 수행하였으며, 과업 내용에 대한 세부사항은 다음과 같다.

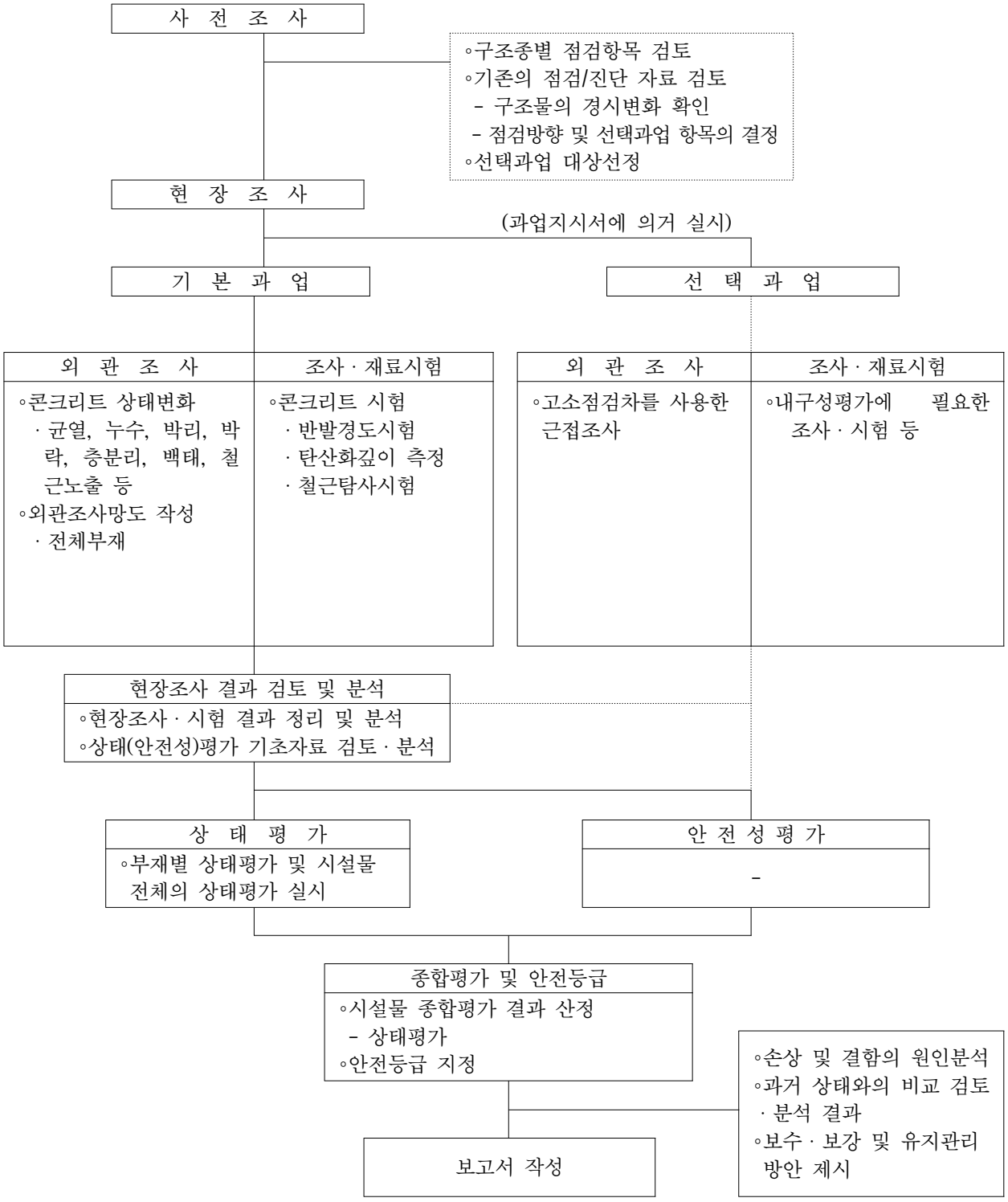
【표 1.1】 과업의 내용

과업의 범위		과 업 의 내 용	비고
설계도서 및 관련자료 수집·검토		1) 설계자료 검토(준공도면) 2) 기존 점검 및 유지관리자료 검토(2017 년 정밀안전점검 자료 등)	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2019.01) 적용
현장 조사 및 시험	외관 조사	1) 터널의 제원 및 시공상태 조사 2) 상·하부구조 외관 결함 및 손상 등, 외관조사 3) 신축이음, 받침 등 기능상태 조사 4) 부재별 기 점검결과와의 비교	
	내구성 조사	1) 콘크리트 강도 조사 - 반발경도시험에 의한 비파괴 압축강도 시험 2) 철근조사 - 피복두께 3) 콘크리트 품질시험 - 탄산화 깊이 측정	
상태평가		1) 부재별 상태평가 결과 산정 후 부재별 가중치를 고려한 시설물 전체에 대한 상태평가 결과 산정 2) 기 점검 결과와의 비교	
종합평가 및 안전등급 지정		1) 상태평가 결과를 이용하여 안전등급 지정	
보수 및 보강 대책수립		1) 결함 및 손상부위에 대한 원인 분석 및 평가 2) 기능 회복 및 향상을 위한 보수·보강 공법제시	
유지관리 대책수립		1) 결함 및 손상부위에 대한 원인 분석 및 평가 2) 기능 회복 및 향상을 위한 보수·보강 우선순위 제시 3) 보수·보강 물량 및 보수·보강 우선 순위 제시	
보고서 작성		1) 보고서 작성 및 제출	

1.3 과업수행 일정

1.3.1 과업수행 절차

국도 42호선 오천터널(하) 정밀안전점검 과업수행 흐름도는 다음과 같다.



【그림 1.1】 정밀안전점검 과업수행 흐름도

1.3.2 과업수행 일정

본 과업을 위해 수행한 정밀안전점검 과업 일정은 다음과 같다.

【표 1.2】 정밀안전점검 과업수행 일정

공 종	2020년 03월 23일 ~ 09월 18일(180일간)												비 고
	3월	4월		5월		6월		79월		8월		9월	
	20	35	50	65	80	95	110	125	140	155	170	180	
1. 자료조사 및 현장답사													
1) 착수계 제출													
2) 현장답사													-03/23 착수
3) 관련자료 수집 및 분석													
4) 사전검토보고서 제출													
5) 과업수행계획서 제출													
2. 현장조사 및 시험													
1) 현장조사 계획 및 준비													
2) 현장조사													
3) 재료시험													
3. 시설물의 평가													
1) 상태평가													-중간보고
2) 성능평가													(05.28)
3) 종합평가													
4. 보수보강 제시													
1) 보수방안 및 우선순위 결정													
2) 유지관리방안 제시													
5. 결과보고													
1) 결과보고													-결과보고
2) 성과품 초안제출													
6. 보고서 작성													
1) 외관조사 망도 작성													-09/18 준공
2) 최종보고서 작성													
3) e-보고서 작성													

1.4 대상구조물의 현황

1.4.1 현황

본 과업 대상시설물인 오천터널(하)의 현황은 다음과 같다.

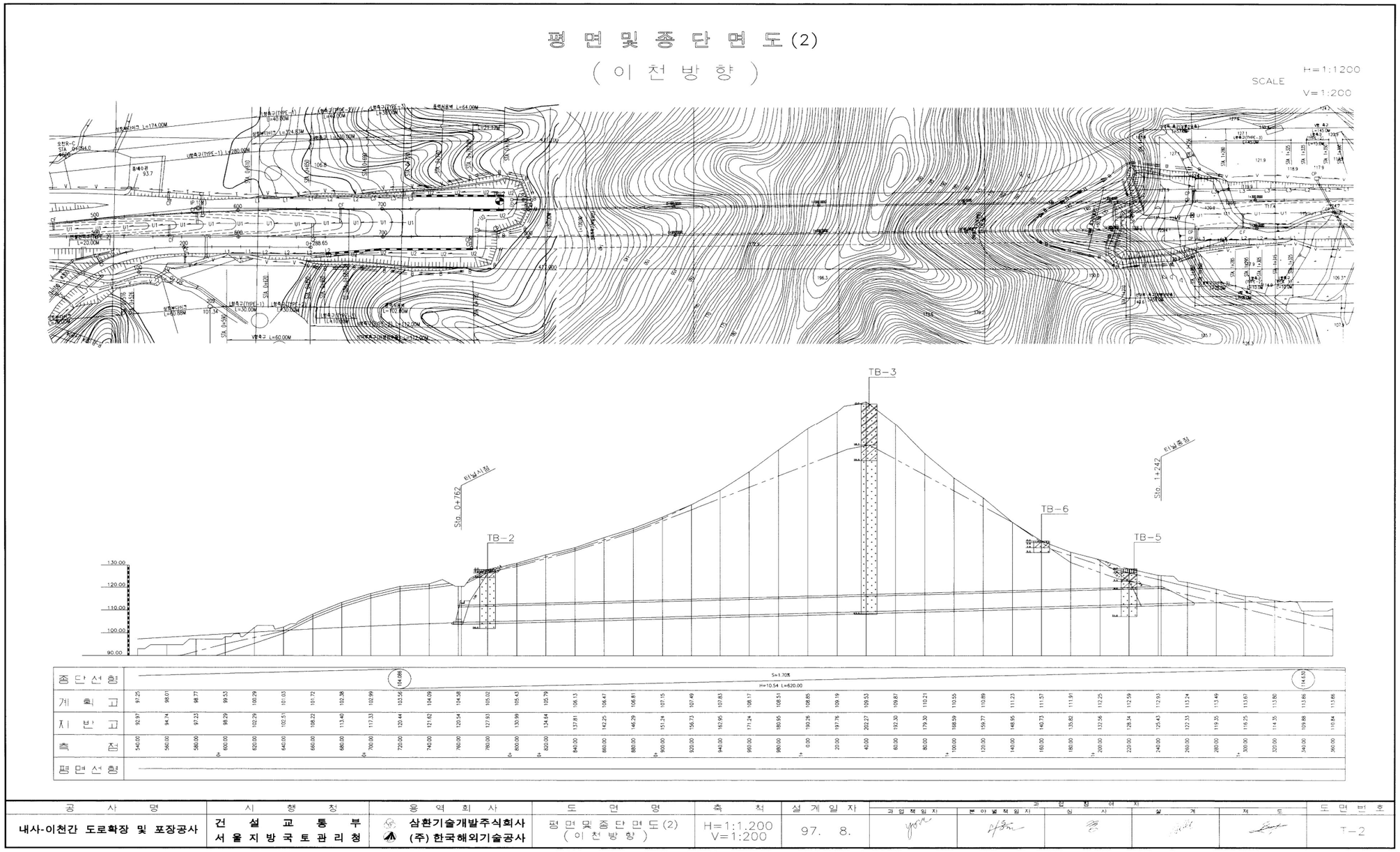
【표 1.3】 오천터널(하) 시설물 현황표

구 분		내 용	구 분	내 용
시설물명		오천터널(하)	시설물번호	TU2005-0000034
준공년월일		2004년 12월 21일	관리번호	-
시설물위치		시점 : 경기도 이천시 마장면 회억리 종점 : 경기도 이천시 마장면 이치리		
공 법		NATM	노선명(이정)	국도42호선
제원	연장	L=480.0m	평면선형	직선터널
	폭원	9.306m(2차로)	종단선형	1.7%
터널형식		난형	갱문형식	진입부:면벽식 진출부:원통절개형
도로부		콘크리트 포장	배수형식	측면배수
부속설비		환기-자연환기, 조명-형광등, 할로겐, 전기-한전수전, 소방-소화전		

<외부 전경>

<내부 전경>

1.4.2 주요도면



평면 및 종단면도

표 준 단 면 도 (1)

표 준 단 면 - I

S=1:50

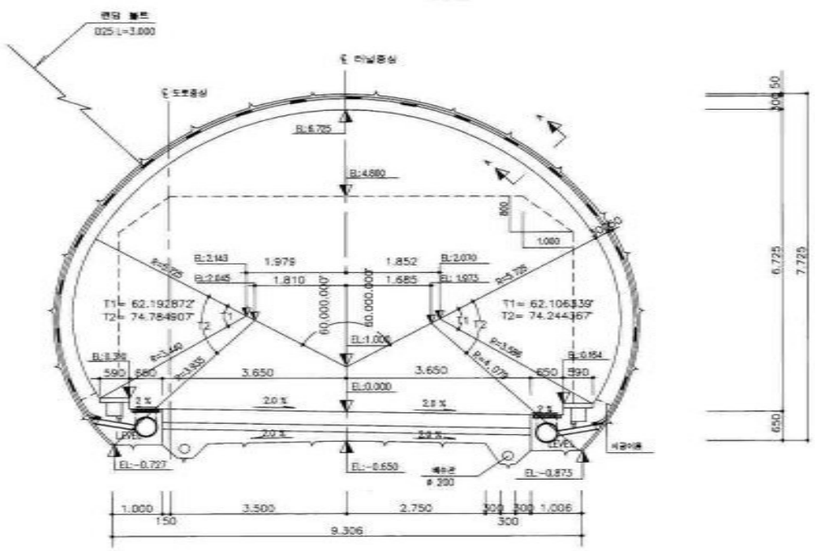
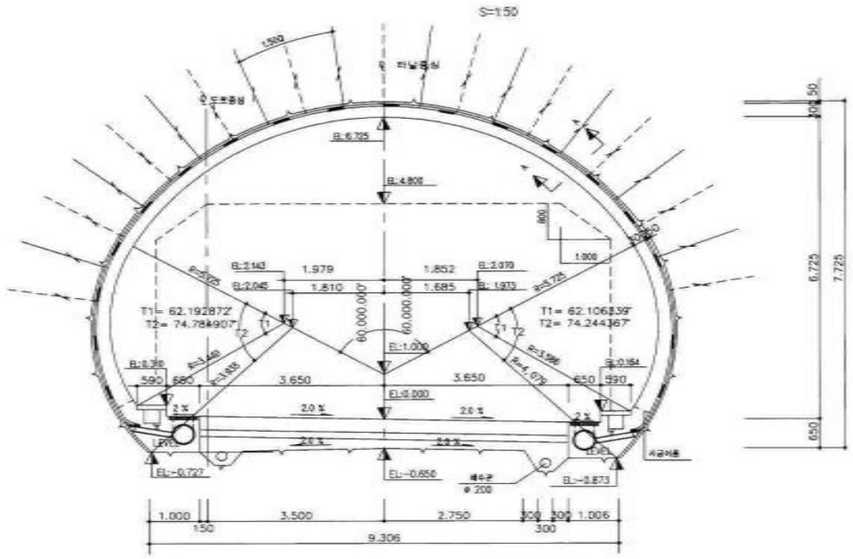


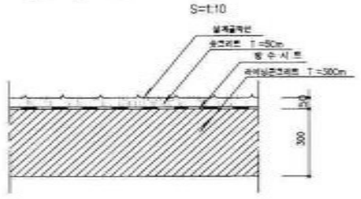
표 준 단 면 - II

S=1:50



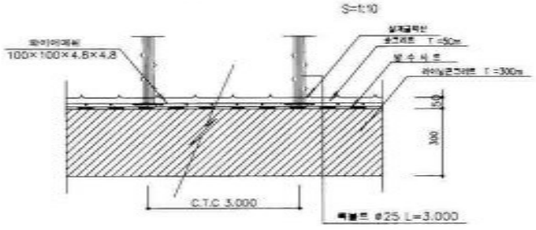
단 면 A - A

S=1:10



단 면 A - A

S=1:10



주) 1) ROCK BOLT의 방향,위치 간격및 수량은 굴착후 현장 상태에 따라 공학관의 지시에 따라 시공함이 원칙.

2) ROCK BOLT 길이 및 TYPE은 지질조건에 따라 공학관의 지시에 따라 변경 될 수있다.

3) ROCK BOLT 방향은 주철사면의 직각방향으로 설치

재 료 표

(1.0MB)

표준단면	굴착량(M³) 설계굴착	여굴	총굴착	숏크리트 (M³)	와이어 메쉬 (M²)	록볼트(EA) (L=3,000 M/EA) 전 장	내 계	강지보 (TON) (SWS400)	방수시트 (M²)	라이닝콘크리트 (Ec=240KG/CM² (M³)	배 수 배수관(M)	연통재료(M²)	비 고
표준단면-I	75.808	2.330	78.138	2.694	-	0.667	0.667	-	24.177	7.292	2.0	0.438	
표준단면-II	75.808	2.330	78.138	2.694	23.274	2.833	0.667	-	24.177	7.292	2.0	0.438	

공 사 명	시 행 청	용 역 회 사	도 면 명	축 척	설 계 일 자	과업책임자	분야별책임자	검 토	설 계	작 도	도면번호
내사-에천간 도로확장 및 포장공사	건 설 교 통 부 서 울 지 방 국 토 관 리 청	삼환기술개발주식회사 (주) 한국해외기술공사	표 준 단 면 도 (1)	S=1:50	97. 8.						

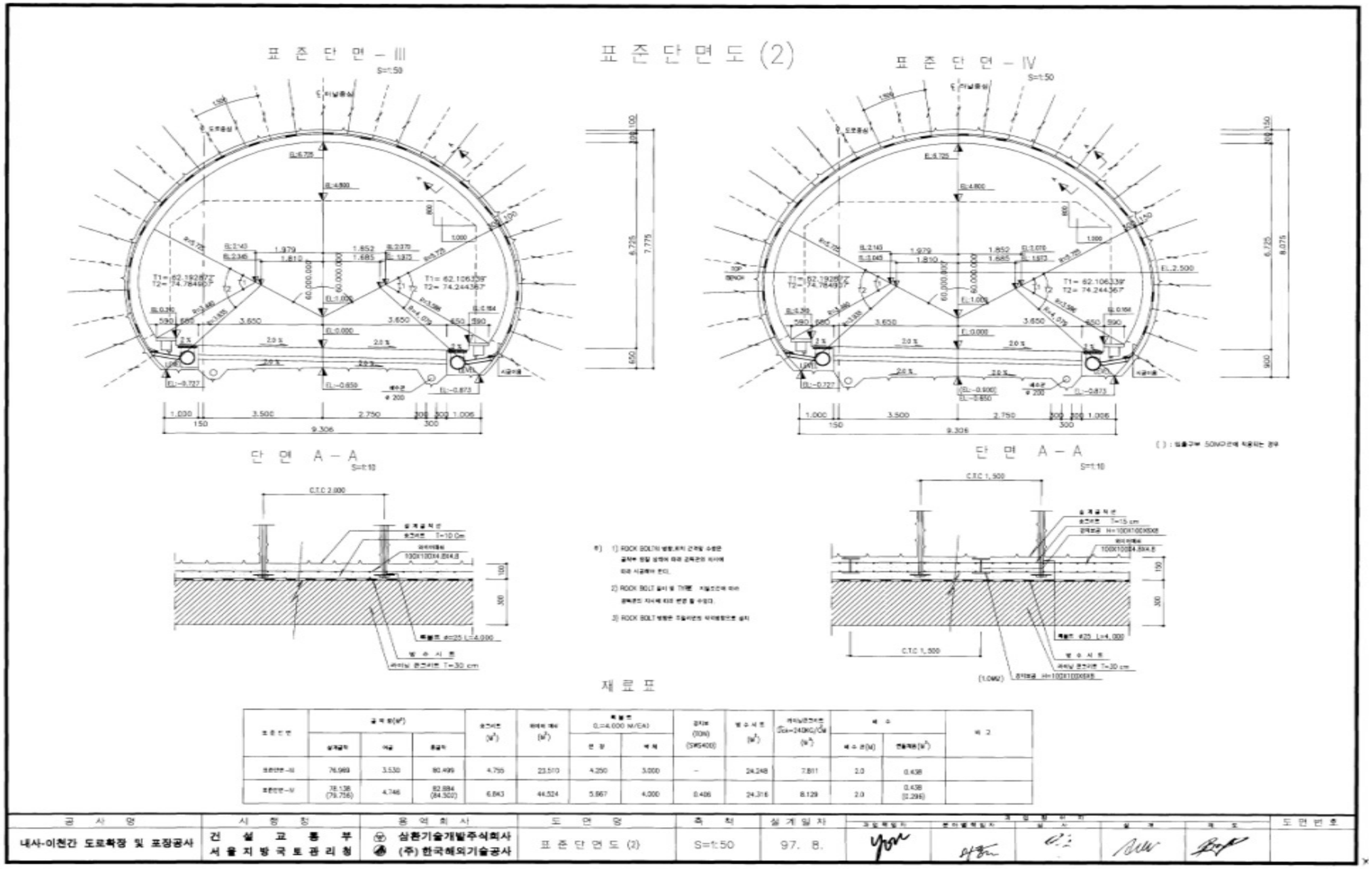


표 준 단 면 도 (2)
표 준 단 면 - III
S=1:50
표 준 단 면 - IV
S=1:50
단 면 A - A
S=1:10
단 면 A - A
S=1:10
재 료 표
공 사 명
내사-이천간 도로확장 및 포장공사
시 행 청
건 설 교 통 부
서 울 지 방 국 토 관 리 청
용 역 회 사
(유) 삼환기술개발주식회사
(주) 한국해외기술공사
도 면 명
표 준 단 면 도 (2)
축 척
S=1:50
설 계 일 자
97. 8.
도 면 번 호

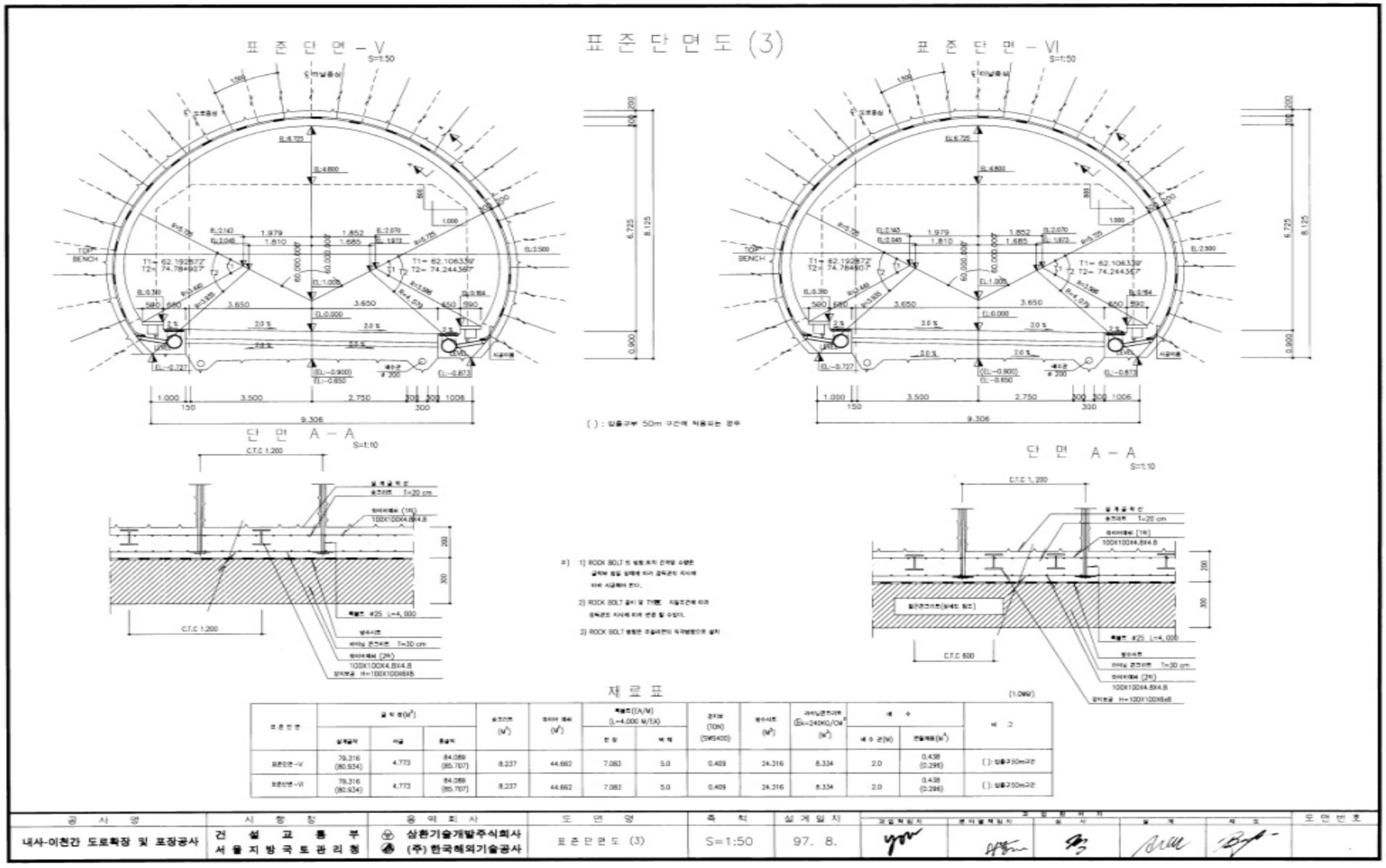
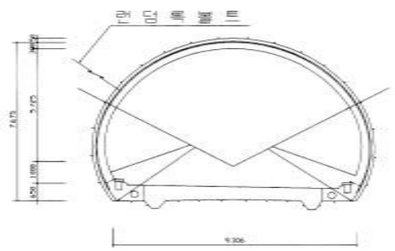
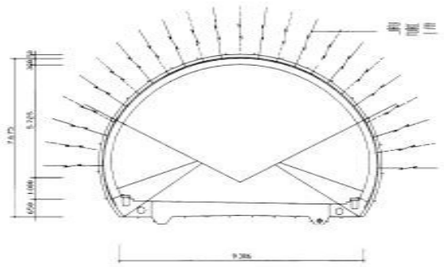
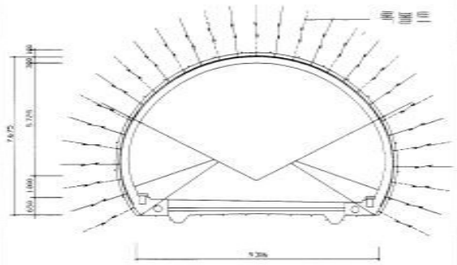


표 준 단 면 도 (3)
표 준 단 면 - V
S=1:50
표 준 단 면 - VI
S=1:50
단 면 A - A
S=1:10
단 면 A - A
S=1:10
재 료 표
공 사 명
내사-이천간 도로확장 및 포장공사
시 행 청
건 설 교 통 부
서 울 지 방 국 토 관 리 청
용 역 회 사
삼환기술개발주식회사
(주)한국해외기술공사
도 면 명
표 준 단 면 도 (3)
축 척
S=1:50
실 계 일 자
97. 8.
도 면 번 호

터 널 공 법 개 요 도 (1)

구 분			표 준 형 식 I	표 준 형 식 II	표 준 형 식 III
표 준 단 면 도					
적 용 구 간		서울방향		STA 0K+947.6 – 1K+022.6 1K+146.2 – 1K+158 L=87M	STA 0K+811.6 – 0K+947.6, STA 1K+092.2 – 1K+146.2, 1K+158 – 1K+166.2 L=198M
		이천방향		0K+932.5 – 1K+043.5 L=111M	STA 0K+802.5 – 0K+932.5, STA 1K+103.5 – 1K+109.5, 1K+120 – 1K+166 L=182M
대 상 토 질			RMR = 100 – 80	RMR = 80 – 60	RMR = 60 – 40
굴착	굴 착 공 법		전 단 면 굴 착	전 단 면 굴 착	전 단 면 굴 착
	1회 굴진장 / 지보설치길이		3.0 M / 6.0 M	3.0 M / 3.0 M	2.0 M / 2.0 M
지보패턴	숏 크 리 트 (SHOTCRETE)		5 cm	5 cm	10 cm
	록 볼 트 (ROCK BOLT)	길 이	3.0 M	3.0 M	4.0 M
		갯 수	1.334{ 상부 : 0.667 하부 : 0.667 }	3.500{ 상부 : 2.833 하부 : 0.667 }	3.500{ 상부 : 4.250 하부 : 3.000 }
		위 치	천정 및 측벽	천정 및 측벽	천정 및 측벽
	강 지 보 공 (STEEL RIB)	강제 규격	–	–	–
		설치 간격	–	–	–
라이닝 콘크리트 (LINING CON'C)		두 께	30 cm	30 cm	30 cm
		철근 배근	–	–	–

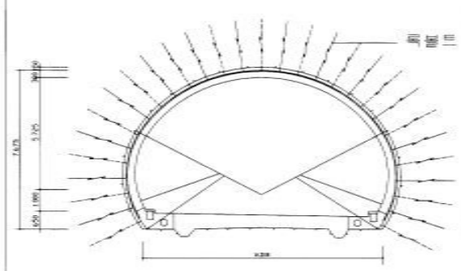
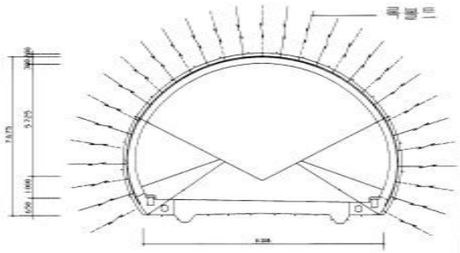
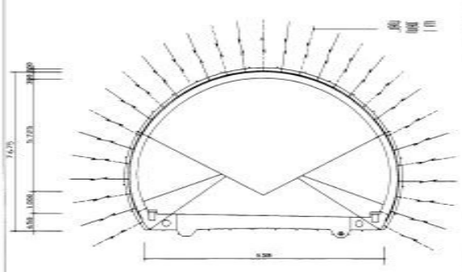
* 개착터널구간

서울방향 : STA 0K+784 – 0K+787 , 1K+223 – 1K+241 L=21 M

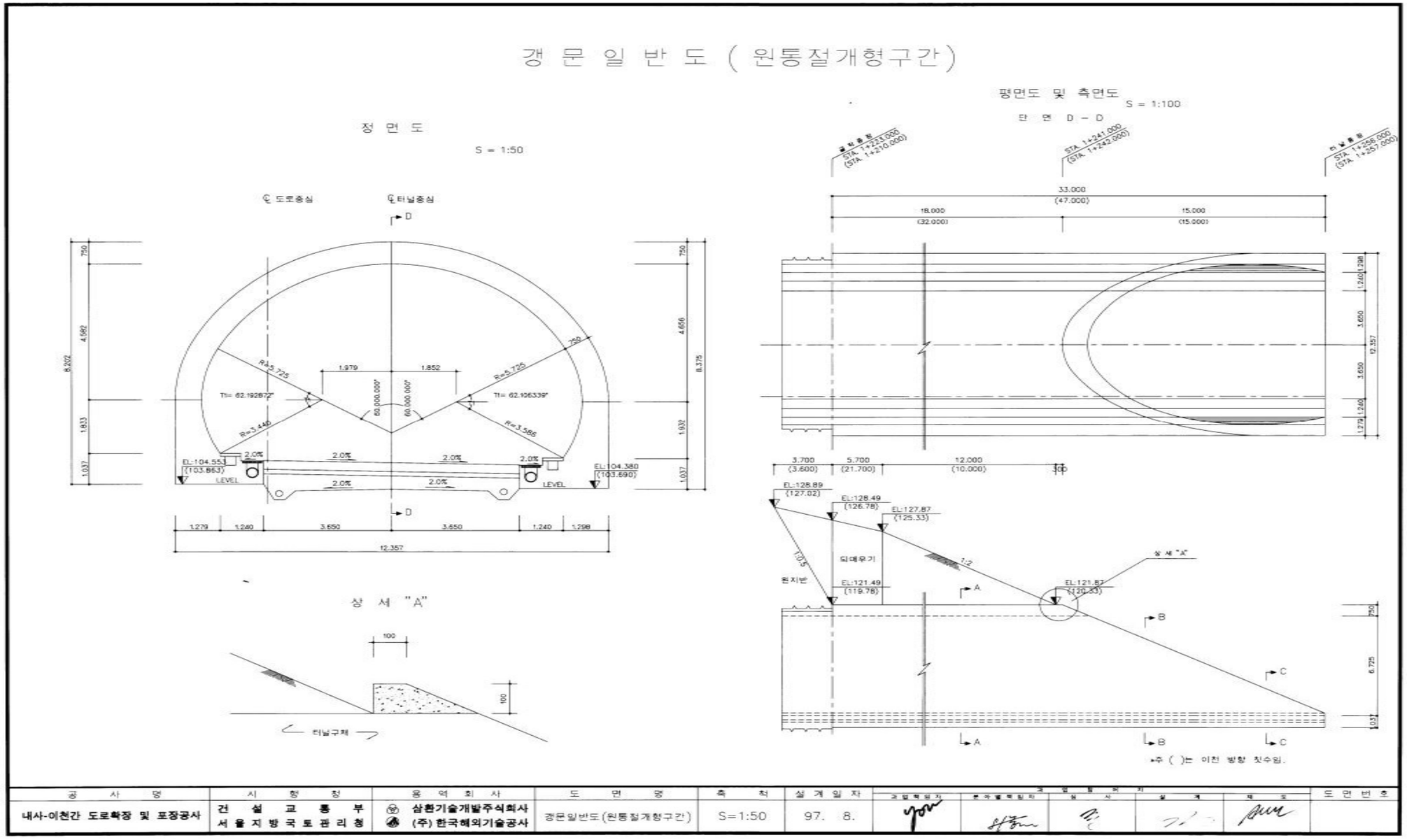
이천방향 : STA 0K+762 – 0K+765 , 1K+210 – 1K+242 L=35 M

공 사 명	시 행 청	용 역 회 사	도 면 명	축 척	설 계 일 자	과업책임자	분야별책임자	검 토	설 계	책 도	도 면 번 호
내사-이천간 도로확장 및 포장공사	건 설 교 통 부 서 울 지 방 국 토 관 리 청	㈜ 삼환기술개발주식회사 (주) 한국해외기술공사	터널공법개요도 (1)	S=NONE	97. 8.						

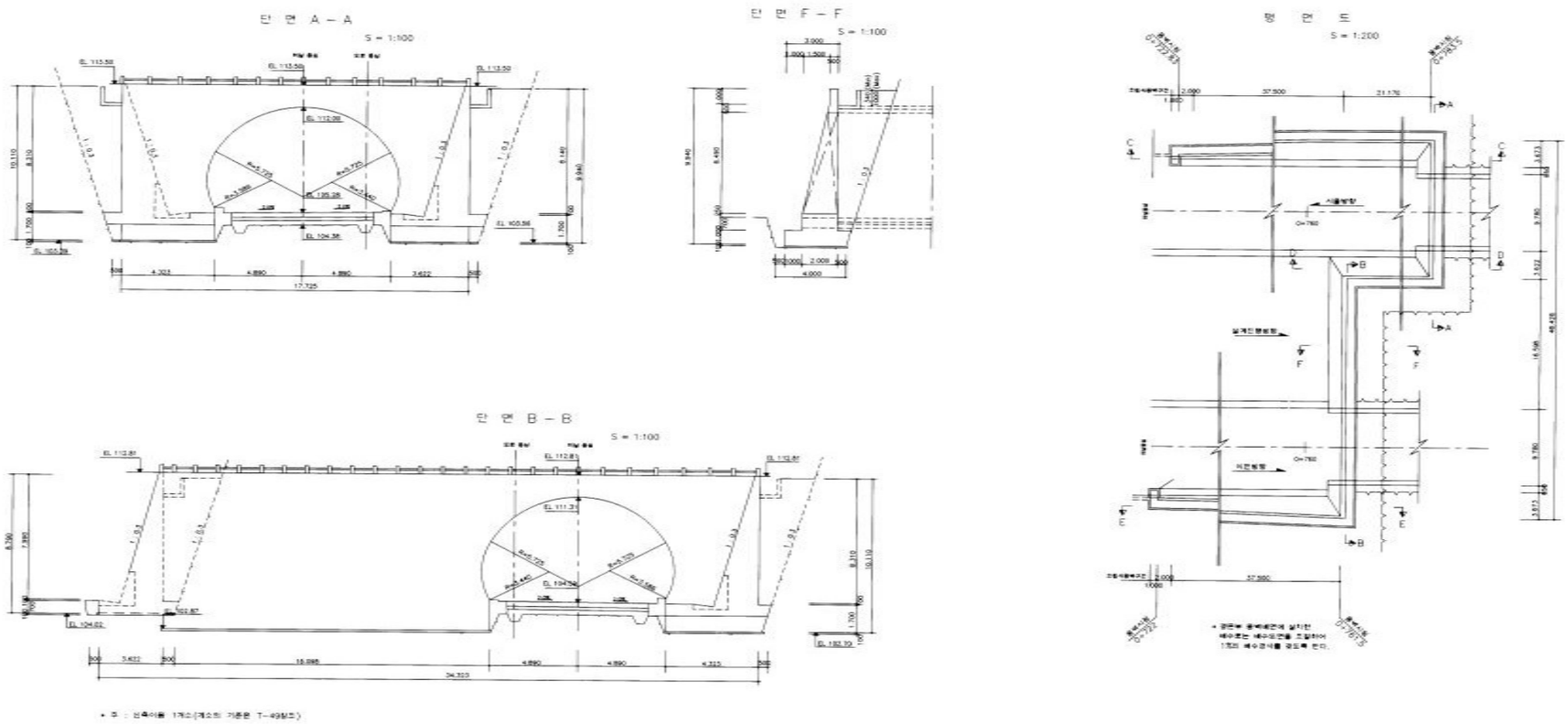
터 널 공 법 개 요 도 (2)

구 분			표 준 형 식 Ⅳ	표 준 형 식 Ⅴ	표 준 형 식 Ⅵ
표 준 단 면 도					
적 용 구 간		서울방향	STA 0K+799.6 – 0K+811.6, STA 1K+022.6 – 1K+033.1, STA 1K+048.7 – 1K+092.2, 1K+166.2 – 1K+178.2 L=78M	STA 0K+787 – 0K+799.6, STA 1K+033.1 – 1K+048.7, 1K+178.2 – 1K+208.2 L=58.2M	STA 1K+208.2 – 1K+223 L=14.8M
		이천방향	STA 0K+792 – 0K+802.5, STA 1K+043.5 – 1K+103.5, STA 1K+109.5 – 1K+120, 1K+166 – 1K+184 L=99M	STA 0K+765 – 0K+792, STA 1K+184 – 1K+192.4 L=35.4M	STA 1K+192.4 – 1K+210 L=17.6M
대 상 토 질			RMR = 40 – 20	RMR = 20 – 0, 지형조건 불리한 곳	RMR = 20 – 0, 경구 시점부
굴 착	굴 착 공 법		반 단 면 굴 착	반 단 면 굴 착	반 단 면 굴 착
	1회 굴진장 / 지보설치길이		(상)1.5M/1.5M,(하)1.5M/3.0M	(상)1.2M/1.2M,(하)1.2M/1.2M	(상)1.2M/1.2M,(하)1.2M/1.2M
지 보 패 턴	숏 크 리 트 (SHOTCRETE)		15 cm	20 cm	20 cm
	록 볼 트 (ROCK BOLT)	길 이	4.0 M	4.0 M	4.0 M
		갯 수	9.667{ 상부 : 5.667 하부 : 4.000 }	12.083{ 상부 : 7.083 하부 : 5.000 }	12.083{ 상부 : 7.083 하부 : 5.000 }
		위 치	천정 및 측벽	천정 및 측벽	천정 및 측벽
	강 지 보 공 (STEEL RIB)	강재 규격	H–100x100x6x8	H–100x100x6x8	H–100x100x6x8
		설치 간격	1.5 M	1.2 M	0.6 M
라 이 닝 콘 크 리 트 (LINING CON'C)		두 께	30 cm	30 cm	30 cm
		철근 배근	–	–	D22 @ 90

공 사 명	시 행 청	용 역 회 사	도 면 명	축 척	설 계 일 자	검 토					도 면 번 호
내사-이천간 도로확장 및 포장공사	건 설 교 통 부 서 울 지 방 국 토 관 리 청	㈜ 삼환기술개발주식회사 (주)한국해외기술공사	터널공법개요도 (2)	S=NONE	97. 8.	공업직원	분야별책임자	상 세	실 계	책 도	


갱 문 일 반 도 (원통절개형구간)
정 면 도
S = 1:50
평면도 및 측면도
S = 1:100
단 면 D - D
상 세 "A"
터널구체
원지반
되메우기
*주 ( )는 이천 방향 치수임.
공 사 명
내사-이천간 도로확장 및 포장공사
시 행 청
건 설 교 통 부
서 울 지 방 국 토 관 리 청
용 역 회 사
삼환기술개발주식회사
(주) 한국해외기술공사
도 면 명
갱문일반도(원통절개형구간)
축 척
S=1:50
설 계 일 자
97. 8.
도면번호

갱문 일반도 (면벽식 구간)



공 사 명	시 행 청	용 역 회 사	도 면 명	축 척	설 계 일 자	과업책임자	분야별책임자	검 토	설 계	제 도	도 면 번 호
내사-이천간 도로확장 및 포장공사	건 설 교 통 부 서 울 지 방 국 토 관 리 청	삼환기술개발주식회사 (주) 한국해외기술공사	갱문 일반도 (면벽식 구간)	S=1:100	97. 8.						

1.5 사용장비 및 시험기기 현황

본 과업을 수행하기 위하여 사용한 주요장비는【표 1.4】와 같다.

【표 1.4】 주요 사용장비 및 시험기기 일반사항

구 분	장 비 명	Model (규격)	용 도	비 고
제원조사	줄자	50m줄자	제원조사	
	버니어 켈리퍼스	Mitutoyo	균열 폭, 중성화심도 등	
외관조사	디지털 카메라	Canon PowerShot SX400 IS	현황촬영	
	망원경	-	외관조사	
	닥터햄머	-	타격조사	
	무전기	Kukjae	PD2000	
압축강도 조사	Rebound Hammer	Proceq NR-Type	비파괴 압축강도 추정	
탄산화시험	페놀프탈레인용액	페놀프탈레인 1%용액	콘크리트 탄산화측정	
철근배근 탐사	철근탐사기	RC-Radar	철근배근조사 (피복측정)	

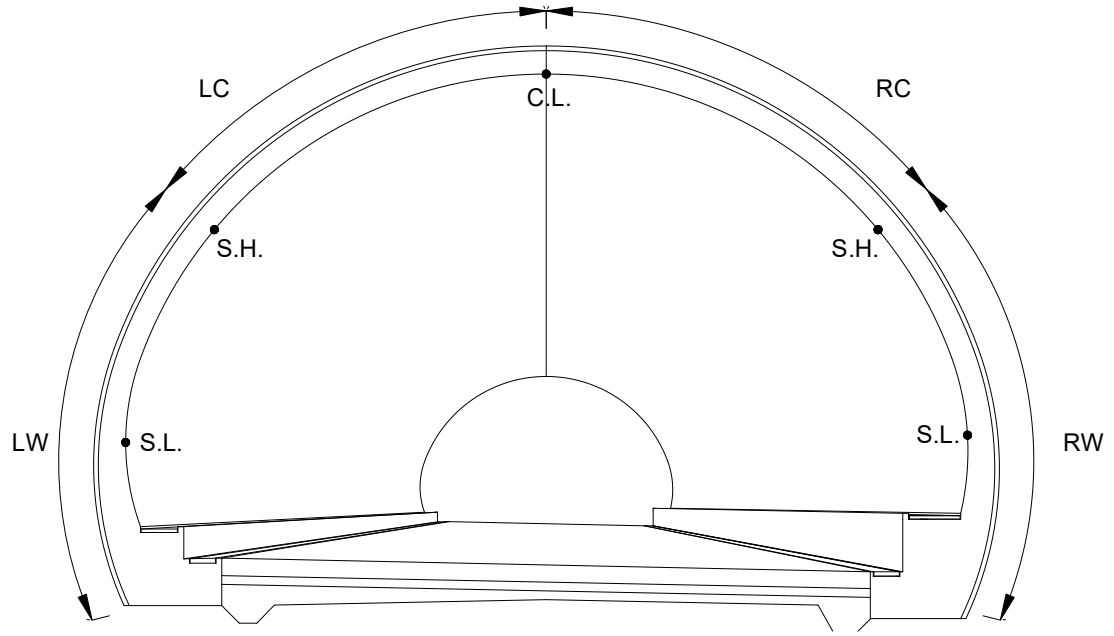
1.6 터널기호의 정의

구조부재의 구분을 위하여 본 과업에서 사용하는 기호 및 용어는 구조물의 안전점검 및 진단업무에 사용되는 일반적인 용어를 적용하여 다음과 같이 부여하였다.

【표 1.5】 터널기호의 정의

구 조 구 분	사 용 기 호	비 고
천단부	CL	Centel
스프링라인 (터널 단면중 최대폭 형성부 중 최상부)	SL	Spring Line
좌측 천장부(좌측 어깨에서 천장까지)	LC	Left Centel
우측 천장부(우측 어깨에서 천장까지)	RC	Right Centel
좌측벽체	LW	Left Wall
우측벽체	RW	Right Wall
어깨(터널천단과 스프링라인의 중간점)	SH	Shoulder

기호의 정의



제 2 장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.3 기존 정기·정밀안전점검 실시결과 요약

2.4 보수 · 보강 이력 및 용도변경

2.5 내진설계 및 보강 여부

2.6 자료분석 결과요약

제 2 장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

본 과업에 대한 조사자료는 주변현황 자료와 시설물의 설계, 시공 및 유지관리자료로 대별되며, 자료 분석을 통하여 과업 수행의 추진방향과 세부계획을 수립하였다.

또한, 본 과업 대상구조물의 관련자료를 수집·분석하여 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인 분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수보강대책 및 유지관리방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였다.

2.1.1 자료수집 현황

본 구조물에 관련된 자료는 주로 설계 및 시공과 관련된 건설당시 자료와 구조물 준공 이후의 유지관리와 자료 등이며, 관리주체의 유지관리자료 보유 현황은 다음과 같다.

【표 2.1】 자료수집 현황

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비 고
• 설계도서	• 공 통 - 준공내역서, 공사시방서 - 구조및수리계산서, 지반조사 보고서 - 터널해석 보고서	○	시설물정보관리 종합 시스템 내 준공도서
	• 설계도면, 준공도면 - 위치도, 평면도, 표준단면도, 표준지보패턴도, 라이닝구조도, 배수상세도 등	○	시설물정보관리 종합 시스템 내 준공도서
• 시설물 관리대장	• 기본현황, 상제제원, 유지관리 이력	○	시설물정보관리 종합 시스템 내 준공도서
• 정기안전점검 및 정밀안전점검 자료		○	시설물정보관리 종합 시스템 내 준공도서
• 시설물 보수 · 보강 자료		○	

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

“내사-이천간 도로 확장 및 포장공사” 검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 것으로 검토되었으며, 평면도, 표준단면도, 표준지보패턴도, 라이닝구조도, 각종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토되었다.

2.2.1 지반조사 검토(토질조사보고서)

가. 지반 시추조사 위치

1) 지반 시추조사 위치

조 사 위 치		좌 표		EL(m)	비 고
터널명	공 번	X	Y		
오천터널 출구부	TB-1	417054.6176	232894.9320	138.990	

2) 시추조사 결과표

단위(m)

터널명	공 번	매립층	충 적 층		풍화토	풍화암	연 암	시추심도	S.P.T (회)
		모래자갈	실트	모래					
오천터널 출구부	TB-1	-	-	-	7.0	7.2	2.1	16.3	7
계		-	-	-	7.0	7.2	2.1	16.3	7

3) 시추조사 결과

금번 시추조사 결과, 풍화토층이 지표에 출현하여 7.0~11.0m의 층후로 확인되고 있는데 N치는 23/30 ~ 50/20 회/cm로 조밀 내지 매우 조밀한 상대밀도를 보이고 있으나 풍화작용에 의해 점토광물화한 실트분이 다량 함유되어 있어, 함수비 증가나 대기에 노출될 경우 지반 강도가 급격히 약화되는 양상을 보이고 있다. 또한 조사당시 지표하 6.8~7.3m 구간에서는 세립질의 암맥이 연암의 상태로 관입 분포하기도 한다.

나. 지형 및 지질

1) 지형

본 조사지역은 내사~이천간 도로 확장 및 포장공사 노선으로서 이천시 마장면~이천 시가지에 이르는 구간에 위치한 터널로 본 노선상의 산계 및 수계는 마장면 양촌리~이치리를 지나는 구간에 EL 205m의 봉우리를 정점으로 하는 능선이 남서-북동방향으로 발달하여 있는데 본 노선은 이 구간을 터널로 지나고 있으며 그 이외의 구간은 표고천 및 복하천 범람원 지대 또는 인접한 저구릉지의 사면부를 지나고 있다.

2) 지질

본 조사노선에 분포하는 기반암은 선캠브리아기 변성암류에 속하는 흑운모 편마암과 이를 중생대 쥬라기에 관입한 흑운모 화강암이 기반암을 이루고 있는데 흑운모 편마암은 주로 마장면 이치리 일대레 분포하고 있으며 그 이외의 구간에서는 화강암류가 분포하고 있다.

① 흑운모 편마암

본 암은 선캠브리아기에 속하는 것으로서 용인군, 광주군 일대 및 이천군 마장면에서 기반암으로 분포하고 있는데 편마암은 광역변성작용에 의해 형성된 것으로 흑운모 등 유색광물과 석영, 장석 등 무색광물이 주 구성광물을 이루고 있는데 우흑대와 우백대가 반복하여 교호하는 호상구조가 특징적으로 관찰되기도 한다.

본 암을 구성하는 유색광물과 무색광물이 광역변성작용시 작용한 응력의 수직방향으로 배열하여 호상구조를 이루고 있으며, 이 호상구조와 일치하는 일차절 리가 발달하여 일반적으로는 암질이 불균질하고 엽리구조가 뚜렷한 이방성적인 공학적 특징이 강하므로 호상구조와 평행한 방향으로 하중을 가하면 강도는 떨어지나 변형은 작고 엽리와 수직한 방향으로 하중을 가하면 강도는 높으나 변형이 많이 발생할 가능성이 크다.

② 흑운모 화강암

중생대 쥬라기 화성활동에 의해 형성된 흑운모 화강암은 한반도 중부 특히 경기도, 충정도 지방에 광범위한 저반을 이루며 분포하는 화강암류의 연장으로서 석영, 장석, 흑운모 등이 주구성광물을 이루고 있는데 대략 중립질로서 입상 또는 등립상 조직을 나타내고 있다.

화강암은 구성광물들이 서로 엇물리고 있는 구조를 하고 있어 입자간에 공극이 거의 없으므로 절리 등 불연속면이 없을 경우 하중이 가해지면 전형적인 탄성변형을 하는데 대체로 균질, 등방성의 암석으로 양질의 구조재 또는 양호한 암반으로 선호되나 안정질, 현정질암이기 때문에 각 구성광물의 열전 Open joint가 있는 경우 지하심부까지 차별풍화 양상이 나타날 수 있으므로 주의가 요망된다.

다. 지층 분포상태 및 특성

금번 시추조사 결과, 풍화토층이 지표에 출현하여 7.0~11.0m의 층후로 확인되고 있는데 N치는 23/50 ~ 50/20 회/cm로 조밀 내지 매우 조밀한 상대밀로를 보이고 있으나 풍화작용에 의해 점토광물화한 실트분이 다량 함유되어 있어, 함수비 증가나 대기에 노출될 경우 지반강도가 급격히 약화되는 양항을 보이고 있다. 또한 조사당시 지표하 6.8~7.3m구간에서는 세립질의 암맥이 연암의 상태로 관입 분포하기도 한다.

풍화암은 5.4~7.2m의 층후로 분포하고 있는데 매우 치밀하나 차별풍화로 인해 연경부가 불규칙하게 교호하며 박층의 석영맥이 관입 분포하고 굴진시 암편이 붕괴되는 양상을 보이고 있다.

연암은 조사당시 지표하 14.2~16.4m하부에서 확인되고 있는데 편마암으로 중간 풍화되었고 파쇄대가 매우 발달하여 코아회수율은 10%내외로서 매우 저조하며 일부 구간에서 암편상 코아를 형성하는 매우 불량한 암반으로 분류된다.

2.2.2 토질조사 결과

1) 본 역 주변의 지질은 선 캠브리아기에 속하는 변성암류와 이를 관입한 중생대 쥬라기 화강암류가 기반암으로 분포하고 있으며 그 상부에는 제 4기의 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

2) 시추조사 결과 지층구성은 상부로부터 매립층 또는 충적층, 풍화토층, 풍화암이 분포하고 일부 구간에서 연암이 확인되고 있다. 풍화암은 조사당시 지표하 5.4~7.2m 하부에서 확인되고 있으며, 연암은 지표하 14.2~16.4m하부에서 확인되고 있는데 터널부는 편마암이 분포하고 있다.

3) 풍화토층이 지표에 출현하여 7.0~11.0m의 층후로 확인되고 있는데 TB-2호공 조사당시 지표하 6.8~7.3m구간에서는 세립질의 암맥이 연암의 상태로 관입 분포하기도 한다.

4) 풍화암은 5.4~7.2m의 층후로 분포하고 있으며 연암은 조사당시 지표하 14.2~16.4m하부에서 확인되고 있는데 편마암으로서 중간 풍화되었고 파쇄대가 매우 발달하여 코아회수율은 10%내외로서 매우 저조하며 일부 구간에서 암편상 코아를 형성하는 매우 불량한 암반으로 분류된다.

5) 본 역에서 시추공내 지하수위 측정 결과, 터널부에서는 시추심도내에서 확인되지 않고 있다. 그러나 자연 지하수위는 분포 지반의 수리특성 및 계절적 요인에 따라 다양하게 변화하므로 시공시에는 지하수 변화에 대한 세밀한 관리가 필요할 것으로 사료된다.

2.3 기존 정기·정밀안전점검 실시결과 요약

본 터널은 2005년 6월 실시한 정기안전점검을 시작으로 2019년 12월 정기안전점검까지 공용기간 중 정밀안전점검 6회, 정기안전점검 30회 등을 실시하였으며, 주요점검 이력은 다음과 같다.

2.3.1 점검 및 진단이력

【표 2.2】 오천터널(상) 점검 및 진단이력

번호	구 분	점검/ 진단일자	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
1	정기안전점검	2005-06-13 2005-06-13	자체수행	양호	양호
2	정기안전점검	2005-11-07 2005-11-07	자체수행	양호	양호
3	정밀안전점검	2006-04-10 2006-06-08	(주)세기건설 안전엔지니어링	신축이음부는 실링재가 불량한 부위가 조사. 터널 바닥은 균열, 망상균열, 파손 및 마모가 발생된 부위가 일부구간 발생	B
4	정기안전점검	2006-06-22 2006-06-22	자체수행	양호	양호
5	정기안전점검	2006-11-18 2006-11-18	자체수행	양호	양호
6	정기안전점검	2007-05-23 2007-06-07	자체수행	이상없음	양호
7	정기안전점검	2007-11-29 2007-12-14	자체수행	양호	양호
8	정기안전점검	2008-06-05 2008-06-05	자체수행	양호	양호
9	정밀안전점검	2008-04-14 2008-06-12	(주)다음기술단	정밀점검 결과 대표등급은 B등급으로 판정됨	B

번호	구 분	점검/ 진단일자	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
10	정기안전점검	2008-10-30 2008-10-30	자체수행	양호	양호
11	정기안전점검	2009-05-26 2009-05-26	자체수행	양호	양호
12	정기안전점검	2009-11-17 2009-11-17	자체수행	양호	양호
13	정기안전점검	2010-06-21 2010-06-21	자체수행	포장파손, 균열부 백태가 조사됨	양호
14	정밀안전점검	2010-04-08 2010-06-25	(주)유원이앤씨	점검결과 구조물의 안전성에 문제될 만한 중대 결함은 발생되지 않은 것으로 조사됨	B
15	정기안전점검	2010-12-14 2010-12-14	자체수행	라이닝 천단부 보수부 재균열이 조사됨	양호
16	정기안전점검	2011-06-13 2011-06-13	자체수행	양호	양호
17	정기안전점검	2011-12-22 2011-12-22	자체수행	양호	양호
18	정밀안전점검	2012-03-20 2012-06-17	엔이티 엔지니어링(주)	정밀 외관조사 및 내구성 평가에 의한 상태평가 결과 전반적으로 양호한 상태인 “B” 등급으로 평가됨	B
19	정기안전점검	2012-05-01 2012-06-30	자체수행	포장 파손, 포트홀, 균열, 벽체 타일파손, 균열부 백태가 조사됨	양호
20	정기안전점검	2012-11-01 2012-12-31	자체수행	포장 균열이 조사됨	양호
21	정기안전점검	2013-05-01 2013-06-30	자체수행	포장 균열이 조사됨	양호

번호	구 분	점검/ 진단일자	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
22	정기안전점검	2013-11-01 2013-12-31	자체수행	입구부 포장 균열이 조사됨	양호
23	정기안전점검	2014-01-01 2014-06-30	자체수행	입구부 포장 균열이 조사됨	양호
24	정밀안전점검	2014-05-12 2014-08-09	(주)신영 씨엔에스	라이닝 균열, 균열부백태, 망상균열, 공동, 오염, 포장 균열, 보수불량 및 파손, 옹벽 균열, 배수구 막힘이 조사됨	A
25	정기안전점검	2014-07-01 2014-12-31	자체수행	입구부 포장 균열이 조사됨	양호
26	정기안전점검	2015-04-01 2015-06-30	자체수행	입구부 포장 균열이 조사됨	양호
27	정기안전점검	2015-10-01 2015-12-31	자체수행	입구부 포장 균열이 조사됨	양호
28	정기안전점검	2016-04-01 2016-06-30	자체수행	대체로 양호	양호
29	정기안전점검	2016-10-01 2016-12-31	자체수행	양호	양호
30	정밀안전점검	2017-05-08 2017-06-23	(주)동우기술단	라이닝 균열, 균열백태, 실런트 들뜸, 공동, 박리, 배수로 균열, 토사퇴적, 포장부 균열, 긁힘, 파손 등이 조사됨	A
31	정기안전점검	2017-04-01 2017-06-30	자체수행	양호	양호
32	정기안전점검	2017-10-01 2017-12-31	자체수행	양호	양호
33	정기안전점검	2018-04-01 2018-06-30	자체수행	양호	양호

번호	구 분	점검/ 진단일자	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
34	정기안전점검	2018-10-01 2018-12-31	자체수행	양호	양호
35	정기안전점검	2019-01-01 2019-06-30	자체수행	벽체 타일 및 포장 등에 균열이 발생된 것으로 조사됨	양호
36	정기안전점검	2019-07-01 2019-12-31	자체수행	양호	양호

2.3.2 기존 정밀안전점검 실시결과(2017년 6월)

가. 정밀안전점검 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수 · 보강				상태평가 결과 : A등급
결함발생 부재		상태평가결과	결함종류	보수 · 보강(안)
라이닝	천장부	a	- 균열(cw=0.3mm미만), 균열백태, 백태 - 공동 - 누수흔적, 표면오염 - 실런트 들뜸, 조인트 마감불량 - 파손	- 표면처리 - 주의관찰 - 주의관찰 - 치핑 - 단면복구
	측벽부		- 몰탈탈락, 파손	- 단면복구
	타일마감	-	- 타일균열 - 타일탈락, 파손 - 소화기함 파손	- 주의관찰 - 타일붙임 - 수리
공동구		-	- 균열(cw=0.3mm이상) - 박리, 파손 - 들뜸, 층분리, 철근부식 - 덮개균열 및 파손	- 주의관찰 - 주의관찰 - 주의관찰 - 재설치
배수시설		-	- 균열(cw=0.3mm미만) - 노견 및 배수구 토사퇴적	- 주의관찰 - 청소
갱문 및 옹벽		b	- 균열(cw=0.1~1.0mm) - 배수구막힘 - 백태 - 폐기물퇴적	- 주의관찰
외부배수로		-	- 배수로 토사퇴적 및 식생 - 식생 및 성토 유실	- 주의관찰 - 사면 보호공 설치
포장면		-	- 균열, 망상균열 - 긁힘 - 박리, 파손	- 주의관찰 - 주의관찰 - 단면복구

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재	해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	평가결과
-	-	해당사항 없음	-	-

다. 내진설계 반영여부

검토대상 부재	설계적용여부	조사결과 요약
-	N(미반영)	-

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

<table>
<tr><th>시 험 명</th><th>시험 결과</th><th>책임기술자의견</th></tr>
<tr><td>콘크리트 강도시험</td><td><table><tr><th>시험부위</th><th>시 험 법</th><th>측정강도 (MPa)</th><th>설계강도 (MPa)</th></tr><tr><td>라이닝 어깨부</td><td>반발경도법</td><td>27.4~33.5</td><td>24.0</td></tr></table></td><td>• 압축강도 측정결과 설계기준강도를 상회하며 콘크리트의 재료적인 품질은 양호한 상태임.</td></tr>
<tr><td>탄산화깊이 조사</td><td><table><tr><th>시험부위</th><th>진전깊이 (mm)</th><th>피복두께 (mm)</th><th>잔여깊이 (mm)</th><th>평가등급</th></tr><tr><td>라이닝 어깨부</td><td>3.0~4.0</td><td>66.0~160.0</td><td>63.0~157.0</td><td>a</td></tr></table></td><td>• 탄산화 진전은 표면에 그치며 내구성 저하 우려 없음.</td></tr>
</table>

마. 종합의견

외관조사 결과, 주요 손상으로는 라이닝 보수부재균열, 균열부백태, 공동, 조인트 마감불량, 타일 탈락, 오염, 공동구 콜드조인트 균열, 콘크리트 파손, 포장 박리 및 파손, 배수구 막힘, 소화기 보관함 파손, 옹벽 균열, 배수로 토사퇴적 및 식생 등의 손상이 조사되었다. 발생된 손상은 터널의 안전성에는 영향이 없는 것으로 판단되나 사용성 및 내구성 확보를 위하여 장・단기적인 보수 조치가 필요하다.

외관조사 결과와 상태평가 결과를 종합적으로 평가한 오천터널(하)의 안전등급은 “문제점이 없는 최상의 상태”인 “A(우수)” 등급으로 평가된다.

발생된 손상을 보수하고 제시된 유지관리내용에 따라 주기적인 점검을 실시하면 사용성 및 안전성에 문제가 없을 것으로 판단된다.

2.4 보수·보강 이력 및 용도변경

구분	공사기간	설계자	시공자	공사명	보수·보강공법/내용	공사금액 (천원)
보수	2007.07.19 ~2007.09.10	-	(합)영화건설	오천터널 보수 및 환경개선공사	-	-
개량	2010.06.24 ~2010.08.22	-	유일전기(주)	오천터널 조명등기구 교체공사	-	31,600
보수	2014.11.20 ~2014.12.24	-	문화건설(주)	국도3호선 곤지암교 외 3개소 포장보수공사	소파보수	65.398
보강	2015.06.29 ~2015.11.20	-	(주)부경산업	국도38호선 청미교 외 3개소 방호울타리 설치	노측 방호울타리 정비	740
보수	2018.12.03 ~2019.04.01	-	원일개발(주)	국도42호선 오천터널 외 1개소 시설물 보수공사	단면보수, 표면보수	101,802
보수	2019.05.07 ~2019.08.07	-	㈜이림엔지니어링	국도42호선 오천터널 케이블트레이 보수공사	차화커버	126,518
보수	2019.08.30 ~2019.11.20	-	효성종합건설	경기 동부권 배수시설 정비공사	시선유도표지교체	405

2.5 내진설계 및 보강 여부

검토대상 부재	설계적용여부	내진보강 검토결과 요약	
오천터널 (하)	N	예비평가	-
		상세평가	-
		내 용	내진설계 및 보강 이력 없음

2.6 자료분석 결과요약

구분	수집자료	자료분석 결과	점검과업 진행방향
유지 관리 자료	◇ 정밀안전점검 보고서 (2017) ◇ 보수·보강 이력 ⇒ 한국시설안전공단 FMS 참조	◇ 라이닝 : 균열(0.3㎜미만), 균열백태, 실런트 들뜸, 파손 등 ◇ 측벽부 : 타일균열, 탈락 및 파손, 소화기함 파손 ◇ 공동구 : 균열(0.3㎜이상), 박리, 파손, 층분리, 철근부식 등 ◇ 포장부 : 포장균열, 망상균열, 긁힘, 박리, 파손	◇ 부재별 기 손상부 추가 손상 발생 여부 확인 ◇ 부재별 기 손상부 보수 여부 확인 및 현재 보수부 상태 확인

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 외관조사 결과

3.3 콘크리트 내구성 조사

3.4 현장조사 및 시험 결과요약

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

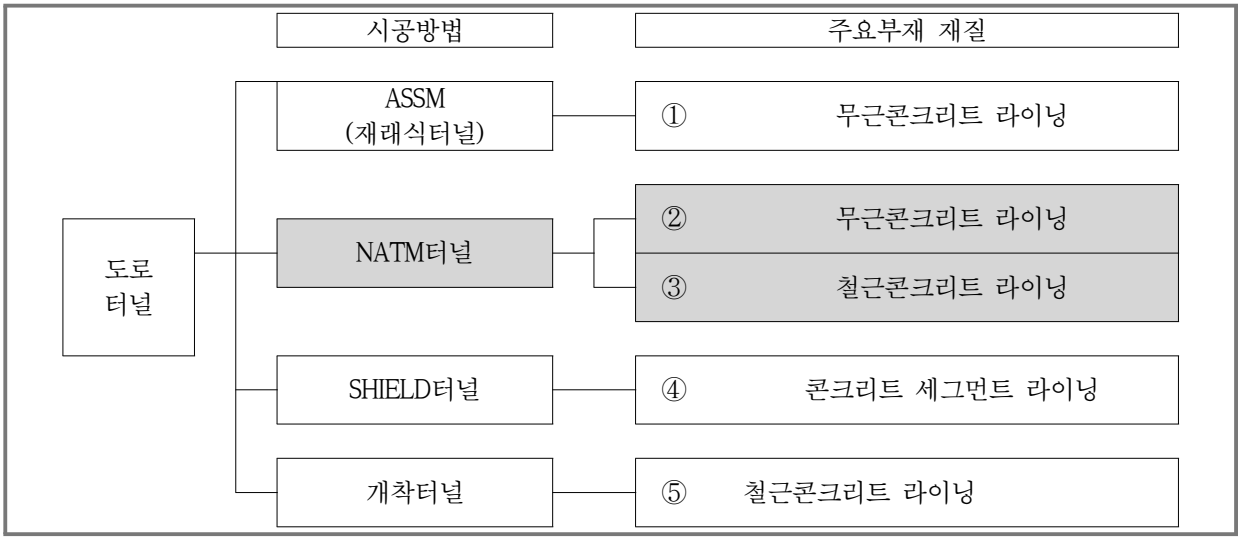
금회 정밀안전점검대상인 오천터널(하)는 경기도 이천시 마장면 회억리에 위치하고 있으며, 연장 480.0m, 폭 9.306m의 2차선 터널이다.

갱문형식은 진입부 면벽식, 진출부 원통절개형으로 시공된 난형식의 터널로 2004년 12월 21일에 준공되었으며, 현장조사 및 시험 결과는 다음과 같다.

현장조사는 기본시설물에 관한 기초자료를 얻고, 시간이 경과함에 따라 구조물의 상태변화(결함, 손상, 열화 등) 및 균열 폭과 길이 등 구성재료의 변화를 추적하기 위하여 수행한다. 본 과업의 외관조사는『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (안전점검・진단 편-2019. 01.)』의 기준에 따라 터널 내・외부에 발생된 각각의 손상 및 결함에 대하여 발생위치, 형태, 크기 등을 조사・기록하였다. 점검대상 부위는 정밀조사를 실시하기 위하여 조명기구 및 점검장비(고소차)를 이용한 근접조사를 원칙으로 시행하였으며, 점검 망치를 이용한 타격조사를 실시하여 공동 및 박리, 층분리 발생여부를 확인 및 제거를 실시하였다.

본 장에서는 터널의 구성부재별로 외관조사 결과를 사진 중심으로 수록하였으며, 이에 따른 외관조사망도와 외관조사 총괄표는 향후 터널점검 및 유지관리시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

현장조사 및 시험에서는 무엇보다 각 부재의 접근방법이 중요하며, 본 터널에서는 다음과 같은 방법으로 전 부재에 대한 근접조사를 수행하였다.



[그림 3.1] 터널 시공방법 및 주요부재 재질에 따른 터널 분류

Span번호	조사방법 및 접근성	조사기간	비고
S1~S57	도보, 고소점검차	2020.04.28.~05.07	

【사진 3.1】 위치도

터널 진입부 전경

터널 내부 전경

고소점검차를 이용한 근접조사

터널 라이닝 비파괴시험

【사진 3.2】 근접조사를 위한 장비 사용 전경

3.1.1 터널 주요 점검항목 및 손상현황

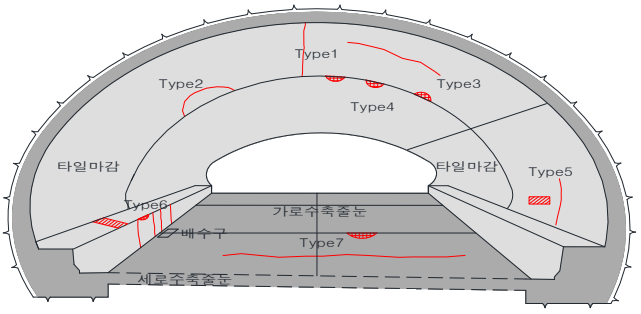
가. 터널 주요 점검항목

【표 3.1】 터널주요 점검항목

점검부위	점 검 항 목
공통사항	► 균열조사 : 위치, 균열폭, 길이, 진행성 여부, 형태(종방향, 횡방향, 밀집도 등) ► 누수조사 : 위치, 누수량 등. ► 변상조사 : 두께부족, 박리·박락, 백태, 파손, 철근노출 및 부식 등에 대한 위치, 규모, 정도
천 정 부	► 기타 : 오염
어 깨 부	► 기타 : 오염, 조명시설의 장착
측 벽 부	► 기타 : 타일 손상, 오염, 각종 케이블의 고정
시공이음부	► 변상조사 : 압좌, 단차, 파손, 시공불량 여부
기 타	► 사면 및 배수로, 옹벽, 노면 등 변상조사

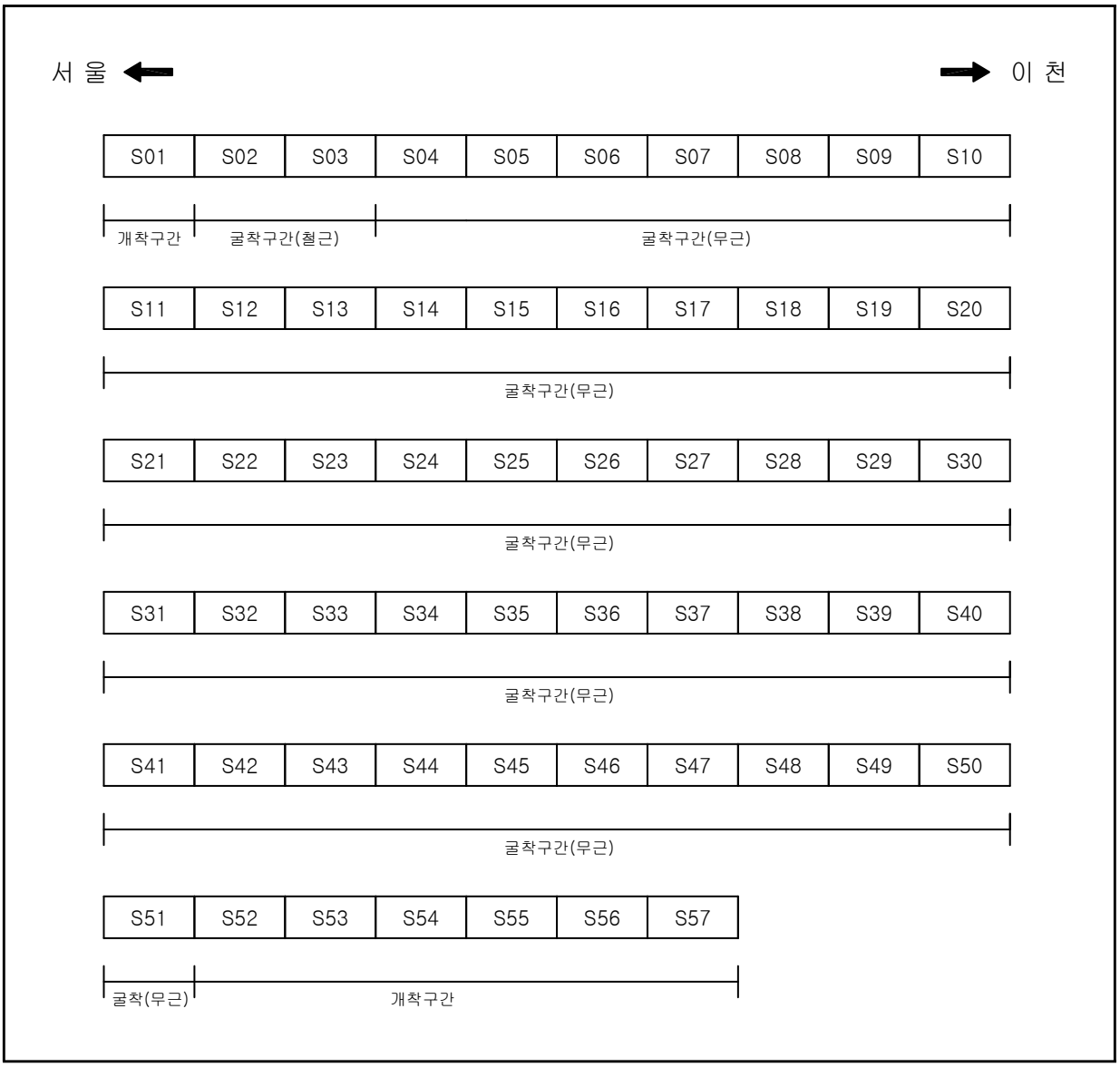
나. 터널 주요 손상현황

【표 3.2】 터널주요 점검항목

균열형상	추정원인
Type-1 종방향균열	-구조적인 균열 : 이완토압, 지압작용, 지보공 편중침하 -비구조적 균열 : 건조수축, 횡방향 온도변화, 응력불균형
Type-2 반원형균열	-거푸집 조기탈형 및 시공이음부 시공 미진 -슬럼프가 큰 콘크리트 타설 -천장부 라이닝 두께 부족
Type-3 횡방향균열	-구조적인 균열 : 부등침하 -비구조적 균열 : 종방향구속, 건조수축, 온도균열
Type-4 시공이음 박리, 박락	-온도변화에 따른 신축작용 -거푸집 조기탈형 및 시공이음부 시공 미흡 등
Type-5 마감부 박락	-타일마감부의 박락, 균열 : 시공이음부에 맞닿아 발생, 온도에 의한 수축작용, 라이닝 반사균열, 부착력저하
Type-6 공동구	-공동구 측벽 파손·횡방향 균열 : 외부충격, 콘크리트 열화, 제설제의 영향, 건주수축 및 온도변화
Type-7 포장부	-가로 및 세로수축줄눈부의 포장면 파손, 균열 : 차량의 반복통행, 제설제 및 우수침투, 건조수축 및 온도변화
손상 형상 범례	

3.1.2 터널 구간 분할

정밀안전점검을 위한 외관조사, 비파괴 시험, 시설물의 상태평가 등을 효과적으로 수행하기 위하여 측점분할 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 터널 내에 측점표시 또는 구간이 명확하게 구분되어 있지 않는 경우는 구간분할에 따른 오차를 최소화할 수 있도록 구분되어야 하며 통상적으로 현장에서 직접확인이 가능한 시공(신축)이음부를 기준으로 분할하는 것이 타당하다. 본 터널은 480.0m터널로써 구조물의 형식은 다음 그림과 같이 총 57SPAN 구간으로 분할하였다.

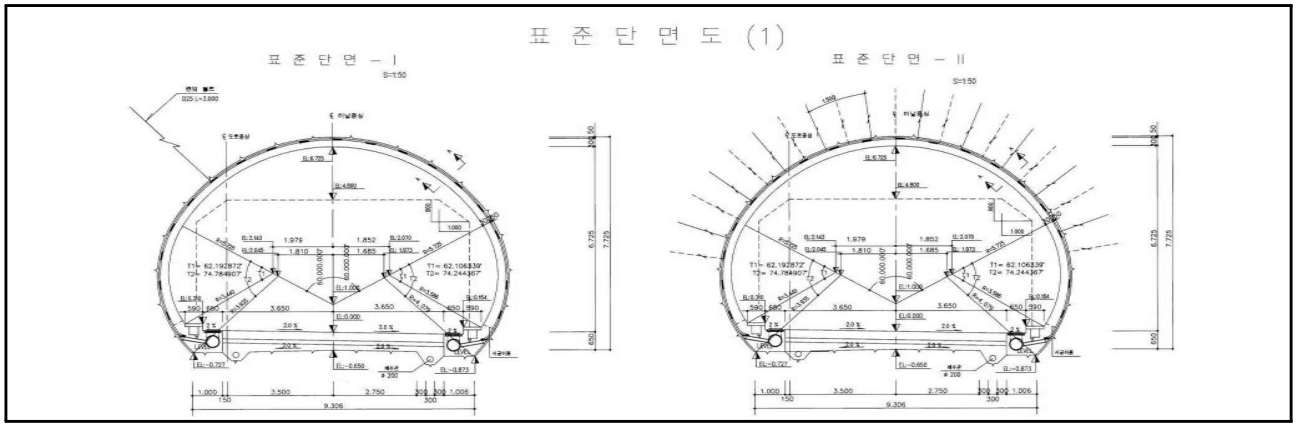


【그림 3.2】 Span별 시공현황

3.2 외관조사 결과

3.2.1 터널 라이닝

오천터널(하)는 NATM공법으로 시공된 난형식의 터널이다. 라이닝은 터널의 기능을 장기간 안정적으로 유지하기 위한 지보구조적 목적과 유지관리상 목적으로 타설한다. 지보구조적 목적은 터널의 안정에 필요한 구속력을 주고, 상재하중, 수압 등의 외력을 지지해주는 역할을 하며, 유지관리상 목적은 지하수 등의 누수를 막아주고, 사용중 점검 및 보수 등의 효율적인 작업을 위한 목적이 있다. 외관조사 시 천단부와 측벽부로 구분하여 외관조사를 실시하였다.



【그림 3.3】 오천터널(하) 표준 단면도

가. 라이닝 천단부

본 터널의 라이닝 두께는 300㎜이며, 천단부 외관조사시 고소차를 이용한 근접조사를 실시하였으며, 라이닝 균열 및 누수여부, 박리, 박락, 철근노출, 배부름 및 변형 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

터널 라이닝 전경	천단부 전경

【사진 3.3】 터널 라이닝 천단부 전경

1) 외관조사 결과

천단부는 폭 0.3㎜내·외의 균열, 공동, 박리, 조인트 마감불량, 표면오염, 조인트 들뜸 등의 손상이 발생된 것으로 조사되었다.

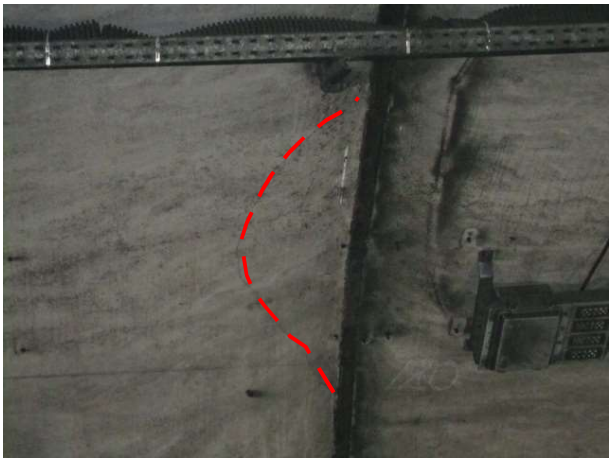
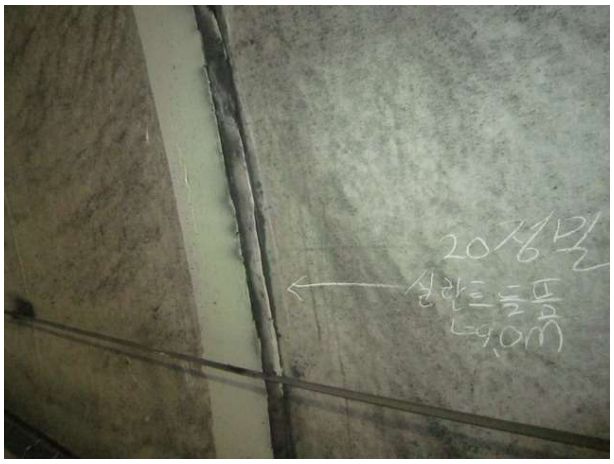
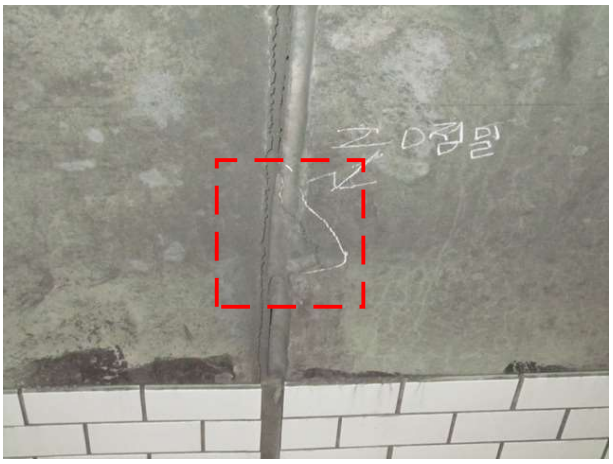
【표 3.3】 라이닝 천단부 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
라이닝 천단부	균열(cw=0.3㎜미만)	m	2.0 / 1	건조수축 및 온도변화	
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	1.5 / 1	건조수축 및 온도변화	
	공동	㎡	0.24 / 1	타설불량	
	누수흔적	㎡	0.4 / 2	라이닝 누수	
	박리	㎡	0.12 / 1	온도변화에 의한 신축작용	
	실란트 들뜸	m	15.0 / 2	장기공용에 의한 열화	
	조인트 마감불량	m	2.0 / 1	타설불량	
	표면오염	㎡	36.0 / 1	장기공용에 의한 열화	
	조인트 들뜸	㎡	0.04 / 1	거푸집 조기탈형, 다짐불량 온도변화에 의한 신축작용	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

천단부는 균열, 공동, 조인트 들뜸, 포면오염, 박리, 누수흔적 등의 손상이 일부 구간에 국부적으로 발생되었다. 균열은 라이닝 콘크리트의 계절변화에 따른 건조수축 및 온도변화에 의한 구속과 시공초기 발생된 균열에 대해 미보수된 비구조적 균열로 판단된다. 본 구조물에 발생된 균열은 구조물의 안전성에는 큰 영향이 없으나 장기적으로 내구성 저하방지를 위한 표면보수, 주입보수 등의 적절한 보수가 필요할 것으로 판단되며, 조인트부 들뜸 및 박리의 경우, 손상부를 제거하고 단면보수를 실시하더라도 경과년수가 증가함에 따라 기존 콘크리트와 보수재와의 불연속면에서 박리가 발생하여 재손상의 가능성이 높다. 따라서 안전사고 예방차원에서 유지관리하는 것이 적절하다고 판단된다.

금회 점검시 조사된 공동, 표면오염, 누수흔적의 경우 시공미흡, 타설불량, 공용기간 증가 등에 의한 손상으로 판단되며, 기 발생된 손상부의 경우 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 라이닝 일부구간 조사된 누수흔적의 경우 라이닝 누수에 의한 손상으로 판단되며, 현재 표면이 건조한 상태로 보수보다는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

	
J1 천단부 조인트 마감불량(L=2.0m)	S19 천단부 균열(cw=0.3㎜, L=1.5m)
	
J46 천단부 실란트 들뜸(L=9.0m)	J47 천단부 조인트 들뜸(A=0.1m×0.4m)
S56 천단부 표면오염(A=8.0m×4.5m)	S13 천단부 파손 및 균열 보수완료

【사진 3.4】 천단부 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

천단부에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 정밀점검에 의한 균열(cw=0.3㎜이상) 및 조인트 들뜸이 추가 조사되었으며, 반면 기 점검 이후 실시된 라이닝 콘크리트에 대한 보수로 인해 균열(cw=0.3㎜미만), 균열부 백태, 백태, 파손이 감소된 것으로 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	비 고
균열(cw=0.3㎜미만)	m	128.6	2.0	▼126.6 (보수)
균열(cw=0.3㎜이상)	m	-	1.5	▲1.5 (신규)
공동	㎡	0.24	0.24	-
누수흔적	㎡	0.4	0.4	-
박리	㎡	0.12	0.12	-
실란트 들뜸	m	15.0	15.0	-
조인트 마감불량	m	2.0	2.0	-
표면오염	㎡	36.0	36.0	-
조인트 들뜸	㎡	-	0.04	▲0.04 (신규)
균열부 백태	㎡	1.0	-	▼1.0 (보수)
백태	㎡	0.1	-	▼0.1 (보수)
파손	㎡	0.04	-	▼0.04 (보수)

나. 라이닝 측벽부

본 터널의 측벽부는 미관 및 조명효과를 증대시켜 시거환경 확보와 차량 운전자의 사고 예방을 목적으로 측벽부 표면에 타일을 부착하였다. 측벽부 외관조사시 라이닝 측벽부 균열 및 누수 여부, 박리 및 박락, 철근노출, 배부름 및 변형, 타일균열, 파손, 탈락 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

라이닝 좌측벽체 전경	라이닝 우측벽체 전경

【사진 3.5】 터널 라이닝 측벽부 전경

1) 외관조사 결과

측벽부는 타일 균열, 탈락, 파손, 실란트 들뜸 및 파손, 이격 등의 손상이 발생된 것으로 확인되었다.

【표 3.4】 라이닝 측벽부 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
라이닝 측벽부	파손	㎡	1.85 / 14	온도변화에 의한 신축작용	
	몰탈 탈락	㎡	0.26 / 7	장기공용에 의한 열화	
	타일 균열	EA	126.0 / 126	라이닝 균열	
	타일 탈락	EA	32.0 / 32	장기공용에 의한 접착력 저하	
	타일 파손	EA	12.0 / 12	공용중 외부충격	
	실란트 들뜸 및 파손	m	9.0 / 3	장기공용에 의한 열화	
	이격	m	4.0 / 1	온도변화에 의한 신축작용	
	누수흔적	㎡	2.15 / 2	라이닝 누수	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

본 터널 측벽부에 발생된 파손 및 이격의 경우 신축이음부 몰탈에서 발생된 손상으로 온도변화에 의한 신축작용 등에 의한 손상으로 판단된다. 기 발생된 손상부의 경우 터널의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 단면보수, 충진보수 등의 조치가 요망된다.

금회 점검시 조사된 실란트 들뜸 및 파손, 몰탈 탈락의 경우 장기공용에 의한 열화, 라이닝 누수 등에 의해 발생된 손상으로 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 타일부에 발생된 손상들에 대해서는 안전사고예방 및 미관 확보를 위해 타일 재시공 등 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 일부구간 발생된 라이닝 측벽부 누수흔적의 경우 라이닝 누수에 의한 손상으로 손상의 진전 방지를 위한 표면처리 등의 조치가 요망된다.

J3 측벽부 파손(A=0.1m×1.0m)	J11 측벽부 파손(A=0.1m×1.5m)
J13 측벽부 실란트 파손(L=1.0m)	J15 측벽부 이격(L=4.0m)

【사진 3.6】 측벽부 손상현황

S36 측벽부 타일 탈락(12EA)	S51 측벽부 타일 균열(5EA)
S52 측벽부 누수흔적(A=0.3m×2.5m)	S52 측벽부 누수흔적(A=0.3m×2.5m)
S54 측벽부 누수흔적(A=0.3m×3.0m)	S54 측벽부 누수흔적(A=0.3m×3.0m)

【사진 3.6】 측벽부 손상현황(계속)

3) 기 점검 결과 비교

측벽부에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 타일 균열, 긁힘, 파손, 표면오염이 공용기간중 일부 증가 한 것으로 확인되었으며, 균열부백태의 경우 전개소 보수를 실시한 것으로 조사되었다. 또한, 기 점검시 조사된 소화기함 파손의 경우 일부 손상에 대한 보수를 실시한 것으로 확인되었으며, 현재 보수부의 상태는 양호한 것으로 조사되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	비 고
파손	㎡	0.03	1.85	▲1.82 (신규)
몰탈 탈락	㎡	0.25	0.26	▲0.01 (신규)
타일 균열	EA	126.0	126.0	-
타일 탈락	EA	29.0	32.0	▲3.0 (신규)
타일 파손	EA	12.0	12.0	-
실란트 들뜸 및 파손	m	-	9.0	▲9.0 (신규)
이격	m	-	4.0	▲4.0 (신규)
누수흔적	㎡	-	2.15	▲2.15 (신규)

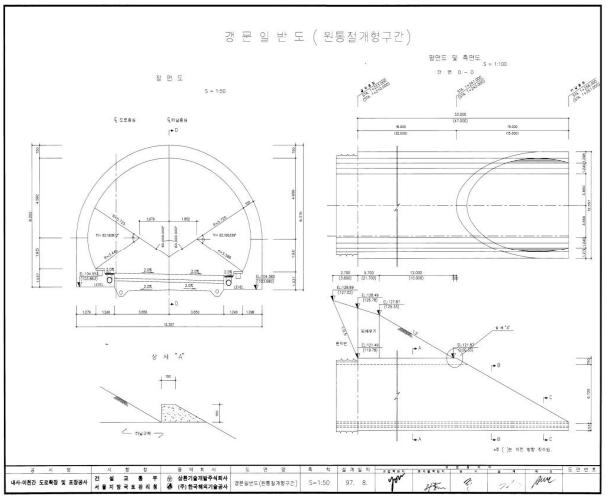
3.2.2 터널주변

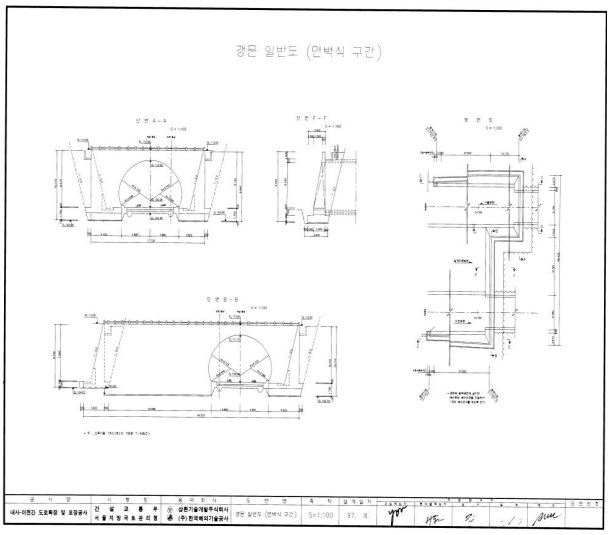
가. 갱문 및 옹벽

본 터널의 갱문은 NATM구간 진입부 면벽식, 진출부 원통절개형으로 시공되어있으며, 진・출입부 좌측 또는 우측으로 반중력식 옹벽이 시공되어 있다. 갱문 및 옹벽 외관조사시 대리석 마감재 파손, 박락, 균열 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

진입부 갱문 및 옹벽 전경	진출부 갱문 및 옹벽 전경

【사진 3.7】 갱문 진·출입부 전경





【그림 3.4】 갱문 진·출입부 일반도

1) 외관조사 결과

갱문에 대한 외관조사 결과, 진・출입부측 모두 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 확인되었다.

옹벽에 대한 외관조사 결과, 폭 0.3㎜ 내・외 균열, 배수구 막힘, 백태가 발생된 것으로 조사되었다.

【표 3.5】 갱문 및 옹벽 손상현황

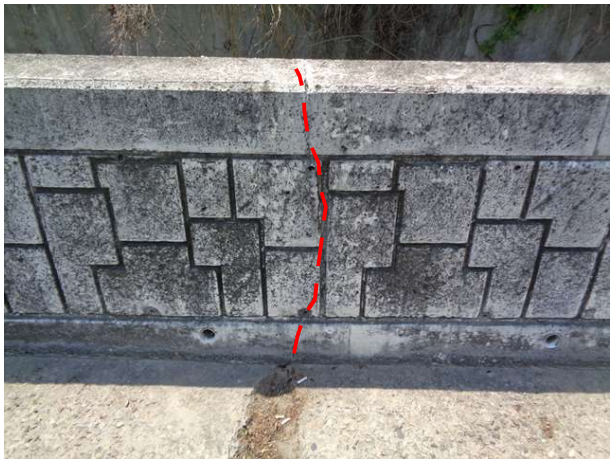
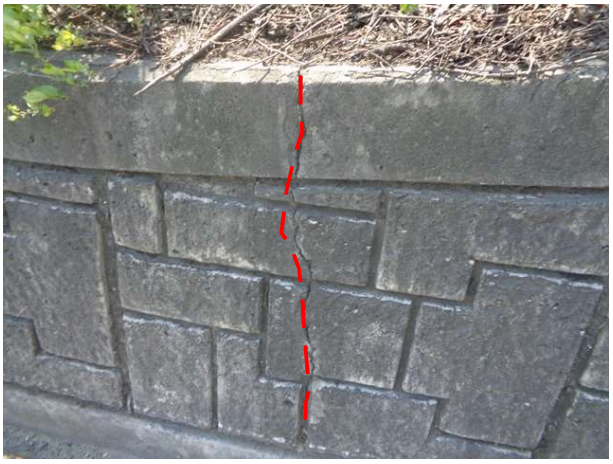
구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
갱문	상태양호	-	-	-	
옹벽	균열(cw=0.3㎜미만)	m	32.9 / 18	건조수축 및 온도변화	
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	11.1 / 6	건조수축 및 온도변화	
	배수구 막힘	EA	19.0 / 19	공용기간 증가, 이물질 퇴적	
	백태	㎡	0.28 / 5	장기공용에 의한 열화	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

옹벽에 발생된 균열 및 백태의 경우 건조수축 및 온도변화, 공용기간 증가 등에 의한 비구조적 손상로써 구조물의 사용성 및 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 표면처리, 주입보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직 하다.

옹벽에 시공된 수평배수공의 경우 공용기간 증가, 이물질퇴적 등에 의한 배수구막힘이 일부구간 조사되었으며, 배수공이 불량하여 배면부의 지하수가 원활히 배출되지 않을 경우 저면활동, 원호활동, 전도, 균열 등의 손상을 야기시키므로 주기적인 정비가 필요할 것으로 판단된다.

갱문의 경우 현재 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었으며, 추후 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하여 현재 상태를 유지하는 것이 바람직하다.

진입부 옹벽 STA.0+015 백태(A=0.1m×0.6m)	진입부 옹벽 STA.0+040 배수구 막힘
	
진입부 옹벽 STA.0+125 균열(cw=0.5㎜, L=2.2m)	진출부 옹벽 STA.0+020 균열(cw=1.0㎜, L=2.1m)
	
진출부 옹벽 STA.0+040 균열(cw=2.0㎜, L=1.2m)	진출부 옹벽 STA.0+040 균열(cw=2.0㎜, L=1.2m)

【사진 3.8】 갱문 및 옹벽 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

갱문 및 옹벽에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 기존 손상의 진전은 발생되지 않은 것으로 조사되었으며, 폐기물 퇴적의 경우 기 점검 이후 실시된 보수로 인해 물량이 감소되었다.

구 분		단 위	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	비 고
갱문	상태양호	-	-	-	-
옹벽	균열(cw=0.3㎜미만)	m	32.9	32.9	-
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	11.1	11.1	-
	배수구 막힘	EA	19.0	19.0	-
	백태	㎡	0.28	0.28	-
	폐기물 퇴적	㎡	2.0	-	▼2.0 (보수)

나. 사면

본 터널준공 이후 지형의 변화나 사면활동 등의 외형적인 변화는 없는 것으로 관찰되었으며, 안전성에 위해한 요소는 없는 것으로 판단된다. 사면 외관조사시 슬라이딩, 함몰여부, 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

진입부 사면 전경	진출부 사면 전경

【사진 3.9】 사면 진·출입부 전경

1) 외관조사 결과

사면 외관조사 결과, 터널 주변 사면에 초본류 및 목본류의 식생상태는 양호하며, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었다. 다만, 일부구간 식생 및 성토 유실 및 외부 배수로 토사퇴적 및 식생이 발생된 것으로 확인되었다.

【표 3.6】 사면 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
사면	식생 및 성토유실	m	13.0 / 1	우수유입, 공용기간 증가	
상단 배수로	토사퇴적 및 식생	㎡	38.0 / 2	공용기간 증가, 이물질퇴적	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

사면 일부구간 발생된 식생 및 성토유실의 경우 우수유입, 공용기간 증가 등에 의한 손상으로 판단되며, 기 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 사면보호공 설치 등의 조치가 요망된다.

또한, 사면 상단 배수로에 발생된 토사퇴적 및 식생의 경우 공용기간 증가, 이물질 퇴적에 의한 손상으로 판단되며, 현재 배수로의 배수기능에 영향을 미칠만한 상태는 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

진입부 사면 상단 배수로 토사퇴적(A=1.0m×20.0m)	진입부 사면 상단 배수로 토사퇴적(A=1.0m×20.0m)

【사진 3.10】 사면 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

터널부 사면에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 기 점검 이후 기존 손상의 진전 및 추가 발생된 손상은 없는 것으로 확인되었다.

구 분		단 위	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	비 고
사면	식생 및 성토유실	m	13.0	13.0	-
상단 배수로	토사퇴적 및 식생	㎡	38.0	38.0	-

다. 공동구 및 배수시설

본 터널의 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구 및 배수시설에 대한 효율적인 유지관리를 위해 설치된 시설물로 공동구 덮개 파손, 본체 콘크리트 파손, 배수구 막힘 등에 주안점을 두고 외관조사를 실시하였다.

공동구 전경	배수구 전경

【사진 3.11】 공동구 및 측구(배수로) 전경

1) 외관조사 결과

공동구 및 배수시설 외관조사 결과, 공동구 일부구간 균열(cw=0.3㎜내·외), 덮개 균열, 파손, 들뜸, 철근부식, 층분리 등이 조사되었으며, 배수시설의 경우 균열(cw=0.3㎜미만), 배수구 토사퇴적, 막힘, 노견 토사퇴적이 발생된 것으로 조사되었다.

【표 3.7】 공동구 및 배수시설 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
공동구	균열(cw=0.3㎜미만)	m	0.3 / 1	건조수축 및 온도변화	
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	73.2 / 30	건조수축 및 온도변화	
	덮개 균열	EA	16.0 / 16	건조수축, 노후화	
	덮개 파손	EA	101.0 / 101	외부충격	
	들뜸	㎡	0.7 / 3	동결융해, 노후화	
	박리	㎡	0.09 / 5	동결융해, 노후화	
	철근부식	㎡	0.08 / 1	동결융해, 노후화	
	층분리	㎡	8.8 / 11	동결융해, 노후화	
	파손	㎡	1.54 / 7	외부충격	

【표 3.7】 공동구 및 배수시설 손상현황(계속)

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
배수시설	균열(cw=0.3㎜미만)	m	12.6 / 21	건조수축 및 온도변화	
	배수구 토사퇴적	㎥	0.82 / 8	공용기간 증가, 이물질 퇴적	
	배수구 막힘	EA	3.0 / 3	공용기간 증가, 이물질 퇴적	
	노견 토사퇴적	㎡	148.79 / 48	공용기간 증가, 이물질 퇴적	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

공동구에 일부 발생된 균열의 경우 건조수축 및 온도변화 등에 의한 비구조적 손상으로 판단되며, 보수보다는 주기적인 점검을 통한 유지관리 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

공동구에 일부 발생된 덮개 균열 및 파손은 공용중 외부충격 등에 의한 것으로 판단되며, 공동구는 점검자의 안전점검시 보도로서 활용하는 만큼 안전사고 예방차원에서 파손된 덮개에 대해서는 교체가 바람직 할 것으로 판단된다.

또한, 공동구 일부구간 발생된 들뜸, 박리, 철근부식, 층분리, 파손의 경우 시공미흡, 외부충격, 노면수 및 제설재 유입에 따른 동결융해의 반복, 노후화 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다.

배수시설에 발생된 균열의 경우 건조수축 및 온도변화에 의한 비구조적 손상으로 현재 손상정도가 경미하여 주의관찰 하여도 무방하다.

배수구에 발생된 토사퇴적의 경우 공용기간 증가, 이물질 퇴적 등에 의한 손상으로 현재 배수기능에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

일부구간 발생된 배수구 막힘 및 노견 토사퇴적의 경우 공용기간 증가, 이물질 퇴적 등에 의한 손상으로 구조물의 원활한 배수기능 확보 및 손상의 진전 방지를 위한 정비가 요망된다. 또한, 터널의 배수시설의 경우 유입수의 원활한 배출을 위해 이물질 청소 등의 주기적인 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

S17 공동구 덮개 균열(1EA)	S19 공동구 덮개 파손(6EA)
S26 공동구 박리(A=0.1m×0.1m)	S45 공동구 덮개 파손(10EA)
S52 배수시설 노견 토사퇴적 보수완료	S55 배수시설 배수구 막힘 보수완료

【사진 3.12】 공동구 및 배수시설 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

공동구 및 배수시설에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 공동구의 경우 기 손상의 진전 및 추가 발생된 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 배수시설의 경우 기 점검 이후 실시된 정비로 인해 배수구 막힘 및 노견 토사퇴적의 경우 손상물량이 감소된 것으로 확인되었다.

구 분		단 위	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	비 고
공동구	균열(cw=0.3㎜미만)	m	0.3	0.3	-
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	73.2	73.2	-
	덮개 균열	EA	16.0	16.0	-
	덮개 파손	EA	101.0	101.0	-
	들뜸	㎡	0.7	0.7	-
	박리	㎡	0.09	0.09	-
	철근부식	㎡	0.08	0.08	-
	층분리	㎡	8.8	8.8	-
	파손	㎡	1.54	1.54	-
배수시설	균열(cw=0.3㎜미만)	m	12.6	12.6	-
	배수구 토사퇴적	㎥	0.82	0.82	-
	배수구 막힘	EA	5.0	3.0	▼2.0 (보수)
	노견 토사퇴적	㎡	279.0	148.79	▼130.21 (보수)

3.2.3 부대시설

가. 포장부

본 터널의 포장부는 인버트 콘크리트(650㎜)를 포설하여 포장층을 구성하고 있으며, 종방향 그루빙이 시공되어 있다. 포장부 외관조사 시, 균열 및 파손, 토사퇴적, 포장패임, 함몰 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

포장부 전경	포장부 전경

【사진 3.13】 터널 포장부 전경

1) 외관조사 결과

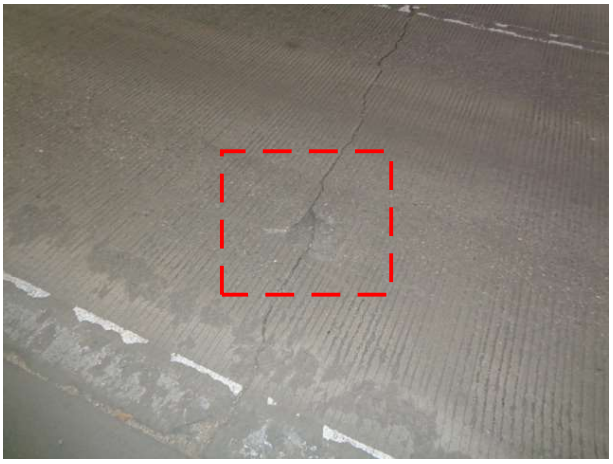
포장부 외관조사 결과, 균열, 긁힘, 망상균열, 박리, 파손이 발생된 것으로 조사되었다.

【표 3.8】 터널 포장부 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
포장부	균열	m	202.3 / 102	차량반복하중	
	긁힘	㎡	0.32 / 4	차량반복하중	
	망상균열	㎡	12.36 / 9	차량반복하중	
	박리	㎡	3.92 / 4	차량반복하중	
	파손	㎡	15.03 / 101	차량반복하중, 동결융해	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

콘크리트 포장에 발생한 균열, 긁힘, 망상균열, 박리, 파손의 경우 통행차량의 반복하중, 공용기간 증가에 의한 열화, 노면수 및 제설재 유입에 따른 동결융해의 반복 등에 의한 손상으로 판단되며, 현재 전구간에 걸쳐 손상이 고르게 분포되어 있다. 특히, 일부 손상부의 경우 손상의 진전이 발생된 상태이며, 기 점검 이후 추가 발생된 손상이 다수 조사되었다. 터널 포장부의 경우 구조물의 안전성에 영향을 미치는 부재는 아니나, 통행차량의 주행성 및 안전성 확보를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 부분 보수시 재손상이 발생할 가능성이 높으므로, 부재의 사용성 확보 및 통행차량의 주행성, 안전성 확보를 위한 전면 재포장이 바람직 할 것으로 판단된다.

S2 포장 파손(A=1.0m×0.3m)	S3 포장 파손(A=1.5m×1.0m)
	
S5 포장 파손(A=1.5m×2.0m)	S22 포장 파손(A=0.3m×0.3m)

【사진 3.14】 터널 포장부 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

포장부에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 균열 및 박리의 경우 기 점검 이후 추가 발생된 손상에 의해 물량이 증가하였으며, 망상균열 및 파손의 경우 손상의 변경으로 인해 물량이 변동된 것으로 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	비 고
균열	m	191.3	202.3	▲11.0 (신규)
긁힘	㎡	0.32	0.32	-
망상균열	㎡	15.07	12.36	▼2.71 (손상변경)
박리	㎡	3.42	3.92	▲0.5 (신규)
파손	㎡	12.03	15.03	▲3.0 (손상변경)

3.2.4 기타 부속시설

본 터널의 부속시설은 조명시설, 소화시설, 부대시설 등이 설치되어 있다.

소화시설 설치현황	소화시설 설치현황
조명시설 설치현황	제원판 설치현황

【사진 3.15】 기타 부속시설 전경

1) 외관조사 결과

터널 어깨부 좌, 우측으로 설치되어 있는 조명시설의 점등 상태는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다. 그 외 구간은 차량 운행에 대한 충분한 조도를 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 소화시설 점검결과, 터널내부 차량 화재시 진압을 위한 소화설비는 측벽부에 설치되어 있으며, 내부에 분말소화기 2조가 비치되어 것으로 조사되었다. 기 점검시 조사된 소화기함 파손의 경우 전개소 보수를 실시한 것으로 확인되었으며, 현재 보수부의 상태는 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3.9】 터널 부속시설 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
부속시설	상태양호	-	-	-	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

터널 부속시설의 경우 금회 점검시 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 기 점검시 조사된 소화기함 파손의 경우 전개소 보수를 실시한 것으로 확인되었다. 손상부의 경우 재손상 등이 없는 양호한 상태이며, 추후 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하여 현재 상태를 유지하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

S10 소화기함 파손 보수완료

S40 소화기함 파손 보수완료

【사진 3.16】 터널 부속시설 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

포장부에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 소화기함 파손의 경우 기 점검 이후 전개소 보수를 실시하였으며, 그로 인해 손상물량이 감소된 것으로 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	비 고
소화기함 파손	EA	4.0	-	▼4.0 (보수)

3.2.5 외관조사 총괄표

【표 3.10】 손상내용 총괄표

구분	손상 내용	단위	물량	개소	비고
라이닝 천단부	균열(cw=0.3㎜미만)	m	2.0	1	
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	1.5	1	
	공동	㎡	0.24	1	
	누수흔적	㎡	0.4	2	
	박리	㎡	0.12	1	
	실란트 들뜸	m	15.0	2	
	조인트 마감불량	m	2.0	1	
	표면오염	㎡	36.0	1	
	조인트 들뜸	㎡	0.04	1	
라이닝 측벽부	파손	㎡	1.85	14	
	몰탈 탈락	㎡	0.26	7	
	타일 균열	EA	126.0	126	
	타일 탈락	EA	32.0	32	
	타일 파손	EA	12.0	12	
	실란트 들뜸 및 파손	m	9.0	3	
	이격	m	4.0	1	
	누수흔적	㎡	2.15	2	
갱문	상태양호	-	-	-	
옹벽	균열(cw=0.3㎜미만)	m	32.9	18	
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	11.1	6	
	배수구 막힘	EA	19.0	19	
	백태	㎡	0.28	5	

【표 3.10】 손상내용 총괄표(계속)

구분	손상 내용	단위	물량	개소	비고
사면	식생 및 성토유실	m	13.0	1	
사면 외부 배수로	토사퇴적 및 식생	㎡	38.0	2	
공동구	균열(cw=0.3㎜미만)	m	0.3	1	
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	73.2	30	
	덮개 균열	EA	16.0	16	
	덮개 파손	EA	101.0	101	
	들뜸	㎡	0.7	3	
	박리	㎡	0.09	5	
	철근부식	㎡	0.08	1	
	층분리	㎡	8.8	11	
	파손	㎡	1.54	7	
배수시설	균열(cw=0.3㎜미만)	m	12.6	21	
	배수구 토사퇴적	㎥	0.82	8	
	배수구 막힘	EA	3.0	3	
	노견 토사퇴적	㎡	148.79	48	
포장부	균열	m	202.3	102	
	긁힘	㎡	0.32	4	
	망상균열	㎡	12.36	9	
	박리	㎡	3.92	4	
	파손	㎡	15.03	101	
부속시설	상태양호	-	-	-	

3.2.6 전회차 손상물량 비교

【표 3.11】 전회차 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상 열화내용	단위	손상수량		증•감 물량
			2017 정밀안전점검	2020 정밀안전점검	
라이닝 천단부	균열(cw=0.3㎜미만)	m	128.6	2.0	▼126.6 (보수)
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	-	1.5	▲1.5 (신규)
	공동	㎡	0.24	0.24	-
	누수흔적	㎡	0.4	0.4	-
	박리	㎡	0.12	0.12	-
	실란트 들뜸	m	15.0	15.0	-
	조인트 마감불량	m	2.0	2.0	-
	표면오염	㎡	36.0	36.0	-
	조인트 들뜸	㎡	-	0.04	▲0.04 (신규)
	균열부 백태	㎡	1.0	-	▼1.0 (보수)
	백태	㎡	0.1	-	▼0.1 (보수)
	파손	㎡	0.04	-	▼0.04 (보수)
라이닝 측벽부	파손	㎡	0.03	1.85	▲1.82 (신규)
	몰탈 탈락	㎡	0.25	0.26	▲0.01 (신규)
	타일 균열	EA	126.0	126.0	-
	타일 탈락	EA	29.0	32.0	▲3.0 (신규)
	타일 파손	EA	12.0	12.0	-
	실란트 들뜸 및 파손	m	-	9.0	▲9.0 (신규)
	이격	m	-	4.0	▲4.0 (신규)
	누수흔적	㎡	-	2.15	▲2.15 (신규)
갱문	상태양호	-	-	-	-
옹벽	균열(cw=0.3㎜미만)	m	32.9	32.9	-
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	11.1	11.1	-
	배수구 막힘	EA	19.0	19.0	-
	백태	㎡	0.28	0.28	-
	폐기물 퇴적	㎡	2.0	-	▼2.0 (보수)

【표 3.11】 전회차 손상물량 비교(계속)

구 분	결함내용 및 손상 열화내용	단위	손상수량		증•감 물량
			2017 정밀안전점검	2020 정밀안전점검	
사면	식생 및 성토유실	m	13.0	13.0	-
사면 배수로	토사퇴적 및 식생	㎡	38.0	38.0	-
공동구	균열(cw=0.3㎜미만)	m	0.3	0.3	-
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	73.2	73.2	-
	덮개 균열	EA	16.0	16.0	-
	덮개 파손	EA	101.0	101.0	-
	들뜸	㎡	0.7	0.7	-
	박리	㎡	0.09	0.09	-
	철근부식	㎡	0.08	0.08	-
	층분리	㎡	8.8	8.8	-
	파손	㎡	1.54	1.54	-
배수시설	균열(cw=0.3㎜미만)	m	12.6	12.6	-
	배수구 토사퇴적	㎥	0.82	0.82	-
	배수구 막힘	EA	5.0	3.0	▼2.0 (보수)
	노견 토사퇴적	㎡	279.0	148.79	▼130.21 (보수)
포장부	균열	m	191.3	202.3	▲11.0 (신규)
	긁힘	㎡	0.32	0.32	-
	망상균열	㎡	15.07	12.36	▼2.71 (손상변경)
	박리	㎡	3.42	3.92	▲0.5 (신규)
	파손	㎡	12.03	15.03	▲3.0 (손상변경)
부속시설	소화기함 파손	EA	4.0	-	▼4.0 (보수)

3.3 콘크리트 내구성 조사

3.3.1 개 요

가. 개 요

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2019. 01, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

나. 조사 현황 및 위치

1) 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험), 탄산화깊이 측정 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3.12】 콘크리트 비파괴시험 현황

구분	분석방법	기준수량		실행수량
측점분할	-	5~20m 간격		
반발경도 시험	반발경도법	총수량 = (총연장 ÷ 300)개소	2개소	2개소
탄산화깊이 측정	페놀프탈레인법	총연장 1,000미만 = 2개소 총연장 1,000이상 최소 2개소 + 1,000m당 1개소 추가	2개소	2개소

2) 콘크리트 내구성시험 위치 선정사유

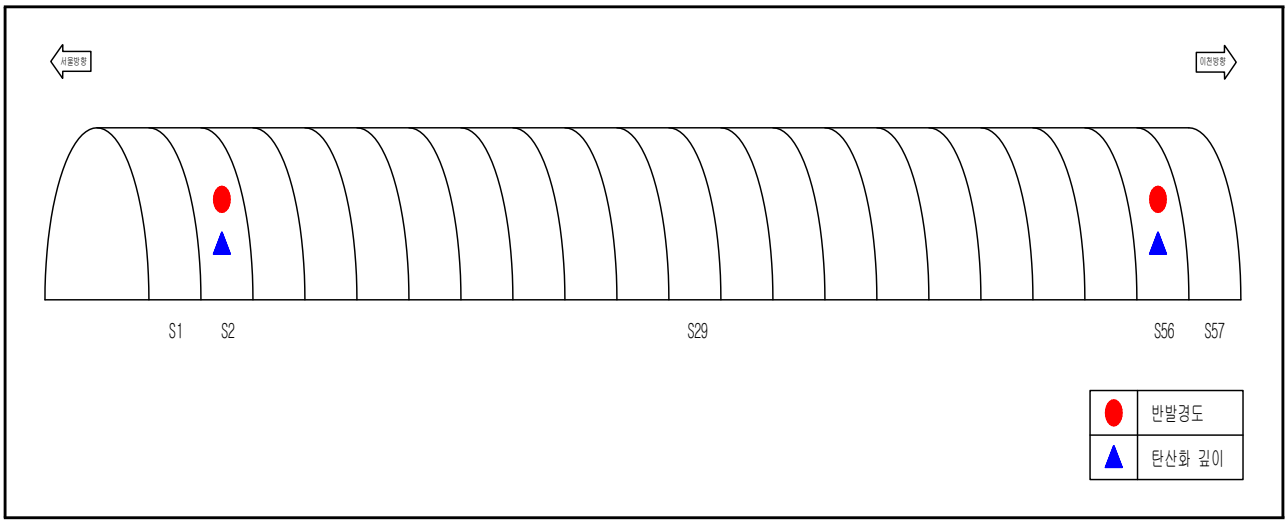
콘크리트 강도 등 시공정밀도 검증이 필요한 재료시험은 내구성 시험의 정확한 갑승 얻기 위하여 접근성이 용이하고 콘크리트의 요철 및 곰보작국 등을 피하여 외관상 양호한 곳을 선정하여 내구성 시험을 실시하였다. 따라서 본 터널의 내구성 시험은 고소작업차를 이용하여 천단부 등의 주요부재를 중심으로 우선적으로 선정하여 시험위치를 정하였다.

3) 조사 사진

반발경도 시험 현황	탄산화깊이 측정 현황

【사진 3.17】 콘크리트 내구성조사 현황

4) 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3.5】 콘크리트 내구성조사 위치도

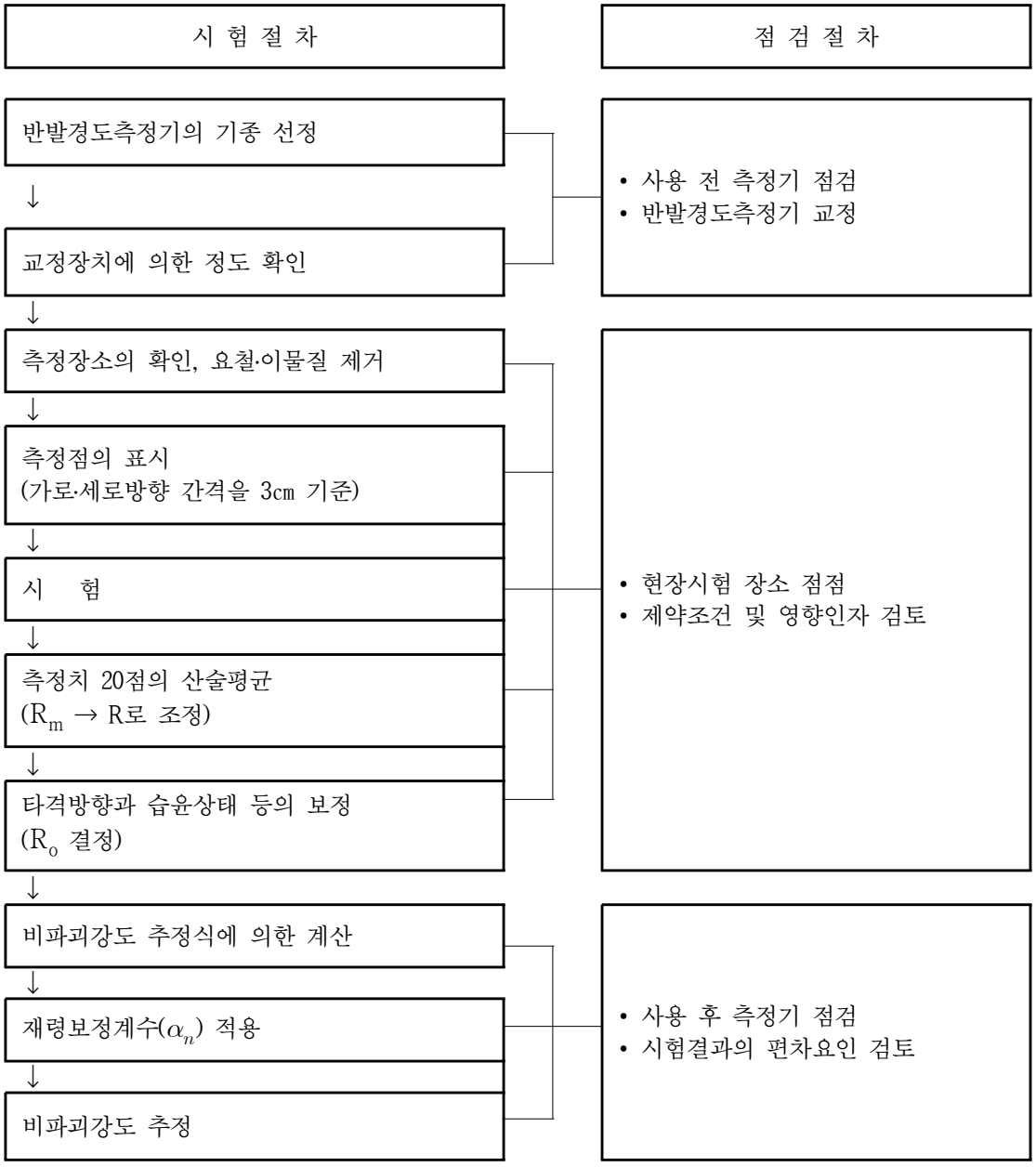
3.3.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

콘크리트의 표면 경도를 측정하여, 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다. 반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발경도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



【그림 3.6】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

외관조사 결과에 의해 결정된 측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격은 3㎝를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술평균값(R_m)을 구한다. 산술평균값(R_m)에 대해서는 릴렘(RILEM) 규정에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 20\%$의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다.

② 보정반발경도(R_o)

【표 3.13】 보정반발경도(R_o)

◈ 보정반발경도 : $R_o = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

- 수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 함
  ⇒ 하향 타격(-90°)의 경우 : (+)값으로 보정
  상향 타격(+90°)의 경우 : (-)값으로 보정

R \ α	보 정 값			
	+90°	+45°	-45°	-90°
10	-	-	+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.5	+2.2
60	-2.2	-1.6	+1.3	+1.7

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨
  ⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : ΔR_2 = +3으로 보정
  측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : ΔR_2 = +5로 보정

③ 압축강도의 추정

보정반발경도(R_0)로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같으며, 제안식의 적용은 시험방법 및 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

【표 3.14】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분	추 정 식(㎫)	비 고
일본재료학회	$F_c = (-184.0 + 13R_0) \times 0.098$	**금회 적용**
일본건축학회	$F_c = (7.3R_0 + 100) \times 0.098$	**금회 적용**
한국 시설안전공단	$F_c = (17.2R_0 - 241) \times 0.098$	-
과학기술부	$F_c = (-112.8 + 15.2R_0) \times 0.098$	-
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2019. 1, 국토교통부/한국시설안전공단)		

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 아래【표 3.13】과 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c$$

【표 3.15】 재령계수 α값

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

나. 탄산화깊이 측정

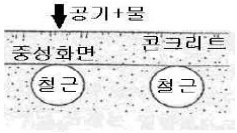
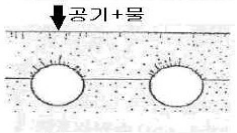
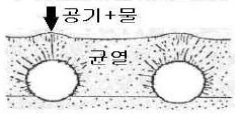
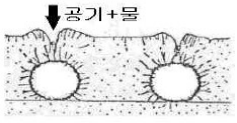
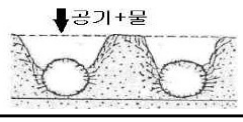
1) 개 요

탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCo_3} + \underset{\text{물}}{H_2O}$$

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 시멘트의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)은 pH 12~13정도의 강알칼리성을 나타내지만 대기 중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6}㎜ 두께의 수산화물($\gamma-Fe_2O_3\cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

	STEP 1 • 정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없음 (약간의 건조수축에 의한 균열)
	STEP 2 • 녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생
	STEP 3 • 철근의 윗면이 팽창함 • 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임
	STEP 4 • 철근 윗면의 피복이 떨어지고, 철근의 노출이 시작됨 • 철근단면적이 감소함
	STEP 5 • 철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출됨 • 내구성능은 없음

【그림 3.7】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로는 환경조건(대기 중의 탄산가스 농도, 온도, 습도, 마감재 등)을 주원인으로 하는 외적요인 및 콘크리트 자체의 성능·품질(함수율, 강도, 시멘트의 종류, 배합조건, 시공조건 등)을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

【표 3.16】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	시멘트의 종류	• 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 • 조강 포틀랜드시멘트 < 보통 포틀랜드시멘트 < 중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	• 투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름
	계면활성제 종류	• 동일 물-시멘트비, 동일 슬럼프라면 탄산화 속도와 무관함
	압축강도	• 압축강도가 낮을수록 탄산화 속도가 빠름
	물-시멘트비	• 물-시멘트비가 증가하면 탄산화 속도가 빠름
	시공 정밀도	• 다짐이 불충분할수록 탄산화 속도가 빠름
	콘크리트 결함부	• 균열부위, 이음부, 손상부위 등에서 탄산화 속도가 빠름
외적 요인	온도	• 온도 상승시 탄산화 속도가 빠름 • 20~50 ° C 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	• 농도가 클수록 탄산화 속도가 빠름 • 탄산가스 농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습도	• 상대습도 50~70% 에서 탄산화 속도가 최대
	실내, 실외	• 실내의 탄산화 속도가 빠름

3) 탄산화깊이의 측정

본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법(페놀프탈레인은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리용액)을 이용하여 콘크리트의 탄산화 진행 정도를 측정한다.

콘크리트 파단면에 1% 페놀프탈레인 용액을 도포한 후 색의 변화를 관찰하는 방법으로 강알칼리성일수록 짙은 보라색을 띠며 pH 9이하에서는 무색을 나타낸다. 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

4) 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

탄산화 속도는 경과시간(t)의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$법으로 표현된다. 탄산화(C)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = A \times \sqrt{t}$$

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

여기서 구해진 탄산화 속도계수(A)를 실제 탄산화깊이와 경과년수를 이용하여 역추적으로 구한 후 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하면 콘크리트의 탄산화에 의한 잔존수명을 예측할 수 있다.

수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화 속도계수)2

잔존수명예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3.17】 탄산화 상태평가 기준

기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	• 30㎜이상	• 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	• 10㎜이상 ~ 30㎜미만	• 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	• 0㎜이상 ~ 10㎜미만	• 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 0㎜미만	• 철근부식 발생
e	-	-

3.3.3 시험결과 및 분석

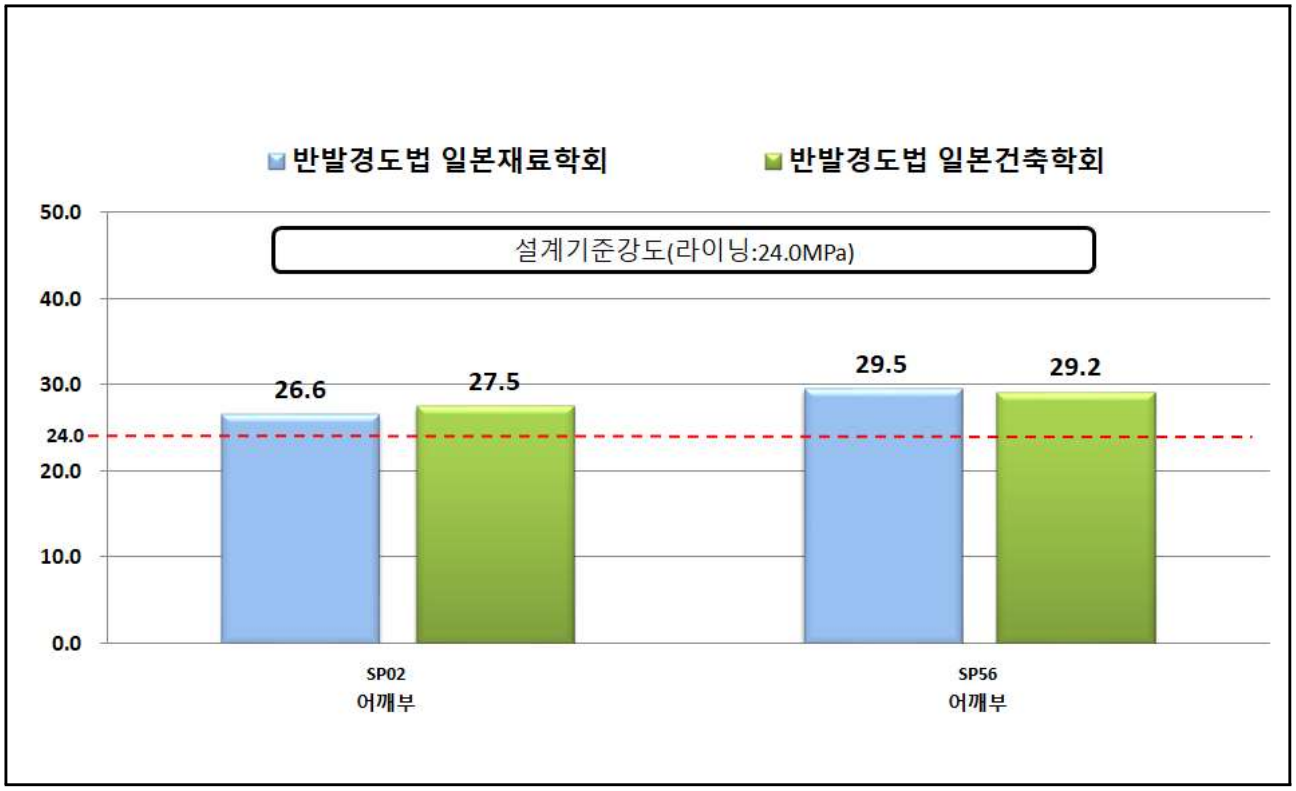
가. 콘크리트 강도시험

오천터널(하)의 콘크리트 비파괴강도시험은 콘크리트 라이닝에서 반발경도시험(총 2개소)를 실시하였으며, 검토결과는【표 3.18】과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.18】 콘크리트 라이닝 비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험	반발경도법(MPa)			설계기준 강도 (MPa)	비고
		반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
라이닝	S2 라이닝	47.4	26.6	27.5	0.63	24.0	
	S56 라이닝	51.0	29.5	29.2	0.63		
	평 균	49.2	28.1	28.4	-		



【그림 3.8】 콘크리트 라이닝 평균압축강도 추정결과

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 26.6~29.5㎫로 측정 되었으며, 금회 실시한 오천터널(하)는 모두 설계기준 압축강도(24.0㎫)를 상회하는 것으로 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 오천터널(하)의 라이닝 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하가 발생되지 않은 것으로 판단된다.

【표 3.19】 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	시험방법	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
라이닝	반발경도법	26.6～29.5	24.0	110.6～122.8

② 기 점검결과와의 비교

【표 3.20】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	설계기준강도
반발경도법	27.4～33.5	26.6～29.5	24.0
검토의견	■ 기존 및 금회 측정값 비교 분석 결과 측정부위에 따라 다소 차이는 있지만, 설계강도를 100%이상 상회하고 있는 것으로 확인되어 콘크리트의 강도상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.		

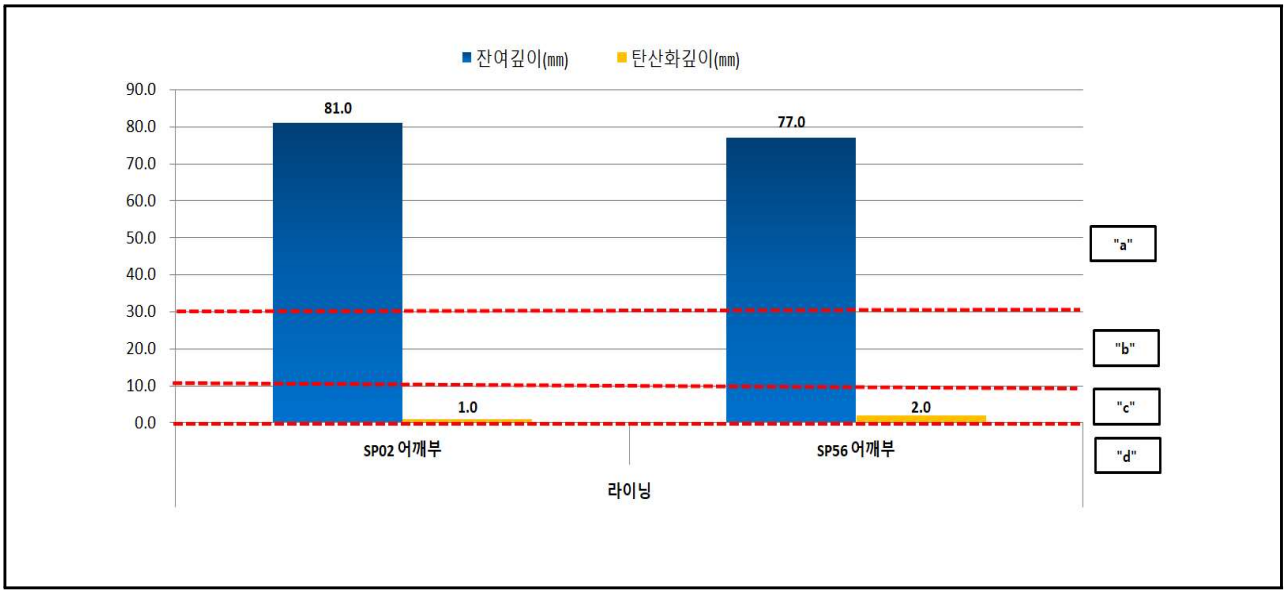
나. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 2개소에서 실시하였다. 시험위치는 철근구간인 진·출입부 개착구간 및 굴착구간(철근)에서 실시하였으며, 시험방법은 드릴링을 통한 천공 후 지시약을 사용하여 적색으로 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 그 깊이를 측정하고 철근탐사기를 이용하여 피복두께를 확인하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.21】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	실측 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
라이닝	S2	1.0	82.0	81.0	a	0.25	100년이상	-
	S56	2.0	79.0	77.0	a	1.00	100년이상	



【그림 3.9】 탄산화 깊이 측정결과

■ 측정결과, 탄산화깊이는 1.0㎜~2.0㎜로 측정되었으며, 잔여깊이가 30㎜이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 “a“로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

【표 3.22】 탄산화 시험결과 분석

구 분	탄산화 깊이(㎜)	잔여깊이(㎜)	비고
라이닝	1.0~2.0	77.0~81.0	

② 기 점검결과와의 비교

【표 3.21】 탄산화 깊이 기 점검결과와의 비교

구 분	2017년 정밀안전점검			금회 정밀안전점검			비 고
	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	
라이닝	3.0~4.0	63.0~157.0	a	1.0~2.0	77.0~81.0	a	
검토의견	■ 기존 및 금회 측정값 비교 분석 결과, 실측피복두께를 적용하여 다소 차이는 있지만, 잔여깊이가 30㎜ 이상 확보하는 것으로 분석되어 탄산화에 진행에 따른 구조물의 내구성에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.						

3.4 현장조사 및 시험 결과요약

3.4.1 금회 정밀안전점검 외관조사 결과요약

【표 3.22】 금회 정밀안전점검 외관조사 결과요약

구 분	결함내용 및 손상 열화내용		원인	수량	조치방안
라이닝 천단부	균열	cw=0.3㎜ 미만	건조수축 및 온도변화	L=2.0m	표면처리
		cw=0.3㎜ 이상	건조수축 및 온도변화	L=1.5m	주입보수
	공동		타설불량	A=0.24㎡	주의관찰
	누수흔적		라이닝 누수	A=0.4㎡	주의관찰
	박리		온도변화에 의한 신축작용	A=0.12㎡	단면보수
	실란트 들뜸		장기공용에 의한 열화	L=15.0m	주의관찰
	조인트 마감불량		타설불량	L-2.0m	주의관찰
	표면오염		장기공용에 의한 열화	A=36.0㎡	주의관찰
	조인트 들뜸		거푸집 조기탈형, 온도변화에 의한 신축작용	A=0.04㎡	단면보수
라이닝 측벽부	파손		온도변화에 의한 신축작용	A=1.85㎡	단면보수
	몰탈 탈락		장기공용에 의한 열화	A=0.26㎡	주의관찰
	타일 균열		라이닝 균열	126EA	주의관찰
	타일 탈락		장기공용에 의한 접착력 저하	32EA	타일재시공
	타일 파손		공용중 외부충격	12EA	타일재시공
	실란트 들뜸 및 파손		장기공용에 의한 열화	L=9.0m	주의관찰
	이격		온도변화에 의한 신축작용	L=4.0m	충진보수
	누수흔적		라이닝 누수	A=2.15㎡	표면처리
갱문	상태양호		-	-	-
옹벽	균열	cw=0.3㎜ 미만	건조수축 및 온도변화	L=32.9m	주의관찰
		cw=0.3㎜ 이상	건조수축 및 온도변화	L=11.1m	주의관찰
	배수구 막힘		공용기간 증가, 이물질 퇴적	19EA	주의관찰
	백태		장기공용에 의한 열화	A=0.28㎡	주의관찰

【표 3.22】 금회 정밀안전점검 외관조사 결과요약(계속)

구 분	결함내용 및 손상 열화내용		원인	수량	조치방안
사면	식생 및 성토유실		우수유입, 공용기간 증가	L=13.0m	보호공설치
	배수로 토사퇴적, 식생		공용기간 증가, 이물질퇴적	A=38.0㎡	주의관찰
공동구	균열	cw=0.3㎜ 미만	건조수축 및 온도변화	L=0.3m	주의관찰
		cw=0.3㎜ 이상	건조수축 및 온도변화	L=73.2m	주의관찰
	덮개 균열		건조수축, 노후화	16EA	덮개재설치
	덮개 파손		외부충격	101EA	덮개재설치
	들뜸		동결융해, 노후화	A=0.7㎡	단면보수
	박리		동결융해, 노후화	A=0.09㎡	단면보수
	철근부식		동결융해, 노후화	A=0.08㎡	단면보수,방청
	층분리		동결융해, 노후화	A=8.8㎡	단면보수
	파손		외부충격	A=1.54㎡	단면보수
배수시설	균열	cw=0.3㎜ 미만	건조수축 및 온도변화	L=12.6m	주의관찰
	배수구 토사퇴적		공용기간 증가, 이물질 퇴적	V=0.82㎥	주의관찰
	배수구 막힘		공용기간 증가, 이물질 퇴적	3EA	청소
	노견 토사퇴적		공용기간 증가, 이물질 퇴적	A=148.79㎡	청소
포장부	균열		차량반복하중	L=202.3m	재포장
	긁힘		차량반복하중	A=0.32㎡	재포장
	망상균열		차량반복하중	A=12.36㎡	재포장
	박리		차량반복하중	A=3.92㎡	재포장
	파손		차량반복하중, 동결융해	A=15.03㎡	재포장
부속시설	상태양호		-	-	-

3.4.2 금회 정밀안전점검 내구성조사 결과요약

가. 금회 내구성 조사결과

【표 3.23】 금회 내구성 조사 결과요약

시 험 명		시험부위		시험 결과		비 고
				시험값	기준값	
오천터널 (하)	비파괴 강도 (㎫)	반발 경도	라이닝	26.6~29.5	fck=24.0	· 설계강도를 만족하는 것으로 측정됨
	탄산화 깊이 (㎜)	라이닝		77.0~81.0 (잔여깊이)	a 등급	· 탄산화에 의한 철근 부식 가능성은 없음

나. 내구성조사 결과 비교

【표 3.24】 내구성조사 기 정밀안전점검(2017년)결과 비교

시 험 명	시험부위		시험 결과				비 고
			2017년 정밀안전점검		금회 정밀안전점검		
비파괴강도 (㎫)	라이닝	반발경도	27.4~33.5		26.6~29.5		■ 설계강도를 100% 만족하는 것으로 측정됨
탄산화 잔여깊이 (㎜)	라이닝		63.0~157.0 (잔여깊이)	a	77.0~81.0 (잔여깊이)	a	■ 탄산화에 의한 내구성 저하 가능성 없음
종합평가	• 콘크리트의 강도상태(반발경도)는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다. • 탄산화에 진행에 따른 구조물의 내구성에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.						

제 4 장 시설물의 상태평가

4.1 개 요

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.3 상태평가 등급 산정

4.4 상태평가 결과

제 4 장 시설물의 상태평가

4.1 개요

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (안전점검·진단 편-2019. 1.)』의 상태평가 기준에 따라 실시한다. 정밀안전점검의 상태평가 기준은 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정하게 된다.

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.2.1 일반

가. 기본시설 및 부대시설

터널의 기본시설과 부대시설은 【표 4.1】과 같다. 터널 부대시설 중에서 시설물의 중요도가 상대적으로 작으며 본선 구조물에 부분적으로 확폭 또는 접속된 별도공간인 비상주차대, 대피소/변압기굴, 덕트슬래브, 배전실/통신실/기재갱 등은 상태평가시 기본시설에 포함하여 평가한다.

상태평가 대상구간은 NATM터널 구간의 무근콘크리트 라이닝과 철근콘크리트 라이닝, 개착터널 구간으로 시공되어 평가 후 각 길이를 환산한 가중치를 적용한 가중산술평균 방법으로 평가한다.

터널 갱구부에 비탈면 또는 옹벽 등이 존재하는 경우 상태평가기준은 본 세부지침에서 설정하고 있는 상태평가기준을 각각 적용한다.

【표 4.1】 터널의 기본시설물과 부대시설물의 종류

기본시설물	부대시설물
본선라이닝	연직갱 및 경사갱
갱문	환기구
개착터널	피난연락갱
지하차도	연결터널(환기시설)
지하정거장	갱구부옹벽

나. 상태평가 항목

터널의 상태평가는 라이닝 상태평가와 터널주변 상태평가로 구분하여 실시하며 상태평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음과 같다.

【표 4.2】 터널 상태평가 항목

구 분		평 가 항 목
상태평가	라이닝 상 태	·균열, 누수, 파손 및 손상 ·재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)
	터널주변 상 태	·배수상태, 지반상태, 갱문상태, 공동구 상태 ·특수조건 : 도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널(추가점수 부여)

4.2.2 기본시설 결함지수 산정

가. 터널별 결함지수 산정기준

터널 시설물 분류에 따른 터널별 상태평가를 위한 결함 점수와 결함지수 산출방법은 다음과 같다. 여기서, 라이닝 결함지수는 터널주변 항목점수를 제외한 라이닝만의 결함점수인 총점 36점(무근콘크리트 : 27점)점으로 계산되며, 터널 결함지수(F)는 라이닝의 결함점수 및 터널주변 결함점수를 모두 합한 총점 43점(무근콘크리트 : 34점)으로 계산하여 상태평가 결과를 산정하면 된다.

(가) NATM터널(무근콘크리트 라이닝)

【표 4.3】 NATM터널(무근콘크리트 라이닝) 결함지수 산정기준

결 함 등 급			a	b	c	d	e
			$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$
라이닝	균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		박 락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2~3			
				영향범위 외 : 1			
			손 상 : 0.5~1				
	갱문상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
	공동구상태		이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\Sigma 결함점수}{27}$, 터널결함지수(F) = $\frac{\Sigma 결함점수}{34}$							

(나) NATM터널(철근콘크리트 라이닝)

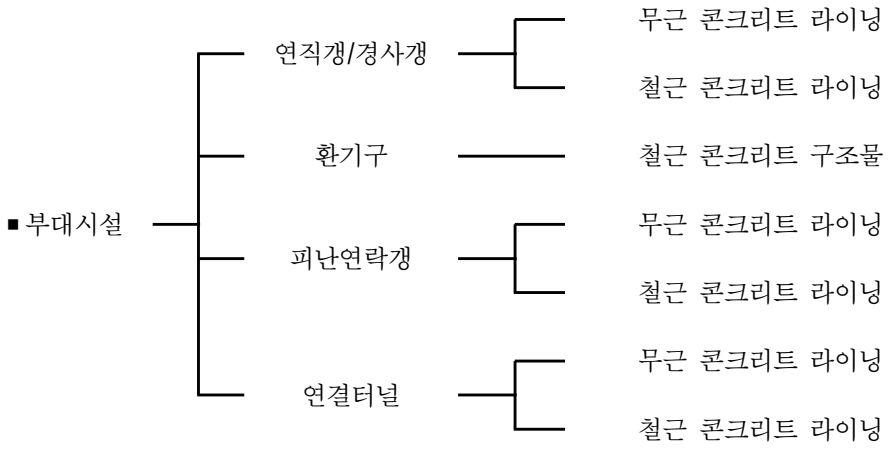
【표 4.4】 NATM터널(철근콘크리트 라이닝) 결함지수 산정기준

결 함 등 급			a	b	c	d	e
			0 ≤ f <0.15	0.15 ≤ f <0.30	0.30 ≤ f <0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f
라이닝	균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		박 락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄 산 화	0	1	2	3	-
		염 화 물	0	1	1	2	-
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2~3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문상태		손 상 : 0.5~1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\Sigma 결함점수}{36}$, 터널결함지수(F) = $\frac{\Sigma 결함점수}{43}$							

다. 부대시설 결함지수 산정기준

1) 터널 부대시설 분류

터널 부대시설 중에서 중요도 및 규모가 상대적으로 큰 별도평가 부대시설을 기능 및 구조물의 재질에 따라 분류하면 【그림 4.1】와 같다.



【그림 4.1】 부대시설 분류

2) 부대시설 상태평가 항목

터널 부대시설은 기본시설과 같이 무근 및 철근콘크리트로 구성되어 있으므로 상태평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음 【표 4.5】과 같다.

부대시설 중에 숏크리트, 록볼트 등으로 터널의 안전성이 확보되거나 지반이 견고하여 풍화의 우려가 없고 사용상 지장이 없어 콘크리트 라이닝을 생략한 경우에는 책임기술자가 현장여건을 고려하여 상태평가 항목 및 평가기준을 조정할 수 있다.

【표 4.5】 부대시설 상태평가 항목

구 분	평 가 항 목
부 대 시 설 상 태 평 가	·균 열 ·누 수 ·파손 및 손상 ·재질열화 (박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)

3) 부대시설 가중치

부대시설 평가결과를 기본시설을 포함한 전체시설물의 상태평가 결과에 반영하기 위한 방법으로 다음과 같이 기본시설과 별도로 부대시설 결함점수에 따른 가중치를 정하였으며, 부대시설 평가기준은 기존의 산정 개념과 유사하게 보수적인 관점에서 하위상태에 비중을 두어 산정한다.

부대시설 가중치 적용은 기본시설 결함지수(F)에 부대시설 가중치(W)를 곱하여 전체 시설물의 결함지수(F)를 산정하고, 시설물 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

시설물의 결함지수(F) = 기본시설 결함지수(F) × 부대시설 가중치(W)

【표 4.6】 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결함지수	$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
시설물 상태평가	문제점이 없는 최상의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본시설 기능 수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설에 영향을 주는 상태	기본시설의 기능 수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

부대시설의 상태평가는 개별 부대시설을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설 결함지수를 산정하고 부대시설 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

부대시설의 결함지수(f) = ∑(fn) / N

여기서, fn : 개별 부대시설의 상태평가 결함지수

N : 개별 부대시설의 개수

부대시설 상태평가 결과 산정

- A등급(우수) : 터널 결함지수(f) $0.00 \leq f < 0.15$
- B등급(양호) : 터널 결함지수(f) $0.15 \leq f < 0.30$
- C등급(보통) : 터널 결함지수(f) $0.30 \leq f < 0.55$
- D등급(미흡) : 터널 결함지수(f) $0.55 \leq f < 0.75$
- E등급(불량) : 터널 결함지수(f) $0.75 \leq f$

4) 부대시설 결함지수 산정기준

터널 부대시설 구조물 분류에 따른 상태평가를 위한 결함점수와 결함지수 산출방법은 다음과 같다.

(가) 무근 콘크리트

평가기준		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누 수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재 질 열 화	박 리	0	0	1	1	1
	층분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백 태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1
부대시설 결함지수(f) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{27}$						

(나) 철근 콘크리트

평가기준		a	b	c	d	e
		0 ≦ f <0.15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누 수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재 질 열 화	박 리	0	0	1	1	1
	층분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백 태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1
	철근노출	0	1	2	3	4
	탄 산 화	0	1	2	3	-
	염 화 물	0	1	1	2	-
부대시설 결함지수(f) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$						

4.2.3 상태평가 항목 및 기준

1) 균열

【표 4.7】 균열 상태평가 기준

구 분		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	무근(균열)	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과 3.0㎜ 이하	3.0㎜ 초과
	철근(균열)	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 0.5㎜ 이하	0.5㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과
개착식터널	BOX(균열)	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 0.5㎜ 이하	0.5㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과

※ 진행성 균열의 경우 상태평가 결과가 “d” 이하 또는 고정균열의 경우 면적율 20% 이상으로 “e”이면 중대결함으로 본다

<해 설>

1) 진행성의 유무가 확인되지 않은 경우에 적용하며, 진행성이 확인되는 경우 평가는 하향조정하고 정밀점검을 실시하여 정기적으로 관찰하도록 한다.

※ 진행성 여부의 판별은 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용해 판단한다.

2) 균열형상은 종균열, 경사균열, 망상균열, 횡균열로 구분하며 횡균열을 제외한 균열의 평가는 하향조정할 수 있다.

종균열	횡균열	경사균열	망상균열

3) 균열이 다음 스판에 연속적으로 이어져 있는 경우 평가는 하향조정할 수 있다.

4) 구조적 균열은 설계 오류로 인한 균열, 외부 하중에 의한 균열, 단면 및 철근량의 부족에 의한 균열 등이 있다. 콘크리트 구조의 구조적 균열은 콘크리트와 철근 사이의 응력, 변형률, 미끄러짐(slip), 부착응력 등에 따라 균열형성단계와 균열안정화 단계의 2단계로 형성된다.

5) 보수 · 보강부위는 기존의 균열폭과 길이의 변화, 새로운 균열 및 들뜸의 진행성 유무 등을 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다.

6) 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과을 기재하고, 면적율이 20% 이상과 구조적 균열 및 단차 균열일 경우는 a→b, b→c, c→d, d→e, e→e로 하향 조정할 수 있다.

- 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.

2) 누수

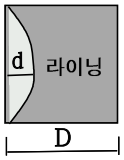
【표 4.8】 누수 상태평가 기준

구 분	a	b	c	d	e
누 수	없 음	스며 있음	떨 어 짐	흐 름	분 출
해 설	1) 누수발생부위는 아치부와 측벽부, 노면으로 구분하며, 아치부에 누수가 발생하여 차량통행에 지장을 주는 경우 평가는 하향조정하도록 한다. 2) 아치부에 발생된 누수가 얼어 고드름이 형성된 경우와 측벽부에 발생된 누수가 얼어서 건축한계를 초과하여 차량통행에 지장을 주는 경우에는 평가를 하향조정 하도록 한다. 3) 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 평가를 하향조정하고, 그 원인을 정밀조사하도록 한다. 4) 누수가 배수공과 시공이음의 결함, 균열, 배면공동, 수맥 등의 영향으로 인하여 발생될 경우에는 수압 등에 의한 구조적 결함을 유발시킬수 있는지의 여부 등을 검토할 수 있다. 5) 누수는 건기시와 우기시에 따라 계절별로 차이가 발생할 수 있으므로 계절적 요인을 반영하여 평가할 수 있다. 6) 보수 · 보강부위는 누수상태(수질, 수량, 물흐름)의 변화 유무 등을 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다.				

※ 상태평가 결과가 “d” 이하이며, 토립자와 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나, 고드름 및 측빙 등으로 통행에 현저한 지장을 주는 경우 중대한 결함으로 본다.

3) 파손 및 손상

【표 4.9】 파손 및 손상 상태평가 기준

구 분		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	손상도	없음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
	손상 면적	없음	아주 경미한 상태	경미한 손상 (1cm×10cm미만)	중간 손상 (10cm×10cm이상, 30cm×30cm미만)	극심한 손상 (30cm×30cm이상)
해 설		1) 손상도는 콘크리트 라이닝에 대한 것으로 라이닝 두께에 대한 손상된 두께를 말하며, 일반적으로 라이닝 설계두께를 기준으로 하고, 라이닝 측정두께가 있는 경우 이를 기준으로 한다. ※ 손상도 = d(파손 및 손상두께)/D(라이닝두께)  				
		2) 조적식 라이닝에서 파손 및 손상두께는 벽돌두께를 기준으로 적용한다. 3) 조적식 라이닝인 경우 파손 및 손상면적은 벽돌크기를 기준으로 하여 산정하도록 한다. 4) 지반탐사 등으로 측정된 라이닝 두께가 설계두께에 못 미치는 경우에는 이를 손상으로 평가 할 수 있다. 5) 파손 및 손상발생부위는 아치부와 측벽부로 구분하며, 아치부에 파손 및 손상이 발생하여 낙하위험이 있는 경우 평가는 하향조정한다. 6) 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율이 20%이상일 경우는 a→a, b→c, c→d, d→e, e→e로 하향조정할 수 있다.				

※ 파손 및 손상에 대한 면적율이 20%이상으로 상태평가 결과가 "d"이하이면 중대한 결함으로 본다.

4) 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 철근노출, 중성화, 염화물)

【표 4.10】 재질열화 상태평가 기준

구 분	a	b	c	d	e
박리	없 음	6㎜ 미만	6㎜ 이상 25㎜ 미만	25㎜이상 이거나 조골재 손실	박리가 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
층분리 및 박락	없 음	깊이 12㎜미만 또는 직경 75㎜미만	깊이 12 ~ 25㎜미만 또는 직경 75 ~ 150㎜미만	깊이 25㎜이상 또는 직경 150㎜이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
백태, 재료분리	없 음	면적율 5%미만	면적율 5 ~ 10%	면적율 10 ~ 20%	면적율 20%이상
철근노출	없 음	면적율 1%미만	면적율 1 ~ 3%미만	면적율 3 ~ 5%미만	면적율 5%이상
탄산화 잔여깊이	30㎜ 이상	10㎜ 이상 ~ 30㎜ 미만	0㎜ 이상 ~ 10㎜ 미만	0㎜ 미만	-
전염화물 이온량	0.3kg/㎥이하	0.3kg/㎥ 초과 ~ 1.2kg/㎥ 미만	1.2kg/㎥ 이상 ~ 2.5kg/㎥ 미만	2.5kg/㎥ 이상	-

【표 4.10】 재질열화 상태평가 기준 (계속)

해 설	1) 박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 경년이나 주변환경영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다. 2) 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 층분리 및 박락은 콘크리트 박락된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다. 3) 박리·층분리 및 박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교·검토하여 그 원인을 조사하도록 한다. 4) 백태 및 재료분리의 경우 발생범위와 정도로부터 판단하도록 한다. 5) 철근노출은 철근콘크리트 라이닝인 경우에 적용하며, 심한 부식이 우려되는 경우에는 부식도를 측정하여 철근의 부식상태를 평가하도록 한다. 또한, 철근노출 발생 면적은 철근 노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다. 6) 탄산화 깊이에 대한 평가는 철근으로부터 탄산화의 남은 깊이를 지표로 하여 탄산화에 의한 강재부식 가능성을 나타낸 것으로 탄산화에 의한 단독 열화에 대하여 적용하며, 콘크리트 품질평가 기준인 탄산화는 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가 기준 범위를 "a ~ d"로 한다. 평가는 철근의 피복은 조사 위치에서의 실측치를 기준으로 한다. <일본구조물진단기술협회「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」(2003년)> 7) 채취 코어의 전염화물 이온 시험결과에서 염화물에 의한 강재부식 가능성을 평가하며, 염화물 함유량은 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가 기준 범위를 "a ~ d"로 한다. 염화물 함유량 분석은 철근 깊이까지 깊이별(10㎜ 또는 20㎜)로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 하며, 염화물 이온농도의 분포를 도시한다. <일본구조물진단기술협회「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」(2003년)> 8) 박리, 층분리 및 박락의 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율이 20% 이상일 경우의 평가는 a→a, b→c, c→d, d→e, e→e로 하향 조정할 수 있다.

※ 탄산화 잔여깊이 또는 전염화물 이온량에 대한 상태평가 결과가 "d"이고, 철근노출의 상태평가 결과가 "e"이면 중대한 결함으로 본다.

5) 배수상태

【표 4.11】 배수상태 상태평가 기준

구 분	오 염 됨	배수불량 및 막힘
결함점수	1 (1~2)	2 (3~4)
해 설	1) 배수상태는 지하수를 유도하여 배수를 허용하는 배수형 터널의 경우에 한하며, 배수형터널이 아닌 경우에는 전문가의 판단에 따라 별도로 적용하도록 한다. 2) 배수된 물의 함유성분에 의한 오염이 우려되는 경우에는 수질을 조사하여 오염의 원인을 평가하도록 한다. 3) 배수된 물에 토사가 섞여 나오는 경우에는 계속적인 토사유출로 라이닝 배면에 문제가 발생할 가능성이 있으므로, 토사유출량과 터널안전성에 대해 정밀조사 하도록 한다. 4) 집수정이 설치된 경우 배수시설(펌프설비 등)의 작동유무, 정착상태, 전원설비상태 등을 점검하고, 작동이 안되거나 정착이 불량한 경우 관리주체에 통보하여 교체 또는 수리 등의 조치가 가능하도록 하여야 한다.	

※ 결함점수에서 ( )은 지하차도, 지하정거장 및 지하역사에 적용한다.

6) 지반상태

【표 4.12】 지반상태 상태평가 기준

구 분	풍화변질 및 단층파쇄대			
	풍화변질	단 층 파 쇄 대		
		영향범위 외	영향범위 내	
			중·소규모 단층	대규모 단층
결함점수	1	1	2	3
해 설	1) 기시공된 터널에서는 주변지반상태를 육안으로 확인하는 것이 쉽지 않으므로 설계 및 시공자료를 참고하여 판단하도록 하며, 안전성 평가시 지반조사를 실시하여 지반상태를 평가하도록 한다. 2) 지반상태가 터널에 영향을 미치는 범위는 0.5D를 기준으로 한다. 3) 지반의 풍화변질상태는 육안으로 확인할 수 있는 갱구부 주변의 지반이나 노출된 암반으로부터 평가하도록 한다. 4) 터널에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 선구조선)의 영향은 지질도나 시공자료, 지표지질조사결과 그리고 필요시 인공위성사진, 항공사진 등을 이용하여 검토하도록 한다. 5) 이완토압, 편토압, 소성압 등으로 인하여 내공변위가 발생한 경우에는 단층파쇄대의 영향범위 내에 해당하는 점수를 부여한다. 6) 도심지 터널의 경우 낮은 심도로 인하여 불량지반, 복합지반에 위치하는 경우에 지반 상태를 평가하고, 영향범위에 따른 점수를 부여한다.			

7) 갱문(접속부)상태

【표 4.13】 갱문(접속부)상태 상태평가 기준

구 분	손 상	
	보통인 상태	불량한 상태
결함점수	0.5 (1)	1 (2)
해 설	1) 갱구부는 터널의 입출구부로서 차량의 통행에 직접적인 영향을 주기 때문에 갱문(접속부)상태를 반영하여 손상여부를 평가한다. 2) 갱문(접속부)의 평가방법은 일반 콘크리트구조물에서의 평가방법에 준하며, 특히 주변지반의 변화상태 등에 유의하여야 한다. 3) 갱문(접속부)에 심각한 손상이 발생한 경우, 주변 지반조사를 실시하여 손상원인을 규명하도록 한다.	

※ : ( )은 지하차도에 적용한다.

8) 공동구 상태

【표 4.14】 공동구상태 상태평가 기준

구 분	덮개파손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수
결함점수	0.5	1
해 설	1) 통신케이블, 신호용케이블, 전기케이블 등의 보호를 위해 터널내에 설치되는 공간을 가르키며, 일반적으로 배수구와 병행하여 시공된다. 2) 공동구의 오염상태, 덮개파손, 이물질의 퇴적이나 침수 등을 조사하여 상태를 평가하도록 한다.	

9) 특수조건(추가점수)

【표 4.15】 특수조건(추가점수) 상태평가 기준

구 분	도심지 토사터널		전력구터널, 전차선을 설치한 터널		
	주의범위 (1D~2D)	제한범위 (1D미만)	측벽부 낙수	아치부 낙수	동결위험
결함점수	1	2	1	2	3
해 설	1) 도심지 토사터널은 터널심도, 인접시설물(건축물, 철도, 도로 등)과의 거리 등을 검토 · 분석하고, 터널에 영향을 미치는 범위를 고려하여 이를 반영한다. 2) 전력구터널, 전차선을 설치한 터널은 전기를 사용하므로, 누전문제에 대한 위험성을 상태평가에 추가 반영하도록 하고, 특히 전차선을 설치한 터널은 동결시 차량운행에 지장을 초래할 수 있으므로 이를 반영한다. 3) 기타 일반적인 터널조건과 다른 특수터널인 경우, 조사자의 판단에 따라 상태평가에 특수조건을 부과하여 가점하도록 한다.				

나. 부대시설 상태평가 항목 및 기준

1) 균 열

【표 4.16】 균열 상태평가 기준

평가기준 / 구 분	a	b	c	d	e
무근 콘크리트 라이닝	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과 3.0㎜ 이하	3.0㎜ 초과
철근 콘크리트 라이닝	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 0.5㎜ 이하	0.5㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과
철근 콘크리트 구조물 (개착 구조물)	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 0.5㎜ 이하	0.5㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과

※ 진행성 균열의 경우 상태평가 결과가 “d” 이하 또는 고정 균열의 경우 면적율 20% 이상으로 “e” 이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

2) 파손 및 손상

【표 4.17】 파손 및 손상 상태평가 기준

평가기준 / 구 분		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	손 상 도	없 음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
	손상면적	없 음	아주 경미한 상태	경미한 손상 (10㎝×10㎝미만)	중간 손상 (10㎝×10㎝이상, 30㎝×30㎝미만)	극심한 손상 (30㎝×30㎝이상)
조적식 라이닝	손상두께	없 음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1~2개	벽돌 2개 이상

※ 파손 및 손상에 대한 면적율이 20%이상으로 상태평가 결과가 “d” 이하이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

3) 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)

기본시설 재질열화 참조

4.2.4 상태평가 등급 산정방법

가. 기본시설 상태평가 결과 산정

1) 1단계 : 라이닝 결함지수(f) 산정

가) 라이닝 단위길이별 평가항목에 대해 최저의 결함점수를 부여한다. 균열의 결함점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.

나) 라이닝 단위길이별 결함지수를 구한다.

다) 라이닝 전체에 대한 결함지수(f)를 구한다. 이때 라이닝 단위길이별 평가항목에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 라이닝 상태평가 결과 산정

가) 라이닝 단위길이별 평가항목과 결함지수에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.

나) 라이닝 전체의 평가항목(산술평균값)과 결함지수(f)에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.

3) 3단계 : 터널 주변 상태 결함점수 산정

가) 터널 주변 상태에 대한 배수, 지반, 갱문, 공동구상태의 결함점수를 부여한다.

나) 특수조건에 해당 될 경우에는 추가점수를 부여한다. 터널결함지수(F) 산정시 분모에 대한 영향은 고려하지 않는다.

4) 4단계 : 터널 상태평가 결과 산정

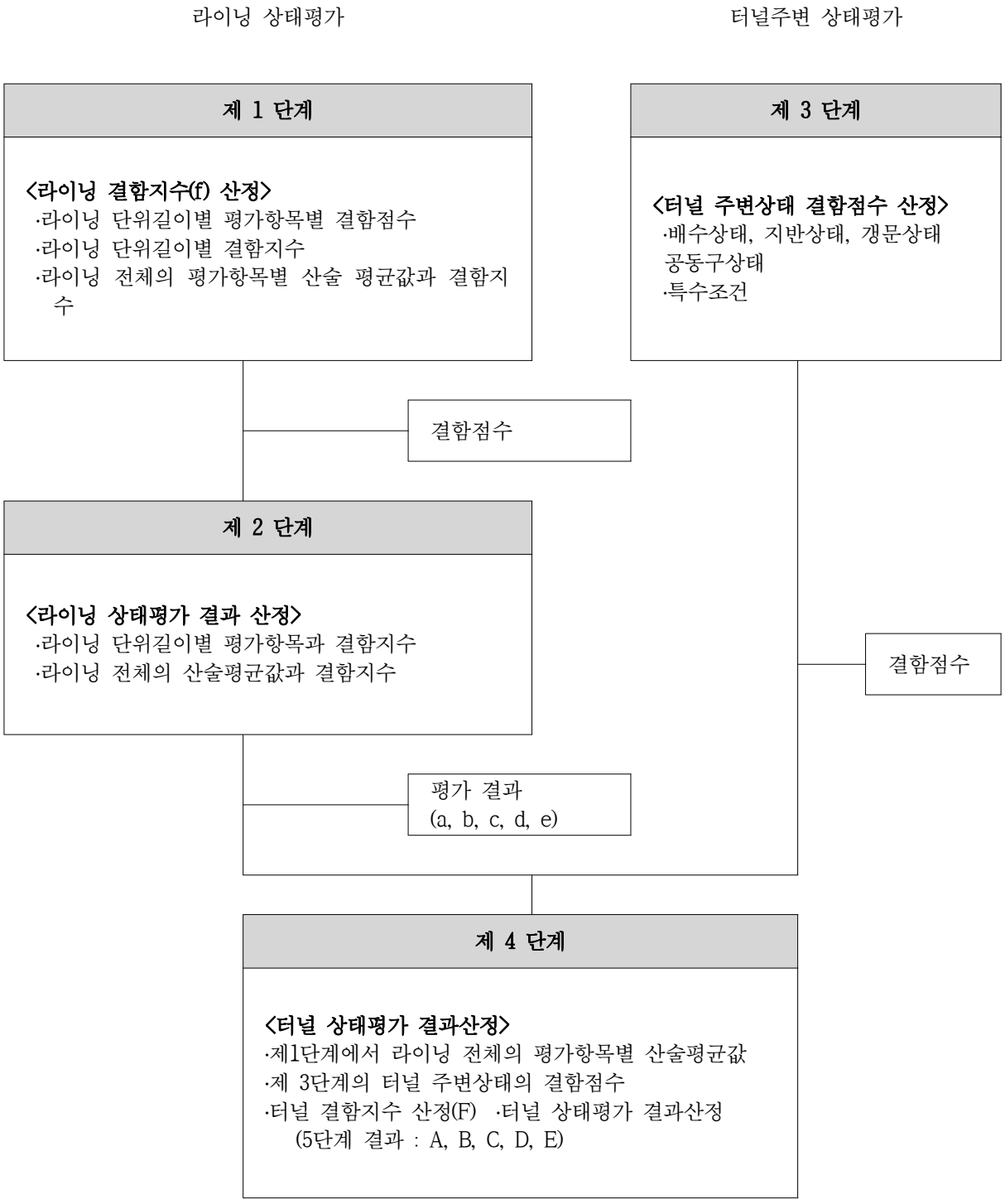
가) 제1단계의 라이닝 결함지수(f) 산정시 사용한 평가항목별 결함점수 산술평균값과, 제3단계의 터널 주변상태 평가 결함점수를 합한다.

나) 터널 결함지수(F)를 산정하고, 터널 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

다) 터널 상태평가 결과 산정

【표 4.18】 터널 상태평가 결과 산정

기 준	A(우수)	B(양호)	C(보통)	D(미흡)	E(불량)
터 널 결함지수	0.00≤F<0.15	0.15≤F<0.30	0.30≤F<0.55	0.55≤F<0.75	0.75≤F



【그림 4.2】 상태평가 결과 산정절차

나. 부대시설 상태평가 결과 산정

1) 1단계 : 부대시설 결함지수(f) 산정

가) 평가단위별 평가항목에 대해 최저의 결함점수를 부여한다. 균열의 결함점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.

나) 부대시설 평가단위별 결함지수를 구한다.

다) 부대시설에 대한 결함지수(f)를 구한다. 이때에 부대시설 평가항목에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 전체 부대시설 상태평가 결과 산정

가) 부대시설별 평가항목과 결함지수에 대한 평가를 5단계 (a, b, c, d, e)로 매긴다.

나) 평가항목(산술평균값)과 결함지수(f)에 대한 평가를 5단계 (a, b, c, d, e)로 매긴다.

다) 개별 부대시설을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설 결함지수를 산정하고 전체 부대시설 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

부대시설의 결함지수(f)=$\sum$(fn)/N

여기서, fn : 개별 부대시설의 상태평가 결함지수

N : 개별 부대시설의 개수

3) 3단계 : 전체 시설물 상태평가 결과 산정

가) 기본시설 결함지수(F)에 부대시설 가중치(W)를 곱하여 전체시설물의 결함지수(F)를 산정하고, 시설물 상태평가 결과를 5단계 (A, B, C, D, E)로 매긴다.

시설물의 결함지수(F)=기본시설 결함지수(F) × 부대시설 가중치(W)

【표 4.19】 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결함지수	0.00≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f
시설물 상태평가	문제점이 없는 최상의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본시설 기능수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설에 영향을 주는 상태	기본시설의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

4.3 상태평가 등급산정

4.3.1 구간분할

정밀안전점검을 위한 외관조사, 각종 내구성조사, 시설물의 상태평가 등을 효과적으로 수행하기 위해서는 구조형식별 분류 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 오천터널(하)는 NATM형식의 터널로서 총 57SPAN으로 시공되었으며 개착구간과 철근구간, 무근구간, 부가시설물에 대한 스판개소를 고려하여 상태평가를 진행하였으며, 구조물의 상태평가 등급 산정을 위한 구간분할 현황은 다음【표 4.20】과 같다.

【표 4.20】 구간분할

구 분	구조형식	SPAN	구조형식별 가중치 적용	비고
오천터널 (하)	개착구간	S1, S52~S57	철근콘크리트 구간	
	NATM(철근)	S2~S3	철근콘크리트 구간	
	NATM(무근)	S4~S51	무근콘크리트 구간	

4.3.2 시설물의 상태

대상터널을 각 손상별 상태평가 등급을 우선 산정한 후 연장비를 고려한 전체 시설물의 상태평가 등급을 산정하였다.

【표 4.21】 구조요소별 시설물의 상태(외관 및 내구성)

구조요소		외관조사 결과요약
터널 주변	사면	· 사면의 슬라이딩, 토사유실 및 침식, 낙석, 식생부족 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사됨
	갱문	· 손상이 없는 양호한 상태임
본선 터널	라이닝	· 천단부는 폭 0.3㎜내·외의 균열 및 조인트 들뜸, 누수흔적, 박리 등이 일부 구간에 조사되어 내구성 확보를 위한 일부 보수가 요구됨
		· 측벽부는 타일 균열, 들뜸 및 탈락, 파손, 이격, 누수흔적 등이 조사되어 내구성 확보를 위한 보수가 요구됨
	배수시설	· 배수시설은 일부 배수구 막힘이 조사됨
	도로부 (포장면)	· 포장부는전 구간에 국부적으로 포장 균열 및 긁힘, 망상균열, 파손 등의 손상이 발생한 것으로 확인됨
부대 시설	공동구	· 공동구는 일부구간 덮개파손, 들뜸, 박리, 층분리, 철근부식 등이 발생한 것으로 조사됨

4.3.3 시설물의 상태 등급

가. 기본시설 상태평가 등급

1) 개착구간 라이닝 상태평가 등급산정

【표 4.22】 철근콘크리트 라이닝 등급 산정 결과

Span No.	균 열	누 수	파손 및 손상	재 질 열 화						결함점수 합 계	라 이 닝 등 급
				박 리	층분리, 박락	백 태	재료 분리	철근 노출	탄산화		
1	a	a	a	a	a	a	a	a	-	0	a
52	a	b	a	a	a	a	a	a	-	1.0	a
53	a	b	a	a	a	a	a	a	-	1.0	a
54	a	a	a	a	a	a	a	a	-	0	a
55	b	b	a	a	a	a	a	a	-	4.0	a
56	a	a	a	a	a	a	a	a	a	0	a
57	a	a	a	a	a	a	a	a	-	0	a
산 술 평 균	0.429	0.000	0.429	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.857	

2) 철근콘크리트 라이닝 상태평가 등급산정

【표 4.23】 철근콘크리트 라이닝 등급 산정 결과

Span No.	균 열	누 수	파손 및 손상	재 질 열 화						결함점수 합 계	라 이 닝 등 급
				박 리	층분리, 박락	백 태	재료 분리	철근 노출	탄산화		
2	a	a	a	a	a	a	a	a	-	0	a
3	a	a	a	a	a	a	a	a	a	0	a
산 술 평 균	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

3) 무근콘크리트 라이닝 상태평가 등급산정

【표 4.24】 무근콘크리트 라이닝 등급 산정 결과

Span No.	균 열	누 수	파손 및 손상	재 질 열 화				결함점수 합 계	라 이 닝 등 급
				박 리	층분리, 박락	백 태	재료분리		
4	a	a	a	a	a	a	a	0	a
5	a	a	a	a	a	a	a	0	a
6	a	a	a	a	a	a	a	0	a
7	a	a	a	a	a	a	a	0	a

【표 4.24】 무근콘크리트 라이닝 등급 산정 결과(계속)

Span No.	균 열	누 수	파손 및 손상	재 질 열 화				결함점수 합 계	라 이 닝 등 급
				박 리	층분리, 박락	백 태	재료분리		
8	a	a	a	a	a	a	a	0	a
9	a	a	a	a	a	a	a	0	a
10	a	a	a	a	a	a	a	0	a
11	a	a	a	a	a	a	a	0	a
12	a	a	c	a	a	a	a	1.0	a
13	a	a	a	a	a	a	a	0	a
14	a	a	a	a	a	a	a	0	a
15	a	a	a	a	a	a	a	0	a
16	a	a	c	a	a	a	a	1.0	a
17	a	a	c	a	a	a	a	1.0	a
18	a	a	a	a	a	a	a	0	a
19	b	a	c	a	a	a	a	6.0	b
20	a	a	a	a	a	a	a	0	a
21	a	a	c	a	a	a	a	1.0	a
22	a	a	a	a	a	a	a	0	a
23	a	a	a	a	a	a	a	0	a
24	a	a	a	a	a	a	a	0	a
25	a	a	c	a	a	a	a	1.0	a
26	a	a	a	a	a	a	a	0	a
27	a	a	c	a	a	a	a	1.0	a
28	a	a	a	a	a	a	a	0	a
29	a	a	a	a	a	a	a	0	a
30	a	a	a	a	a	a	a	0	a
31	a	a	a	a	a	a	a	0	a
32	a	a	a	a	a	a	a	0	a
33	a	a	c	a	a	a	a	1.0	a
34	a	a	a	a	a	a	a	0	a
35	a	a	c	a	a	a	a	1.0	a
36	a	a	a	a	a	a	a	0	a
37	a	a	a	a	a	a	a	0	a
38	a	a	a	a	a	a	a	0	a
39	a	a	a	a	a	a	a	0	a
40	a	a	a	a	a	a	a	0	a

【표 4.24】 무근콘크리트 라이닝 등급 산정 결과(계속)

Span No.	균 열	누 수	파손 및 손상	재 질 열 화				결함점수 합 계	라 이 닝 등 급
				박 리	층분리, 박락	백 태	재료분리		
41	a	a	a	a	a	a	a	0	a
42	a	a	a	a	a	a	a	0	a
43	a	a	a	a	a	a	a	0	a
44	a	a	a	a	a	a	a	0	a
45	a	a	a	a	a	a	a	0	a
46	a	a	a	a	a	a	a	0	a
47	a	a	a	a	a	a	a	0	a
48	a	a	a	c	a	a	a	1.0	a
49	a	a	a	a	a	a	a	0	a
50	a	a	a	a	a	a	a	0	a
51	a	a	a	a	a	a	a	0	a
산 술 평 균	0.104	0.188	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.3	

4.4 상태평가 결과

4.4.1 본선 상태평가 결과

1) 개착구간 상태평가 결과

개착구간															
총 SPAN	균열	파손 및 손상	누수	재질열화					주변상태						합계
				박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건	탄산화	
7	0.429	0.000	0.429	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.00	0.00	0.00	0.50	-	-	3.357
															0.078

2) 철근 콘크리트 상태평가 결과

철근콘크리트															
총 SPAN	균열	파손 및 손상	누수	재질열화					주변상태						합계
				박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건	탄산화	
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.00	0.00	-	0.50	-	-	2.500
															0.058

3) 무근 콘크리트 상태평가 결과

무근콘크리트													
총 SPAN	균열	파손 및 손상	누수	재질열화				주변상태					합계
				박리	층분리 박락	백태	재료 분리	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건	
48	0.104	0.188	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	2.00	0.00	-	0.50	-	2.813 0.083

4) 터널 상태평가 결과

오천터널(하)					
구조물	구간별 결함지수	라이닝 연장	연장별 가중치	전체결함점수 (F)	상태평가등급
개착구간	0.078	49.0	0.008	0.081	A
철근콘크리트	0.058	18.0	0.002		
무근콘크리트	0.083	130.0	0.072		

4.4.2 상태평가 결과

본 과업대상 구조물인 오천터널(하)는 준공 이후로 7번째 실시하는 정밀안전점검으로 현장조사 및 시험을 토대로 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침서-터널편(2019.01)』에 따라 형식별로 상태평가를 실시한 후 서로 다른 가중치를 적용하여 환산결함도 점수를 산출한 결과 라이닝부 균열 및 콘크리트 단면손상 등으로 인하여 결함지수 0.081로 평가되었다.

따라서 오천터널(하)의 상태평가 결과는 "문제점이 없는 최상의 상태" 인 A등급(우수, 0.00 ≦ 결함지수 < 0.15) 으로 평가되었다.

4.4.3 기 정밀안전점검 결과와의 비교

구 분		전차 정밀안전점검(2017년)	금회 정밀안전점검(2020년)	비 고
결함지수	오천터널 (하)	0.135	0.081	
상태등급		A	A	

- 금회 상태평가 결과 "A등급" 으로 평가되었으며, 2017년 정밀안전점검 이후 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다.
- 환산결함도 점수가 0.135 ⇨ 0.081로 감소한 것으로 분석되었으며, 감소된 원인으로는 기 점검이후 라이닝콘크리트에 대한 보수를 실시하였으며, 이로 인해 환산결함도 점수가 하향된 것으로 판단된다.

제 5 장 종합평가 및 안전등급의 지정

5.1 개요

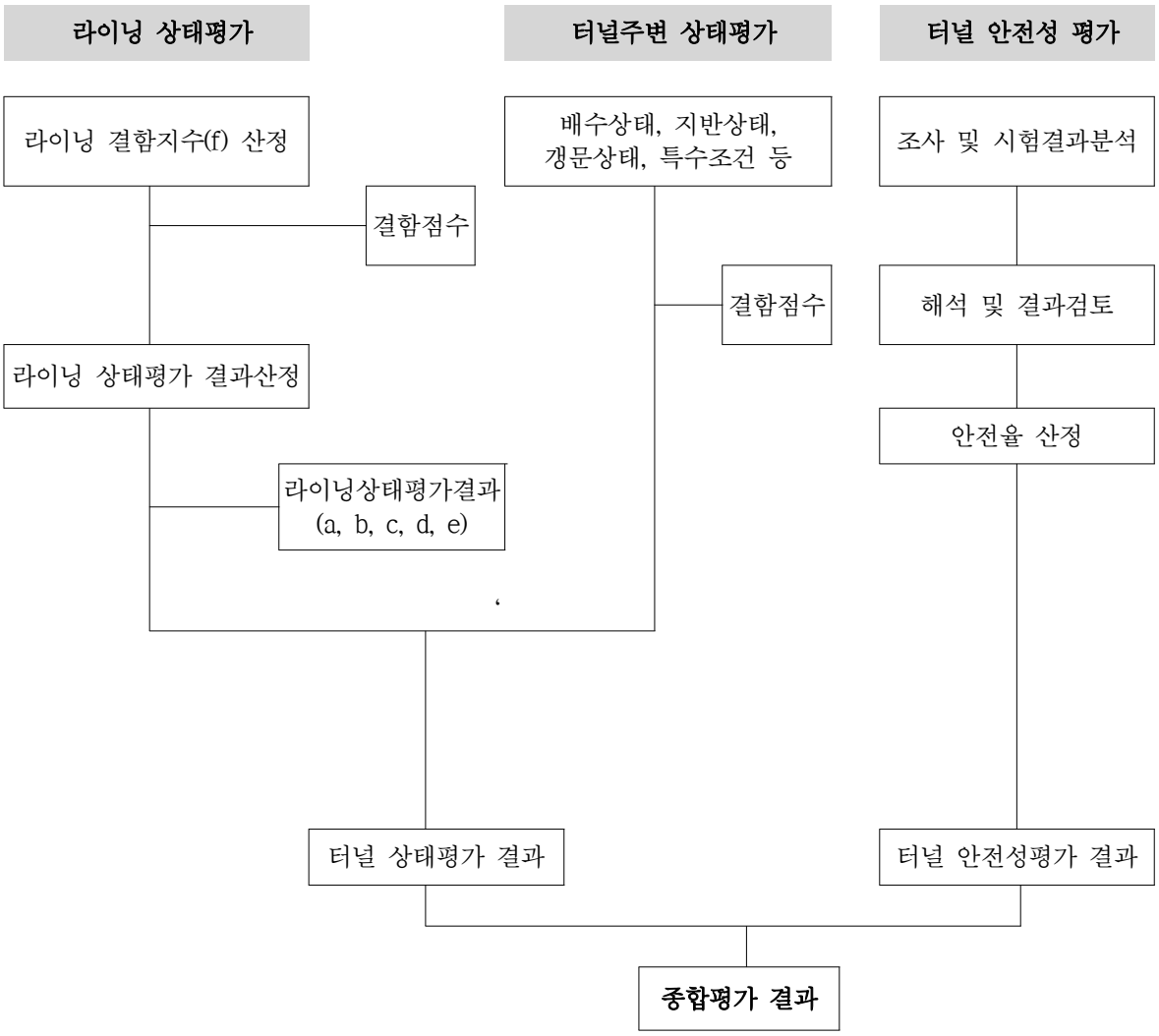
5.2 종합평가 결과

5.3 안전등급

제 5 장 종합평가 및 안전등급의 지정

5.1 개요

시설물의 종합평가는 외관조사 및 내구성평가 항목인 탄산화에 의한 평가를 포함한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 종합하여 개별시설물의 종합평가 결과를 도출하며 그 과정을 흐름도로 나타내면 【그림 5.1】과 같다.



【그림 5.1】 종합평가 및 안전등급 산정 흐름도

상태평가 및 내구성 등을 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정하게 되며 A~E등급으로 지정된 안전등급은 시설물의 상태가 다음 【표 5.1】과 같은 의미를 가지게 된다.

【표 5.1】 안전등급에 따른 시설물의 상태

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

5.2 종합평가 결과

5.2.1 상태평가 결과 산정

1) 개착구간 상태평가 결과

개착구간															
총 SPAN	균열	파손 및 손상	누수	재질열화					주변상태						합계
				박리	층분리 박락	백태	재료분리	철근노출	배수상태	지반상태	갱문상태	공동구상태	특수조건	탄산화	
7	0.429	0.000	0.429	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.00	0.00	0.00	0.50	-	-	3.357 0.078

2) 철근 콘크리트 상태평가 결과

철근콘크리트															
총 SPAN	균열	파손 및 손상	누수	재질열화					주변상태						합계
				박리	층분리 박락	백태	재료분리	철근노출	배수상태	지반상태	갱문상태	공동구상태	특수조건	탄산화	
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.00	0.00	-	0.50	-	-	2.500 0.058

3) 무근 콘크리트 상태평가 결과

무근콘크리트													
총 SPAN	균열	파손 및 손상	누수	재질열화				주변상태					합계
				박리	층분리 박락	백태	재료 분리	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건	
48	0.104	0.188	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	2.00	0.00	-	0.50	-	2.813 0.083

4) 터널 상태평가 결과

오천터널(상)					
구조물	구간별 결함지수	라이닝 연장	연장별 가중치	전체결함점수 (F)	상태평가등급
개착구간	0.078	49.0	0.008	0.081	A
철근콘크리트	0.058	18.0	0.002		
무근콘크리트	0.083	130.0	0.072		

5.2.2 상태평가 결과

본 과업대상 구조물인 오천터널(하)는 준공 이후로 7번째 실시하는 정밀안전점검으로 현장조사 및 시험을 토대로 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침서-터널편(2019.01)』에 따라 형식별로 상태평가를 실시한 후 서로 다른 가중치를 적용하여 환산결함도 점수를 산출한 결과 라이닝부 균열 및 콘크리트 단면손상 등으로 인하여 결함지수 0.081로 평가되었다.

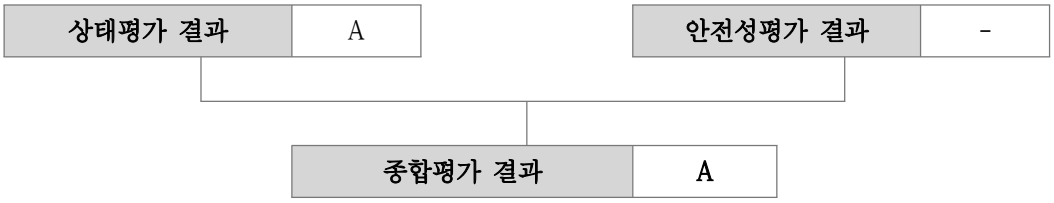
따라서 오천터널(하)의 상태평가 결과는 “문제점이 없는 최상의 상태” 인 A등급(우수, 0.00 ≦ 결함지수 < 0.15) 으로 평가되었다.

5.2.3 종합평가 결과

가. 종합평가 등급

시설물 종합평가 등급은 시설물 상태평가 결과와 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 종합평가 등급으로 결정하므로 대상터널의 평가등급은 「A」로 결정된다.

○ 종합평가 결과 = MIN (상태평가 결과, 안전성평가 결과)



【그림 5.2】 종합평가 등급산정 결과

나. 이전 등급과의 비교

- 금회 상태평가 결과 “A등급”으로 평가되었으며, 2017년 정밀안전점검 이후 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다.
- 환산결함도 점수가 0.135 ⇨ 0.081로 감소한 것으로 분석되었으며, 감소된 원인으로는 기 점검이후 라이닝콘크리트에 대한 보수를 실시하였으며, 이로 인해 환산결함도 점수가 하향된 것으로 판단된다.

【표 5.2】 종합평가 등급 변화 비교

시행년도	분류	상태평가	안전성평가	종합평가	비 고
2017	정밀안전점검	A (0.135)	-	A	
2020	정밀안전점검	A (0.081)	-	A	

5.3 안전등급

5.3.1 안전등급기준

정밀안전점검을 실시하는 경우 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여「법」제10조의 2 및 「영」제11조의 5에 따라서 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 하고, 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정하여야 하며, 안전등급에 따른 시설물의 상태는 다음과 같다.

【표 5.3】 시설물의 안전등급 기준

안전등급	시설물의 상태 및 안전성
A(우수)	•문제점이 없는 최상의 상태
B(양호)	•보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C(보통)	•주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D(미흡)	•주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E(불량)	•주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

5.3.2 안전등급 지정

오천터널(하)에 대한 종합평가 등급산정 결과 「A등급」으로 평가된 바, 본 구조물의 안전등급은 종합평가 등급과 동일하게 지정하였다. 이는 터널 세부지침의 규정에 의해 산출된 종합평가 등급을 상향하거나 하향시킬 만한 변수가 없음을 의미하는 것이기도 하다.

【표 5.4】 시설물의 안전등급 지정

안전등급	구조물명	안전등급
	오천터널(하)	A등급(우수)

제 6 장 보수·보강 및 유지관리방안

6.1 개　요

6.2 보수·보강 방안

6.3 보수·보강 개략 공사비

6.4 유지관리방안

제 6 장 보수·보강 및 유지관리방안

6.1 개 요

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 여러 가지 원인에 의하여 손상이나 결함이 발생하게 되고 그대로 방치해 두면 점진적으로 발전하여 대형사고의 원인이 될 수 있다. 본 과업대상 구조물에 대한 외관조사 및 내구성조사의 결과 일부 구간에 보수가 필요한 것으로 평가되었다. 본 구조물의 보수는 현상태의 내하력, 내구성, 기능성 등의 성능을 유지하고 필요에 따라 성능을 개선하기 위해서 실시하여야 하며 보수구간에 대하여는 시행에 앞서 다음과 같은 기본방향 설정이 필요하다.

① 보수공사 중 차량운행에 지장을 주어 사회적 문제점이 발생되지 않도록 한다.

② 보수공법의 선정시 시공성 및 경제성을 고려한 효과적인 공법을 선정하여 시행한다.

- 차량통행이 많기 때문에 작업시간을 고려하여 신속하게 시공이 가능하면서도 충분한 강도를 발현할 수 있는 재료의 사용이 요구됨

③ 보수공법의 우선순위는 내구성 및 내하력에 미치는 영향을 고려하여 완급을 결정한다.

④ 보수공법의 적용은 구조물의 안전에 최우선을 두고 공사 시 참여 인원의 안전관리에 최선을 다하여야 한다.

오천터널(하)는 2004년 12월에 준공되어 공용중인 연장 480.0m 터널로서 유지관리이력 검토결과, 준공이후 일부 손상에 대해 보수를 일부 실시하였으며, 터널내의 용도변경 및 새로운 부착시설물은 없는 것으로 조사되었다.

보수・보강의 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 아래의 경우 중에서 결정한다.

(1) 현상유지(진행억제)

(2) 실용성 지장이 없는 성능까지 회복

(3) 초기 수준이상으로 개선

(4) 개축

6.2 보수·보강 방안

6.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정

본 구조물에 필요한 보수의 우선순위는 손상 및 결함의 종류, 성상 및 원인 등을 고려하여 보수의 완급성을 판단하여 다음과 같이 정하였다.

-보수보다 보강을, 주부재를 보조부재보다 우선하여 실시한다.

-시설물 전체에서의 우선순위 결정은 각 부재가 갖는 중요도, 발생한 결함의 심각성을 종합 검토하여 결정한다.

-각 시설물은 주요부재와 보조부재로 이루어져 있으며, 이들 시설물에서 발생된 각종 결함에 대한 보수·보강 우선순위는 다음과 같이 결정한다.

-필요한 경우 각 부재의 중요도 및 발생한 결함이 심각하지 않은 경우에도 사용성을 고려하여 우선순위를 조정할 수 있다.

-보수, 보강의 우선순위는 다음의 기준에 의해 구분하며, 언급되지 않은 손상에 대해서는 책임기술자의 판단 하에 우선순위를 선정한다.

【표 6.1】 보수·보강 우선순위 결정 기준

구분	순위	내 용
단기	1순위	•『시설물의 안전관리에 관한 특별법』제12조(중대한 결함)의 "대통령이 정하는 중대한 결함"에 포함되는 손상 - 철근콘크리트 시설물의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실 등 •주요부재에 발생된 결함 및 손상이 커 상태평가 기준 "d" 이하인 경우 •철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나, 부식가능성이 큰 경우
중장기	2순위	• 보조부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우 • 상부 차량 통행에 지장을 줄 수 있는 손상 • 즉각적인 보수는 요구되지 않지만 내구성, 기능성, 사용성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우
	3순위	• 기능발휘에는 지장이 없으나, 방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성 증진을 위해 보수가 필요한 손상
유지관리		• 1~3순위를 제외한 손상으로서 유지관리를 통해 향후 발전상태에 따라 보수·보강 여부를 판단할 수 있는 정도의 손상 - 콘크리트의 0.2㎜이하의 비구조적 미세균열(단, 균열집중구간은 제외) - 빈번한 차량통행으로 인한 보수효과가 없는 경우, 향후 교체가 시행될 부재 등 - 기타 경미한 손상으로서 내구성 및 사용성에 지장을 주지 않은 경우

오천터널(하) 정밀안전점검 결과

상태평가결과	안전성평가결과
• 상태평가결과 → "A"(0.081) • 라이닝 천단부 : 0.3㎜내·외 균열, 공동, 조인트 들뜸, 박리 등 • 라이닝 측벽부 : 타일 균열, 들뜸, 파손, 이격 • 옹벽 : 0.3㎜내·외 균열, 배수구 막힘, 백태 • 사면 : 식생 및 성토유실, 배수로 토사퇴적 • 공동구 : 0.3㎜내·외 균열, 덮개 파손, 들뜸, 층분리, 파손 등 • 배수시설 : 0.3㎜미만 균열, 배수구 막힘 등 • 포장부 : 포장 균열, 긁힘, 망상균열, 파손 등	• 안전성평가 미실시

보수, 보강방향		
1순위	• 철근부식 - 단면보수+방청	• 포장부 균열, 파손, 패임 등 - 전면 재포장
2순위	• 조인트 들뜸/박락, 재료분리 - 단면보수	• 라이닝 0.3㎜이상 균열 - 주입보수
3순위	• 0.1~0.2㎜ 균열 - 전면 표면처리보수 • 타일 긁힘, 들뜸, 파손 - 타일 재시공	• 덮개 파손 - 덮개 재설치
유지관리	• 공동구, 배수시설 0.3㎜내·외 균열 - 주의관찰 • 사면 배수로 토사퇴적 및 식생 - 주의관찰	• 옹벽 0.3㎜내·외 균열, 백태 등 - 주의관찰

【그림 6.1】 보수·보강방안 추진방향

6.2.2 결함내용별 보수·보강방안

【표 6.2】 보수·보강 일람표

구 분	손상내용	보수방안	손상물량	단위	우선순위
라이닝 천단부	균열(cw=0.3㎜미만)	표면보수	2.0	m	3순위
	균열(cw=0.3㎜이상)	주입보수	1.5	m	2순위
	공동	주의관찰	0.24	㎡	유지관리
	누수흔적	주의관찰	0.4	㎡	유지관리
	박리	단면보수	0.12	㎡	2순위
	실란트 들뜸	주의관찰	15.0	m	유지관리
	조인트 마감불량	주의관찰	2.0	m	유지관리
	표면오염	주의관찰	36.0	㎡	유지관리
	조인트 들뜸	단면보수	0.04	㎡	2순위
라이닝 측벽부	파손	단면보수	1.85	㎡	2순위
	몰탈 탈락	주의관찰	0.26	㎡	유지관리
	타일 균열	주의관찰	126.0	EA	유지관리
	타일 탈락	타일 재시공	32.0	EA	3순위
	타일 파손	타일 재시공	12.0	EA	3순위
	실란트 들뜸 및 파손	주의관찰	9.0	m	유지관리
	이격	충진보수	4.0	m	2순위
	누수흔적	표면처리	2.15	㎡	3순위
옹벽	균열(cw=0.3㎜미만)	주의관찰	32.9	m	유지관리
	균열(cw=0.3㎜이상)	주의관찰	11.1	m	유지관리
	배수구 막힘	주의관찰	19.0	EA	유지관리
	백태	주의관찰	0.28	㎡	유지관리

【표 6.2】 보수·보강 일람표(계속)

구 분	손상내용	보수방안	손상물량	단위	우선순위
사면	식생 및 성토유실	사면보호공 설치	13.0	m	2순위
	배수로 토사퇴적 및 식생	주의관찰	38.0	㎡	유지관리
공동구	균열(cw=0.3㎜미만)	주의관찰	0.3	m	유지관리
	균열(cw=0.3㎜이상)	주의관찰	73.2	m	유지관리
	덮개 균열	덮개 재설치	16.0	EA	3순위
	덮개 파손	덮개 재설치	101.0	EA	3순위
	들뜸	단면보수	0.7	㎡	2순위
	박리	단면보수	0.09	㎡	2순위
	철근부식	단면보수+방청	0.08	㎡	1순위
	층분리	단면보수	8.8	㎡	2순위
	파손	단면보수	1.54	㎡	2순위
배수시설	균열(cw=0.3㎜미만)	주의관찰	12.6	m	유지관리
	배수구 토사퇴적	주의관찰	0.82	㎥	유지관리
	배수구 막힘	청소	3.0	EA	2순위
	노견 토사퇴적	청소	148.79	㎡	3순위
포장부	균열	재포장	202.3	m	1순위
	긁힘	재포장	0.32	㎡	1순위
	망상균열	재포장	12.36	㎡	1순위
	박리	재포장	3.92	㎡	1순위
	파손	재포장	15.03	㎡	1순위

6.2.3 보수공법의 종류 및 방법

가. 콘크리트 표면처리공법(c/w=0.3㎜미만)

1) 공법 개요

콘크리트 표면이 노후 및 열화된 부위에 대해서 그라인더를 이용하여 열화부위를 제거하고 표면보호제를 도포하여 보수하는 방법이며 표면백태, 0.2㎜ 이하의 미세균열의 발생 부위에 적용한다. 또한, 보수 효과는 콘크리트 표면의 보수에 그치므로 본 공법 적용시 균열 등의 결함발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다.

2) 시공방법 및 유의사항

균열의 성장이 정지된 상태에서는 균열선 및 백태를 따라 폭 50~100㎜를 와이어 브러쉬로 닦아 내거나 심한 경우 치핑을 실시한 후 폴리머 시멘트 페이스트나 므르터로 균일하게 도포한다.

균열폭의 변동이 큰 경우에는 경화후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 보수할 경우 보수부위에 다시 균열이 발생하므로 균열면을 와이어 브러쉬로 완전히 청소한 후 균열선을 중심으로 폭 10~15㎜ 절연재를 부착하고, 절연재를 중심으로 폭 30~50㎜, 두께 2~4㎜의 변형성 및 신장성이 큰 씰링재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프사이에서 흡수할 수 있도록 한다.

<시공순서도>

표 면 처 리	콘크리트 열화부위, 백태발생 부위를 그라인더 등을 이용하여 표면처리다.
↓	
표 면 청 소	콘크리트 표면처리후 고압살수기를 이용하여 표면을 고압세척한다. 고압세척의 압력은 노즐 TIP에서 5,000 PSI (350kg/㎠)의 압력으로 한다.
↓	
표면보호제 도포	표면보호를 위하여 표면 보호제를 도포한다. 제품 선정 후 제품의 시방규정에 의한 표준 도포량을 확인한다.

【그림 6.2】 콘크리트 표면처리 시공순서도

나. 균열주입보수(c/w=0.3㎜이상)

1) 개요

균열(0.3㎜이상)부에 수지를 주입하면 콘크리트와 일체를 이루어 콘크리트의 방수성을 향상시켜서 내부 철근의 부식방지 및 콘크리트의 열화방지에 효과적이다.

균열보수는 균열 폭 및 균열깊이, 균열의 형태, 구조적 안전성 여부 등을 종합적으로 판단하여 보수 목적에 따라 가장 유리한 보수 대책을 선정하여야 한다. 또한, 균열보수는 균열 폭과 균열깊이를 고려하여 이에 적합한 주입속도, 점도 및 양생 속도를 갖는 수지 재료를 사용하여야 한다.

2) 수지주입공법의 종류

균열 주입공법에는 압입식과 흡입식이 있다. 압입식 주입공법에는 수동식, 기계식, 저압·저속식 주입 및 자동주입식 기계주입공법이 있으며, 이 중 저압·저속식 주입은 주입량 파 악이 쉽고 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있어 유리하다.

【표 6.3】 수지주입공법의 종류

압입식 공법	흡입식 공법
• 수동식 주입 : 인력 • 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 • 저압·저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 압력 • 자동주입식 기계주입 : 자동주입기	• 균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치하여, 흡입펌프로 충전재를 흡입주입

【표 6.4】 균열폭에 알맞은 수지의 점도

형 상		점도(20℃, cp)	주입 가능한 균열 폭
액 상	저점도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점도	1,500±500	0.2㎜ 전후
Gel 상태		6,000±1,000	0.5~5.0㎜ 전후

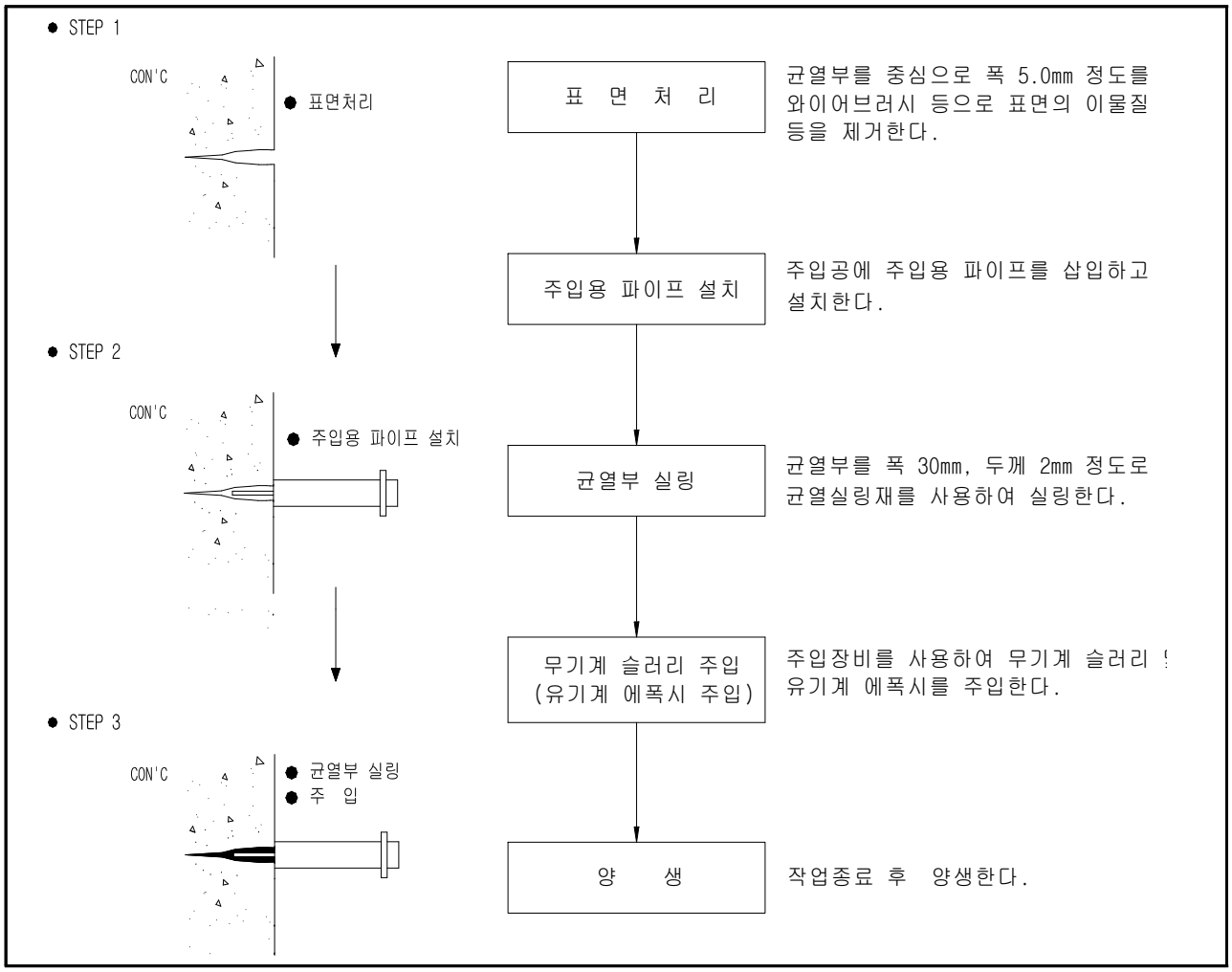
【표 6.5】 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격

균열 폭(㎜)	주입파이프/패커간격(㎜)	비고
0.3이하	50～100	
0.3～0.5	100～200	
0.5～1.0	150～250	
1.0이상	200～300	

【표 6.6】 에폭시계 수지의 규격

시험항목	시험방법	시험조건	씰링 및 퍼티용 규격치	주입용 규격치
비 중	KS M 3015	20℃ 7일간	1.7±0.2	1.2±0.2
사용가능시간	온도상승법	20℃	60이상	30이상
점 도	JIS K 6838	〃	-	5,000이하
압축항복강도	KS M 3015	20℃ 7일간	6.0이상	6.0이상
휨강도	〃	〃	3.5이상	4.0이상
인장강도	〃	〃	2.0이상	2.0이상
압축탄성계수	ASTM D 695	〃	0.1～0.6	0.1～0.6
인장전단강도	KS M 3722	〃	100이상	100이상
충격강도	KS M 3015	〃	0.15이상	0.3이상
경 도	ASTM D 2240	〃	80이상	80이상

3) 시공방법



【그림 6.3】 균열 보수공법 개요도

4) 시공시 주의사항

① 대기온도가 10~30℃일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다.

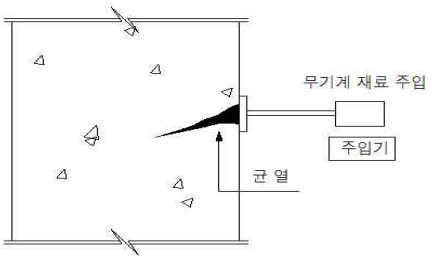
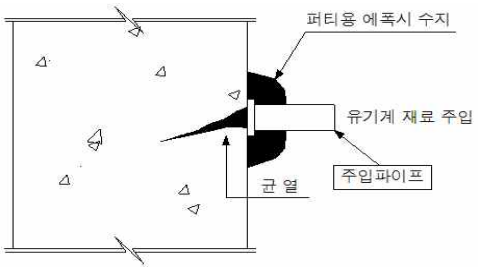
② 에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다.

③ 사용하는 에폭시계 수지는 적당한 루트마다 시험을 실시하여 품질을 확보한다.

④ 씰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

⑤ 주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 씰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 표면처리 한다.

【표 6.7】 주입공법 공법비교안

구 분	폴리머 슬러리시멘트 주입공법	에폭시 주입공법
개요도		
공법 개요	균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 무기계재료인 폴리머 슬러리시멘트를 주입기를 통하여 주입하는 공법	균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 유기계 재료인 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법
시공 방법	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→ 균열부 씰링→폴리머슬러리 시멘트주입→단면복구	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→ 균열부 씰링→에폭시주입→단면복구
특징	- 품질관리가 용이하고 재균열 발생우려 없음 - 균열보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보 - 콘크리트 모체와 동등한 탄성계수, 열팽창 계수, 투수성 확보 - 수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤지역 시공이 가능함 - 보통형식의 것은 경화시간이 늦고 공기가 길어짐 - 공정이 다소 복잡하여 시공전문가필요 - 유기계에 비해 접착강도 떨어짐	- 인장, 휨강도가 우수함 - 건조한 환경에 유리함 - 경화시간이 빠름 - 시공실적 다수 - 습기가 있는 부분에서는 접착력이 떨어지며 품질관리가 어려움 - 주입압력이 크면 균열이 확대되므로 주의 - 탄성계수, 열팽창계수가 콘크리트와 다름
경제성	80,000원/m	70,000원/m

다. 단면보수공법

1) 단면복구(보수)공법 개요

2) 단면복구(보수)시 털어내기 작업

단면복구(보수)시 털어내기 작업은 콘크리트 표면의 상황을 봐서 판단하는 것이 아니고 다음의 항목 및 【그림 6.3】을 참고하여 털어내기 범위나 형상을 결정하는 것이 좋다.

① 열화부분을 고려한 털어내기 범위

보수 개소의 콘크리트를 털어낼 때에 탄산화 등에 의한 취약한 부분을 남기면, 기설 콘크리트와 복구재료와의 충분한 부착강도를 얻을 수 없을 뿐 아니라, 균열이나 철근부식 재발의 원인이 된다. 따라서, 부재 내력에 영향을 미칠 수 없는 범위에서 열화부분을 모두 제거할 필요가 있다. 열화부분을 효과적으로 확인하기 위해서는 탄산화깊이나 알칼리 반응성 생성물의 측정 등 열화요인과 관련된 시험을 실시하는 것이 바람직하다.

② 철근의 녹을 고려한 털어내기 범위

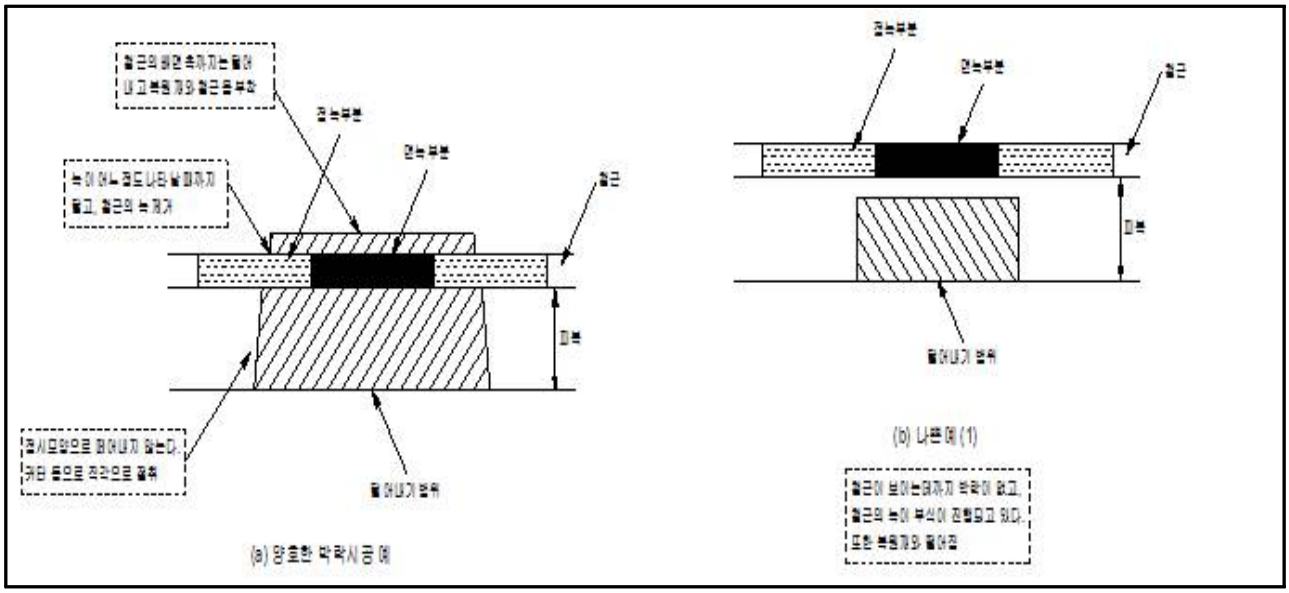
콘크리트의 열화부분을 충분하게 제거하여도 철근의 부식범위는 이 부위보다 넓은 경우가 대부분이다. 이 경우는 박락되어 노출된 부분의 철근 청소를 실시하여도 그 전후는 녹이 잔존한 채 남아있게 된다. 이 상태에서 단면복구(보수)를 실시하면 보수된 범위는 마이너스(-), 그 전후는 플러스(+)의 macro cell 부식이 생겨서 철근부식이 주위로 확산되어 보수효과가 적어지는 결과를 나타내는 경우가 많다.

따라서, 녹제거를 확실하게 할 수 있도록 철근표면의 전면에 녹이 나오고 있는 부분(면녹의 부분)뿐만 아니라, 이것과 인접하면서 녹이 점상으로 나타나는 비교적 건전한 부분(점녹의 부분)이 드러나는 범위까지 털어낼 필요가 있다. 한편, 털어내기 전에 면 녹의 범위를 파악하기 위해서는 자연전위 보정법에 근거하고 보정자연전위에서 -350mV보다 낮은 전위를 가리키는 부분이 이것에 해당한다.

또한, 같은 이유로 녹의 제거는 철근의 전 주변에 대하여 실시하여야 하고, 철근은 박락된 부분(면)에서부터 뒷부분까지 파취할 필요가 있다. 이것은 단면복구(보수)재가 철근을 둘러싸는 것에 의한 부착성 향상에도 유효하다.

③ 털어내기 형상

콘크리트와 단면복구(보수)재와는 일반적으로 열팽창율이 다르기 때문에 복구재의 단부가 접시형상으로 되어 있으면, 온도신축에 의해 그 부분으로부터 박리현상을 보이는 우려가 있다. 이것을 방지하기 위해 털어내기시 단부가 접시형상으로 되는 것을 피하고, 될 수 있는 한 수직에 가까운 각도로 깊이 털어내는 것이 중요하다.



【그림 6.4】 단면복구(보수) 상세도

3) 철근의 방청 처리

털어내기에 의해 노출된 철근의 녹 제거는 특히 정성껏 실시할 필요가 있다. 일반적으로 와이어 브러시를 이용할 수 있는 것이 많지만, 보다 확실한 녹제거 방법은 샌드 블라스트, 워트제트 등을 쓰는 것이 좋다.

녹을 제거한 후는 철근에 방청재를 도포한다. 방청재에는 녹방지 도료, 아질산염계 방청재, 염분흡착제를 사용한 시멘트계 방청형 보수재가 있다. 일반적으로 철근부식의 억제는 철근부식효과가 있는 아질산염 이온이 함유된 것이 효과적이다.

액산의 아질산칼륨이나 아질산리튬을 철근이나 박락면에 직접 도포하여 아질산염이온을 같이 배합한 아질산염계 방청재가 있다. 염화물에 의한 부식의 경우 유효한 도포량은 아질산 이온량과 염화물량의 비율을 관리하여야 하며 많은 양의 충전이 필요한 경우 Paste나 모르터 등을 혼합하여 사용하는 등의 검토가 필요하다. 또한 최근 개발된 염분흡착재를 이용한 방청재는 해수성분을 함유한 수분이 있는 개소의 철근부식에 대응하여 아질산 이온을 도입 또는 함유한 염화물량의 저감효과가 있다.

염분흡착재는 콘크리트 제체중의 유해한 염화물이 흡착되어 저감되어지는 동시에 염분흡착제 자신이 기다리고 있는 아질산 이온을 방출하는 것에 의해 높은 방식재 효과를 얻을 수 있다.

4) 단면복구(보수) 재료

복구재의 선정은 열화의 요인, 손상 상황, 누수 상황 등을 감안하고, 기설의 철근이나 콘크리트와의 부착성, 시공성, 재료특성 등을 평가하고 시공개소에 적합한 것을 채용 할 필요가 있다. 특히 사용실적이나 적절한 시험방법 등에 의해 품질, 성능을 확인할 수 있는 복구재를 사용하는 것이 바람직하다. 단면복구(보수)재는 저수축성이 요구되며, 복구재 충전 후 경화전에 우려할만한 차량진동을 받는 부위는 조강형을 사용하고, 아치부나 슬래브 하면 등 시공성을 중시할 경우는 경량형을 사용하고, 거푸집을 설치해서 충전할 경우는 고유동형을 사용하는 방안을 검토하여야 한다.

일반적으로 단면복구(보수)재를 충전하기 전에 프라이머를 도포하는 경우가 많다. 프라이머는 기설 콘크리트와 복구재의 부착성 향상을 목적으로 한 에폭시 수지계, 복구재의 수분이 기설 콘크리트에 흡수되어 경화에 필요한 수분이 결핍하는 「드라이 아웃」방지를 목적으로 한 수성 에멀션을 주재로 하는 재료 등이 있다.

【표 6.8】 일반적인 단면 복구(보수)재의 분류

분 류		개 요
유기계	수지모르터 (에폭시수지 등)	• 에폭시 등의 수지와 잔골재를 이용한 모르터로 고강도, 수밀, 경량, 접착성이 뛰어나고 섞어쓰기 용이하나 고가임
무기계	폴리머 시멘트 모르터	• 시멘트에 SBR, 포키시 등의 수지를 첨가한 모르터로 고강도, 수밀성 양호
	무수축 모르터	• 팽창재가 함유된 건조수축을 보상하는 것에 의해 억제하는 모르터

6) 단면복구(보수)시 유의 사항

① Lath 철망이나 Wire Mesh를 끼울 경우는 박리현상이 발생되지 않게 충분히 고정한 뒤 단면복구(보수)재를 충전한다.

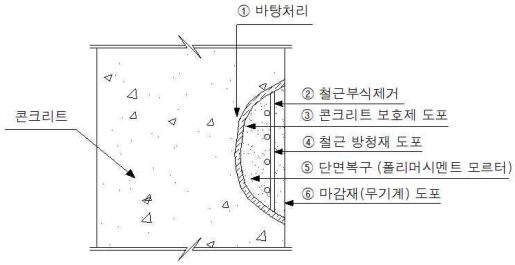
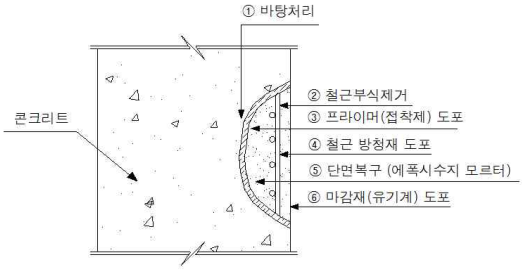
② 철근방청재, 프라이머, 단면복구(보수)재는 동일 제작사의 제품을 사용하거나 서로 양호한 조합의 물건을 이용한다.

③ 보수 깊이가 깊은 개소의 충전은 여러층으로 시공할 경우 경계부위가 부착상의 약점이 되기 쉬우므로 정확한 작업이 요구된다.

④ 보수한 단면복구(보수)재가 낙하할 가능성이 있는 부위는 중점적으로 검사 및 점검을 실시한다. 또한, 재료의 선택에 따라 신구콘크리트접착재의 도포가 필요할 경우에는 도포 후 단면복구(보수)를 실시한다.

⑤ 털어내기 작업시 콘크리트 분진으로 인한 대기오염을 방지하기 위해 집진시설이나 물분사 등을 실시하여 도로주변의 환경오염에 주의하여야 한다.

【표 6.9】 단면복구(보수) 공법비교안

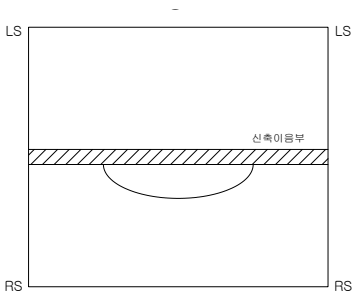
구 분	폴리머시멘트 모르터 공법	에폭시수지 모르터 공법
개 요 도		
공법개요	• 콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 콘크리트 보호제를 도포한 후 철근을 방청하고 무기계인 폴리머시멘트 모르터로 단면을 복구한 후 무기계 마감재로 마감하는 공법	• 콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 접착제를 도포한 후 철근을 방청하고 유기계인 에폭시수지 모르터로 단면을 복구한 후 유기계 마감재로 마감하는 공법
시공방법	• 치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 콘크리트 보호재(침투성) 도포 → 철근 방청제 도포 → 폴리머시멘트 모르터로 단면복구 → 마감재(무기계)도포	• 치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 프라이머(접착제) 도포 → 에폭시수지 모르터로 단면복구 → 마감재(유기계) 도포
특 징	• 철근의 방청효과가 우수하고 재부식 확률이 없음 • 철근 노출부 보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보 • 폴리머시멘트의 사용으로 콘크리트 중성화 방지 효과가 우수함 • 수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤지역 시공이 가능함 • 일반적으로 한번의 시공두께가 얇기 때문에 목표두께가 두꺼울 경우 공정이 증가함 • 보통 형식의 것은 경화시간의 늦고 공기가 길어짐	• 인장, 휨강도가 콘크리트보다 우수함 • 재료 자체의 접착성 및 내마모성이 우수함 • 재료비가 폴리머 시멘트에 비해 저가임 • 경화시간이 빠름 • 방청효과가 확실하지 않음 • 유기계 재료로서 통기성이 없으므로 재부식 발생 우려 • 습기가 있는 부분에서는 접착력이 떨어지며 품질관리가 어려움
경제성	150,000원/m	130,000원/m

라. 단면정리(신축이음부 박리 및 박락-반원형 손상)

1) 개요

신축이음부 반원형 손상은 터널 라이닝 시공시 밀실과 연속성을 위해 강재거푸집을 설치 후 라이닝을 타설하는 경우 라이닝 유압에 의해 밀착된 거푸집의 하중 분포의 불균형 또는 충격에 의하여 반원형의 형태로 균열이 발생 되거나 신축이음부 온도신축구속에 의한 것으로 탈락이 우려되는 콘크리트 중 차량통과시 충돌이 예상되므로 탈락 예측 블록은 제거하는 것이 바람직 한 것으로 판단된다.

2) 보수방법

천단부, 어깨부 반원형 손상
con'c 깨기 후 표면정리
 천단부 반원형균열

3) 시공순서

사전조사	- 손상현황 및 범위결정
↓	
시공계획 수립	- 제작도 작성
↓	
단면 결정	- 필요한 제원결정
↓	
손상부 단면정리(털어내기)	- 이물질 제거 및 박락우려부 제거

6.3 보수·보강 개략공사비

6.3.1 보수·보강 개략공사비

【표 6.10】 보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위
라이닝 천단부	균열(cw=0.3㎜미만)	표면보수	2.0	0.75	㎡	61	46	3순위
	균열(cw=0.3㎜이상)	주입보수	1.5	2.25	m	43	97	2순위
	박리	단면보수 t=10mm	0.12	0.18	㎡	147	26	2순위
	조인트 들뜸	단면보수 t=10mm	0.04	0.06	㎡	147	9	2순위
라이닝 측벽부	파손	단면보수 t=10mm	1.85	2.78	㎡	147	409	2순위
	타일 탈락	타일 재시공	32.0	32.0	EA	2	64	3순위
	타일 파손	타일 재시공	12.0	12.0	EA	2	24	3순위
	이격	충진보수	4.0	6.0	m	33	198	2순위
	누수흔적	표면보수	2.15	3.23	㎡	59	191	3순위
사면	식생 및 성토유실	사면보호공 설치	13.0	1.0	식	10,000	10,000	2순위
공동구	덮개 균열	덮개 재설치	16.0	16.0	EA	30	480	3순위
	덮개 파손	덮개 재설치	101.0	101.0	EA	30	3,030	3순위
	들뜸	단면보수 t=10mm	0.7	1.05	㎡	147	154	2순위
	박리	단면보수 t=10mm	0.09	0.14	㎡	147	21	2순위
	철근부식	단면보수+방청 t=13mm	0.08	0.12	㎡	247	30	1순위
	층분리	단면보수 t=10mm	8.8	13.2	㎡	146	1,927	2순위
	파손	단면보수 t=10mm	1.54	2.31	㎡	146	337	2순위
배수시설	배수구 막힘	청소	3.0	3.0	EA	3	9	2순위
	노견 토사퇴적	청소	148.79	223.19	㎡	3	670	3순위
포장부	균열	재포장	202.3	3,360.0	㎡	316	1,061,760	1순위
	긁힘	재포장	0.32					
	망상균열	재포장	12.36					
	박리	재포장	3.92					
	파손	재포장	15.03					
개략공사비	구분	1순위		2순위			3순위	
	순공사비	1,061,790		13,187			4,505	
	제경비(순공사비×50%)	530,895		6,594			2,252	
	합계	1,592,685		19,781			6,757	
유지보수 개략공사비 총계		1,619,223						

주1)보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음(정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영).

주2)동일부재에서 보수방안을 중심으로 합산하여 개략공사비를 산출하였음.

6.4 유지관리방안

6.4.1 개요

터널의 유지관리는 시설물의 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 일상점검 및 정밀점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인할 수 있고 특히, 초기 결함을 찾아서 그 결함정도에 따라 적정한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 실시되어야 한다. 초기에 발견된 결함의 보수시기를 놓치면 나중에는 보수하기 어려울 뿐만 아니라 많은 보수비와 보수기간의 장기화로 통행차량의 불편과 동시에 물류비 증액의 원인이 된다. 따라서 유지관리를 통하여 손상된 부분을 원상복귀하며, 경과시간에 따라 시설물의 개량, 보수·보강에 필요한 활동을 하는 것으로 교량의 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 주의 깊게 점검하여 그 원인을 미리 해소하는 예방활동에 목표를 두어야 한다.

점검은 주기적인 조사 및 관찰을 통해 구조물의 이상 및 손상을 조기에 발견함으로서 안전하고 원활한 기능을 확보하고 합리적인 유지관리 자료를 획득하기 위하여 실시한다. 점검은 정기점검, 정밀점검 및 긴급점검으로 나누며, 점검결과 이상의 정도가 심하거나 보수·보강에 대한 필요성이 있는 경우에는 상세조사를 실시한다. 또한 위의 조사를 통하여 유지관리 담당자가 대상구조물에 대한 전문적인 조사가 필요하다고 판단될 때에는 전문가에 의한 정밀안전진단을 실시하여야 한다.

【표 6.11】 점검주기 및 주요조사항목

점검종류	점검주기	주요조사항목
정기안전점검	반기 1회	·박리, 균열, 박락, 사용하중, 누수 등에 관하여 전회 점검시와 변형, 변위 발달상태
정밀안전점검	2년 1회	·설계도서 검토 ·형상검사(규격, 변위, 변형, 침하 등) ·상태검사(파열, 손상, 부식, 균열, 누수, 열화 등) ·현장시험·측정(강도, 철근, 피복, 철근부식, 탄산화 등)
긴급점검	필요시	·손상의 정도, 보수의 긴급성, 보수작업의 규모, 주요 보조 부재의 내하력, 사용제한 여부 등
정밀안전진단	A등급 : 6년 B.C등급 : 5년 D.E등급: 4년	·구조물의 노후화, 손상정도, 초기 및 정기점검 상태로부터 변화 확인 ·구조해석 및 안전성 평가

6.4.2 부위별 점검요령

가. NATM구간

1) 갱문

구분	갱문 점검항목		점검장비
일반 사항	균 열	- 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 진행성 여부	- 고소점검처 - 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 써치랜턴
	누 수	- 위치, 누수량, 수질, 기온변화	
	손 상	- 박리·박락, 층분리, 백태, 동해, 파손, 오염 등에 대한 조사	
	경사도	- 부등침하, 갱문의 기울어짐, 침하, 이동, 단차여부	
	갱구부상부	- 토사유입, 물고임, 식생, 비탈면 유실, 옹벽 및 숏크리트 상태 - 배수로 처짐 및 균열 여부	
○ 중점점검 사항		- 천장부 및 벽체 종방향 균열 - 발생된 균열의 진행성 여부 조사 - 시공이음부 주변 누수, 백태 - 결함 보수개소의 효과 조사	

2) 라이닝

구분	라이닝 점검항목		점검장비
일반 사항	균 열	- 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 진행성 여부, 형태	- 고소점검차 - 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 랜턴
	누 수	- 위치, 누수량, 기온변화	
	변 상	- 박리·박락, 백태, 두께부족, 단차, 압좌 파손 등에 대한 위치	
	동 해	- 동해, 고드름, 측빙	
측 벽 부		- 오염, 각종 케이블 고정상태, 재료분리	
시공이음부		- 단차, 파손, 압좌, 시공불량 여부, 토사유입 여부	
○ 중점점검 사항		- 천장부 및 벽체 종방향 균열 - 발생된 균열의 진행성 여부 조사 - 시공이음부 주변 누수, 백태 - 결함 보수개소의 효과 조사	

3) 라이닝 접속시설

구분	라이닝 접속시설 점검항목	점검장비
일반사항	- 균열, 누수, 백태, 파손, 압좌, 변형, 오염	- 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 랜턴
집수정	- 철근노출·부식, 균열, 누수, 백태, 박리·박락 파손, 토사유입	
하부 배수구	- 누수, 파손, 토사유입, 침수, 오염, 이물질 퇴적, 소제구 및 뚜껑	
바닥 라이닝	- 균열, 변형, 파손, 누수, 토사유입, 침하, 융기	
○ 중점점검 사항	- 균열, 철근노출, 누수 및 백태 - 바닥 라이닝의 부등침하	

6.4.3 정밀안전점검 결과에 따른 중점유지관리 사항

【표 6.12】 중점유지관리항목

구 분	현 황	관리방안	관련사진
라이닝	•균열 •조인트 들뜸	•정기 및 차기 정밀안전점검 시 손상 수량 증가, 손상부 확대여부 확인 - 손상 확대에 따라 보수시기 결정 - 보수 시 품질 및 시공관리 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	
측벽부	•타일 균열 및 탈락	•정기 및 차기 정밀안전점검 시 손상 수량 증가, 발생여부 확인 - 손상 확대에 따라 보수시기 결정 - 보수 시 품질 및 시공관리 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	
공동구	•덮개 파손 •측구 철근부식, 층분리	•정기 및 차기 정밀안전점검 시 손상 수량 증가, 발생여부 확인	
포장부	•포장 균열, 파손 •포장 긁힘, 망상균열	•정기 및 차기 정밀안전점검 시 손상 수량 증가, 보수여부 확인 - 재손상 방지를 위한 재포장 실시 - 보수 시 품질 및 시공관리 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	

제 7 장 종합결론

7.1 종합결론

제 7 장 종합결론

7.1 종합결론

오천터널(하)는 경기도 이천시 마장면 회억리에 위치하며 연장 480.0m, 폭 9.306m의 2차선 터널로, 종단선형은 시점에서 종점으로 약 1.7% 경사를 이루고 있다. 터널본선은 NATM으로 시공된 난형식의 터널로서, 진입부 갱문형식은 면벽식, 진출부 갱문형식은 원통절개형으로 시공되었고, 2004년 12월 준공되어 약 16년간 공용중인 터널 구조물이며, 시공자료 분석을 포함, 현장외관조사 및 시험, 상태평가 등을 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

가. 현장조사 및 시험

1) 라이닝

- 천단부는 균열, 공동, 조인트 들뜸, 포면오염, 박리, 누수흔적 등의 손상이 일부 구간에 국부적으로 발생되었다. 균열은 라이닝 콘크리트의 계절변화에 따른 건조수축 및 온도변화에 의한 구속과 시공초기 발생된 균열에 대해 미보수된 비구조적 균열로 판단된다. 본 구조물에 발생된 균열은 구조물의 안전성에는 큰 영향이 없으나 장기적으로 내구성 저하방지를 위한 표면보수, 주입보수 등의 적절한 보수가 필요할 것으로 판단되며, 조인트부 들뜸 및 박리의 경우, 손상부를 제거하고 단면보수를 실시하더라도 경과년수가 증가함에 따라 기존 콘크리트와 보수재와의 불연속면에서 박리가 발생하여 재손상의 가능성이 높다. 따라서 안전사고 예방차원에서 유지관리하는 것이 적절하다고 판단된다. 금회 점검시 조사된 공동, 표면오염, 누수흔적의 경우 시공미흡, 타설불량, 공용기간 증가 등에 의한 손상으로 판단되며, 기 발생된 손상부의 경우 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 라이닝 일부구간 조사된 누수흔적의 경우 라이닝 누수에 의한 손상으로 판단되며, 현재 표면이 건조한 상태로 보수보다는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

- 본 터널 측벽부에 발생된 파손 및 이격의 경우 신축이음부 몰탈에서 발생된 손상으로 온도변화에 의한 신축작용 등에 의한 손상으로 판단된다. 기 발생된 손상부의 경우 터널의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 단면보수, 충진보수 등의 조치가 요망된다. 금회 점검시 조사된 실란트 들뜸 및 파손, 몰탈 탈락의

경우 장기공용에 의한 열화, 라이닝 누수 등에 의해 발생된 손상으로 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 타일부에 발생된 손상들에 대해서는 안전사고예방 및 미관 확보를 위해 타일 재시공 등 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 일부구간 발생된 라이닝 측벽부 누수흔적의 경우 라이닝 누수에 의한 손상으로 손상의 진전 방지를 위한 표면처리 등의 조치가 요망된다.

2) 갱문 및 옹벽

- 옹벽에 발생된 균열 및 백태의 경우 건조수축 및 온도변화, 공용기간 증가 등에 의한 비구조적 손상로써 구조물의 사용성 및 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 표면처리, 주입보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직 하다. 옹벽에 시공된 수평배수공의 경우 공용기간 증가, 이물질퇴적 등에 의한 배수구막힘이 일부구간 조사되었으며, 배수공이 불량하여 배면부의 지하수가 원활히 배출되지 않을 경우 저면활동, 원호활동, 전도, 균열 등의 손상을 야기시키므로 주기적인 정비가 필요할 것으로 판단된다. 갱문의 경우 현재 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었으며, 추후 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하여 현재 상태를 유지하는 것이 바람직하다.

3) 사면

- 사면 일부구간 발생된 식생 및 성토유실의 경우 우수유입, 공용기간 증가 등에 의한 손상으로 판단되며, 기 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 사면보호공 설치 등의 조치가 요망된다. 또한, 사면 상단 배수로에 발생된 토사퇴적 및 식생의 경우 공용기간 증가, 이물질 퇴적에 의한 손상으로 판단되며, 현재 배수로의 배수기능에 영향을 미칠만한 상태는 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 공동구 및 배수시설

- 공동구에 일부 발생된 균열의 경우 건조수축 및 온도변화 등에 의한 비구조적 손상으로 판단되며, 보수보다는 주기적인 점검을 통한 유지관리 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 공동구에 일부 발생된 덮개 균열 및 파손은 공용중 외부충격 등에 의한 것으로 판단되며, 공동구는 점검자의 안전점검시 보

도로서 활용하는 만큼 안전사고 예방차원에서 파손된 덮개에 대해서는 교체가 바람직 할 것으로 판단된다. 또한, 공동구 일부구간 발생된 들뜸, 박리, 철근부식, 층분리, 파손의 경우 시공미흡, 외부충격, 노면수 및 제설재 유입에 따른 동결융해의 반복, 노후화 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. 배수시설에 발생된 균열의 경우 건조수축 및 온도변화에 의한 비구조적 손상으로 현재 손상정도가 경미하여 주의관찰 하여도 무방하다. 배수구에 발생된 토사퇴적의 경우 공용기간 증가, 이물질 퇴적 등에 의한 손상으로 현재 배수기능에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 일부구간 발생된 배수구 막힘 및 노견 토사퇴적의 경우 공용기간 증가, 이물질 퇴적 등에 의한 손상으로 구조물의 원활한 배수기능 확보 및 손상의 진전 방지를 위한 정비가 요망된다. 또한, 터널의 배수시설의 경우 유입수의 원활한 배출을 위해 이물질 청소 등의 주기적인 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

5) 포장면

- 콘크리트 포장에 발생한 균열, 긁힘, 망상균열, 박리, 파손의 경우 통행차량의 반복하중, 공용기간 증가에 의한 열화, 노면수 및 제설재 유입에 따른 동결융해의 반복 등에 의한 손상으로 판단되며, 현재 전구간에 걸쳐 손상이 고르게 분포되어 있다. 특히, 일부 손상부의 경우 손상의 진전이 발생된 상태이며, 기 점검 이후 추가 발생된 손상이 다수 조사되었다. 터널 포장부의 경우 구조물의 안전성에 영향을 미치는 부재는 아니나, 통행차량의 주행성 및 안전성 확보를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 부분 보수시 재손상이 발생할 가능성이 높으므로, 부재의 사용성 확보 및 통행차량의 주행성, 안전성 확보를 위한 전면 재포장이 바람직 할 것으로 판단된다.

6) 부속시설

- 터널 부속시설의 경우 금회 점검시 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 기 점검시 조사된 소화기함 파손의 경우 전개소 보수를 실시한 것으로 확인되었다. 손상부의 경우 재손상 등이 없는 양호한 상태이며, 추후 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하여 현재 상태를 유지하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

7) 내구성 조사

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 26.6~29.5㎫로 측정 되었으며, 금회 실시한 오천터널(하)는 모두 설계기준 압축강도(24.0㎫)를 상회하는 것으로 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.
- 탄산화깊이 측정결과 탄산화깊이는 1.0㎜～2.0㎜로 측정되었으며, 잔여깊이가 30㎜이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 "a"로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

나. 상태평가 결과

- 금회 상태평가 결과 “A등급”으로 평가되었으며, 2017년 정밀안전점검 이후 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 환산결함도 점수가 0.135 ⇨ 0.081로 감소한 것으로 분석되었으며, 감소된 원인으로는 기 점검이후 라이닝콘크리트에 대한 보수를 실시하였으며, 이로 인해 환산결함도 점수가 하향된 것으로 판단된다.

다. 중점유지관리 사항

- 오천터널(하)에 대한 정밀안전점검결과 중점관리 사항은 아래와 같다.
  ① 라이닝 조인트 들뜸 : 탈락으로 인한 안전사고 우려
  ② 공동구 측구 철근부식 및 층분리 : 손상의 진전 및 추가발생 여부 확인
  ③ 포장부 균열, 파손, 망상균열 : 표면불량으로 인한 주행차량의 안전성 우려

라. 결론

- 이상과 같이 자료조사, 외관조사, 내구성 조사 등의 결과를 분석하여 평가된 구조물의 상태평가 결과를 종합적으로 평가한 오천터널(하)의 안전등급은「문제점이 없는 최상의 상태인」인 「A」등급으로 평가되었다. 구조적인 손상 및 결함은 없는 것으로 판단되어 별도의 정밀안전진단은 필요 없을 것으로 판단되며, 본 보고서에 제시된 방안으로 보수를 시행하고 지속적인 유지관리를 실시한다면 구조물의 사용성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.