제 1 장 성능평가 개요

1.1 과업의 목적

1.2 과업의 범위 및 내용

1.3 과업수행 흐름도

1.4 과업수행 일정

1.5 사용장비 및 기기

1.6 대상 시설물 현황

제 1 장 성능평가 개요

1.1 과업의 목적

본「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 세부지침(성능평가 편)(이하「세부지침」이라 한다)은「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하「법」이라 한다) 제43조 및 같은「법」시행령(이하「영」이라 한다) 제30조 및 같은 「법」시행규칙(이하「규칙」이라 한다) 제32조에 따라 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」(국토교통부 고시 제2018-45호, 이하「지침」이라 한다)에서 정하는 유지관리 · 성능평가의 실시방법 · 절차 등에 관한 필요사항을 시설물별로 보다 상세히 제시하고 그 실시요령을 정하여 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 증진시킴과 더불어 과학적 유지관리를 체계화하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

터널의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

[표 1.2.1] 대상시설물 세부범위

구 분	시설물명	비고
기본 시설물	갱문	재래식터널 NATM터널 SHIELD터널 개착터널에 공통적용
	굴착터널(굴착구간) 라이닝	
	개착터널(개착구간) 라이닝	
	터널주변(배수시설, 공동구 등)	
부대 시설물	연직갱 및 경사갱	
	환기구	
	피난연락갱	
	연결터널(환기시설)	

1.2.2 시설물 현황

[표 1.2.2] 시설물 현황

구 분	시설물명	노선	연장(m)	상부형식	준공년도	비고
터널	오천터널(하행선)	국도42호선	480.0	NATM	2004	

1.2.3 과업의 내용

가. 기초자료 수집 및 분석

구 분	내 용	비고
사전조사	•준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리・수문계산서, 유지관리지침서 •시공・보수도면, 제작 및 작업도면 •재료증명서, 품질시험기록, 계측자료 •시설물관리대장 •시설물의 내구성능(염해・동해환경, 해안거리 등) 및 사용성능(포장, 휘도, 방재 등), 기능성능(기계/전기설비, 전력/통신/신호설비 및 수요 및 용량 등)에 대한 자료 •기존 정밀안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 실시결과 •보수・보강이력 및 유지관리 결과보고서	제공자료 및 FMS자료 활용

나. 현장조사 및 시험

구 분	내 용	비고
외관조사	■ 구조요소별 외관 결함 및 손상(균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등) 등 외관조사 및 외관조사망도 작성	접근장비 이용 및 기존자료 활용
현장 재료시험	■ 비파괴 조사 - 반발경도법 의한 콘크리트 강도조사 - 전자기를 이용한 철근탐사 - 탄산화시험 - 염화물 함유량 시험	비파괴 시험장비

다. 안전성능평가

구 분	내 용	비고
상태안전성능	■ 외관조사 결과분석 ■ 현장시험 및 재료시험 결과 분석 ■ 대상 시설물(부재)에 대한 상태안전성능 평가 ■ 시설물 전체의 상태안전성능 결과에 대한 책임기술자의 소견	
구조안전성능	■ 기존 구조해석 자료를 통한 구조안전성능 결과 분석	

라. 내구성능평가

구 분	내 용	비고
내구성능평가	■ 외관조사 결과분석 ■ 현장시험 및 재료시험 결과 분석, 내구성능 관련 수집자료 검토 ■ 사용재료에 대한 내구성능 평가 ■ 시설물의 내구성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견	

마. 사용성능평가

구 분	내 용	비고
사용성능평가	■ 사용성능 관련 수집자료 검토 ■ 사용환경 및 기능 등에 대한 사용성능 평가 ■ 시설물의 사용성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견	

바. 종합 평가

구 분	내 용	비고
종합평가	■ 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가의 결과 분석 ■ 전체적인 평가에 대한 책임기술자의 소견 ■ 시설물의 종합성능등급 지정	

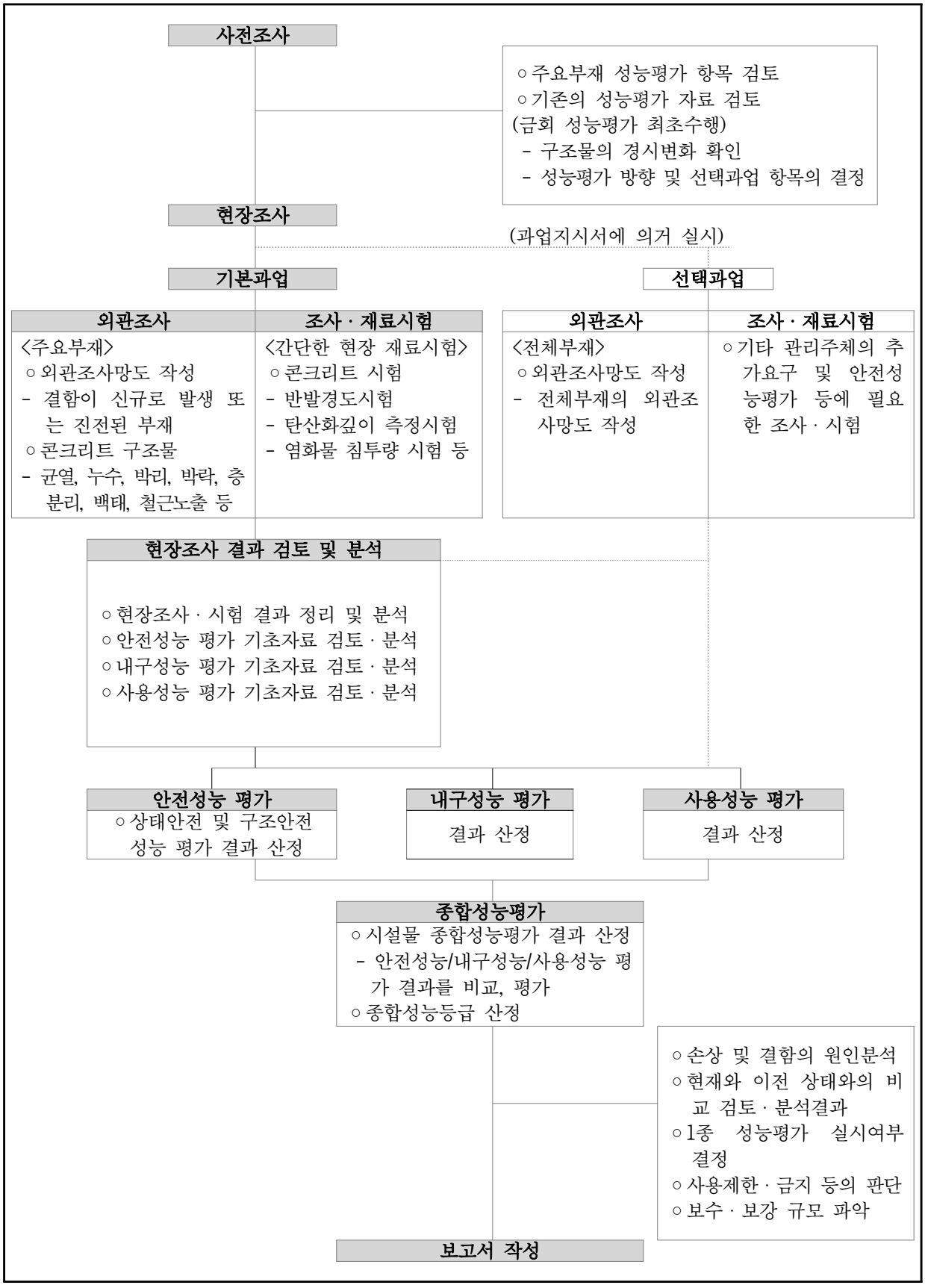
사. 유지관리 전략 제안

구 분	내 용	비고
유지관리 전략 제안	■ 시설물의 성능목표 및 성능평가 실시결과 검토·분석 ■ 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시	

아. 보고서 작성

구 분	내 용	비고
보고서 작성	■ 외관조사망도 작성 등 보고서 작성	

1.3 과업수행 흐름도


사전조사
○주요부재 성능평가 항목 검토
○기존의 성능평가 자료 검토
(금회 성능평가 최초수행)
- 구조물의 경시변화 확인
- 성능평가 방향 및 선택과업 항목의 결정
현장조사
(과업지시서에 의거 실시)
기본과업
선택과업
외관조사
<주요부재>
○외관조사망도 작성
- 결함이 신규로 발생 또는 진전된 부재
○콘크리트 구조물
- 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등
조사 · 재료시험
<간단한 현장 재료시험>
○콘크리트 시험
- 반발경도시험
- 탄산화깊이 측정시험
- 염화물 침투량 시험 등
외관조사
<전체부재>
○외관조사망도 작성
- 전체부재의 외관조사망도 작성
조사 · 재료시험
○기타 관리주체의 추가요구 및 안전성능평가 등에 필요한 조사 · 시험
현장조사 결과 검토 및 분석
○현장조사 · 시험 결과 정리 및 분석
○안전성능 평가 기초자료 검토 · 분석
○내구성능 평가 기초자료 검토 · 분석
○사용성능 평가 기초자료 검토 · 분석
안전성능 평가
○상태안전 및 구조안전 성능 평가 결과 산정
내구성능 평가
결과 산정
사용성능 평가
결과 산정
종합성능평가
○시설물 종합성능평가 결과 산정
- 안전성능/내구성능/사용성능 평가 결과를 비교, 평가
○종합성능등급 산정
○손상 및 결함의 원인분석
○현재와 이전 상태와의 비교 검토 · 분석결과
○1종 성능평가 실시여부 결정
○사용제한 · 금지 등의 판단
○보수 · 보강 규모 파악
보고서 작성

1.4 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													-03/23 착수
1) 착수계 제출													
2) 현장답사													
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													-중간보고 (05.28)
1) 상태평가													
2) 성능평가													
3) 종합평가													
4. 보수보강 제시													
1) 보수방안 및 우선순위 결정													
2) 유지관리방안 제시													
5. 결과보고													-결과보고
1) 결과보고													
2) 성과품 초안제출													
6. 보고서 작성													-09/18 준공
1) 외관조사 망도 작성													
2) 최종보고서 작성													
3) e-보고서 작성													

1.5 사용장비 및 기기

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	현황촬영	
	망원경	-	외관조사	
	닥터햄머	-	타격조사	
	무전기	-	안전관리	
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 대상 시설물 현황

1.6.1 시설물 현황

구 분		내 용	구 분	내 용
시설물명		오천터널(상)	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>

1.6.2 관련도면

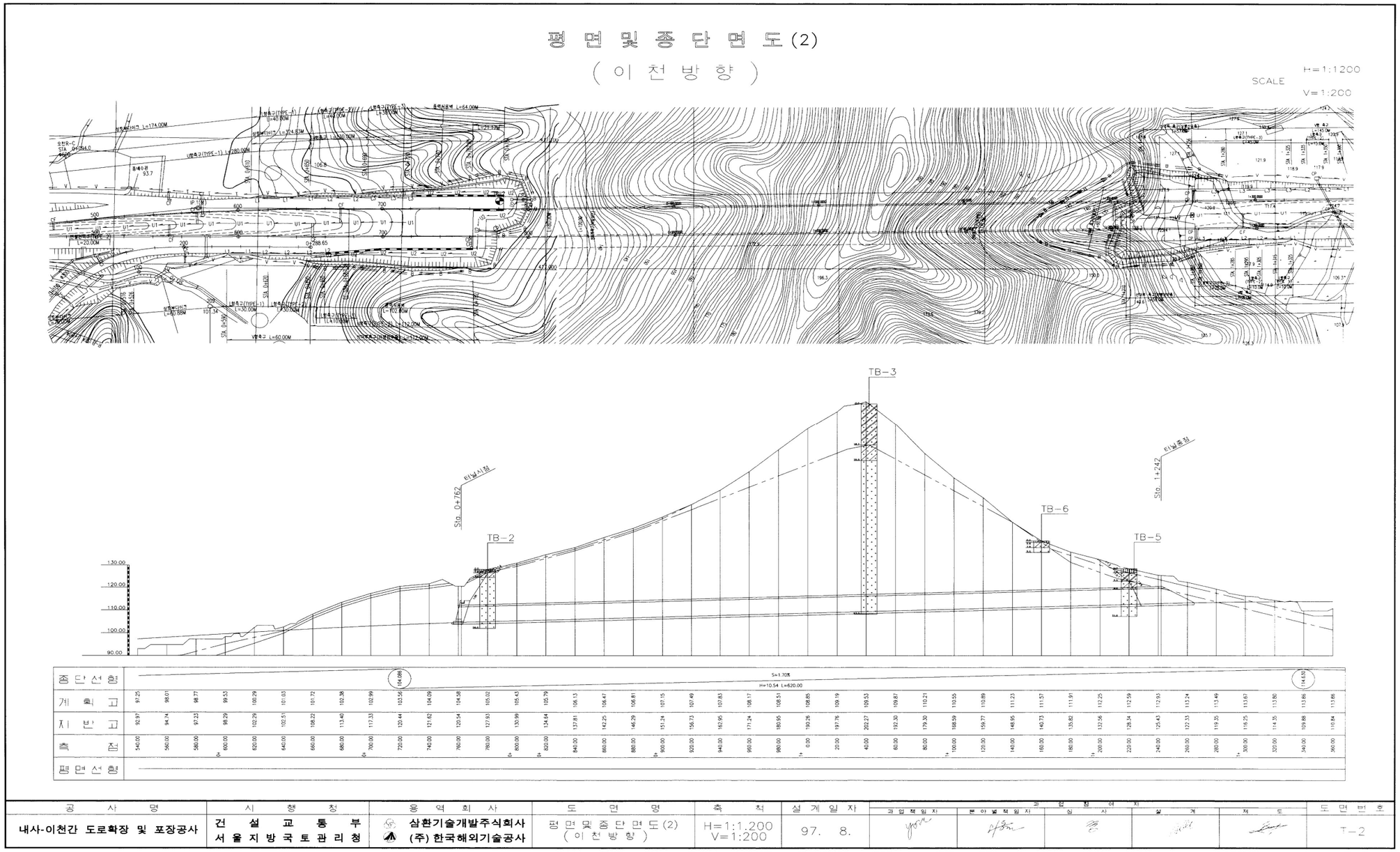

평 면 및 종 단 면 도(2)
(이 천 방 향)
SCALE
H=1:1200
V=1:200
TB-3
TB-2
TB-6
TB-5
Sta. 0+762
Sta. 1+742
종 단 선 형
계 획 고
지 반 고
측 점
평 면 선 형
공 사 명
내사-이천간 도로확장 및 포장공사
시 행 청
건 설 교 통 부
서 울 지 방 국 토 관 리 청
용 역 회 사
삼환기술개발주식회사
(주) 한국해외기술공사
도 면 명
평 면 및 종 단 면 도(2)
(이 천 방 향)
축 척
H=1:1.200
V=1:200
설 계 일 자
97. 8.
과 업 책 임 자
분 야 별 책 임 자
심 사
실 계
제 도
도 면 번 호
T-2

표 준 단 면 도 (1)

표 준 단 면 - I

S=1:50

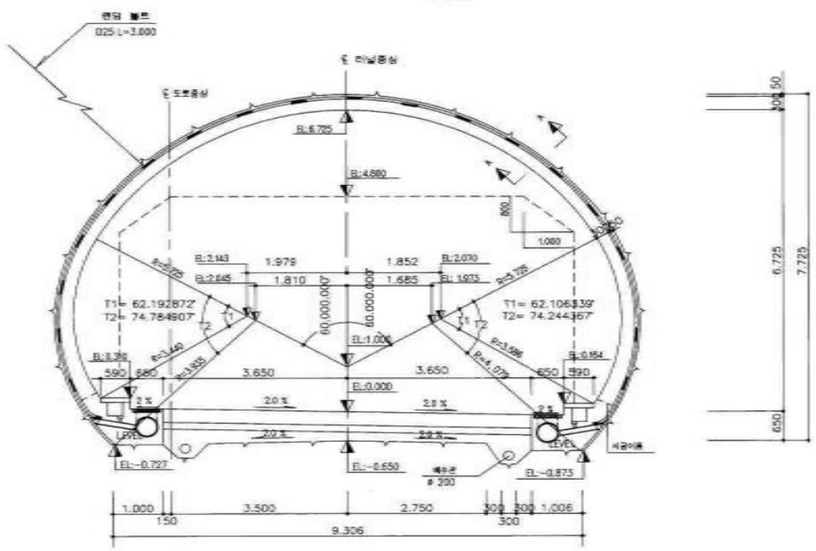
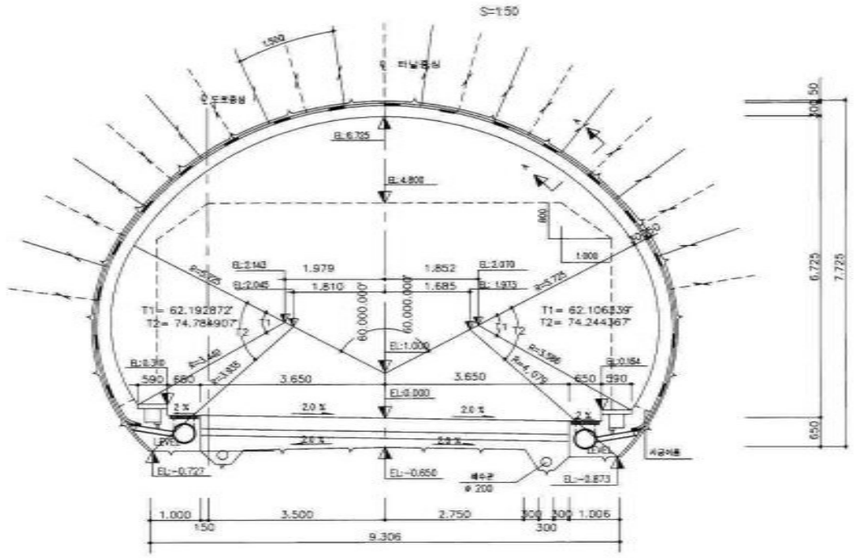


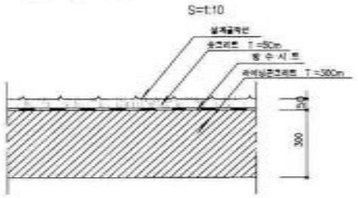
표 준 단 면 - II

S=1:50



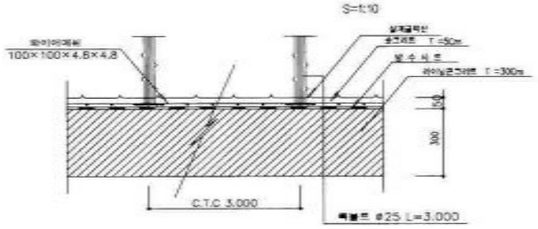
단 면 A - A

S=1:10



단 면 A - A

S=1:10



주) 1) ROCK BOLT 의 방향,폭의 간격및 수량은 굴착부 현황 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 주철근면의 직각방향으로 설치

재 료 표

(1.0MB)

표준단면	굴착량(M³) 설계굴착	여굴	총굴착	숏크리트 (M³)	철망이 재료 (M²)	록볼트(EA) (L=3.000 M/EA) 전 장	내 계	강지보 (10KN) (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	고	감	리	자			도 면 번 호
						고업책임자	분야별책임자	검 토	설 계	작 도		
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.							

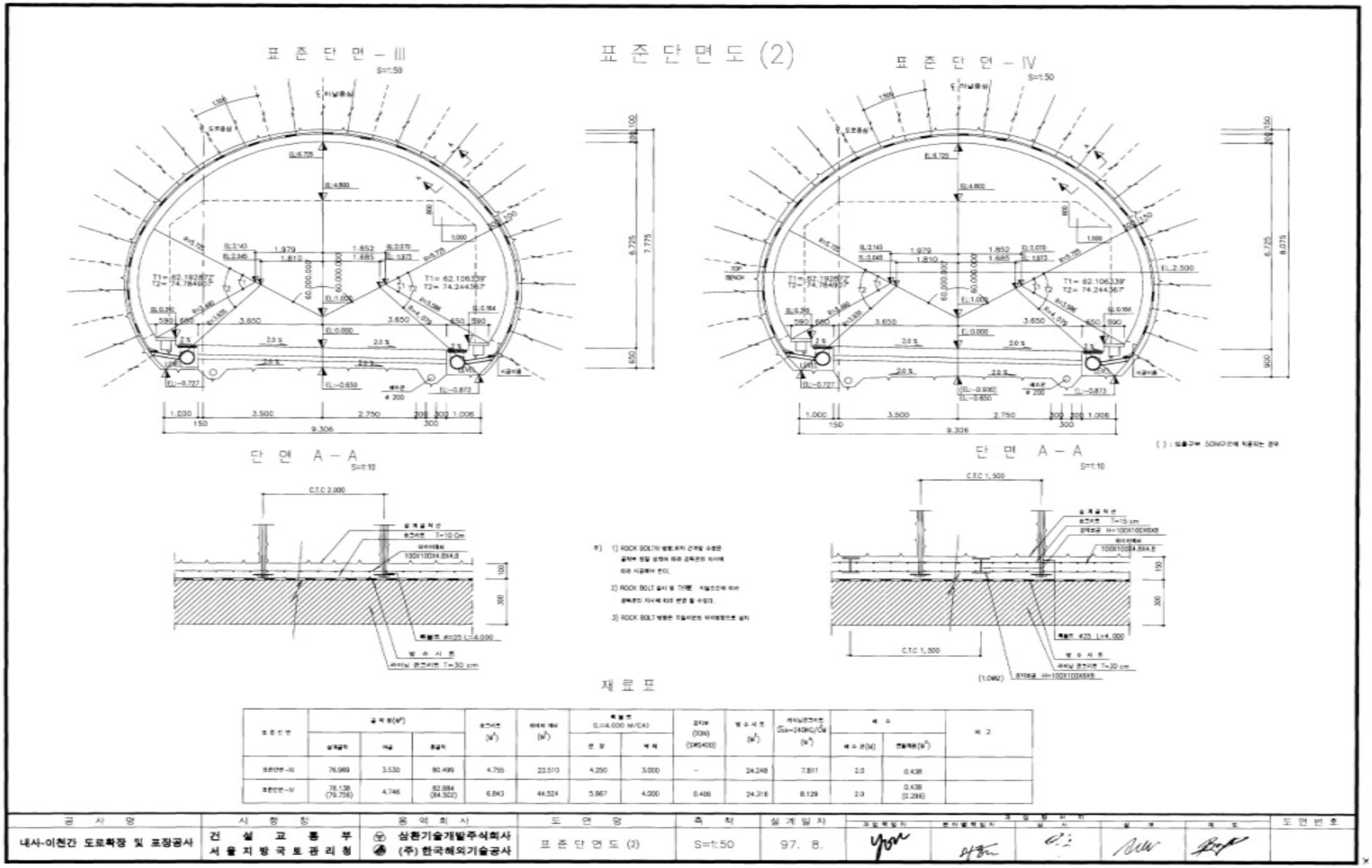
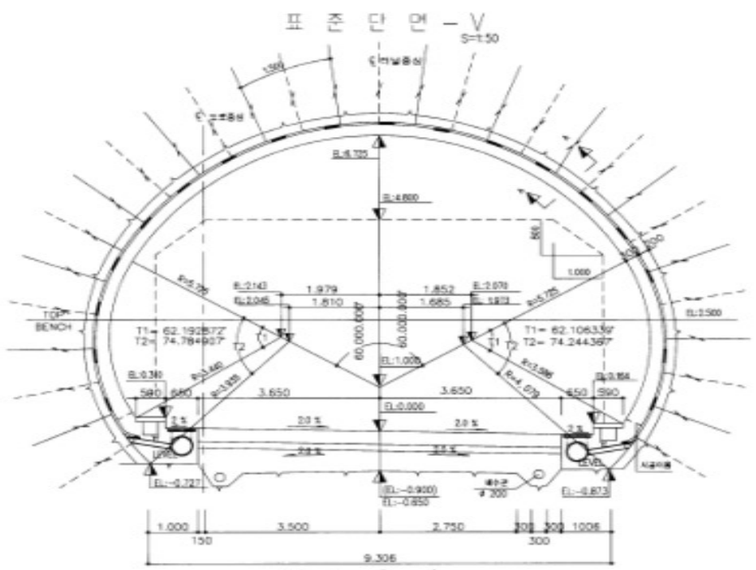
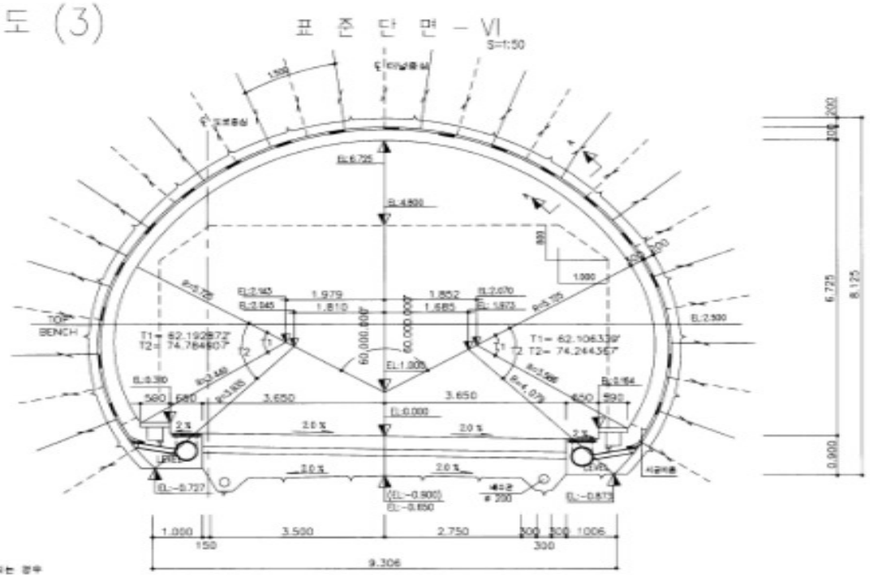


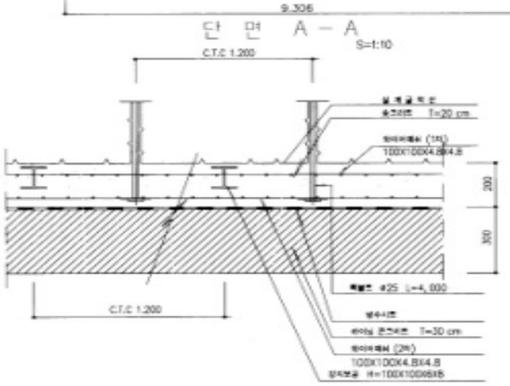
표 준 단 면 도 (2)
표 준 단 면 - III
S=1:50
표 준 단 면 - IV
S=1:50
단 면 A - A
S=1:10
단 면 A - A
S=1:10
C.T.C 2,000
C.T.C 1,500
재 료 표
공 사 명
내사-이천간 도로확장 및 포장공사
시 행 청
건 설 교 통 부
서 울 지 방 국 토 관 리 청
용 역 회 사
삼환기술개발주식회사
(주) 한국해외기술공사
도 면 명
표 준 단 면 도 (2)
축 척
S=1:50
설 계 일 자
97. 8.
도면번호

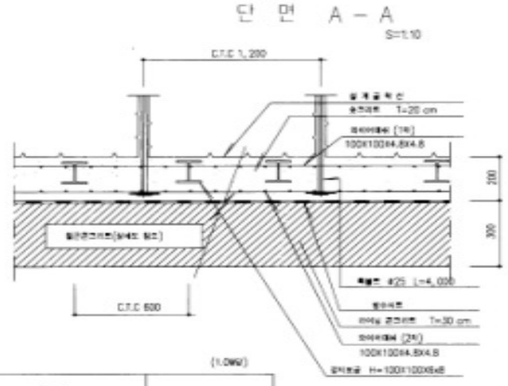
표 준 단 면 도 (3)





( ) : 입출구부 50m 구간에 적용되는 경우





재 료 표

(1.0M)

표준단면	굴착량(M³) 실제굴착	여굴	총굴착	숏크리트 (M³)	라이닝 콘크리트 (M³)	록볼트(EA/M) (L=4,000 M/EA) 한 쪽	록볼트(EA/M) (L=4,000 M/EA) 양 쪽	강지보 (TON) (SWS400)	방수시트 (M²)	라이닝콘크리트 (σck=240KG/CM²) (M³)	배수 배수관(M)	배수 콘크리트(M³)	비고
표준단면-V	79.316 (80.934)	4.773	84.089 (85.707)	8.237	44.662	7.083	5.0	0.409	24.316	8.334	2.0	0.438 (0.296)	( ): 입출구50m구간
표준단면-VI	79.316 (80.934)	4.773	84.089 (85.707)	8.237	44.662	7.083	5.0	0.409	24.316	8.334	2.0	0.438 (0.296)	( ): 입출구50m구간

공사명	시행청	용역회사	도면명	축척	설계일자	과장	분야별책임자	검사	설계	제도	도면번호
내사-이천간 도로확장 및 포장공사	건설교통부 서울지방국토관리청	㈜ 삼환기술개발주식회사 (주) 한국해외기술공사	표준단면도 (3)	S=1:50	97. 8.						

제 2 장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.3 기존 정기·정밀점검 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
• 안전점검 및 정밀안전진단 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 층으로 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 일대에 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 주 구성광물을 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, 현정질 암이기 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 층으로 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·정밀점검 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

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
10	정기안전점검	2008-10-30 2008-10-30	자체수행	양호	양호

번호	구 분	점검/ 진단일자	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
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
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

번호	구 분	점검/ 진단일자	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
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
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

2.4 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 (하행선)	N	-

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

3.3 콘크리트 내구성 조사

3.4 현장조사 및 시험 결과요약

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

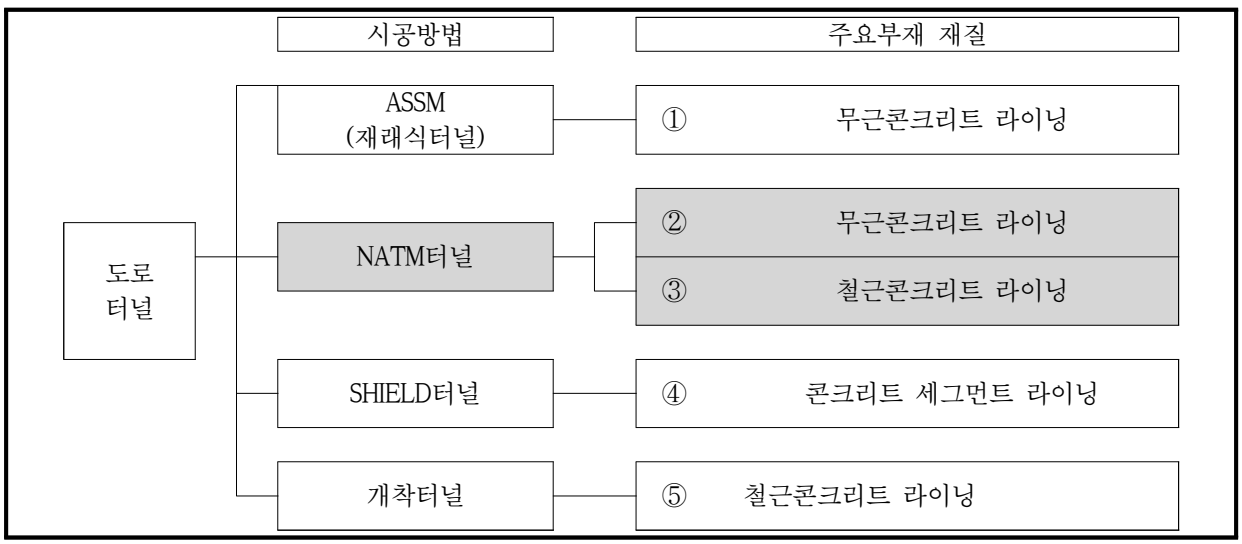
금회 성능평가 대상인 오천터널(하)은 경기도 이천시 마장면 회억리에 위치하고 있으며, 연장 480.0m, 폭 9.306m의 2차선 터널이다.

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~S54	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

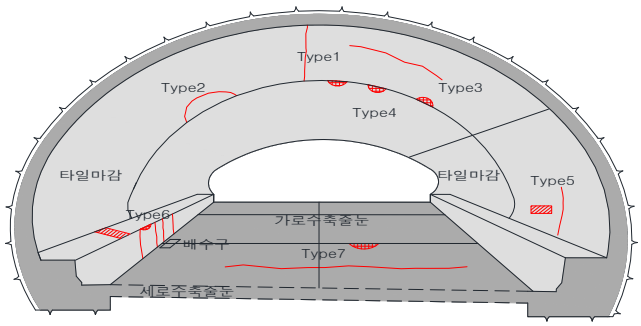
가. 터널 주요 점검항목

【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

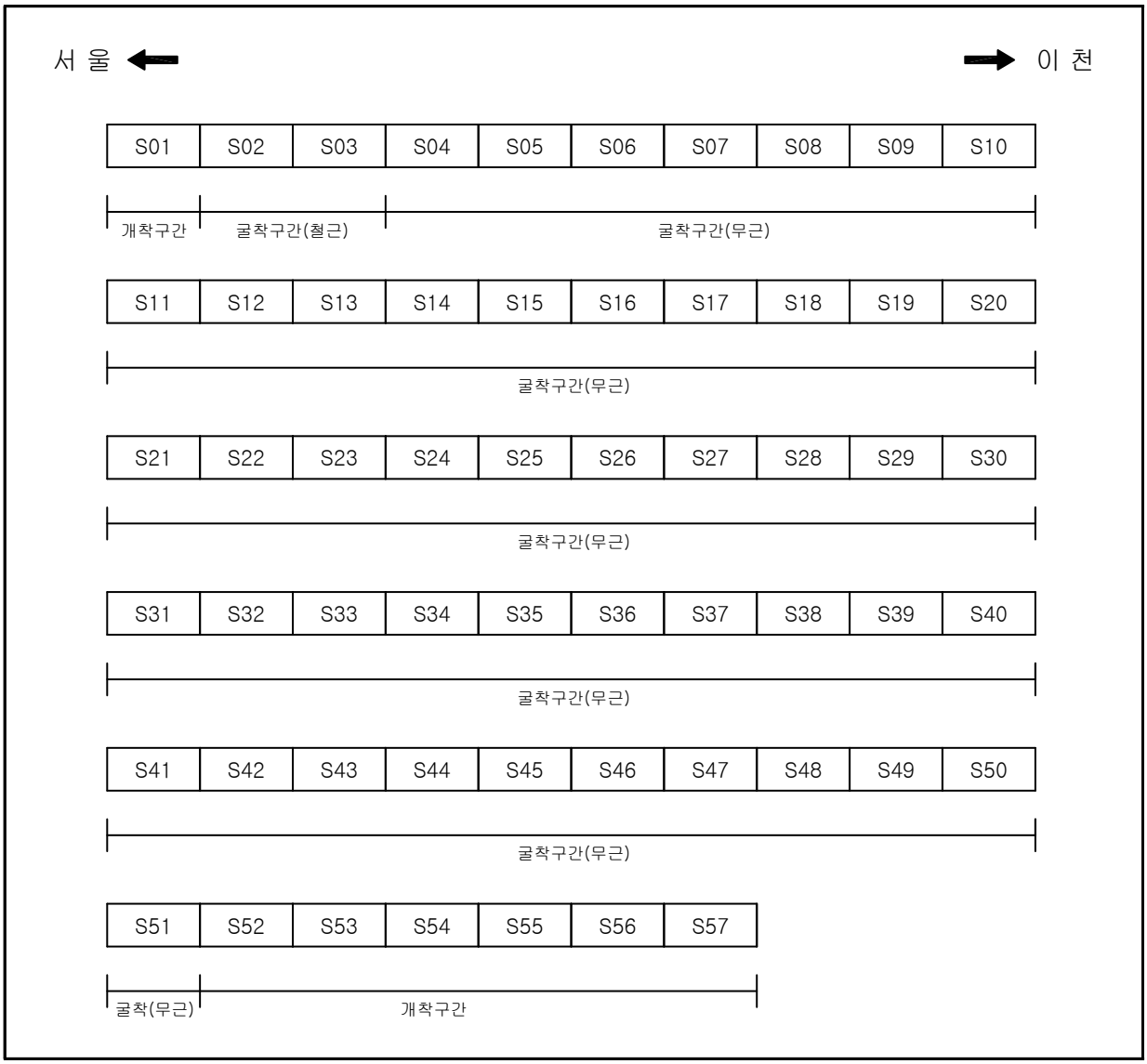
나. 터널 주요 손상현황

【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

성능평가를 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 57SPAN구간으로 분할하였다.

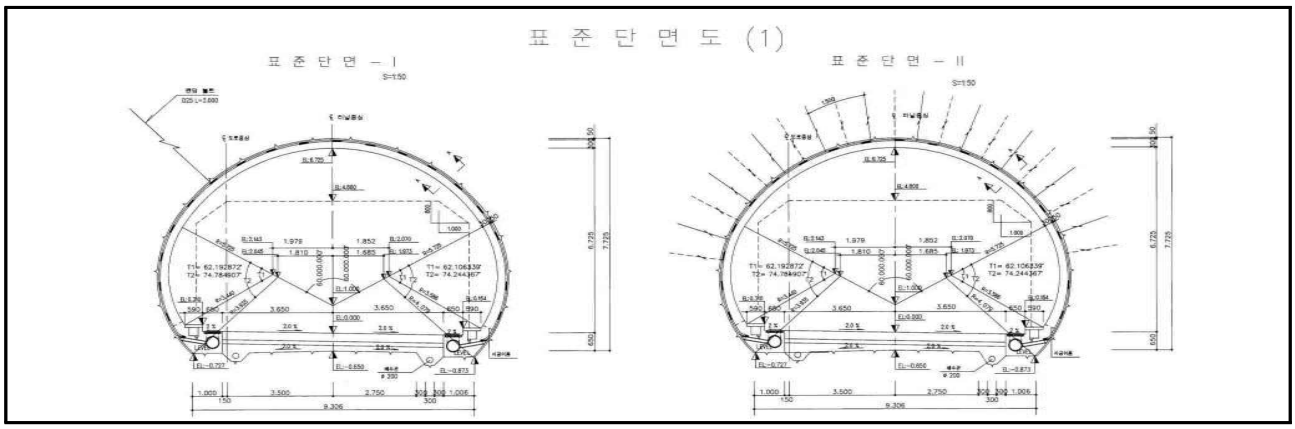


【그림 3.2】 Span별 시공현황

3.2 외관조사 결과

3.2.1 터널 라이닝

오천터널(하행선)은 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(하행선) 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)

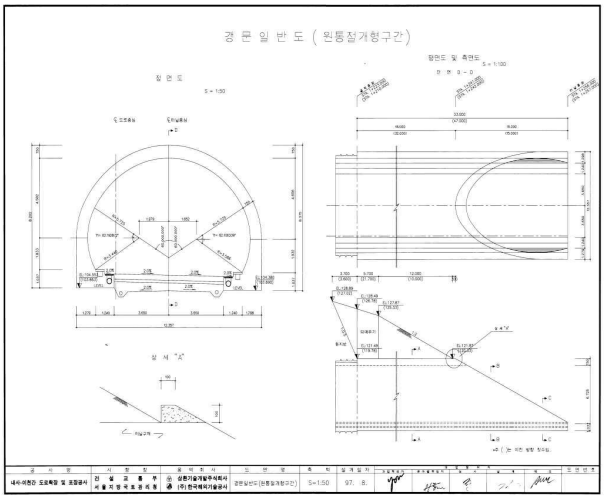
3.2.2 터널주변

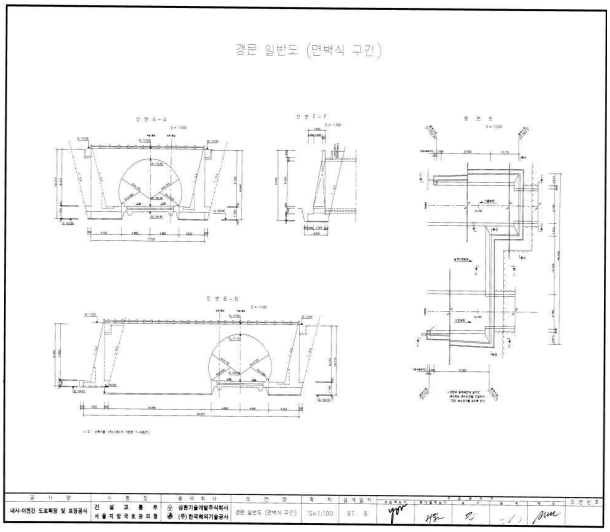
가. 갱문 및 옹벽

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

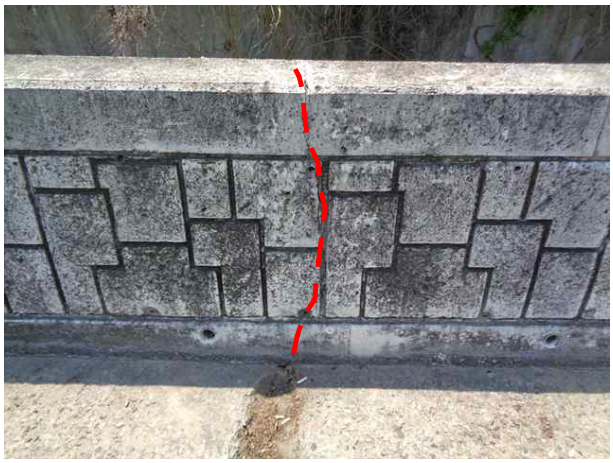
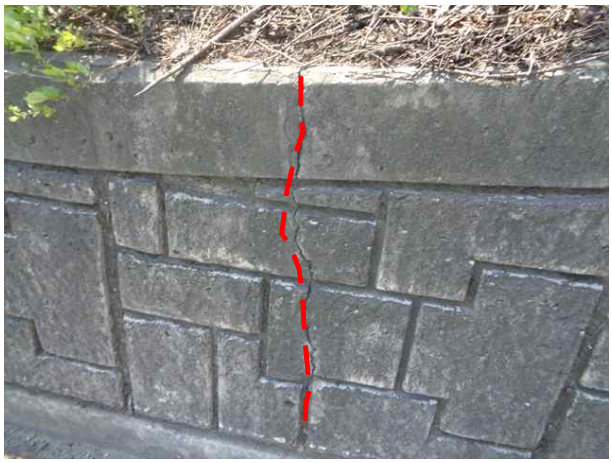
구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
갱문	상태양호	-	-	-	
옹벽	균열(cw=0.3㎜미만)	m	32.9 / 18	건조수축 및 온도변화	
	균열(cw=0.3㎜이상)	m	11.1 / 6	건조수축 및 온도변화	
	배수구 막힘	EA	19.0 / 19	공용기간 증가, 이물질 퇴적	
	백태	㎡	0.28 / 5	장기공용에 의한 열화	

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 바람직하다.

옹벽에 시공된 수평배수공의 경우 공용기간 증가, 이물질퇴적 등에 의한 배수구 막힘이 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.

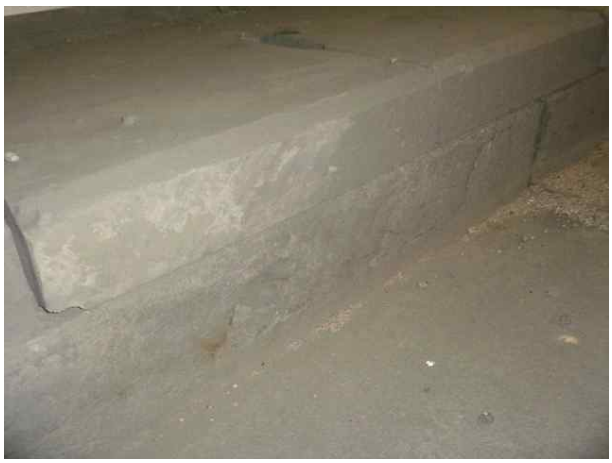
공동구에 일부 발생된 덮개 균열 및 파손은 공용중 외부충격 등에 의한 것으로 판단되며, 공동구는 점검자의 안전점검시 보도로서 활용하는 만큼 안전사고 예방차원에서 파손된 덮개에 대해서는 교체가 바람직 할 것으로 판단된다.

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

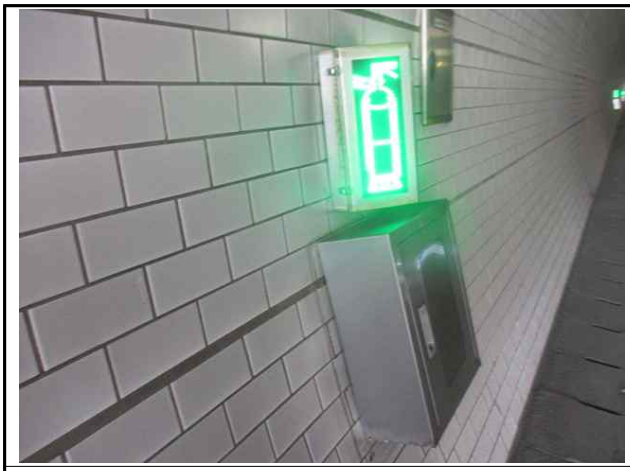
3) 기 점검 결과 비교

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

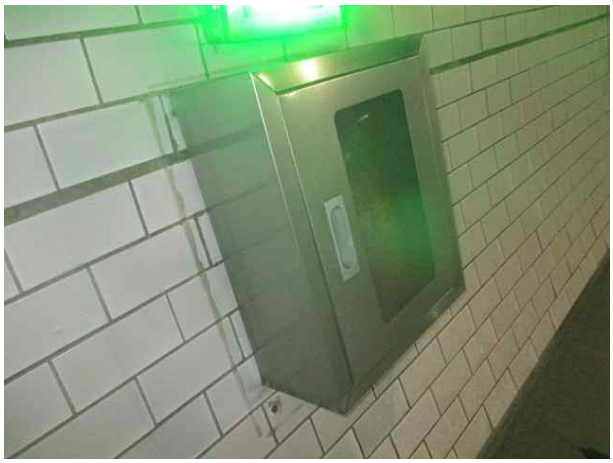
터널 어깨부 좌, 우측으로 설치되어 있는 조명시설의 점등 상태는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다. 그 외 구간은 차량 운행에 대한 충분한 조도를 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 소화시설 점검결과, 터널내부 차량 화재시 진압을 위한 소화설비는 측벽부에 설치되어 있으며, 내부에 분말소화기 2조가 비치되어 것으로 조사되었다. 기 점검시 조사된 소화기함 파손의 경우 전개소 보수를 실시한 것으로 확인되었으며, 현재 보수부의 상태는 양호한 것으로 조사되었다.

【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

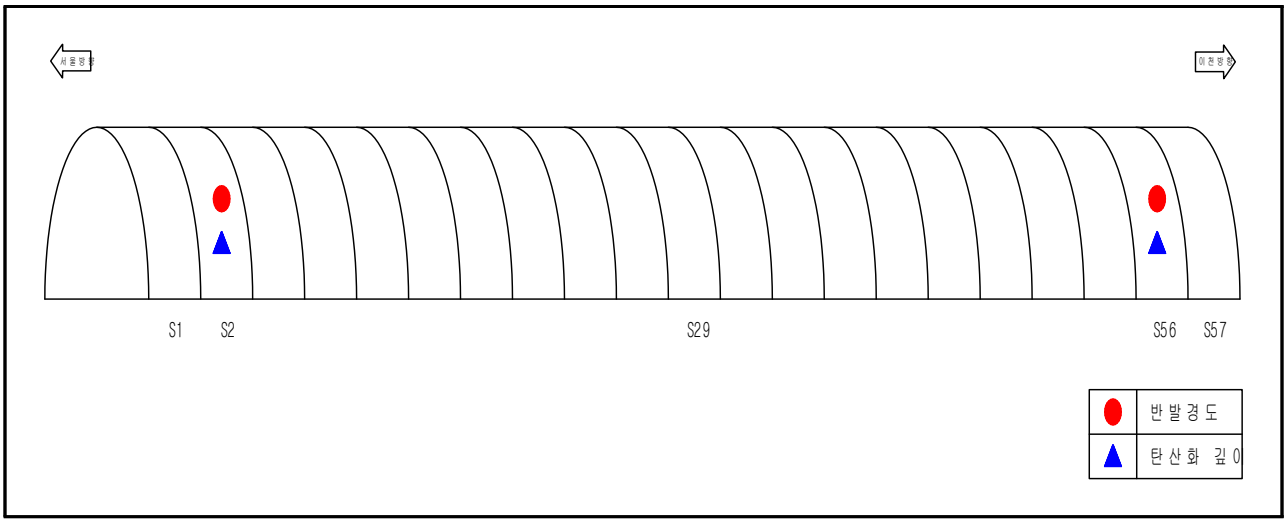
콘크리트 강도 등 시공정밀도 검증이 필요한 재료시험은 내구성 시험의 정확한 값을 얻기 위하여 접근성이 용이하고 콘크리트의 요철 및 곰보작국 등을 피하여 외관상 양호한 곳을 선정하여 내구성 시험을 실시하였다. 따라서 본 터널의 내구성 시험은 고소작업차를 이용하여 천단부 등의 주요부재를 중심으로 우선적으로 선정하여 시험위치를 정하였다.

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

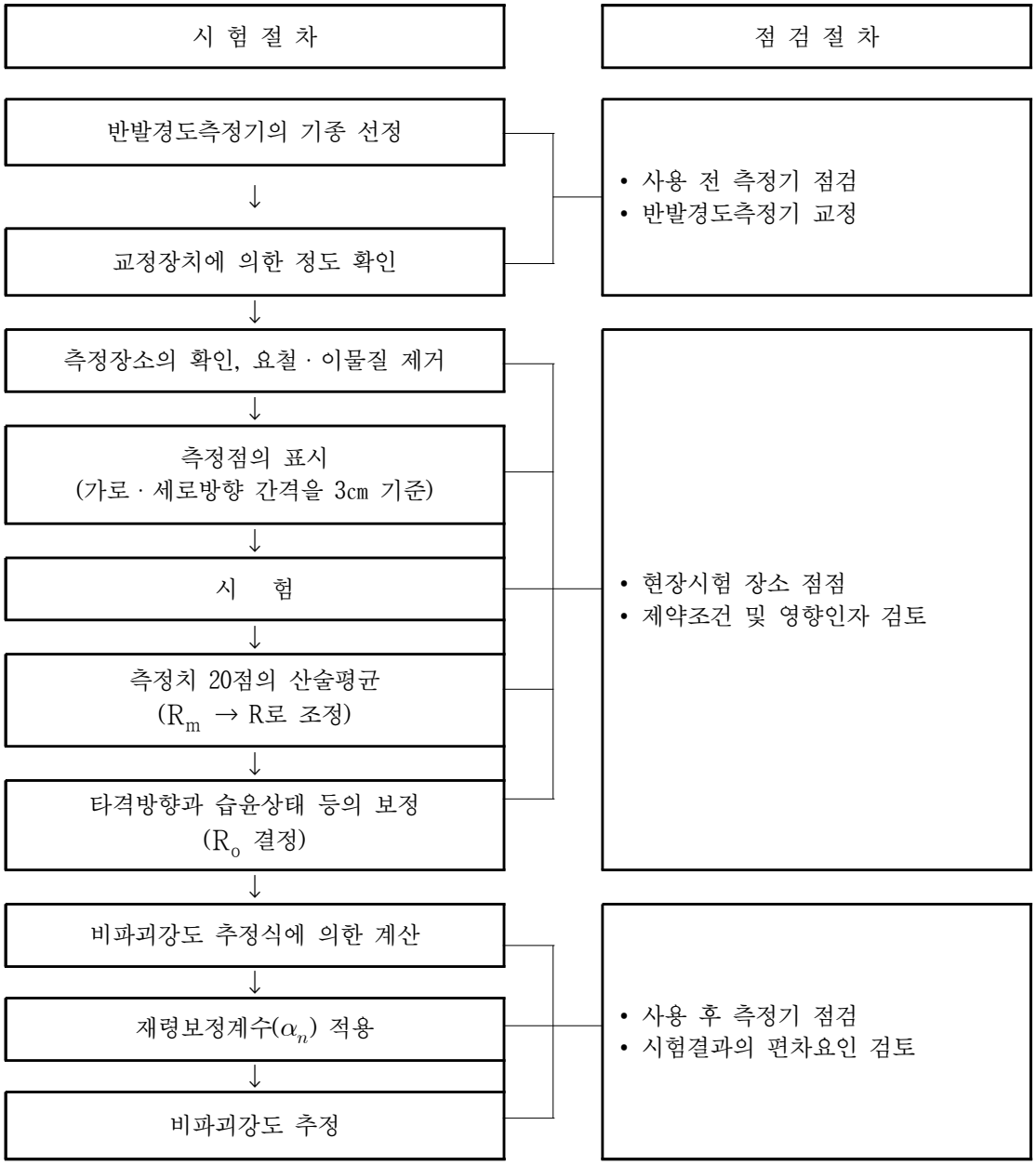
3.3.2 시험내용 및 평가기준

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_o)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	$F_c = (-184.0 + 13R_o) \times 0.098$	**금회 적용**
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	**금회 적용**
한국 시설안전공단	$F_c = (17.2R_o - 241) \times 0.098$	-
과학기술부	$F_c = (-112.8 + 15.2R_o) \times 0.098$	-
※ 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

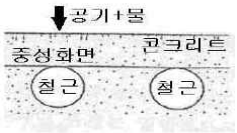
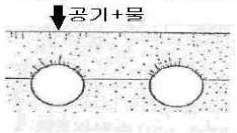
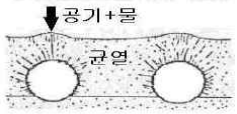
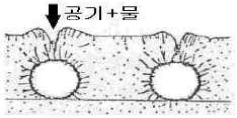
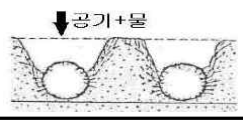
1) 개 요

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 중성하다.

	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

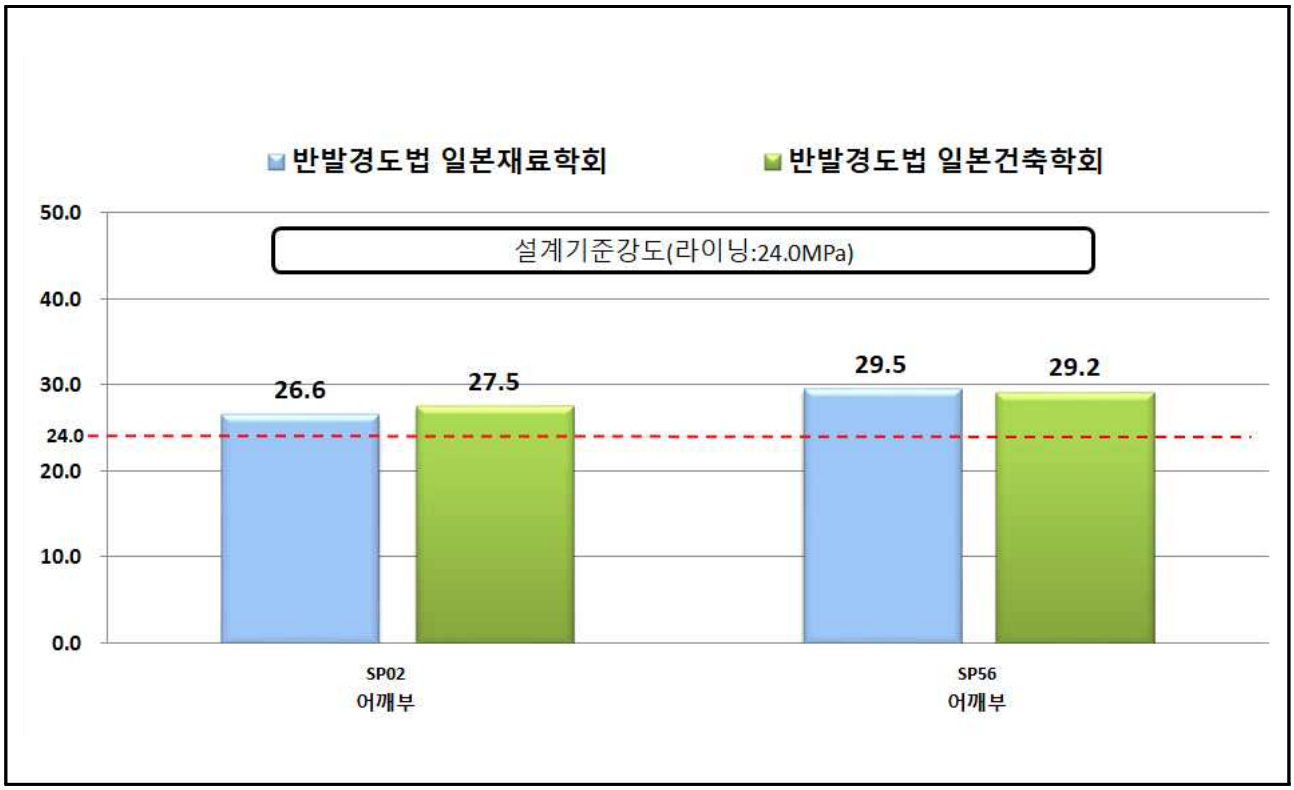
가. 콘크리트 강도시험

오천터널(하행선)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(하행선)은 모두 설계기준 압축강도(24.0㎫)를 상회하는 것으로 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 오천터널(하행선)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.		

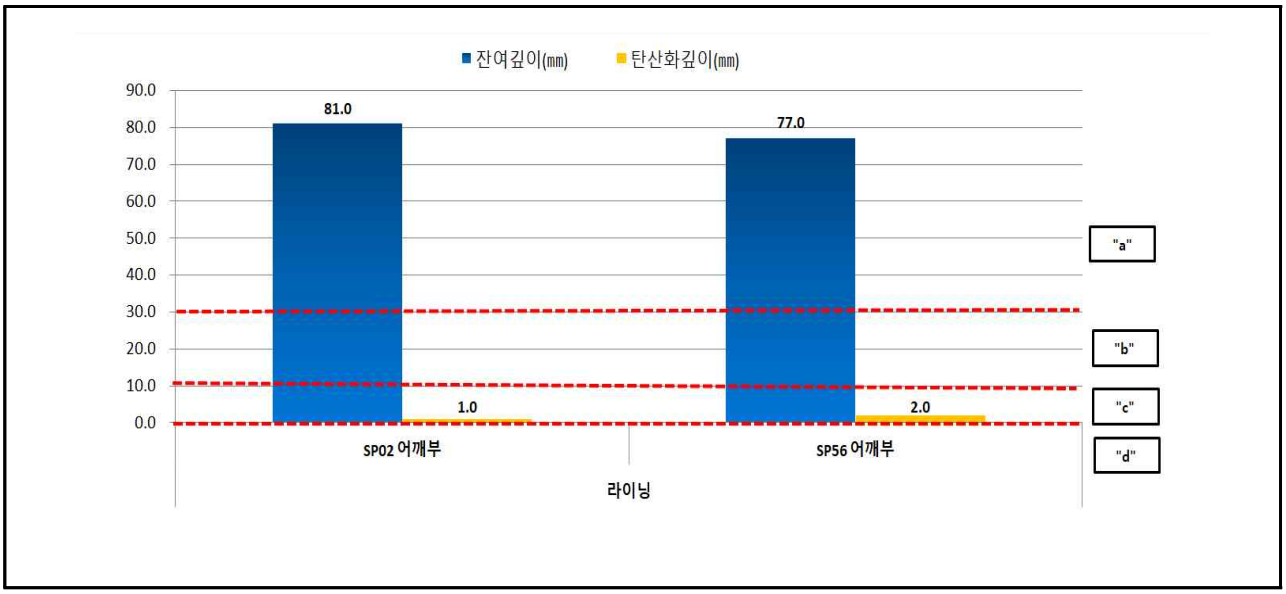
나. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 2개소에서 실시하였다. 시험위치는 철근구간인 시·종점부 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	0.50	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 안전성능 평가

4.1 상태안전성능 평가

4.2 구조안전성능 평가

4.3 안전성능 평가결과

4.1 상태안전성능 평가

4.1.1 개 요

상태안전성능평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여「세부지침」의 상태안전성능평가 기준에 따라 실시한다.

상태안전성능평가가 정확히 이루어졌는지 확인하는 동시에 기록용 문서로서 이용하기 위하여 안전점검 및 정밀안전진단을 실시한 사람은 외관조사 결과를 안전점검 및 정밀안전진단 서식에 각각의 결함의 형태, 크기, 양 및 심각한 정도 등을 기록하여야 한다.

본 장은 정량적이고 객관적인 상태안전성능평가를 위하여 시설물에 대한 외관조사 점검결과를 토대로 각 항목에 대한 상태안전성능 평가를 실시하며, 시설물의 평가체계에 따라 평가결과를 산정하는 절차를 정리・예시하였다.

4.1.2 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

터널의 상태안전성능 평가는 외관을 조사하여 획득한 결함 및 손상 등 시설물의 물리적 상태변화와 연관된 성능지표 조사결과를 활용하여, 상태변화가 전체 구조물의 안전성에 미치는 영향정도를 고려하기 위하여 성능지표별로 구분된 평가기준을 적용하여 결함지수를 산정한 후 평가를 실시한다.

나. 평가범위

터널 부대시설물 중에서 시설물의 중요도가 상대적으로 작으며 본선 구조물에 부분적으로 확폭 또는 접속된 별도공간인 비상주차대, 대피소/변압기굴, 덕트슬래브, 배전실/통신실/기재갱 등은 상태안전성능 평가 시 기본시설물에 포함하여 평가한다. 시설물의 중요도 및 규모 등이 상대적으로 큰 연직갱/경사갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널 등은 별도평가 후 부대시설물 가중치를 적용하여 시설물을 평가한다.

상태안전성능 평가 대상구간에 무근콘크리트 라이닝과 철근콘크리트 라이닝 또는 개착터널과 굴착터널 구간이 교호하여 시공된 경우 각각 평가 후 각 길이를 환산한 가중치를 적용한 가중산술평균 방법으로 평가한다.

다. 상태안전성능 평가 성능지표 및 기준

터널의 상태안전성능 평가는 라이닝 상태안전성능 평가와 터널주변 상태안전성능 평가로 구분하여 실시하며 상태안전성능 평가 시 고려해야 할 주요 성능지표는 다음과 같다.

[표 4.1.1] 터널의 상태안전성능 평가 시 성능지표

구분		성능지표	비고
상태 안전성능	라이닝 상태	◦ 균열 ◦ 누수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 박리 ◦ 층분리 및 박락 ◦ 재료분리 ◦ 철근노출 ◦ 줄눈부 열화(재래식터널의 조적식라이닝의 경우만 적용	주요부재
	터널 주변	◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 공동구상태 ◦ 내공단면 변형여부 ◦ 배면 공동 유무	배수시설, 공동구 등

평가기준은 5단계로 세분하였고, 평가항목별 상태안전성능 평가기준은 터널의 안전성 평가기준과 차이를 두기 위하여 소문자 a, b, c, d, e로 표기한다.

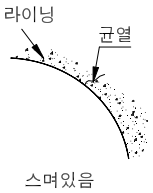
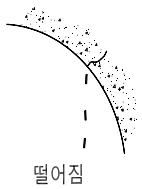
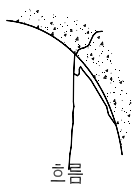
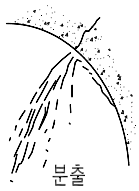
현장 조사 시 각각의 평가항목에 대한 상태안전성능 평가는 가장 취약한 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 책임 기술자는 현장 상태를 기준으로 상태안전성능을 판단하고 하향 조정하여 평가할 수 있다.

터널 라이닝의 상태안전성능 평가 시 본선라이닝(갱구부, 개착구간, 굴착구간)의 단위길이 기준은 일반적으로 30m로 하며, 단면형식에 따라 단위면적을 기준으로 평가를 실시한다. 상태안전성능 평가의 단위면적은 터널 라이닝의 신축이음(약 20~30m)을 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 조정할 수 있다.

라. 항목별 세부기준

상태안전성능 평가 주요 항목에 대한 세부기준은 다음 표와 같다. 평가항목에 대한 상태안전성능 평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하며, 여러 개소에 나타날 경우에는 등급을 하향 조정한다.

[표 4.1.2] 터널 라이닝 및 개착터널 BOX의 항목별 상태안전성능 평가 세부기준①

종 류 \ 평가기준		a	b	c	d	e
※ 균열						
콘크리트 라이닝	무근	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과 3.0mm 이하	3.0mm 초과
	철근	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
개착터널	BOX	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
조적식 라이닝	줄눈균열	없음	아주 경미한 줄눈깨짐	벽돌 2개소 이하	벽돌 2~5개소	벽돌 5개소 이상
(종균열) (횡균열) (경사균열) (망상균열)						
※ 누수						
누수		없음				
※ 파손 및 손상						
콘크리트 라이닝	손상도	없 음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
조적식 라이닝	손상두께	없 음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1~2 개	벽돌 2개 이상
※ 재질열화						
박 리		없 음	6.0mm 미만	6.0mm이상 25mm미만	25mm이상 이거나 조골재 손실	박리가 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
재료분리		없 음	면적율 5% 미만	면적율 5～10%	면적율 10～20%	면적율 20% 이상
층 분 리 및 박 락		없 음	깊이 12㎜미만 또는 직경75㎜ 미만	깊이 12～25㎜미만 또는 직경75～150㎜ 미만	깊이 25㎜이상 또는 직경150㎜이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
철근노출		없 음	면적율 1% 미만	면적율 1～3%미만	면적율 3～5%미만	면적율 5%이상
줄눈부 열화		없 음	아주 경미하게 열화된 상태	벽돌 2개 규모 이상의 재질열화	벽돌 2～5개 정도의 재질열화	벽돌 5개 이상 규모의 재질열화

[표 4.1.2] 터널 라이닝 및 개착터널 BOX의 항목별 상태안전성능 평가 세부기준②

<table>
<tr><th>종 류 \ 평가기준</th><th>a</th><th>b</th><th>c</th><th>d</th><th>e</th></tr>
<tr><td colspan="6">※ 내공단면 변형여부</td></tr>
<tr><td>내공변위</td><td>없음</td><td>1mm/년 미만</td><td>1～3mm/년</td><td>3～10mm/년</td><td>10mm/년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 배면 공동 유무</td></tr>
<tr><td>배면 공동 유무</td><td>발견된 공동이 없는 경우</td><td>배면공동이 존재하나 라이닝에 변형을 유발하지 않은 경우</td><td colspan="3">배면공동으로 인하여 라이닝에 이차적인 변형이 발상한 경우</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 배수상태</td></tr>
<tr><td>배수상태</td><td>배수에 문제가 없는 경우</td><td colspan="2">오염됨</td><td colspan="2">배수불량 및 막힘
(배수시설 작동불량)</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 지반상태</td></tr>
<tr><td rowspan="3">지반상태</td><td rowspan="3">지반상태에 문제가 없는경우</td><td rowspan="3">풍화변질</td><td colspan="3">단 층 파 쇄 대</td></tr>
<tr><td rowspan="2">영향범위 외</td><td colspan="2">영향범위 내</td></tr>
<tr><td>중·소규모 단층</td><td>대규모 단층</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 공동구 상태</td></tr>
<tr><td rowspan="2">공동구 상태</td><td rowspan="2">공동구에 문제가 없는 경우</td><td colspan="2">보통인 상태</td><td colspan="2" rowspan="2">불량한 상태</td></tr>
<tr><td>덮개파손 및 오염됨</td><td>이물질 퇴적 및 침수</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 특수조건(도심지 터널)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">특수조건</td><td rowspan="3">특수조건에 해당하지 않는 경우</td><td colspan="4">도심지 토사터널</td></tr>
<tr><td>주의범위
(1D~2D)</td><td>주의범위
(1D미만)</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="4">○ 도심지 토사터널은 터널심도, 인접시설물(건축물, 철도, 도로 등)과의 거리 등을 검토·분석하고 터널에 영향을 미치는 범위(주의:1D～2D, 제한:1D 미만)를 고려하여 이를 반영한다(여기서, D는 터널의 직경을 의미함).</td></tr>
</table>

마. 터널별 결함지수 산정기준

본 시설물은 도로터널-NATM(무근, 철근)으로 시공되어 개착 및 NATM 터널에 대한 결함지수 산정기준을 적용하였으며, 산정기준은 다음 표와 같다.

[표 4.1.3] 개착터널 결함지수 산정

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		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	4	7	11	17	17
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	층분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터널주변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	1	2	3	5	5
특수조건		0	1	2	3~5		5
기본시설 결함지수(f) = $\frac{\Sigma 평가점수}{\Sigma 가중치(w)}$							

[표 4.1.4] NATM터널(무근) 결함지수 산정

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		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	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3	4	4
	층분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
터널주변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	9	9
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	3	4~6		6
기본시설 결함지수(f) = $\frac{\Sigma 평가점수}{\Sigma 가중치(w)}$							

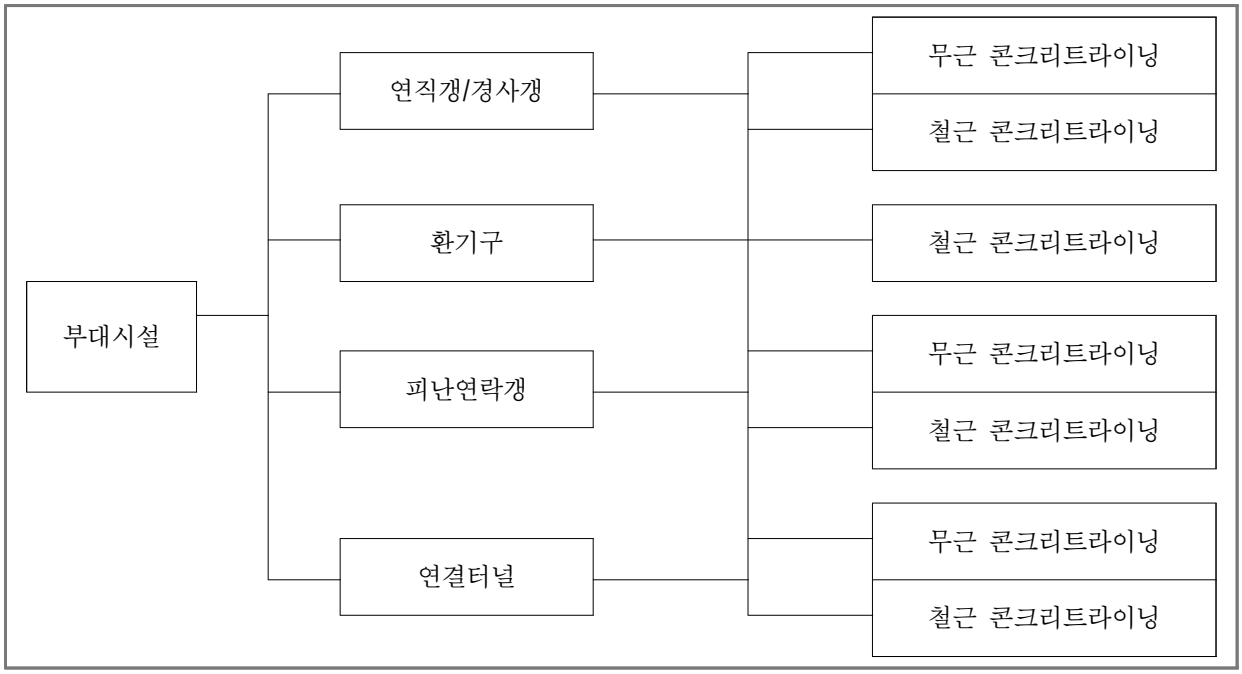
[표 4.1.5] NATM터널(철근) 결함지수 산정

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		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	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	층분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터널주변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	1	3	4	6	6
	공동구상태	0	1	2			2
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	2	3~5		5
기본시설 결함지수(f) = $\frac{\Sigma 평가점수}{\Sigma 가중치(w)}$							

바. 부대시설 결함지수 산정기준

1) 터널 부대시설 분류

터널 부대시설 중에서 중요도 및 규모가 상대적으로 큰 별도평가 부대시설을 기능 및 라이닝의 재질에 따라 분류하면 아래 그림과 같다.



2) 부대시설 상태안전성능평가 성능지표

터널 부대시설은 기본시설의 성능지표(터널주변 성능지표 제외)를 준용하여 평가한다.

3) 부대시설 가중치

부대시설 평가결과를 기본시설을 포함한 전체시설물의 상태안전성능 평가 결과에 반영하기 위한 방법으로 아래 표와 같이 기본시설과 별도로 부대시설 결함점수에 따른 가중치(W)를 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 상태안전성능 평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

전체시설물의 결함지수(F) = 기본시설 결함지수(f) × 부대시설 가중치(W)

[표 4.1.6] 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.0	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결함지수	0 ≦ 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 기본 시설 기능 수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설에 영향을 주는 상태	기본시설의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

4) 부대시설 결함지수 산정기준

터널 부대시설 구조물 분류에 따른 상태안전성능 평가를 위한 결함점수와 결함지수 산출 방법은 기본시설기준(터널주변점수 제외)을 준용한다.

4.1.3 상태안전성능 평가결과

가. 기본시설물 상태안전성능 평가 결과

1) 제1단계 : 라이닝 상태안전성능 평가

(1) 개착구간

Span No.	라 이 닝							결함점수 합 계	라이닝 결함 지수 (f)
	균 열	누 수	파손 및 손상	박 리	층분리, 박락	재료 분리	철근 노출		
1	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
52	0	3	0	0	0	0	0	3.0	0.052
53	0	3	0	0	0	0	0	3.0	0.052
54	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
55	4	3	0	0	0	0	0	7.0	0.121
56	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
57	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
산 술 평 균	0.570	1.290	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.860	0.032

(2) 철근콘크리트

Span No.	라 이 닝							결함점수 합 계	라이닝 결함 지수 (f)
	균 열	누 수	파손 및 손상	박 리	층분리, 박락	재료 분리	철근 노출		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
산 술 평 균	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(3) 무근콘크리트

Span No.	라 이 닝						결함점수 합 계	라이닝 결함 지수 (f)
	균 열	누 수	파손 및 손상	박 리	층분리, 박락	재료분리		
4	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
5	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
6	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
7	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
8	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
9	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
10	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
11	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000

Span No.	라 이 닝						결함점수 합 계	라이닝 결함 지수 (f)
	균 열	누 수	파손 및 손상	박 리	층분리, 박락	재료분리		
12	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
13	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
14	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
15	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
16	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
17	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
18	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
19	4	0	4	0	0	0	8.0	0.160
20	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
21	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
22	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
23	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
24	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
25	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
26	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
27	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
28	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
29	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
30	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
31	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
32	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
33	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
34	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
35	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
36	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
37	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
38	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
39	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
40	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
41	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
42	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
43	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
44	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
45	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
46	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
47	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
48	0	0	4	0	0	0	4.0	0.080
49	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
50	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
51	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
산 술 평 균	0.08	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.92	0.018

2) 제2단계 : 터널 주변 상태 결함점수 산정

(1) 개착구간

Span No.	라이닝 내공단면 변형여부	배수상태	공동구상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계
1	0	2	0	0	0	0	2
52	0	0	1	0	0	0	1
53	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0
산술평균	0.00	0.29	0.14	0.00	0.00	0.00	0.43

(2) 철근콘크리트

Span No.	라이닝 내공단면 변형여부	배수상태	공동구상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계
2	0	1	1	0	0	0	2
3	0	0	1	0	0	0	1
산술평균	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	1.50

(3) 무근콘크리트

Span No.	라이닝 내공단면 변형여부	배수상태	공동구상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계
4	0	0	1	0	0	0	1.0
5	0	0	1	0	0	0	1.0
6	0	0	1	0	0	0	1.0
7	0	0	1	0	0	0	1.0
8	0	0	1	0	0	0	1.0
9	0	0	1	0	0	0	1.0
10	0	0	1	0	0	0	1.0
11	0	0	1	0	0	0	1.0

Span No.	라이닝 내공단면 변형여부	배수상태	공동구상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계
12	0	0	1	0	0	0	1.0
13	0	2	1	0	0	0	3.0
14	0	0	1	0	0	0	1.0
15	0	0	1	0	0	0	1.0
16	0	0	1	0	0	0	1.0
17	0	0	1	0	0	0	1.0
18	0	2	1	0	0	0	3.0
19	0	0	1	0	0	0	1.0
20	0	0	1	0	0	0	1.0
21	0	0	1	0	0	0	1.0
22	0	0	1	0	0	0	1.0
23	0	0	1	0	0	0	1.0
24	0	2	1	0	0	0	3.0
25	0	0	1	0	0	0	1.0
26	0	0	1	0	0	0	1.0
27	0	0	1	0	0	0	1.0
28	0	0	1	0	0	0	1.0
29	0	2	1	0	0	0	3.0
30	0	0	1	0	0	0	1.0
31	0	0	1	0	0	0	1.0
32	0	0	1	0	0	0	1.0
33	0	0	1	0	0	0	1.0
34	0	0	1	0	0	0	1.0
35	0	2	1	0	0	0	3.0
36	0	0	1	0	0	0	1.0
37	0	0	1	0	0	0	1.0
38	0	0	1	0	0	0	1.0
39	0	0	1	0	0	0	1.0
40	0	2	1	0	0	0	3.0
41	0	0	0	0	0	0	0.0
42	0	0	0	0	0	0	0.0
43	0	0	0	0	0	0	0.0
44	0	0	1	0	0	0	1.0
45	0	0	1	0	0	0	1.0
46	0	2	1	0	0	0	3.0
47	0	0	0	0	0	0	0.0
48	0	0	1	0	0	0	1.0
49	0	0	1	0	0	0	1.0
50	0	0	0	0	0	0	0.0
51	0	2	0	0	0	0	2.0
산술평균	0.00	0.33	0.88	0.00	0.00	0.00	1.21

3) 제3단계 : 기본시설물 상태안전성능 평가 등급 산정

(1) 개착구간

형식	라 이 닝							터 널 주 변						합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	층분리 박락	재료 분리	철근 노출	내공 단면	배수 상태	공동 구상태	지반 상태	배면 공동	특수 조건	
개착	0.570	1.290	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.29	0.14	0.00	0.00	0.00	2.29
결함지수(F)=결함점수 합계 / 100														0.023
터널상태평가 결과														A

(2) 철근콘크리트

형식	라 이 닝							터 널 주 변						합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	층분리 박락	재료 분리	철근 노출	내공 단면	배수 상태	공동 구상태	지반 상태	배면 공동	특수 조건	
NATM (철근)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	1.50
결함지수(F)=결함점수 합계 / 100														0.015
터널상태평가 결과														A

(3) 무근콘크리트

형식	라 이 닝						터 널 주 변						합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	층분리 박락	재료 분리	내공 단면	배수 상태	공동 구상태	지반 상태	배면 공동	특수 조건	
NATM (무근)	0.080	0.000	0.830	0.040	0.000	0.000	0.00	0.33	0.88	0.00	0.04	0.00	2.13
결함지수(F)=결함점수 합계 / 100													0.021
터널상태평가 결과													A

4) 기본시설물 상태안전성능 평가 결과

구분	결함지수(a)	평가등급(b)	연장(m)	연장비	결함지수 × 연장비
개착구간	0.023	a	59.0	0.123	0.0028
철근구간	0.015	a	17.0	0.035	0.0005
무근구간	0.021	a	404.0	0.842	0.0177
기본시설 결함지수					0.021
상태안전성능 평가 등급					A

나. 부대시설물 상태안전성능 평가 결과

본 시설물은 부대시설(연직갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널 등)이 없으므로 부대시설의 결함지수 산정은 생략하였다.

다. 전체시설물의 상태안전성능 등급 산정

오천터널(하행선)의 전체시설물의 상태안전성능 등급은 A등급(F=0.021)으로 평가되었다.

오천터널(하행선)	기본시설 결함지수(F)	부대시설 가중치(W)	결함지수(F)	상태안전성능 등급
	0.021	-	0.021	A

4.2 구조안전성능 평가

4.2.1 개 요

구조안전성능 항목별 평가방법은 정량적으로 평가하기 어렵거나 또한 다양한 경우가 대부분이므로 상호의 평가결과를 비교하는 것이 필수적이다.

본 장에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 구조안전성능 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다. 또한, 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

4.2.2 구조 안전 성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

터널의 구조안전성능 평가는 외관조사 및 비파괴 현장시험에 의한 터널 부재별 상태안전성능 평가를 분석하고, 필요시 지형 및 지질조사, 지반탐사(GPR 등), 누수탐사, 각종 계측 등의 실시결과를 고려하여 이론적 계산과 해석적 검증을 통하여 성능지표를 검토하여 터널에 대한 안전성능을 평가한다.

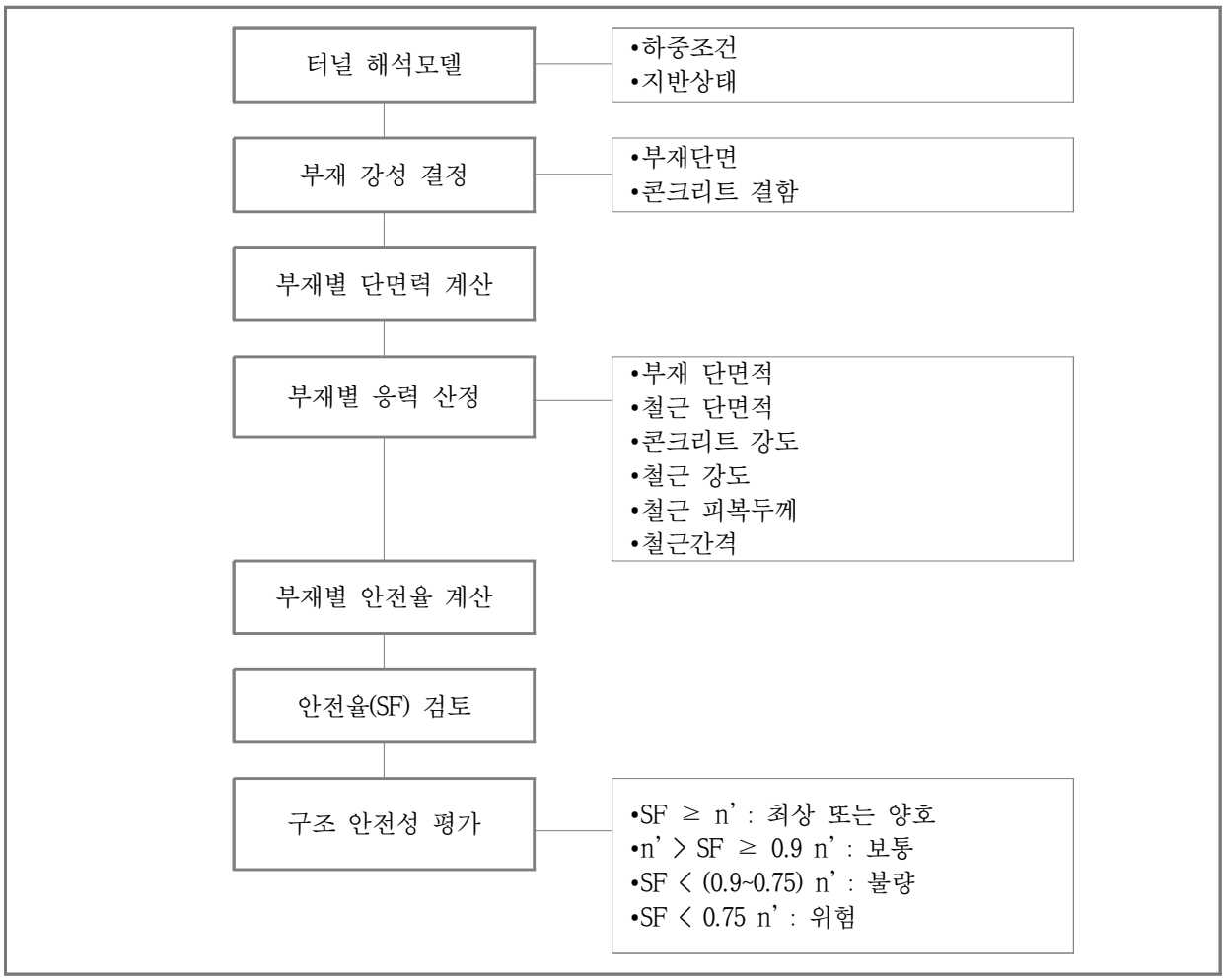
[표 4.2.1] 터널의 구조안전성능 평가 시 성능지표

구 분		성능지표	비 고
구조안전성능	상시	◦ 안전율 ◦ 변위 ◦ 응력	
	지진시	◦ 안전율 ◦ 변위 ◦ 응력	

나. 구조안전성능 평가방법

터널의 구조안전성능 평가방법은 일반적으로 주변지반의 응력상태를 고려한 해석적방법에 의해 이루어진다. 해석적 방법에 의해 구조물의 안전성을 평가하는 경우 현장조사 및 수집자료에 의해 얻어진 구조물의 치수, 시공상세도, 재료의 성질 및 구조물의 결함, 주변지반조건 등을 종합하여 실제상태에 대한 해석을 통해 올바른 평가를 기대할 수 있으므로 관련 설계 및 안전에 관한 제반기준을 적용하고 공인된 신뢰도가 있는 해석방법에 의해 평가되어야 한다. 구조물의 해석 시 안전여유율이 고려되어 있으므로 현재상태의 구조물에 대한 구조해석 결과가「건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)」의 안전도 기준에 미흡하다고 해서 구조물이 불안전 하다는 것이 아니라 단지, 구조물의 안전여유율이 작다는 것을 의미한다.

따라서 구조해석에 의한 구조물의 안전성 평가는 현재상태의 구조물이 얼마나 안전여유율을 확보하고 있느냐의 정도를 평가하는 것이 합리적이라 할 수 있다. 즉, 구조해석 결과 안전여유율이 등가안전율(n′) 이상인 경우는 안전성이 충분히 확보된 구조물로 평가하고 등가안전율 미만이나 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 이상일 때는 안전성은 있지만 충분치 못한 상태로서 구조물의 상태를 주기적으로 점검 및 과대하중 재하억제 등의 관리가 필요한 상태로 평가하며, 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 미만인 경우에는 사용제한여부의 판단이 요구되거나 사용금지를 요하는 안전성이 결여된 구조물이라고 평가할 수 있다.



[그림 4.2.1] 구조안전성능 평가결과 산정방법

다. 구조안전성능 평가기준

터널은 대부분 지표면 아래에 축조되는 구조물로서 지하수의 부력, 지반의 부등침하 및 누수에 의한 지반함몰 등의 영향을 받는다. 따라서, 터널의 설계·준공도서 및 기존의 안전점검 또는 정밀안전진단 보고서 등을 검토하여 구조물의 안전성을 판단하거나 실제 주요부재의 상태평가 결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발생한 부위를 대상으로 안전율(Safety Factor, SF) 검토를 수행하여 구조물의 안전성을 판단하는 것이 필요하다.

국내에서 구조물의 안전성평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 수행하고 있으며, 안전율 검토는 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 구조물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다. 일반적으로 터널은 지반과의 상호작용을 바탕으로 구조적 거동이 이루어지므로 구조해석에 필요한 경계조건, 지반상수 등은 설계·준공도서 또는 지반조사에 의해 얻거나 구조물의 설계기준 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구한다.

상기와 같은 내용을 근간으로 검토한 휨, 전단, 압축 등의 최저 안전율 정도에 따라 구조물의 안전성에 대한 평가기준을 설정하면 다음 표와 같다. 구조안전성능의 평가등급에 따른 결함지수는 구조물의 안전측면을 고려하여 각 등급의 결함지수 범위 중 최저치를 사용하며 설정된 결함지수는 아래의 표와 같다.

[표 4.2.2] 터널의 구조안전성능 평가 시 성능지표

평가등급	내 용	결함지수
A	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 없는경우	0.14
B	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상(단면손실) 이 있는 경우	0.29
C	안전율(SF)이 1.0 미만~ 0.9 이상	0.54
D	안전율(SF)이 0.9 미만 ~ 0.75 이상	0.74
E	안전율(SF)이 0.75 미만	0.99

라. 구조안전성능 결과산정 방법

1) 구조안전성능 결과산정

① 개착터널(Cut and Cover : BOX, 지하차도)

구조물의 해석방법에는 강도설계법과 허용응력설계법이 있으며 이 중 강도설계법을 원칙으로 하지만 특별한 경우에는 허용응력설계법을 적용할 수 있다.

일반적으로 설계개념의 안전율을 도입하는 개착터널(Cut and Cover), Shield 터널 등은 안전율 산정이 가능하므로, 다음과 같은 방법으로 안전성평가 결과를 산정한다.

㉠ 안전성평가는 일반적으로 수치해석을 통한 부재의 응력크기로 평가

㉡ 안전율 SF=1 이상인 경우 : A등급으로 평가

㉢ 안전율 SF=1 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우 : B등급으로 평가

㉣ 안전율 SF=1보다 작은 경우 : C, D, E등급으로 평가

- C : 0.90 ≤ SF < 1.0
- D : 0.75 ≤ SF < 0.90
- E : SF < 0.75

여기서, 안전율(강도설계법) : $SF = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\varnothing M_n}{M_u}$

안전율(허용응력설계법) : $SF = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_a + f_l}$

② 굴착터널(Mined Tunnel : 재래식, NATM 터널)

굴착터널에 대한 안전성 평가는 설계개념의 안전율을 도입했을 경우에는 안전율 산정이 가능하므로, 상기의 "개착터널"과 같은 방법으로 안전성평가 결과를 산정한다. 그러나 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우에는 터널 상태평가시 지반상태와 라이닝 변상 등을 기 반영하였고, 안전성평가를 정량화하여 A, B, C, D, E로 분류하기가 곤란하므로 안전, 불안전 여부만을 평가할 수 있다.

- 일반적으로 터널은 지반조건이 서로 다르기 때문에 대표단면 선정의 타당성, 지반정수의 정확성, 단층 및 절리 등의 불연속면 특성의 포함 여부, 해석방법 등에 따라 안전성평가 결과가 좌우된다.
- 산악터널과 도심지 터널 주변 지반조사의 어려움으로 인해 지반정수의 가정을 통한 터널해석에는 많은 오차를 포함하고 있다.
- 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우 터널해석은 각종 변상과 변위에 따라 수치해석 및 역해석을 실시하여 보수·보강범위를 산정하고 있으므로 안전성평가를 정량화하여 A, B, C, D, E로 분류하기가 곤란하여 반영하지 않고 안전, 불안전 여부만을 평가할 수 있다.

다만, 터널의 수치해석에 의한 안전성평가 시에는 수치해석에 필요한 지반정수가 지반조사에 의하여 획득될 경우 터널의 라이닝에 작용하는 하중조건과 터널 라이닝의 변상상태를 역해석적 방법이나 일반적인 라이닝 구조해석 방법으로 터널의 안전성을 제시할 수 있다.

이런 경우 콘크리트 라이닝의 강도특성과 지반특성을 수치해석에 반영하여 터널라이닝의 설계기준강도와 대비하여 안전율을 판단하여 안전성 여부를 평가하는데 참고자료로 활용한다.

2) 안전성평가 결과 산정방법

① 안전율을 도입한 경우의 방법

개착터널(Cut and Cover)과 굴착터널(Mined Tunnel) 중 설계당시 안전율을 도입한 경우에는 구조안전성능평가 결과 산정방법을 다음과 같이 예시하였다.

[표 4.2.3] 안전성평가 결과 산정[개착터널] 예시

시설물구조안전성능평가 결과 산정표				
시설물명	○○○ 터널		표번호	TS. NO.3
부재 구분	안전율(SF)	평가결과	비 고	
상부슬래브(횡방향) 휨모멘트	1.08	a		
상부슬래브(종방향) 휨모멘트	0.92	c		
상부슬래브 전단력	1.03	b	손상(단면감소) 발생	
구조안전성능평가 결과	•최저 안전안전성능 평가 결과 = C, 결함지수 = 0.54			

② 안전율을 도입하지 않은 경우의 방법

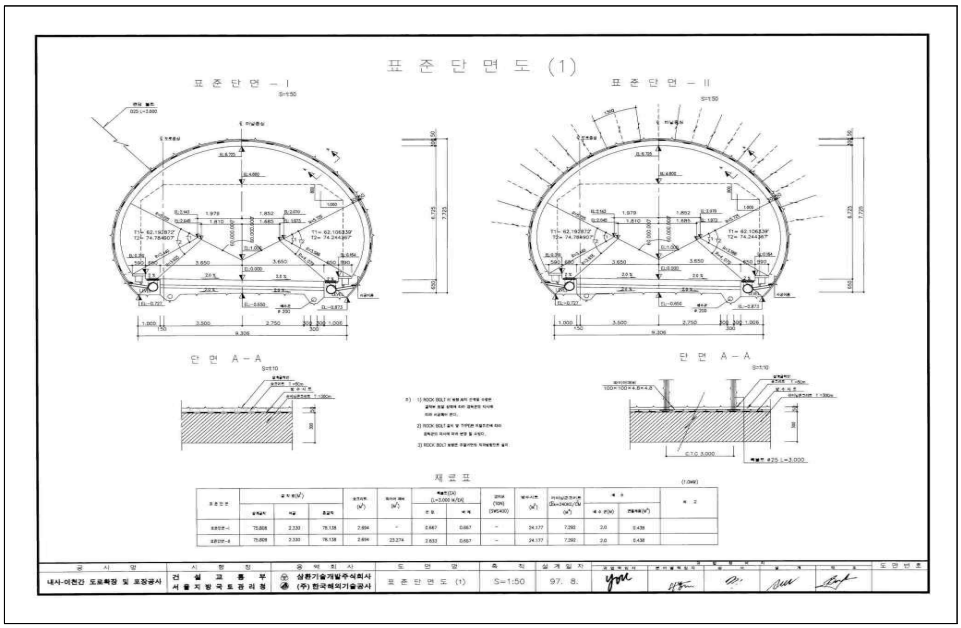
안전율을 도입하지 않은 경우 수치해석에 의한 구조안전성능평가 방법은 다음과 같다.

[표 4.2.4] 안전성평가 결과 산정[NATM터널] 예시

시설물 구조안전성능평가결과과 산정표			
시설물명	○○○ 터널	표번호	TS. NO.5
부재 구분	변위 또는 응력	안전성 여부 (안전, 불안전)	비 고
•변위발생 경향	(단위 : ㎜)		- 정성적 표현
- 천단변위	0.78	안전	
- 내공변위	2.89	안전	
•응력발생 경향	(단위 : ㎫)		- 정성적 표현
- 휨압축응력	12.00㎫	안전	
- 전단응력	5.19㎫	안전	
구조안전성능평가 결과	•구조안전성능평가결과 : 안전 ※ 일반터널(Mined Tunnel)에서 안전성평가를 정량적으로 표시할 수 없는 경우는 정성적으로 표시함.		

4.2.3 구조안전성능 평가

오천터널(하행선)에 대한 구조안전성능 평가는, 금회 실시한 정밀안전점검에서 외관조사 및 내구성조사 결과를 분석한 결과, 시설물의 안전성 및 구조적으로 문제가 될 만한 문제점이 발생되지 않은 상태이다. 따라서 금회 성능평가시 구조안전성능평가를 위한 별도의 구조해석을 실시하지 않고, 관리주체에서 제공한 준공도서(구조계산서 및 터널해석보고서)에 대한 자료를 활용하여 구조안전성능평가를 실시하는 것으로 협의하였으며 상세한 자료는 부록에 첨부하였다.



[표 4.2.2] 오천터널(하행선) 표준단면도

가. 안전성 검토 결과

[표 4.2.5] 오천터널(하행선) 안전성능평가 결과

부재구분	모멘트 검토			전단력 검토			평가결과
	Mu	ϕMn	안전율	Vu	ϕMn	안전율	
아치부	5.589	73.012	13.063	8.314	20.116	2.419	a
벽체부	41.888	133.081	3.177	22.277	35.922	1.612	a

시설물 구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		오천터널(하행선)		비고
부재구분		안전율(SF)	평가결과	
휨모멘트	아치부	13.063	a	
	벽체부	3.177	a	
전단력	아치부	2.419	a	
	벽체부	1.612	a	
구조안전성능평가 결과		최저 안전성능평가 결과=A, 결함지수=0.14		

나. 안전성평가 결과 요약

▣ 터널에 대한 안전성 검토 결과, 모든 검토 대상에서 최소안전율이 1.0 이상으로 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨

4.3 안전성능 평가결과

4.3.1 개 요

평가대상 터널에 대하여 상태 및 구조 안전성능 평가를 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능 평가등급과 구조안전성능 평가등급을 비교하여 최저 등급을 최종 안전성능 평가 등급으로 결정한다.

단, 구조안전성능 평가를 실시하지 않은 경우는 상태안전성능 평가 등급을 최종 안전성능 평가 등급으로 갈음한다.

터널의 안전성능 평가등급 = Min(Gc, Gs)

여기서, Gc : 터널의 상태안전성능 등급

Gs : 터널의 구조안전성능 등급

[표 4.3.1] 안전성능 등급

등급	안전성능 수준	비고
A (우수)	•외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능수준	
B (양호)	•일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수여부를 결정해야 하는 성능 수준	
C (보통)	•광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단히 보수 또는보강이 필요한 성능 수준	
D (미흡)	•심각한 결함에 대한 보수·보강이 필요함 사용제한 여부를 결정해야하는 성능 수준	
E (불량)	•심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준	

오천터널(하행선)의 상태안전성능 및 구조안전성능에 의한 안전성능평가 결과, “외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능수준”인 「A등급(우수)」으로 평가되었다.

4.3.2 안전성능 평가결과

[표 4.3.2] 오천터널(하행선) 안전성능 평가 결과

구분	상태안전성능 평가		구조안전성능 평가		비고
	평가지수	평가등급	평가지수	평가등급	
오천터널(하행선)	0.021	A	0.14	A	
안전성능 평가결과	안전성능 평가지수는 0.14로 평가 되었으며, 안전성능 평가등급은 A등급으로 산정되었다.				

제 5 장 시설물의 내구성능 평가

5.1 내구성능 평가

5.2 내구성능 평가결과

5.1 내구성능 평가

5.1.1 내구성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가에 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질, 열화환경평가에는 제설제에 의한 염해환경, 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이 포함된다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되고, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 5.1.1] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전 항목	열화환경 항목
염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가대상 부재

터널(도로/철도)의 경우, 무근콘크리트 및 철근콘크리트 등 2가지의 사용재료에 따라 평가지표를 설정하였으며, 세부부재는 본선라이닝, 갱문(구), 환기구콘크리트로 구분하였다.

[표 5.1.2] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

시설명	세부 구분	부재명
터널	도로터널	본선라이닝
		갱문(구)
		환기구콘크리트
	철도터널	본선라이닝
		갱문(구)
		환기구콘크리트

다. 평가지표별 기준 및 점검방법

1) 염화물 침투량

[표 5.1.3] 염화물 침투량 평가등급

등급	철근부 전염화물 함유량 C_r가 2.5(kg/㎥)가 되는 시점	철근부 전염화물 함유량 C_r(kg/㎥)	비고
a	30년 초과	0.3 이하	- 깊이별 염화물 침투량 측정 - 공용연수와 염화물 침투량을 고려하여 염화물 확산계수 산정 - 염화물 확산계수로서 철근의 부식 발생 임계치에 도달하는 시간 산정 - "철근부의 전염화물 침투량"과 "철근부의 전염화물이 2.5(kg/㎥)가 되는시점"을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_r \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_r \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

<해 설>

○ 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 "철근부의 전염화물 침투량"과 "철근부의 전염화물이 2.5(kg/m^3)가 되는 시점"을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정한다.

○ "철근부의 전염화물이 2.5(kg/m^3)가 되는 시점"의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 2.5 kg/m^3가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

○ 전염화물량이 2.5 kg/m^3을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 2.5 kg/m^3를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.

○ 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 2.5 kg/m^3이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 2.5 kg/m^3에 도달하는 연수가 짧을 수록 낮은 등급을 부여한다.

○ 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 2.5 kg/m^3에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 1.2kg/m^3에 도달하는 연수도 산정하고 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.

2) 탄산화 깊이에 따른 평가기준

[표 5.1.4] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

등급	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T	비고
a	30년 초과	평가결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 탄산화속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{T}}$ $T = \left(\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}}\right)^2 - t$ (T: 잔여피복두께가 모든 탄산화되는 시간 D: 탄산화 깊이, t: 공용연수)
b	20년 <T ≦ 30년	
c	10년 <T ≦ 20년	
d	5년 <T ≦ 10년	
e	5년 이하	

<해 설>

○ 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함한다.

○ e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화될 가능성을 고려한 것이다.

○ 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

초기 시공불량의 경우, 피복콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수도 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 싸이클이 필요) 등과 같은 열화요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다. 피복콘크리트품질의 경우 반발경도 측정 결과를 활용하여 평가를 수행한다.

(1) 설계강도값과 비교할 경우

[표 5.1.5] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

등급	평가내용	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	90% ≦ 강도 추정값이 설계값 대비 〈 100%	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	-	
e	-	

<해 설>

○ 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.

○ a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있다.

○ c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

(2) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 5.1.6] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

등급	평가내용	비고
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	85% ≦ 반발경도값이 건전부 대비〈 95%	동해 등에 의해 피복 콘크리트의내구성능이 저하되기 시작함
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	동해 등에 의해 피복 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	-	
e	-	

<해 설>

○ 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.

○ 동일한 건전부끼리 상호비교 하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정한다.

○ 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위로, 해당 구간 중 상대 비교하여 가장 취약한 부분을 비건전부로 구분한다.

4) 염해환경

[표 5.1.7] 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가항목	등급	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)
해안거리에 따른 비래염분 염해환경	a	동해안	전지역	500초과
		서해안	고창, 태안 그 외 지역	1,000초과 300 초과
		남해안	사천, 거제 그 외 지역	100 초과 20초과
	b	동해안	전지역	250 < X ≦ 500
		서해안	고창, 태안 그 외 지역	500 < X ≦ 1000 120 < X ≦ 300
		남해안	사천, 거제 그 외 지역	50 < X ≦ 100 10 < X ≦ 20
	c	동해안	전지역	비말대* < X ≦ 250
		서해안	고창, 태안 그 외 지역	비말대 < X ≦ 500 비말대 < X ≦ 120
		남해안	사천, 거제 그 외 지역	비말대 < X ≦ 50 비말대 < X ≦ 10

[표 5.1.8] 염해환경의 평가기준(제설제)

평가항목	등급	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	7 ≦ 강설일수 < 14
	c	14 ≦ 강설일수

<해 설>

○ 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.

○ 상기 항목은 각각 해안인접성과 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정한다.

○ 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였다.

○ 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설 시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 c 등급을 부여한다.

○ 강설일수는 최심신적설(하루동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취한다.

5) 동해환경

[표 5.1.9] 동해환경의 평가기준

등급	동결융해 반복지수(X)	비고
a	X < 3	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	3 ≤ X < 50	
c	50 ≤ X	

<해 설>

○ X는 동결융해 반복지수로서 수분과의 접촉 여부로 구분하여 산정한다.

○ 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 싸이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정한다.

○ 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 '열악한 조건'을 기준으로 판단한다.

라. 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다. 부재별 내구성능 평가결과는 부재별 가중치를 고려하여 등급을 도출한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다. 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

(1) 열화환경 평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경 평가는 제설제 염해환경, 비래염분 염해환경, 동해환경의 3개 열화환경평가 지표로 이루어진다. 열화환경평가는 3가지 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다. 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 5.1.10] 열화 환경 평가기준

평가등급	열화환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길 수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태

*염해환경

염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설로 인하여 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 나누어서 평가한다.

*동해환경

대상 터널이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가한다.

동일한 동결융해 싸이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 싸이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 싸이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접 노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용한다.

(2) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

이 단계에서는 각 세부부재별로 내구성능에 관한 열화진전평가를 실시한다. 터널의 경우 세부부재는 갱문, 본선 라이닝, 환기구 콘크리트가 대상이 된다. 또한 각 부재는 무근콘크리트와 철근콘크리트로 구분하여 평가한다.

내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다. 각 내구성능 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.
- 최저등급제를 적용하는 것은 염해 혹은 탄산화 등 어느 한가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있으며 대책을 강구하여야 하기 때문이다.
- 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균한다.

산출된 각 세부부재(ex. 본선라이닝, 갱문, 환기구콘크리트)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 최종적으로 터널 시설물의 콘크리트 내구성능 평가등급을 도출한다.

(3) 등급별 평가점수 및 결함도 지수

부재별 등급에 따른 결함도 지수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같다.

[표 5.1.11] 평가등급에 따른 결함도 지수

a	b	c	d	e
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88

[표 5.1.12] 등급 산정을 위한 내구성능 평가 지수 범위

A	B	C	D	E
0≤X<0.15	0.15≤X<0.30	0.30≤X<0.55	0.55≤X<0.75	0.75≤X

(4) 세부부재 등급 산정 안에 따라 시설물 전체 등급 산정

각 부재별 가중치는 아래 표와 같으며, 각 부재별 가중치를 활용하여 터널의 콘크리트내구성능 등급을 산정한다.

[표 5.1.13] 도로 및 철도터널의 세부 부재에 따른 가중치

시설명	세부 부재명	부재별 가중치(%)	
		환기구 존재	환기구 없음
도로터널	본선라이닝	60	70
	갱문(구)	30	30
	환기구콘크리트	10	-

(5) 세부 시설물 등급 산정 안에 따라 시설물 전체 등급 산정

터널의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 5.1.14] 열화진전평가

시설명	평가등급	부재명	평가등급
터널	A~E	본선라이닝	a~e
		갱문(구)	a~e
		환기구콘크리트	a~e

[표 5.1.15] 열화환경평가

열화환경지표	평가등급	터널의 주요 대상 부재
제설제 염해환경	A or B or C	철도터널의 경우 제설제를 사용하지 않기 때문에 제설제 염해환경은 a로 평가함
비래염분 염해환경	A or B or C	해안인근에 있어서 비래염분 환경에 있는 경우 갱문이 주요 대상 부재이며, 본선 라이닝은 갱문쪽 일부분만 대상이 됨
동해환경	A or B or C	누수가 있는 콘크리트 라이닝 부위와 갱문이나 본선 라이닝 하단부 등 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

5.1.2 열화진전 평가 결과

가. 염화물 침투량

1) 깊이별 염화물 침투량

[표 5.1.16] 깊이별 염화물 침투량

열화진전 평가항목	대상부재	깊이별 염화물 침투량(kg/㎥)			평가 등급
		0-10mm	10-20mm	20-30mm	
염화물 침투량	S3	0.380	0.319	0.254	a
	S55	0.337	0.204	0.152	a

* 시험성적서 : 부록참조

2) 염화물 확산계수 산출

철근부 전염화물 침투량 C_r이 2.5kg/㎥이 되는 시점의 산정방법은 다음과 같다.

- 염화물 확산계수 산정 방법 - 염화물 확산계수는 아래의 식을 활용하여 구한다.

$$C_d - C_i = (C_s - C_i)(1 - erf(\frac{x}{2 \times \sqrt{D_d \cdot t}}))$$

여기서, C_d : 깊이 x(cm), 시간 t년에서 염소이온 농도 (kg/m^3)

C_i : 초기 염소이온 농도 (kg/m^3)

C_s : 표면 염소이온 농도 (kg/m^3)

erf : 오차함수, $erf(s) = \frac{2}{\pi^{1/2}} \int_0^s e^{-\lambda^2} d\lambda$, D_d : 염소이온의 유효확산계수$(cm^2/년)$

[표 5.1.17] 염화물 확산계수 산출

계산항목	대상부재	깊이별 염화물 확산계수$(cm^2/year)$		
		0-10mm	10-20mm	20-30mm
염화물 확산계수	S3	-	3.182	3.182
	S55	-	3.182	3.182

3) 철근부의 전염화물 침투량이 2.5(kg/m^3)가 되는 시점 평가.

염화물 확산계수 산정식 $C_d - C_i = (C_s - C_i)(1 - erf(\frac{x}{2 \times \sqrt{D_d \cdot t}}))$에서 염화물 확산계수 D_d를 이미 알고 있기 때문에, C_d값(깊이 x(cm), 시간 t년에서 염소이온 농도)을 2.5 kg/m^3로 입력하고, 대상부재의 철근피복 두께를 깊이 x(cm)로 입력하여 시간 t(year)를 산출한다. 산출된 시간 t(year)는 철근부 전염화물 침투량이 2.5(kg/m^3)가 되는 시점이며, 염화물량 평가 등급기준과 비교하여 등급을 산정한다.

[표 5.1.18] 철근부의 전염화물 침투량이 2.5(kg/m^3)가 되는 시점 평가

열화진전 평가항목	대상부재	계산결과(Year)	평가등급
철근부의 전염화물 침투량이 2.5(kg/m^3)가 되는 시점 평가	S3	30년 초과	a
	S55	17년	c

4) 염화물 침투량 최종 평가등급

철근부 전염화물 침투량의 평가 결과는 a등급으로 분석되었으며, 철근부 전염화물 침투량 C_r이 2.5(kg/m^3)가 되는 시점에 대한 조사 결과 c등급으로 산정되어, 염화물 침투량 평가등급은 c등급으로 판정되었다.

[표 5.1.19] 염화물 함유량 최종 평가등급

시설물	염화물 침투량 평가	철근부의 전염화물 침투량이 2.5(kg/m^3)가 되는 시점 평가
터널	a	c
	최종 평가 - c등급	

나. 탄산화 깊이 평가

대상 시설물의 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간을 각 부재별로 산정하고 분석한 결과, a등급으로 평가되었다.

[표 5.1.20] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가항목	측정위치	탄산화 깊이	실측피복 두께	잔여 깊이	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간T(년)	평가등급
탄산화 깊이	S2	1.0	82.0	81.0	0.25	100년 이상	a
	S56	2.0	79.0	77.0	0.50	100년 이상	a

다. 피복 콘크리트의 품질 평가

각 부재별로 실시한 반발경도 시험 결과를 활용하여 피복 콘크리트의 품질평가를 실시한 결과, 피복 콘크리트의 품질 등급은 a등급으로 평가되었다.

[표 5.1.21] 피복 콘크리트의 품질평가

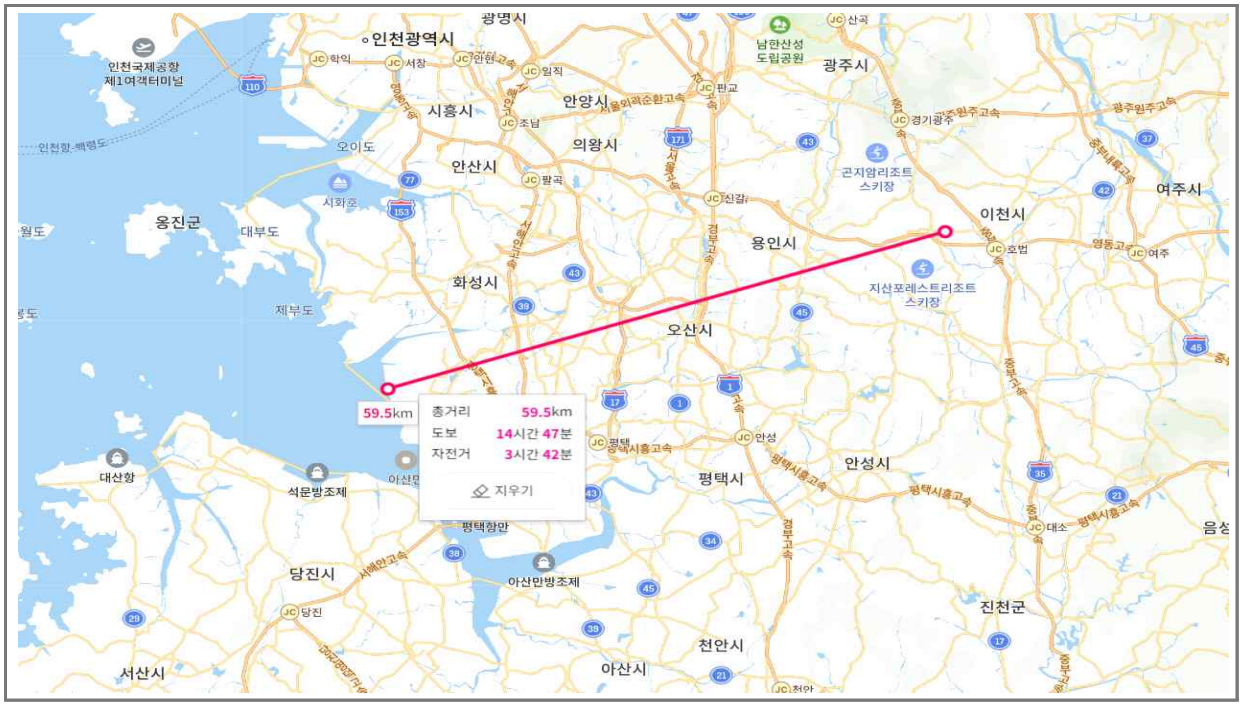
열화진전 평가항목	부재	세부부재	설계기준 대비 강도추정값(%)	비건전부/ 건전부비율(%)	개별 평가등급	평가등급
피복 콘크리트의 품질	S2	라이닝	110.6	-	a	a
	S56	라이닝	122.8	-	a	

5.1.3 열화환경 평가 결과

가. 염해환경

1) 해안거리에 따른 비래염분 염해환경

오천터널(하행선)은 경기도 이천시 마장면 회억리 내륙지역에 위치한 도로터널로 동해안으로부터 약 59km 떨어진 위치에 시공된 것으로 확인되어 서해안 그 외 지역 300m 초과에 해당되므로 해안거리에 따른 염해 환경의 평가등급은 “a” 로 평가되었다.



[그림 5.2.1] 오천터널(하행선) 위치도

[표 5.1.22] 해안거리에 따른 비래염분 염해환경 평가결과

평가항목	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)	평가 등급
해안거리에 따른 비래염분 염해환경	서해안	그 외 지역	300초과	a등급

2) 제설제 염해환경

오천터널(하행선)의 강설일수는 기상청 기후자료를 참조하였으며, 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소인 이천 관측소에서 측정된 최근 10년간 데이터를 활용하여 평가하였다. 최근에 측정된 최심신적설 자료 중 2010년부터 2020년까지의 자료를 참조하였으며, 연평균 강설 일수는 0.7일로 확인되었고, 평가등급은 a등급으로 분석되었다.

[표 5.1.23] 제설제 염해환경 평가결과(연평균 강설일수)

해당지역	경기도 이천시 부발읍 대산로 546길 8 이천기상관측소				
분석기간	2010년 11월 1일 ~ 2020년 3월 31일 (10년)				
2010.11~2011.3	7일	2014.11~2015.3	0일	2017.11~2018.3	0일
2011.11~2012.3	0일	2015.11~2016.3	0일	2018.11~2019.3	0일
2012.11~2013.3	0일	2016.11~2017.3	0일	2019.11~2020.3	0일
2013.11~2014.3	0일	평균 강설일수			0.7일

주) 강설일수는 최근 10년간 최심신적설이 발생한 일수의 연간 평균값, *참고 : 기상자료개방포털(https://data.kma.go.kr/)

나. 동해환경

동결융해 반복일수에 따른 동해환경 평가는 대상구조물의 가장 가까운 관측소인 이천 관측소에서 측정된 최근 10년간의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량 데이터를 수집하여 평가하였으며, 동해환경 평가는 다음과 같다.

- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재일 경우
{일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수
- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재일 경우
{일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수

본 터널은 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재로써, 미접촉하는 부재의 경우 13.5회로 동결융해 환경은 “B” 등급으로 평가되었다.

[표 5.1.24] 동해환경 평가결과 - 일반부재(수분미접촉))

해당지역	경기도 이천시 부발읍 대산로 546길 8 이천기상관측소				
분석기간	2010년 11월 1일 ~ 2020년 3월 31일 (10년)				
2010.11~2011.3	9일	2014.11~2015.3	19일	2017.11~2018.3	21일
2011.11~2012.3	11일	2015.11~2016.3	16일	2018.11~2019.3	6일
2012.11~2013.3	18일	2016.11~2017.3	14일	2019.11~2020.3	9일
2013.11~2014.3	12일	동결융해 횟수 (수분미접촉)			13.5회

*참고 : 기상자료개방포털(https://data.kma.go.kr/)

5.2 내구성능 평가결과

본 과업에서 콘크리트 내구성능 평가항목은 열화진전평가와 열화환경평가를 실시하였다. 콘크리트 내구성능 종합등급 평가시, 연화진전평가결과만을 반영하며, 열화환경평가는 터널의 유지관리를 위한 참고자료로 업무에 활용한다.

5.2.1 내구성능 평가결과

오천터널(하행선)의 염화물 침투량, 탄산화깊이, 피복콘크리트의 품질을 통한 내구성능 평가 결과, 평가지수 pd= 0.33이며, 등급은 C등급으로 평가되었다.

[표 5.2.1] 콘크리트 내구성능 평가 결과

세부 부재명 (가중치, %)	항목별 평가결과				
	염화물 침투량	탄산화 깊이	피복콘크리트의 품질	부재평가결과 (결함도지수)	평가결과 (내구성능평가지수)
본선라이닝(70)	c	a	a	c (0.43)	C (pd=0.33)
갱문(30)	-	a	a	a (0.08)	
평가지수	(0.43×70+0.08×30)/100 = 0.33				
등급	C				

5.2.2 열화환경지표의 평가

[표 5.2.2] 콘크리트 내구성능 평가 결과

열화환경지표	평가등급	비고
제설제 염해환경	A	
비래염분 염해환경	A	
동해환경	B	

제 6 장 시설물의 사용성능 평가

6.1 개 요

6.2 사용성능 평가항목 및 기준

6.3 사용성능 평가결과(사용성)

6.4 사용성능 평가결과(기능성)

6.5 사용성능 평가결과(최종)

6.1 개 요

터널의 사용성능 평가는 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야 할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적을 만족하기 위한 성능으로 정의한다.

시설물의 사용성능 평가는 사용성능과 기능성으로 구분되며, 사용성능은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

각 성능별로 세부지표의 평가결과에 가중치를 반영하여 사용성능평가 등급으로 결정한다.

6.2 사용성능 평가항목 및 기준

6.2.1 도로터널 일반

도로터널의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 도로터널에서는 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 만족도 측면에서 주행성, 방재성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 적용한다.

6.2.2 세부지표의 평가범위

도로(터널)의 사용성능은 주행성, 방재성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표를 도출하였다. 이중 포장상태, 터널 내 휘도, 방재시설, 기계/전기설비, 교통량은 a~e로 범위를 정하고 비상대피시간은 a, c, e로 범위를 정한다.

[표 6.2.1] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성	주행성	포장상태	a, b, c, d, e
		터널내 휘도	a, b, c, d, e
	방재성	방재시설	a, b, c, d, e
		비상대피시간	a, c, e
기능성	유지관리성	기계/전기설비	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	통행량	a, b, c, d, e

도로(터널)의 사용성능 평가는 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

6.2.3 사용성능 평가지표 및 기준

가. 주행성

1) 포장상태

(1) 고속국도(HPCI)

[표 6.2.2] 고속국도 포장상태 성능평가 기준

등급	등급기준	
	HPCI 범위	설명
a	4.0 초과	매우양호
b	3.5~4.0	양호
c	3.0~3.5	보통
d	2.0~3.0	불량
e	2.0이하	매우불량

<해 설>

○ 본 성능평가기준은 고속도로의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용한다.

○ 고속도로의 포장상태지수 관리기준은 다음과 같고 아스팔트포장과 콘크리트 포장을 구분하여 적용한다.

○ HPCI 산정식

아스팔트 포장: $HPCI_{10m} = 5 - 0.54 \times IRI^{0.8} - 0.75 \times RD^{1.2} - 0.9 \times \log(1 + 10 \times SD)$

콘크리트포장: $HPCI_{10m} = 5 - 0.8 \times IRI^{0.7} - 0.85 \times \log(1 + 10 \times 2.5SD)$

여기서, $HPCI_{100m} = \sum_{n}^{n+10} (HPCI_{10m})$

IRI (international roughness index) = 국제 평탄성 지수 (m/km), RD(RUT depth) = 차바퀴 패임량(cm)

SD(Surface distress) = 노면 손상 환산 면적(m^2), $SD = \sum 각선상균열길이 \times 0.15 + \sum 각면상균열면적$

(2) 일반국도(NHPCI)

[표 6.2.3] 일반국도 포장상태 성능평가 기준

등급	등급기준	
	NHPCI 범위	설명
a	6.0 초과	매우우수
b	5.5~6.0	우수
c	4.0~5.5	보통
d	2.0~4.0	불량
e	0.0~2.0	매우불량

<해 설>

○ 본 성능평가기준은 고속국도의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용한다.

○ 일반국도 포장상태 평가지수인 NHPCI(National Highway Pavement Condition Index)개발은 국도관리사무소의 관리자, 산・학・연 포장전문가로 구성된 패널의 현장조사 자료를 통계 분석하여 다음과 같은 식을 개발하였다.

$$NHPCI = \frac{1}{(0.33 + 0.003 \times X_{CR} + 0.004 \times X_{RD} + 0.0183 \times X_{IRI})^2}$$

이때, X_{CR} : 균열률(%), X_{RD} : 소성변형(mm), X_{IRI} : 종단평탄성(m/km)

2) 터널 내 휘도

[표 6.2.4] 터널 내 휘도 성능평가 기준

등급	등급기준
a	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준 보다 높은 상태
b	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준의 85% 이상
c	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준의 75% 이상
d	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준의 65% 이상
e	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가 기준의 65% 미만

<해 설>

○ 본 성능평가기준은 주간의 자동차 터널 도로의 경계부 및 기본부의 평균 휘도 KS C 3703을 참조하여 적용한다.

○ 상기 기준은 설계속도 100km/h를 기준으로 설정하였고 80km에서는 -25% 된 값을 적용한다.

○ 해당도로의 설계속도를 파악하고 그 기준을 제대로 충족하는지를 기준으로 성능을 평가한다.

○ 단 터널의 방향이나 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다. 경계부 평균휘도는 남향과 북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다.

○ 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용한다.

[표 6.2.5] 설계속도에 따른 위치별 평균 휘도[cd/㎡]

설계속도 (km/h)	경계부 평균 휘도		기본부 평균휘도		
	남향	북향	적음	보통	많음
100	370	480	7	9	11
80	260	360	5	6.5	8
60	200	250	3	4.5	6

○ KS C 3703 터널 조명기준에 따르면 기본부는 이행부 끝에서부터 출구부 시작점까지의 구역으로 기본부 조명은 터널 전체길이에 걸쳐서 거의 균일한 휘도를 확보하는 조명을 의미한다.

○ 반면에 경계부는 터널입구, 혹은 태양에 의한 입구 그림자 선으로부터 터널 안쪽으로 정지거리만큼까지의 구역으로 경계부의 조명수준은 경계구역의 초반에서의 값과 같아야 한다.

나. 방재성

1) 방재시설

[표 6.2.6] 방재시설의 성능평가 기준

등급	등급기준	
	설치유무	설치상태
a	방재시설이 설치기준에 따라 설치되었을때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년이내 이며 모두 양호한 상태
b	방재시설이 설치기준의 90% 이상 설치되어 있을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이상이며 모두 양호한 상태
c	방재시설이 설치기준의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할 때
d	방재시설이 설치기준의 70% 이상 설치되어 있을때	설치된 방재시설이 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할 때
e	방재시설이 설치기준의 70% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요 할 때

<해 설>

○ 상기 표의 방재시설은 다음 표의 소화설비, 경보설비, 피난설비, 소화활동설비, 기타설비를 포함하며 터널의 연장별 방재시설 기준을 얼마나 만족하고 있느냐에 따라 등급을 설정한다.

○ 설치유무와 설치상태를 반영하여 더 낮은 등급을 대상지표의 평가등급으로 산정한다.

○ 점검 및 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가한다.

○ 다음 표에서 터널연장 3,000m이상은 1등급, 1,000m이상~3,000m미만은 2등급, 500m이상~1,000m미만 3등급, 500m미만은 4등급이다.

[표 6.2.7] 방재시설의 설치기준

방재시설 \ 설치유무 및 상태		1등급	2등급	3등급	4등급	비고
소화설비	소화기구	●	●	●	●	
	옥내소화전설비	●○	●○			연장등급, 방재등급 병행
	물분무설비	○				
경보설비	비상경보설비	●	●	●		
	자동화재탐지설비	●	●			
	비상방송설비	○	○	○		
	긴급전화	○	○	○		
	CCTV	○	○	○	△	△: 200m 이상 터널
	영상유고감지설비	△	△	△		
	재방송설비	○	○	○	△	
	정보표시판	○	○			△: 200m 이상 터널
	진입차단설비	○	○			

[표 6.2.7] 방재시설의 설치기준(계속)

방재시설 \ 설치유무 및 상태			1등급	2등급	3등급	4등급	비고
피난대피설비	비상조명등		●	●	●	△	△: 200m 이상 터널
	유도등		○	○	○		
	대피시설	피난연결통로	●	●	●		
		피난대피터널(1)	●				1등급 피난대피터널을 우선 적용 2등급 격벽분리형 피난대피통로를 우선 적용
		격벽분리형 피난대피통로(1)		●	●		
		비상주차대	○	○			
소화활동설비	제연설비		○	○			
	무선통신보조설비		●	●	●	△(2)	
	연결수송관설비		●○	●○			연장등급, 방재등급 병행
	(비상)콘센트설비		●	●	●		
비상전원설비	무정전 전원설비		●	●	●	△(3)	
	비상발전설비		●○	●-○	-		연장등급, 방재등급 병행

● 기본시설 : 연장등급에 의함 ○ 기본시설 : 방재등급에 의함

△ 권장시설 : 설치의 필요성 검토에 의함

(1) 피난연결통로의 설치가 불가능한 터널에 설치

(2) 4등급 터널의 경우, 재방송설비가 설치되는 경우에 병용하여 설치함

(3) 4등급 터널은 방재시설이 설치되는 경우에 시설별로 설치함

○ 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.

○ 등급결정인자 : 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동 상태

2) 비상대피시간

[표 6.2.8] 비상대피시간의 성능평가 기준

등급	등급기준
a	피난연락갱이 300m 이하 간격으로 설치됨, 연장 500m 미만의 터널
c	피난연락갱이 300m 초과의 간격으로 설치됨
e	피난연락갱이 설치되어 있지 않음

<해 설>

○ 비상대피시간의 성능평가 기준은 비상대피시간에 직접적으로 영향을 미치는 피난연락갱의 유무 및 피난연락갱의 설치간격, 건교부는 일방통행터널에서 대인용 피난연결통로의 설치간격은 250m 이하로 하며, 3개소마다(750m 이하의 간격) 구급차량이 통과할 수 있는 차량용 피난연결통로를 설치하도록 규정한다.

○ 연장 500m 미만의 터널은 피난 시 입출구부의 거리가 250m 이하이므로 a등급으로 평가한다.

다. 유지관리성

1) 기계/전기설비

[표 6.2.9] 기계/전기설비 성능평가 기준

등급	등급기준
a	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이내이며, 장치의 외관 및 작동에 불량이 없는 양호한 상태
b	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이상이며, 장치의 외관 및 작동에 불량이 없는 건전한 상태
c	불량이 경미하여 작동에 영향이 없는 상태
d	상태 및 작동이 불량하여 수리가 필요한 상태
e	상태가 불량하여 설비의 작동이 불가능한 상태로 교체가 필요한 상태

<해 설>

○ 기계/전기설비는 설계도서에 명시된 기계/전기 시설의 각 장치의 설치유무를 먼저 판단하고, 현재의 외관 상태나 작동 상태 등을 점검한다.

○ 각 장치별로 현재의 외관 상태나 작동 유무는 위의 표를 참조하여 평가한다.

○ 종합적인 전기설비의 상태는 다음의 프로세스로 판단한다. 먼저 구성 장치들의 등급을 위의 표를 통해 결정하고 각 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기 동력설비, 조명설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정한다.

○ 그 후 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기 동력설비, 조명설비의 등급 중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.

(1) 전기설비의 구분

[표 6.2.10] 전기설비의 구분

구분	구성	등급기준
수변전설비	수전설비	인입구 배선, 전력보호장치 등
	변전설비	접지, 변압기, 차단기, 제어장치 등 포함
예비전원설비	비상발전기	차단기, 계전기, 배선 등
	축전지설비	차단기, 배선, 등
	UPS(무정전전원)	축전지, 정전압정주파 전원장치
감시제어설비	자동제어설비	전력제어, 변압기온도제어, 조명제어, 교통관제(CCTV, 비상전화, 방송장비) 등 포함
	현장기기	전류변환기기, 전압변환기
환기동력설비	환기동력설비	케이블, 현장 개폐기, 콘덴서 등 포함
조명설비	조명설비	기본조명, 비상등, 외 포함

○ 전기설비의 구분에 따른 각종 설비에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.

○ 등급결정인자 : 설비 설치 유무, 설비 작동 상태

라. 수요 및 용량

1) 교통량

[표 6.2.11] 교통량의 성능평가 기준

등급	등급기준
a	$[\frac{수요예측}{수요실제}\times 100]$이 100 이상 일때
b	$[\frac{수요예측}{수요실제}\times 100]$이 90 이상 100 미만 일때
c	$[\frac{수요예측}{수요실제}\times 100]$이 80 이상 90 미만 일때
d	$[\frac{수요예측}{수요실제}\times 100]$이 70이상 80 미만 일때
e	$[\frac{수요예측}{수요실제}\times 100]$이 70 이하 일때

<해 설>

○ 도로(터널)의 수요 및 용량을 평가하기 위하여 가장 필수적인 사용자(운전자) 입장에서 교통량이 적절하여 편리하게 이용 가능한 시설인가 혹은 교통량이 많아 불편한가를 평가한다.

○ 이를 평가하기 위한 평가방법으로 해당시설물에 대한 사후평가서를 참고하여 수요예측값 대비 수요실제값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가한다.

○ 건설기술 진흥법 제52조에 따르면 건설공사준공 후 5년 이내에 300억원 이상의 공공건설공사에 대해서는 사후평가서를 작성하고 건설사업정보화시스템(www.calspia.go.kr)의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요예측과 수요실제 값을 입력하도록 되어 있다.

○ 수요예측은 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정값인 예측치이며, 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요를 나타낸다.

○ 도로터널의 경우 수요예측값 및 수요실제값에 대한 단위는 대/일을 사용한다. 사후평가시스템에서 제공하지 않는 경우, 기존 타당성 조사에서 산정된 수요 예측값과 국가교통 DB의 실측값을 활용하여 산정한다.

6.2.4 사용성능 평가 결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가 결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

가. 세부지표별 가중치

[표 6.2.12] 도로(터널)분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치

구분	포장상태	터널내휘도	방재시설	비상대피시간	기계/전기 설비	통행량
가중치	0.182	0.139	0.187	0.184	0.144	0.164

나. 결과 산정 일반

1) 평가항목별(지표별) 평가

(1) 포장상태 평가

- 고속국도와 일반국도에 대해 각각 다른 평가 기준을 적용한다.
- 고속국로와 일반국도에 대한 PMS의 정보를 활용하거나 실제 측정값을 적용하여 평가 등급을 산정한다.

(2) 터널 내 휘도

- KS C 3793의 터널 조명 기준을 만족하는지 여부를 평가한다.
- 경계부 평균 휘도는 남향과 북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다. 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용한다.

(3) 방재시설

- 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동상태를 평가한다.

(4) 비상대피시간

- 피난연락갱의 간격을 대피시간을 기준으로 산정하여 평가 기준을 설정한다.
- 설계도서를 확인하여 피난연락갱의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.

(5) 기계/전기 설비

- 기계/전기설비의 구분에 따른 각종설비에 대하여 육안조사 및 작동시험을 통하여 평가한다.
- 구성 장치들의 등급을 먼저 결정하고 각 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기동력설비, 조명설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정하고, 이후 각 설비의 등급중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.

(6) 교통량

- 수요 예측과 소요실제를 비교하여 평가한다.
- 수요 예측 결과 값에 따라 평가 등급이 달라질 수 있어 객관성 있는 자료 활용이 필요하다.

2) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

a등급은 5점, b등급은 4점, c등급은 3점, d등급은 2점, e등급은 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능평가} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i c_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$

여기서, w = 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c = 각 세부지표별 평가 결과

6.3 사용성능 평가결과(사용성)

6.3.1 포장상태 평가결과

오천터널(하행선)은 콘크리트 포장으로 도로포장관리시스템자료를 활용하였으며, 포장상태(NHPCI)가 5.66로 분석되어 “b” 등급으로 평가되었다.

[표 6.3.1] 포장상태 평가결과

평가항목	노선명	NHPCI	평가등급
포장상태	일반국도 42호선	5.66	b등급
평가결과	2018 도로포장관리시스템 보고서를 참고하여 NHPCI를 분석한 결과, 5.66이상으로 산정되어 우수한 b등급으로 평가되었다.		

표면결함 종류 / 노선번호	균열률 (%)	균열도 (m/㎡)	소성변형 (mm)	종단평탄성 (m/km)	소파보수 (%)
일반국도 42호선	4.32	0.09	7.51	2.57	1.33

6.3.2 터널 내 휘도 평가결과

경계부 평균 휘도는 남향과 북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용하여 평가하였고, 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용하였다.

[표 6.3.2] 설계속도에 따른 위치별 평균 휘도[cd/㎡]

설계속도 (km/h)	경계부 평균 휘도			기본부 평균 휘도		
	남향	북향	동-서	적음	보통	많음
100	370	480	425	7	9	11
80	260	360	310	5	6.5	8
60	200	250	225	3	4.5	6

[표 6.3.3] 터널내 휘도 평가 결과

설계속도	방향	교통량	측정값(cd/㎡)				평가 등급
			경계부		기본부		
			측정위치	측정값	측정위치	측정값	
80km/h	동-서향	일방향 344대/시간/차로(보통)	Sta.16m	401.1	Sta.50m	6.1	b (89.2 %)
					Sta.100m	6.7	
					Sta.140m	4.5	
					Sta.170m	6.6	
					Sta.200m	6.7	
					Sta.250m	6.9	
					Sta.300m	5.3	
					Sta.330m	5.5	
					Sta.380m	6.1	
					Sta.470m	39.4(출구부)	
					평균	6.0	

※ 교통량 산정 : 2019년 평균 일교통량 32,961대 ÷ 2(일방향) ÷ 24시간 ÷ 2(2차로) = 344대, 1,000미만~300초과로 보통에 해당

나. 휘도 평가 결과

측정 자료를 활용하여 선정한 경계부 및 기본부 노면 휘도 기준에 의한 평가결과, 경계부는 401.1cd/m^2로 측정되어 a등급, 기본부는 평균 6.0cd/m^2로 측정되어 b등급으로 분석되어 대상 시설물의 휘도 성능평가 최종등급은 "b**등급**"으로 평가되었다.

6.3.3 비상대피시간 평가결과

[표 6.3.4] 비상대피시간의 평가결과

구 분	연장(m)	피난연락갱 설치상태	평가등급
비상대피시간	480.0	-	**피난연락갱이 설치되어 있지 않음**

오천터널(하행선)은 연장 500m 미만 터널로서 피난시 입출구부의 거리가 250m 이하이므로 “a”등급으로 평가하였다.

6.3.4 방재시설의 평가결과

방재시설의 평가는 해당터널의 연장등급 및 방재등급에 따라 해당터널의 등급을 4등급으로 가정하여 평가하며, 방재시설 설치기준의 부합여부와 설비 작동 상태 등으로 등급을 결정한다.

[표 6.3.5] 방재시설 평가표

방재시설 \ 설치유무 및 상태		설치기준	설치유무	수리	교체	평가등급
소화설비	소화기구	●	○	-	-	a등급
경보설비	CCTV	△	X	-	-	a등급
	재방송설비	△	○	-	-	a등급
피난대피시설	비상조명등	△	X	-	-	a등급
소화활동설비	무선통신보조설비	△	○	-	-	a등급
비상전원설비	무정전 전원설비	△	X	-	-	a등급
비 고	● : 기본시설, △ : 권장시설(설치의 필요성 검토에 의함)					
평가결과	본 터널의 방재시설 설비 상태는 양호한 것으로 조사되었으며, 설치상태는 터널의 연장(L=185.0m)대비 500m미만인 4등급의 설치 기준에 부합되는 것으로 분석되어 등급은 a등급으로 평가되었다.					

6.4 사용성능 평가결과(기능성)

6.4.1 기전설비의 평가결과

오천터널(하행선)의 기계/전기설비에 대한 외관상태 및 작동상태 등을 점검한 결과 사용년수가 구비 또는 교체후 3년 이상이며, 장치의 외관 및 작동에 불량이 없는 건전한 상태인 "b" 등급으로 평가하였다.

[표 6.4.1] 기전설비 평가결과

구 분	구 성	평가결과	등급점수	합계	개별 설비등급	평가등급
수변전설비	수전설비	b	4	4	b	b등급
	변전설비	b	4			
예비전원설비	비상발전기	b	4	4	b	
	축전지설비	b	4			
감시제어설비	자동제어설비	b	4	4	b	
	현장기기	b	4	4	b	
조명설비	조명설비	b	4			

6.4.2 교통량 평가결과

대상 시설물의 2019년 수요예측 및 소요실제 교통량 조사 결과, 수요예측 교통량은 39,959/일이며, 소요실제 교통량은 32,961/일로 수요예측/수요실제의 비율이 63.5%로 산정되어 e등급으로 평가되었다.

[표 6.4.2] 교통량 평가결과

구 분	수요예측(대/일) a	소요실제(대/일) b	대비(%) a/b*100	평가등급	비고
오천터널(하행선)	39,959	62,961	63.5	e등급	

6.5 사용성능 평가결과(최종)

6.5.1 최종 사용성능 평가 결과

사용성 및 기능성에 대한 사용성능평가 결과, 결함점수 3.879로 산정되어 사용성능의 종합 등급은 “현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준”인 B등급으로 평가되었다.

[표 6.5.1] 최종 사용성능 평가결과

<table>
<tr><th>성능의 구분</th><th>특 징</th><th colspan="2">세부지표의 분류</th><th>가중치</th><th colspan="2">평가 결과</th><th>등급 점수</th></tr>
<tr><td rowspan="4">사용성</td><td rowspan="2">주행성</td><td colspan="2">포장상태</td><td>0.182</td><td colspan="2">b</td><td>4</td></tr>
<tr><td colspan="2">터널내 휘도</td><td>0.139</td><td colspan="2">b</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">방재성</td><td colspan="2">방재시설</td><td>0.187</td><td colspan="2">a</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">비상대피시간</td><td>0.184</td><td colspan="2">a</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기능성</td><td>유지관리성</td><td colspan="2">기전설비</td><td>0.144</td><td colspan="2">b</td><td>4</td></tr>
<tr><td>수요 및 용량</td><td colspan="2">교통량</td><td>0.164</td><td colspan="2">e</td><td>1</td></tr>
<tr><td>결함점수</td><td colspan="6">(4×0.182)+(4×0.139)+(5×0.187)+(5×0.184)+(4×0.144)+(1×0.164) =</td><td>3.879</td></tr>
<tr><td>등 급</td><td colspan="6">A: 4.5 ≦ 결함점수
B: 3.5 ≦ 결함점수 < 4.5
C: 2.5 ≦ 결함점수 < 3.5
D: 1.5 ≦ 결함점수 < 2.5
E: 결함점수 < 1.5</td><td>B</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사용성능
평가지수</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td colspan="2">E</td><td rowspan="2">0.23</td></tr>
<tr><td>0.08</td><td>0.23</td><td>0.43</td><td>0.65</td><td colspan="2">0.88</td></tr>
</table>

제 7 장 종합평가

7.1 종합성능등급의 결정

7.2 종합평가 기준 및 방법

7.2 종합성능 평가결과

7.1 종합성능등급의 결정

7.1.1 시설물의 안전성능 평가 방법

안전성능은 상태안전성능과 구조안전성능으로 구분하여 평가를 실시하며, 세부적인 방법 및 절차·기준 등은 「시설물편」에 따른다.

책임기술자는 상태안전성능과 구조안전성능에 대한 외관조사와 각종 시험 및 측정 결과를 종합적으로 검토하여 안전성능에 대한 안전성능 등급을 지정하여야 한다.

가. 시설물의 상태안전성능 평가 방법

상태안전성능 평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 결함, 손상, 열화 등 상태변화를 근거로 하여 상태안전성능 평가 기준에 따라 실시한다.

제2종성능평가에서는 대상시설물에 대하여 점검하고, 외관조사망도를 작성하여 상세히 상태안전성능 평가를 실시하며, 외관조사망도를 작성하지 않은 부위는 이전의 성능평가 보고서에 수록된 상태안전성능 평가 결과를 참조하여 책임기술자가 대상시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

제1종성능평가에서는 대상시설물에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 대상시설물에 대한 상태안전성능 평가 결과를 결정한다.

상태안전성능 평가가 정확히 이루어졌는지 확인하는 동시에 기록용 문서로서 이용하기 위하여 외관조사 결과를 성능평가의 서식에 각각의 결함의 형태, 크기, 양 및 심각한 정도 등을 기록하여야 한다.

나. 시설물의 구조안전성능 평가 방법

책임기술자는 구조해석 또는 기존의 구조안전성능 평가 자료와 함께 부재별 상태, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정, 조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하고 이를 바탕으로 시설물의 안전과 부재의 내하력 등을 종합적으로 평가하여 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」의 구조안전성능 평가 기준에 따라 시설물의 구조안전성능 평가 결과를 결정한다.

결과보고서에는 구조안전성능 평가에 사용된 해석방법의 종류 및 해석결과, 입력 자료에 대한 설명과 계산 기록을 포함하여야 한다.

7.1.2 시설물의 내구성능 평가 방법

시설물의 내구성능에 대한 평가는 시설물의 재료적 내구성능을 확인하기 시험결과와 외부 환경에 대한 내구성능 저하인자 등을 종합적으로 검토하여 실시한다.

내구성능 평가를 위해 필요한 시험 항목 및 수량, 외부환경 인자 검토사항 등은 「세부지침」에 따르며, 시설물의 특성 및 평가 목적에 따라 이를 조정할 경우에는 결과보고서에 그 사유를 기재하여야 한다.

책임기술자는 내구성능을 확인하기 위한 시험결과, 부재의 열화 정도 등을 통하여 시설물의 사용 환경과 시설물의 물리적 상태를 함께 검토하여 내구성능 등급을 지정하여야 한다.

7.1.3 시설물의 사용성능 평가 방법

시설물의 사용성능에 대한 평가는 시설물의 설계 당시와 준공 이후 사용자・관리자의 사용상 편의성, 수요, 용량 등에 대한 현장조사, 설계도서 및 관리기준 등을 종합적으로 검토하여 평가를 실시하여야 하며, 이에 대한 세부사항은 「세부지침」에 따른다.

책임기술자는 현장조사, 설계도서 및 관리기준 등의 검토 결과와 시설물의 준공 이후 사용성능과 관련된 평가 지표의 변동 유무를 확인하여 평가에 반영하고 사용성능 등급을 지정하여야 한다.

사용성능 평가를 위하여 시설물 유형, 준공시기 및 사용 환경이 유사한 시설물의 자료를 참고하여 반영할 수 있으며, 필요한 경우 자료를 획득할 수 있는 시험 및 측정 등을 추가로 실시할 수 있다.

7.1.4 시설물의 종합평가 방법

책임기술자는 성능평가를 통해 실시 결과에 따라 결정된 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급을 종합하여 종합성능등급을 결정하여야 한다.

종합평가 및 종합성능등급의 산정 절차와 방법은 「세부지침」에 따르며, 최종적으로 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급과 함께 종합성능등급의 결과를 작성하여 보고서에 수록한다.

이전 안전성능, 내구성능, 사용성능 및 종합성능등급을 변경하는 경우에는 성능평가 실시 결과와 유지관리(보수・보강 등) 이력 등을 검토하여 변경된 사유를 성능평가 결과보고서에 기재하여야 한다.

7.1.5 종합성능등급 지정

가. 안전성능 등급

등급	안전성능 수준
A (우수)	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능 수준
D (미흡)	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

나. 내구성능 등급

등급	내구성능 수준
A (우수)	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능 수준

다. 사용성능 등급

등급	사용성능 수준
A (우수)	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준
C (보통)	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준
E (불량)	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준

라. 종합성능 등급

등급	종합성능 수준
A (우수)	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

7.1.6 안전성능·내구성능·사용성능 등급 및 종합성능등급 작성 방법

종합성능등급		
안전성능	내구성능	사용성능

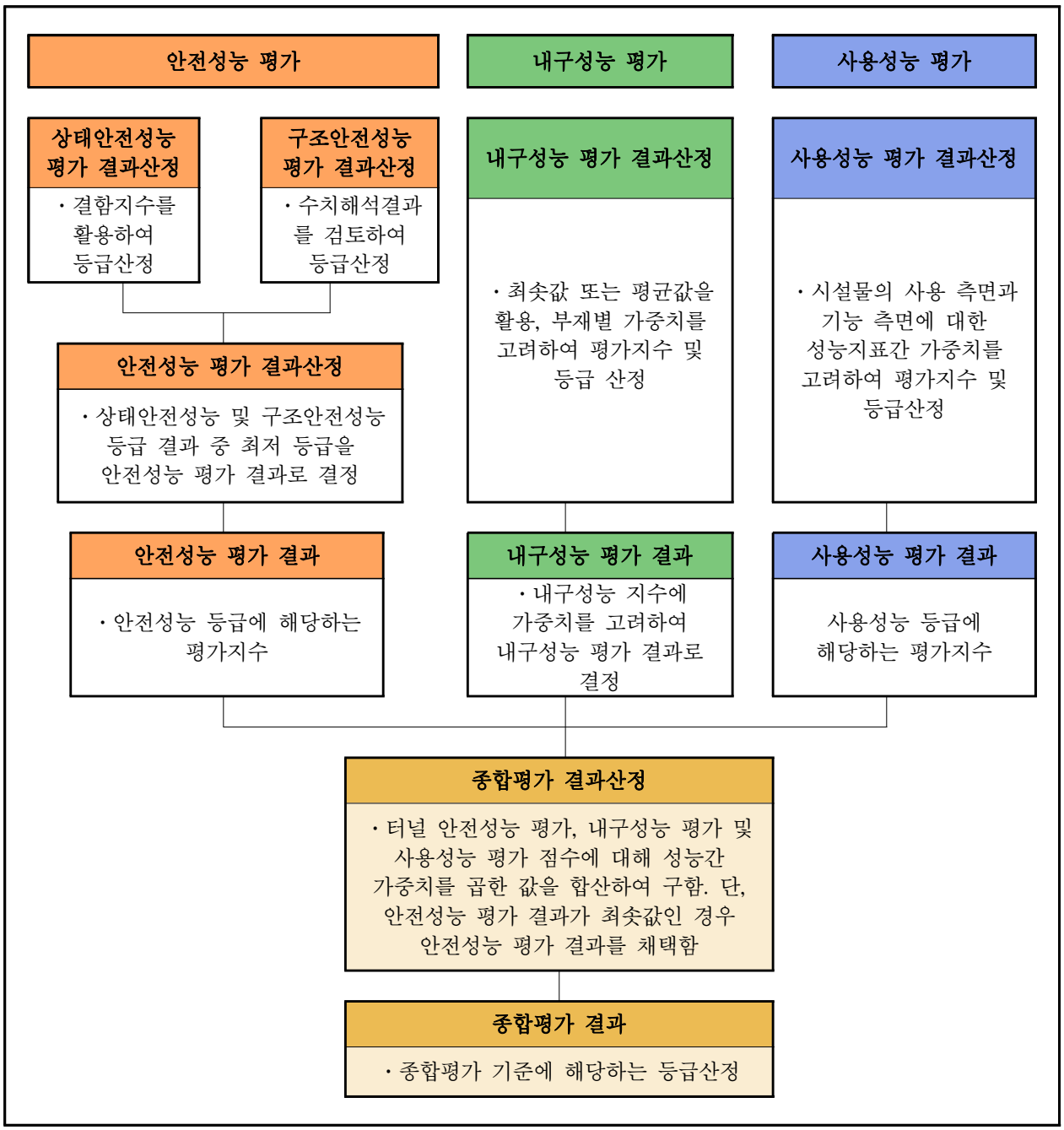
(예시),

A		
A	A	A

7.2 종합평가 기준 및 방법

7.2.1 종합평가 기준

가. 터널의 종합평가 결과 산정절차



7.2.2 종합평가 결과산정 방법

종합평가의 산정방법은 터널 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능 평가지수가 최젓값일 경우에는 안전성능 평가지수를 종합평가 지수로 선정한다.

터널의 종합성능평가 지수(P) = Σ(성능평가지수(p_n) × 성능간 가중치(W_n))

종합평가를 위한 성능항목 간 가중치는 사회기반시설 회계처리지침(기획재정부, 2011)에 따라「도로법」에 의한 도로의 정의에 의해 일반국도, 고속국도 터널로 구분하며,「철도산업발전기본법」에 의한 철도의 정의에 의해 일반철도, 고속철도 터널로 구분하여 평가한다. 단, 이외의 터널에 대해서는 시공방법 및 용도에 따라 유사한 터널의 종합평가 산정기준을 따른다.

[표 7.2.1] 터널의 종합평가 성능항목간 가중치

구 분		성능항목		
		안전성능	내구성능	사용성능
성능간 가중치(W_n)	일반국도 터널	0.72	0.18	0.10
	고속국도 터널	0.72	0.20	0.08
	일반철도 터널	0.72	0.18	0.10
	고속철도 터널	0.72	0.19	0.09

[표 7.2.2] 터널의 종합성능 등급 기준

평가등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0≤P<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤P<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤P<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55≤P<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤P	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

7.3 종합성능 평가결과

7.3.1 종합평가 결과

대상구조물 현장조사와 재료시험 등에 의한 상태안전성능 평가결과와 구조검토에 의한 안전성능 평가결과, 내구성능 및 사용성능 평가결과를 종합하여 검토한 결과, “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준” 인 B등급으로 평가되었다.

[표 7.3.1] 종합평가 결과

시설물 종합평가 결과				
시설물명	오천터널(하행선)			
평가구분	평가지수	평가결과	성능간 가중치(Wa)	비 고
안전성능 평가 (ps)	0.14	a	0.72	
내구성능 평가 (pd)	0.33	c	0.18	
사용성능 평가 (pu)	0.23	b	0.10	
종합평가 결과	• 터널의 종합평가 지수(P) = Σ 평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn) = 0.14 × 0.72 + 0.33 × 0.18 + 0.23 × 0.10 = 0.183 • 터널의 종합평가 지수(P) : 0.183 • 터널의 종합평가 결과 : B			

제 8 장 시설물의 유지관리 전략 제안

8.1 유지관리 전략 제안

8.2 성능목표

8.3 성능평가 실시결과 검토·분석

8.4 보수·보강 공법

8.5 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략제안

8.1 유지관리 전략 제안

8.1.1 개요

현재 시설물의 예산 배정 방식은 대부분 시설물 손상 및 결함만으로 결정되며, 관리주체의 주관적 요소가 지배적 결정 요인으로 작용되는 경우가 많다. 또한, 시설물 관리부서의 보수 보강예산은 한정되어 있기 때문에 모든 결함을 적기에 보수하기에는 충분치 못한 실정이다. 이와 같이 유지관리 전략 제안에 포함된 모든 조치를 시행하기가 현실적으로 어려울 경우 가용 재원 규모 내에서 가장 효과적인 유지관리 방안을 우선적으로 선정해야한다. 유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

8.1.2 유지관리 전략 제안 시 고려사항

일반적인 유지관리 단계의 우선순위 산정 시에는 유지보수 시 발생하는 편익을 개별로 추정하기가 어렵기 때문에 신설 투자 시 적용하는 서비스수준(LOS : Level of Service), 위험도(Risk), 생애주기비용(LCC : Life Cycle Cost) 방법 등을 적용하기는 쉽지 않다. 이는 시설물 관리주체가 유지보수 대상을 선정할 경우 수십~수백개 이상의 시설물을 대상으로 계획을 수립하기 때문에 각 시설물 및 공법별로 정량화하여 분석하는데 많은 시간과 비용이 발생되기 때문이다. 시설물의 보수·보강 공법, 단가 등의 자료를 통해 보수·보강 물량을 산출하고 부재 및 성능간 가중치를 적용하여 유지관리 전략을 제안한다.

8.1.3 유지관리 전략 활용 방안

유지관리 전략 산정결과는 안전성능, 내구성능, 사용성능 등을 고려한 종합적인 평가를 통해 보수·보강 유형별 중요도를 파악하고 다양한 요소를 반영하여 보다 명확하고 객관적 자료 제공할 수 있으며, 이를 통해 의사결정과정의 투명성을 확보할 수 있다.

8.1.4 유지관리 전략 제안 절차

유지관리 전략은 총 5단계로 구성되며, 조치별 비용대비 성능향상 기준으로 대상을 선정하는 방법을 선정한다.

[표 8.1.1] 유지관리 전략제안을 위한 우선순위 절차

구 분	분석 내용
<단계Ⅰ> 대상선정 단계	• 관리주체의 목표 및 방향에 기반하여 성능평가 대상을 도출
<단계Ⅱ> 자료수집 단계	• 시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집
<단계Ⅲ> 시설물 평가단계	• 성능목표·영향도에 따라 후보 조치별 평가 • 우선순위 선정을 위한 지표도출
<단계Ⅳ> 순위선정단계	• 평가결과를 활용하여 비용효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정
<단계Ⅴ> 예산제약고려단계	• 우선순위 선정 후 예산제약을 감안한 조치 선택

가. 대상선정

관리주체의 목표 및 방향에 기반을 두어 성능평가 대상을 도출한다. 시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집한다.

나. 자료수집

시설물별로 성능평가 절차에 의한 평가 결과와 추가 자료를 수집한다.

다. 시설물 평가

성능목표·영향도에 따라 후보 조치별 평가를 수행한다. 우선순위 선정을 위한 지표를 도출한다. 각 보수조치별로 비용을 산출한 후 안전성능, 내구성능, 사용성능에 대한 영향도(가중치)를 반영하여 효과지수(Efficiency Index)를 결정한다. 기본적으로 관리주체는 각 조치별로 평가지표를 분석할 수 있는 정보(영향도, 가중치 등)와 개략적인 비용을 산출하여야 한다.

- 부재별 손상별 보수물량 산출
- 표준 단가(건설공사 표준품셈, 건설공사 일위대가 등)를 통해 부재별 비용 산출
- 각 성능항목별 부재별 가중치와 성능간 가중치를 통해 효과지수 산정

* 요소별 가중치는 안전성능, 내구성능, 사용성능의 성능평가인자에 근거하여 설정하나, 해당 조치가 성능평가인자에 미치는 영향에 따라 관리자가 조정할 수 있다.

라. 우선순위 수준 선정

우선순위 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 다음 각 호의 경우 중에서 결정한다.

- 현상유지(진행억제)
- 실용상 지장이 없는 성능까지 회복
- 초기 수준 이상으로 개선
- 개축

마. 우선순위 선정

성능평가 가중치 및 기타 외부적 요소에 따라 조치별로 평가하여 비용대비 효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정한다. 관리자의 판단에 따라 우선순위지수 (PI : Priority Index)는 낮지만 보수가 필요하다고 판단되는 경우 우선순위를 조정할 경우 소견을 작성하여 시설물의 안전 및 유지관리 계획에 수록하여야 한다.

부재별 손상내역 및 공사비에 가중치를 적용하여 우선순위지수를 산정한다. 각 시설물에 따른 성능간 가중치 및 부재 가중치는 [부록]을 참조하여 선정한다.

$$\text{우선순위지수} = \frac{\sum_{n=1}^{3}(Pn \times En)}{\text{비용}}$$

여기서, P_1 : 성능간 가중치(안전성능)

P_2 : 성능간 가중치(내구성능)

P_3 : 성능간 가중치(사용성능)

E_1: 부재 가중치(안전성능)

E_2: 부재 가중치(내구성능)

E_3: 부재 가중치(사용성능)

※ 부재가중치 = 공법별 가중치 × 영향도

바. 유지관리 전략 제안

우선순위지수를 통해 산정된 보수·보강 우선순위를 통해 유지관리 전략을 제안한다.

* 안전성능, 내구성능, 사용성능에 심각한 영향을 미치는 중대한 결함의 경우는 본 우선순위 기준과 상관없이 즉각적으로 보수 · 보강하는 것으로 한다.

8.2 성능목표

대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 설정한다.

8.2.1 성능목표 등급 산정

성능목표 등급 : B(결함도 범위 : 0.15≤X<0.23 또는 0.23≤X<0.3)

가. 선정기준

[표 8.2.1] 터널의 성능목표 등급 선정 기준

도로터널	일교통량	일반국도: 10,000대 이상 고속국도: 20,000대 이상	나머지의 경우
	대상터널의 차단 시 우회거리	5km 이상	
철도터널	일통과량 x 평균속도	6,000이상	6,000미만
성능목표등급 B등급 내에서의 결함도 범위		0.15≤X<0.23	0.23≤X<0.30

- 일 교통량은 일반국도의 경우 10,000대, 고속국도는 20,000대의 수준으로 고려함
- 구간의 일통과량 × 평균속도의 값을 6,000을 기준으로 함
- 자료가 없는 경우, 인접지점의 자료에 근거하여 관리자가 선정할 수 있음
- 성능목표 등급에서는 시설물의 사용환경에 대한 고려를 위해 다음과 같이 결함도 범위를 조정하여 성능목표 등급 선정에 이용함

[표 8.2.2] 성능목표 등급에 따른 결함도 범위

기준	A	B		C	D	E
결함도점수범위	0≤X<0.15	0.15≤X<0.23	0.23≤X<0.30	0.30≤X<0.55	0.55≤X<0.75	0.75≤X

8.2.2 성능목표 등급의 조정

일교통량 및 우회거리에 따라 성능목표 등급의 결함도 범위를 0.15≤X＜0.23인 B등급 또는 0.23≤X＜0.3인 B등급으로 선정하도록 되어 있으나 터널의 중요도나 향후 전면적인 개보수, 개축 등에 따라 관리자가 성능목표 등급을 조정할 수 있다.

관리주체는 기존 성능목표 조건 외에 위험도 및 취약도를 고려하여 성능 목표 등급을 상향 조정할 수 있다.

* 지진, 기후변화 관련 영향인자(홍수 또는 열화촉진환경 등)가 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우 이를 정성적으로 평가

상위계획에 근거하여 전면개보수, 개축, 폐쇄 등이 확정되어 있는 경우에는 성능목표 등급을 하향 조정할 수 있다.

* 시설물 개보수, 개축, 폐쇄 등이 차기 성능평가 주기(5년)내에 시행되는 경우에만 해당

8.2.3 성능목표 등급 선정

도로터널	일교통량	일반국도: 10,000대 이상
	대상터널의 차단 시 우회거리	3.0km
성능목표등급		B(0.15≤X<0.23)

8.3 성능평가 실시결과 검토・분석

8.3.1 성능목표 및 성능평가결과 검토・분석

오천터널(하행선) 성능평가 결과

안전성능평가 결과	내구성능평가 결과	사용성능평가 결과
• 상태안전성능 평가결과 → A등급(0.021) • 구조안전성능 평가결과 → A등급(0.14)	• 내구성능 평가결과 → C등급(0.33)	• 사용성능 평가결과 → B등급(0.23)

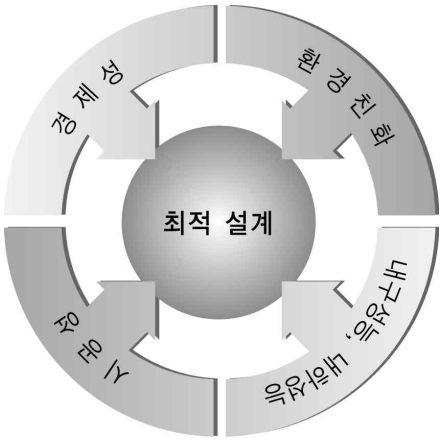
종합평가	B등급
성능목표	B등급
분석결과	오천터널(하행선) 성능평가 실시 결과, 안전성능 평가 A등급, 내구성능 평가 C등급, 사용성능 평가 B등급으로 분석되어 최종 종합평가 등급은 B등급으로 판정되었다. 이는 시설물의 성능평가 목표치와 동급인 B등급으로 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준”인 것으로 분석되었다. 발생된 손상 중 긴급보수를 요하는 손상은 발생하지 않았으며, 콘크리트 라이닝구간 및 포장부에 발생된 손상은 보수를 시행토록하고, 그 외 손상은 주기적인 점검을 통한 관리로 보수를 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

8.4 보수·보강 공법

구조물에 대한 보수는 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경 조건 및 경제성 등에 의해서 보수의 수준을 정한다.

통상 보수는 구조물에 작용한 위해요인에 의해 발생된 구조물의 손상을 치유하는 것을 말하며, 보수를 위해서는 현장조사결과와 상태평가 결과 등을 정밀검토한 후에 보수의 필요성, 공법 및 그 수준을 정한다.

보수 방안 선정의 요건



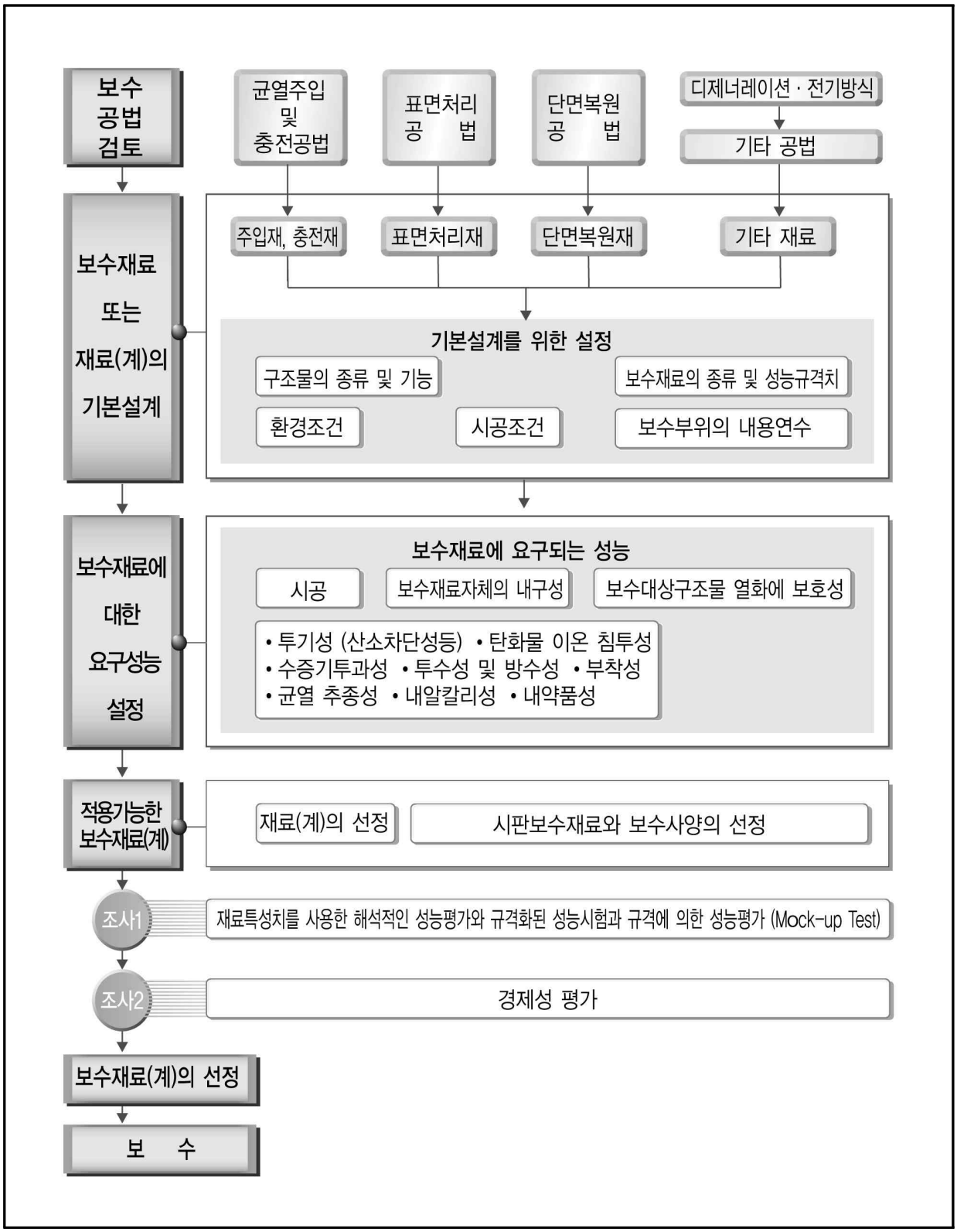
보수 재료 및 공법 선정시 고려사항

내구성능 내하성능	•충분한 내구성 확보가 가능한 보수 방안 •충분한 내하력 확보가 가능한 보강 방안
환경친화	•유해환경요소를 발생시키지 않는 방안 •화재 등 재해의 피해를 최소화 할 수 있는 방안 •미관이 양호한 방안
시 공 성	•시공성의 제약요소를 최소화 할 수 있는 방안 •시공이 간단한 방안 •보수 품질이 확실한 방안
경 제 성	•경제적으로 유리한 방안 •공기를 단축시킬 수 있는 방안 •주변 민원발생을 최소화 할 수 있는 방안

8.4.1 보수재료 선정

가. 개 요

1) 보수재료의 선정 흐름



2) 보수재료의 요건

- 보수재료의 선택은 시공후의 성능과 내구성을 좌우하는 중요한 선택
- 재료의 선택은 물리적, 화학적 특성과 설계자가 요구하는 성능을 만족하는지, 주위의 환경에 적당한지 등의 사항을 고려

나. 보수재료의 종류

1) 균열보수재료

- 균열보수재료의 종류 및 공법

구 분	보수재료의 종류	표면처리공법	주입공법	충전공법
수 지 계 재 료	폴리머 모르터			○
	에폭시수지		○	○
	가소성에폭시수지		○	○
	탄성실링재	○		○
	도막탄성방수재	○		
시멘트계 재 료	폴리머시멘트슬러리		○	
	폴리머시멘트페이스트	○		
	폴리머시멘트모르터			○
	시멘트충전재	○		
	팽창시멘트주입재		○	

무기질계 재료	수지계 재료
•폴리머시멘트슬러리, 폴리머시멘트페이스트, 폴리머시멘트모르터 •시멘트 충전재 •팽창시멘트주입재	•에폭시계 •폴리에스테르계 •폴리우레탄계, 고무, 아스팔트계

2) 콘크리트 구체 처리재

방수성을 개선시키거나 취약한 콘크리트의 표면을 강화시키며, 철근의 부식환경을 개선하는 등의 목적으로 콘크리트 표면에 도포하고 함침시키는 재료

- 구체 처리재의 종류

침투성 흡수방지재	• 콘크리트 표면에 도포 함침하는 것에 의해 콘크리트 표층부에 흡수방지층을 형성하여 외부로부터의 물과 염화물 이온의 침투를 억제하는 재료
침투성 고화재	• 취약한 콘크리트의 표면층을 강화함과 동시에 마감재의 부착성을 개선할 수 있는 재료 사용시 취약층을 완전하게 강화할 필요가 있음
무기질 침투성방수재	• 콘크리트 표층부에 도포하는 것에 의해 재료중의 활성성분이 함침하고, 콘크리트 내부의 물에 용출하고 있는 칼슘이온과 반응해석, 표층부에 치밀한 방수층 형성
침투성 알카리부여재	• 탄산화된 콘크리트에 알카리성을 부여하여 철근을 보호하는 것으로, 콘크리트 표면에 도포하여 그 함침부분의 철근부식을 방지
도포형 방청재	• 염화물을 함유한 콘크리트의 철근부식환경을 개선하는 것으로, 콘크리트 혼화용의 방청재가 전기화학적 효과에 의해 철근의 부식을 억제
폴리머 함침재	• 폴리머계 함침재를 콘크리트에 함침시킨 후 중합조작을 거쳐 경화시키고, 콘크리트의 기공을 충전, 콘크리트 조직을 치밀하게 함과 동시에 내하력 개선효과가 우수

3) 단면 복원재

- 단면복원재는 보수부위의 불건전부를 잘라낸 콘크리트 손상부를 메우기 위해서 사용되는 것으로 바탕콘크리트에 대한 접착성, 열화인자 침입의 억제효과가 기대
- 보수단면이 큰 경우와 구조보수를 하는 경우에는 보수부의 콘크리트와 역학적인 성질이 유사한 단면복원재를 선택하여야 함

- 단면 복원재의 종류

폴리머시멘트 모르터	•SBR계, EVA계, PAE계 등의 폴리머시멘트모르터(방청제첨가제를 포함) 등이 있으며 재유화형 분말수지를 배합한 기 조합제품의 이용이 증가되고 있다
폴리머모르터	•폴리에스테르 수지계, 에폭시 수지계, 아크릴 수지계 등의 폴리머모르터(레진 모르터)등이 있으며, 경량골재를 사용한 것이 많다
시멘트모르터	•보통포틀렌드시멘트, 조강포틀랜드시멘트, 초속경포틀랜드시멘트, 골재, 혼화제 등을 배합한 보통시멘트모르터 또는 콘크리트가 사용된다

4) 철근방청 처리재

- 철근방청처리재는 녹 제거작업이 되어있는 철근에 도포해서 사용되는 것으로 에폭시수지계, 타르 에폭시수지계 등의 방청도료 또는 방청제를 함유한 폴리머시멘트페이스트 및 모르터 등이 사용됨
- 일본의 경우 시스템화된 보수공법으로 최근에는 폴리머의 시멘트계의 비율이 증가하는 추세

항 목	폴리머시멘트계 방청처리재	에폭시수지계 방청처리재
방청성	도장방법 등에 주의가 필요함	경화제의 종류에 따라서 역효과 가능함
부착성, 방수성, 차염성	첨가되는 폴리머의 효과에 의한 것으로 그 종류 및 혼화량에 따라 상이함	수지의 효과에 의한 것으로 폴리머 시멘트계에 비해 성능이 우수함
내화성, 내열성	콘크리트와 같은 정도이나 폴리머의 혼화량이 많으면 내화성이 저하됨	온도가 높게 될수록 변형되기 쉬움

5) 바탕조정 보호재

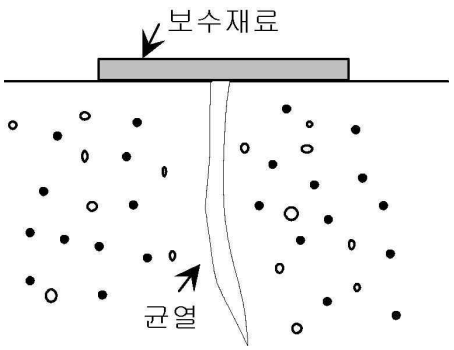
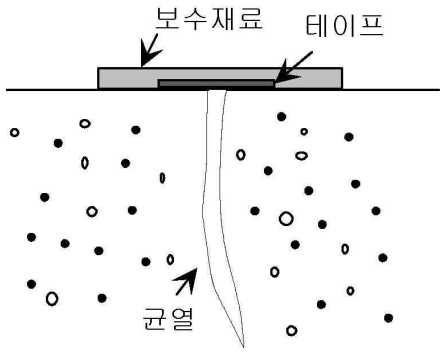
- 바탕조정재는 열화된 표면을 깨어내고, 피복의 부족을 보완하는 것을 주목적으로 사용하였으나, 바탕조정을 겸하여 보호층을 형성시키기 위하여 사용되고 있는 것이 많으며, 단면복원과 상관없이 보호피복이 필요한 곳에도 사용됨
- 바탕조정재의 종류는 단면복원재와 마찬가지로 폴리머시멘트계와 합성수지계가 있다. 바탕조정재는 단면복원재의 기본성능 중 특히 피복으로써의 성능이 중요시 되어 탄산화 방지효과, 차염성, 접착 내구성 등이 중요함

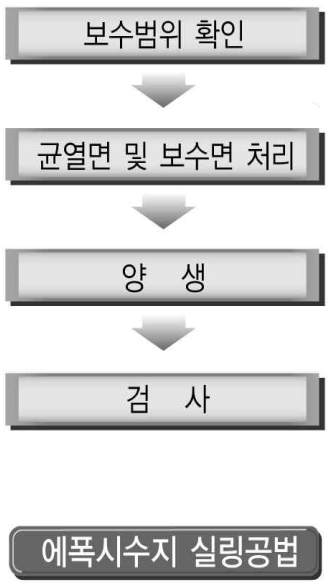
8.4.2 보수공법

가. 균열 보수 공법

1) 표면처리공법

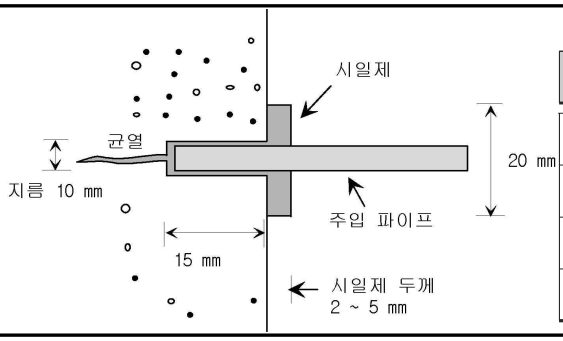
공법 개요	표면처리공법은 미세한 균열(폭 0.2mm이하)위에 도막을 형성하여, 방수성, 내구성을 향상시킬 목적으로 사용하며, 균열부분만을 피복하는 방법과 전면을 피복하는 방법이 있음

비 진행성 균열	진행성 균열
	

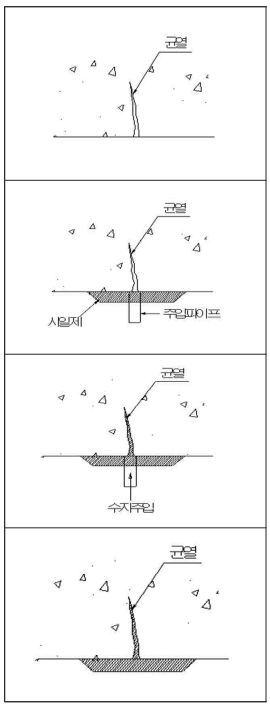


2) 주입공법

공법 개요	주입공법은 균열에 수지계 또는 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 공법으로, 마감재가 콘크리트 모체로부터 들떠 있는 경우에도 적용할 수 있음



균열폭	주입파이프간격
0.3이하	50 ~ 100
0.3 ~ 0.5	100 ~ 200
0.5 ~ 1.0	150 ~ 250
1.0 이상	200 ~ 300

시공순서	시공상세
보수범위 확인 → 균열부위 청소 → 주입용 파이프 설치 → 균열면 씰링 → 주 입 → 파이프, 씰링재 제거 → 모르터 미장마감	

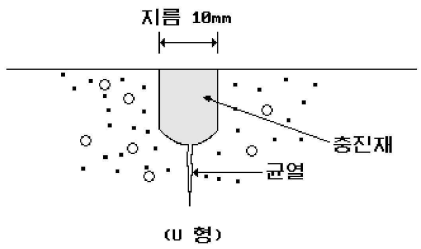
- 바탕처리 : 균열면에 유리석회 및 먼지 제거
- 주입파이프설치 및 씰링 : 주입파이프 사이의 균열부분에 씰링후 1~2일 양생
- 수지주입 : 수동식, 유압식, 자동식 주입법 등으로 주입
- 주입파이프 철거 및 표면마무리

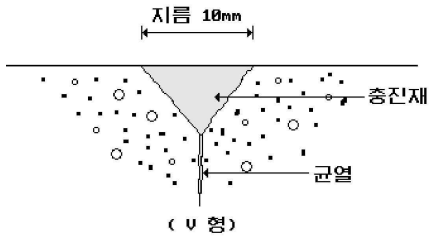
압입식	• 수동식 주입 : 인력 • 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 • 저압/저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 입력
흡입식	• 균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치해 흡입펌프로 충전재를 흡입주입

3) 충전공법

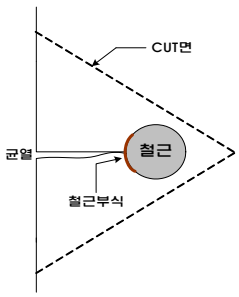
공법 개요	충전공법은 균열의 폭이 0.5㎜ 이상으로 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로, 균열을 따라 모르터 마감 또는 콘크리트를 절단하여, 그 부분에 보수재를 충전하는 방법

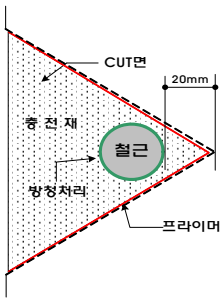
철근이 부식하지 않은 경우





철근이 부식한 경우



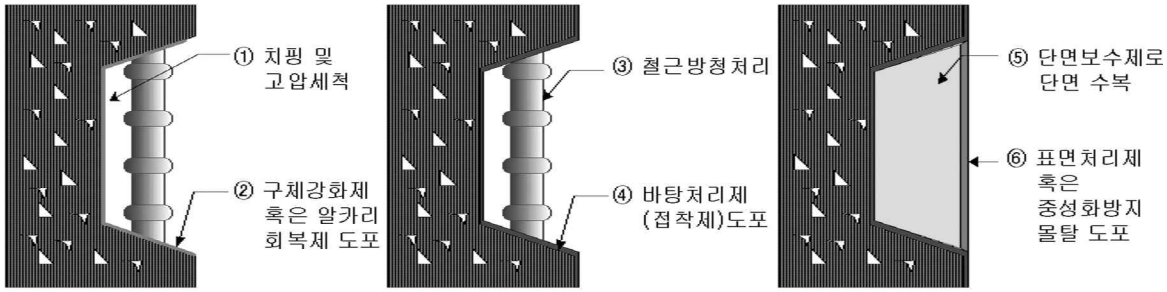


시공순서

나. 단면 보수공법

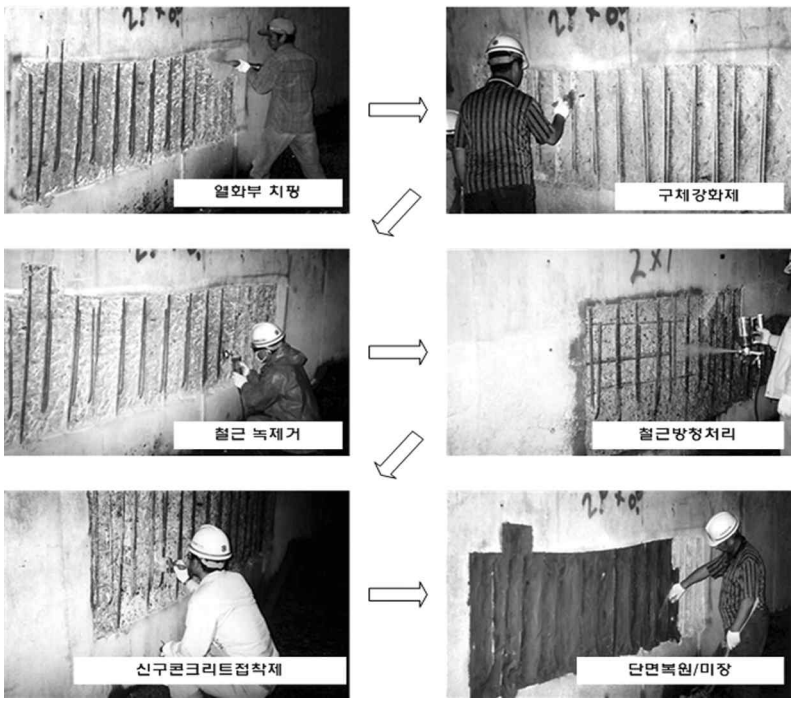
공법 개요	단면보수공법은 콘크리트 구체에 발생된 재료분리, 철근노출, 박리, 박락, 표면열화 등의 손상부위를 제거하고, 철근의 부식이 진행된 경우에는 방청처리를 실시한 후 적절한 보수재료를 통하여 제거된 단면을 원래대로 복원하는 공법

보수 개념도



시공순서

열화부 제거, 치핑
↓
구체강화제 도포 (혹은 알카리회복제 도포)
↓
철근 녹제거 및 방청처리
↓
신구콘크리트 접착제 도포
↓
모르터 수복(단면복원)
↓
미장 및 마감
↓
마무리



8.5 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략제안

8.5.1 보수 개략 공사비

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	㎡	50	38	3순위
	균열(cw=0.3㎜이상)	주입보수	1.5	2.25	m	33	74	2순위
	박리	단면보수	0.12	0.18	㎡	118	21	2순위
	조인트 들뜸	단면보수	0.04	0.06	㎡	118	7	2순위
라이닝 측벽부	파손	단면보수	1.85	2.78	㎡	118	328	2순위
	타일 탈락	타일 재시공	32.0	32.0	EA	62	1,984	3순위
	타일 파손	타일 재시공	12.0	12.0	EA	62	744	3순위
	이격	충진보수	4.0	6.0	m	33	198	2순위
	누수흔적	표면처리	2.15	3.23	㎡	50	162	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	80	1,280	3순위
	덮개 파손	덮개 재설치	101.0	101.0	EA	80	8,080	3순위
	들뜸	단면보수	0.7	1.05	㎡	118	124	2순위
	박리	단면보수	0.09	0.14	㎡	118	17	2순위
	철근부식	단면보수+방청	0.08	0.12	㎡	217	26	1순위
	층분리	단면보수	8.8	13.2	㎡	118	1,558	2순위
	파손	단면보수	1.54	2.31	㎡	118	273	2순위
배수시설	배수구 막힘	청소	3.0	3.0	EA	60	180	2순위
	노견 토사퇴적	청소	148.79	223.19	㎡	3	670	3순위
포장부	균열	재포장	202.3	3,360.0	㎡	180	604,480	1순위
	긁힘	재포장	0.32					
	망상균열	재포장	12.36					
	박리	재포장	3.92					
	파손	재포장	15.03					
개략공사비	구분	1순위		2순위			3순위	
	순공사비	604,506		12,780			12,958	
	제경비(순공사비×50%)	302,253		6,390			6,479	
	합계	906,759		19,170			19,437	
유지보수 개략공사비 총계		945,366						

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

주2)동일부재에서 보수방안을 중심으로 합산하여 개략공사비를 산출하였음.

8.5.2 성능을 고려한 보수 우선순위

구분		비용 (천원)	요소별 가중치			성능별 가중치(EI)			합계 (EI)	우선순위 지수 (PI) EI/Cost	순위
			안전성능 (E1)	내구성능 (E2)	사용성능 (E3)	안전성능 (E1*P1)	내구성능 (E2*P2)	사용성능 (E3*P3)			
라이닝 상태 관련	균 열	112	15.7	50	-	0.1130	0.09	-	0.2030	0.001813	1
	누 수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	파손 및 손상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	박 리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	층분리 및 박락	356	40.3	50	-	0.2901	0.09	-	0.3801	0.001068	2
	재료분리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	철근노출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	줄눈부 열화	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
터널 주변 관련	내공단면 축소여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	배수상태	850	22	-	-	0.1584	-	-	0.1584	0.000186	3
	지반상태	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	공동구상태	11,358	22	-	-	0.1584	-	-	0.1584	0.000014	4
	배면공동 유무	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
지진 발생 관련		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
주행성(포장부손상)		604,480	-	-	100	-	-	0.1	0.1	0.000000	5

주) 성능간 가중치 : P1=72%, P2=18%, P3=10%(일반국도)
주) 공사비는 순공사비임(부대비용, 제잡비 별도)

8.5.3 유지관리 전략 제안

관리주체는 터널의 경제성(교통량, 투입비용, 향후교통량), 검토사항(시공성, 제 3 대상 위험도, 노선, 환경), 사고위험 등을 종합적으로 고려하여 다수의 시설물 중 보수의 우선순위가 높은 시설물을 결정하고, 개별시설물의 비용효과 분석을 통해 선정된 시설물 내의 부재별 보수·보강 우선순위를 결정하여 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

다만, 부재별 우선순위를 선정할 때 부재 내의 손상의 경중을 고려한 것이 아닌, 부재별 총공사비와 해당 부재의 가중치를 비교하여 도출된 결론으로써 부재별 보수·보강의 효율성을 판단하는 것이므로 우선순위가 높은 부재라고 하더라도 그 부재가 중대결함을 포함하고 있다고 할 수는 없다. 그러므로 보수를 실시하고자 할 때 주요 손상에 대해 우선적인 보수를 실시하고, 순위별로 순차적인 보수조치가 필요할 것으로 판단된다.

제 9 장 종합결론

9.1 종합결론

9.2 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

9.1 종합결론

오천터널(하행선)은 경기도 이천시 마장면 회억리~이치리에 위치하며 연장 480m, 폭 9.3m의 2차선 터널로, 종단선형은 시점에서 종점으로 1.7% 경사를 이루고 있다. 터널본선은 NATM으로 시공된 난형식의 터널이며, 시점측 갱문은 면벽식, 종점측 갱문은 원통절개형으로 시공되었고, 2004년 12월에 준공되어 약 16년간 공용중인 터널 구조물이다.

대상시설물에 대한 성능평가를 수행하기 위해 안전성능평가, 내구성능평가, 사용성능평가를 위한 현장조사 및 재료시험을 실시하고, 평가에 필요한 자료검토 등을 종합적으로 분석한 결과는 다음과 같다.

가. 현장조사 및 시험

1) 라이닝

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

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

- 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. 옹벽에 발생된 균열 및 백태의 경우 건조수축 및 온도변화, 공용기간 증가 등에 의한 비구조적 손상로으써 구조물의 사용성 및 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니므로 주의관찰 후 손상의 진전 시 표면처리, 주입보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다. 옹벽에 시공된 수평배수공의 경우 공용기간 증가, 이물질퇴적 등에 의한 배수구 막힘이 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 외관조사 결과, 터널 주변 사면에 초본류 및 목본류의 식생상태는 양호하며, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었다. 다만, 일부구간 식생 및 성토 유실 및 외부배수로 토사퇴적 및 식생이 발생된 것으로 확인되었다. 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

- 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. 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.

5) 포장면

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

나. 성능평가 결과

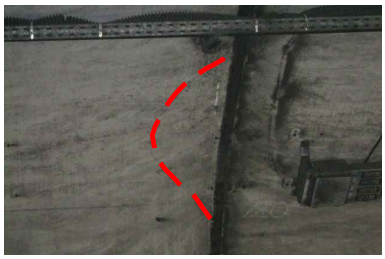
- 상태안전성능 평가결과와 구조검토에 의한 안전성능 평가결과, 내구성능 및 사용성능 평가결과를 종합하여 검토한 결과, “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준”인 B등급으로 평가되었다.

시설물 종합평가 결과				
시설물명	오천터널(하행선)			
평가구분	평가지수	평가결과	성능간 가중치(Wa)	비 고
안전성능 평가 (ps)	0.14	a	0.72	
내구성능 평가 (pd)	0.33	c	0.18	
사용성능 평가 (pu)	0.23	b	0.10	
종합평가 결과	• 터널의 종합평가 지수(P) = Σ 평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn) = 0.14 × 0.72 + 0.33 × 0.18 + 0.23 × 0.10 = 0.183 • 터널의 종합평가 지수(P) : 0.183 • 터널의 종합평가 결과 : B			

9.2 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

본 시설물에 대한 구조의 안전과 직접적인 관련이 있는 손상 및 결함은 발생되지 않았으나, 보수 및 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리가 필요한 사항과 2차 손상 발생이 우려되거나 내구성 저하를 우려하는 손상을 정리하였다.

[표 9.2.1] 일반점검 및 중점사항

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	