

I . 공통편

제 1 장 서 언

제 2 장 외관조사

제 3 장 내구성조사

제 1 장 서 언

1.1 과업의 목적

1.2 과업의 범위 및 내용

1.3 대상 시설물의 개요

1.4 과업수행 흐름도

1.5 사용장비

1.6 구조물 기호 정의

1.7 과업수행일정

제 1 장 서 언

1.1 과업의 목적

본 과업의 목적은 『울릉도 일주도로2 건설공사』현장의 과업대상 구조물에 대하여 “건설기술진흥법 제62조, 시행령 제100조, 제101조, 시행규칙 제59조, 제60조” 규정에 의한 건설공사 안전관리지침 『국토교통부 고시 제2016-718호』에 따라 실시하는 초기점검 용역으로써 외관 조사망도 작성과 시설물 유지관리를 위한 초기치를 구하는 데 있으며, 문제점 발생부위 및 붕괴유발부재 또는 문제점 발생 가능성이 높은 부위 등의 중점 유지관리사항을 파악하고 향후의 점검 및 진단 시 시설물에 대한 안전성 평가의 기준이 되는 초기치와 기초 자료를 제시하는 데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

- 가. 설계도서 및 관련자료의 수집, 검토
- 나. 구조물의 외관상태 조사
- 다. 콘크리트 품질조사·분석 및 내구성 검토
- 라. G.P.R 탐사
- 마. 시설물 상태평가
- 바. 보수/보강 및 유지관리방안 제시
- 사. 종합결론

1.2.2 과업의 내용

본 과업을 수행하기 위하여 실시한 초기점검의 세부내용은 다음 【표 1.2-1】 과 같다.

【표 1.2-1】 과업의 내용

구 분		과 업 내 용
현지 조사		◦ 대상 구조물에 대한 예비답사 및 현황조사
자료수집 및 분석		◦ 실시설계보고서, 설계도면, 구조계산서, 공사시방서 ◦ 기존 정기안전점검 결과 보고서 ◦ 콘크리트 타설현황, 계측현황
현장조사	외관조사	◦ 외관조사망도 작성 ◦ 콘크리트 균열, 누수, 박리·박락, 층분리, 백태, 철근노출 등의 손상 결함 조사
	내구성 조사	◦ 콘크리트 비파괴강도 ◦ 콘크리트 철근배근상태 및 피복두께 조사 ◦ 콘크리트 탄산화깊이 측정
	추가조사	◦ G.P.R 탐사
상태평가		◦ 주요부재별 외관조사 결과분석 ◦ 측정결과와 재료시험 결과의 분석 ◦ 주요 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태등급 지정
보수·보강 방법 제시		◦ 결함의 정도 및 종류에 따른 보수/보강 방안 제시
유지관리방안 제시		◦ 주요 유지관리항목 선정
종합결론		◦ 초기점검 결과의 종합결론 ◦ 유지관리시 특별히 관리가 요구되는 사항

1.3 대상 시설물의 개요

1.3.1 서면1터널 현황

노선명	국가지원지방도 제90호선	시행청	경상북도
위치	경북 울릉군 서면 남양리	공사이정	시점 : STA. 0+060 종점 : STA. 0+519
형식	난형	환기방식	자연환기
연장	459m	도로폭원	8.0m(2차로)
내공단면	62.2m ²	평면선형	R=70.0 ~ R=110.0
종단경사	1.00% ~ -0.50%	편경사	±5.0%
개문형식	시점 : 면벽형, 종점 : 면벽형	연결통로	방향전환소 1개소
주요공법	NATM	보조공법	휘폴링, 강관보강그라우팅

1.3.2 서면2터널 현황

노선명	국가지원지방도 제90호선	시행청	경상북도
위치	경북 울릉군 서면 남양리	공사이정	시점 : STA. 0+610 종점 : STA. 1+230
형식	난형	환기방식	제트팬 (Φ800 고속방식형 2대)
연장	620m	도로폭원	8.8m(2차로)
내공단면	68.7m ²	평면선형	R=96.0 ~ R=150.0
종단경사	4.9% ~ -7.77%	편경사	±5.0%
개문형식	시점 : 면벽형, 종점 : 면벽형	연결통로	방향전환소 1개소
주요공법	NATM	보조공법	휘폴링, 강관보강그라우팅

1.3.3 북면터널 현황

노선명	국가지원지방도 제90호선	시행청	경상북도
위치	경북 울릉군 북면 천부리	공사이정	시점 : STA. 2+475 종점 : STA. 3+058
형식	난 형	환기방식	자연환기
연장	583m	도로폭원	8.8m(2차로)
내공단면	68.7m ²	평면선형	R=110.0 ~ R=450.0
종단경사	1.00% ~ -1.00%	편경사	±2.0%
개문형식	시점 : 면벽형, 종점 : 면벽형	연결통로	방향전환소 1개소
주요공법	NATM	보조공법	휘폴링, 강관보강그라우팅

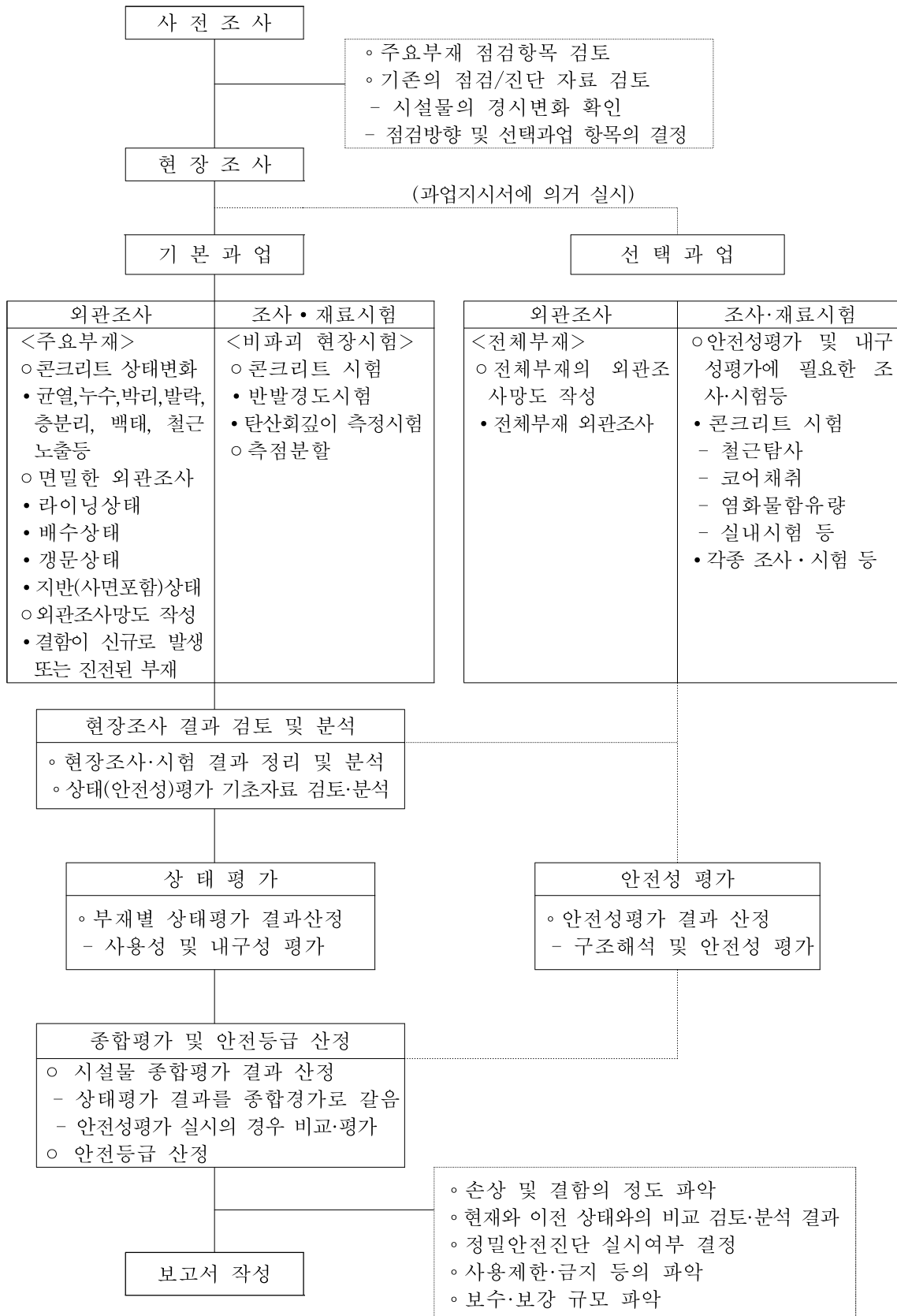
1.3.4 6지구 2구간 옹벽 현황

시설물 번호	-		관리번호	-		
시설물명	6지구 2구간 옹벽		시설물 구분	2중 옹벽		
위 치	행정구역	경상북도 울릉군 북면 천부리				
	공사이정	시점	STA.0+200	종점	STA.0+800	
제 원	옹벽형식	역T형(콘크리트 옹벽)				
	연 장(m)	600.0		지면노출높이(m)	3.0~8.0	
	저판폭(m)	1.9~5.6		노 선	울릉순환로	
관리주체	-		관리주체구분	-		
주변환경	전면	해안				
	배면	도로(울릉순환로)				
시 공 현 황	준공년도	-		시공자	대림산업(주)	
	설계사	(주)동성엔지니어링 외		감리사	(주)수성엔지니어링 외 2개사	
	부대시설	-				
비 고						

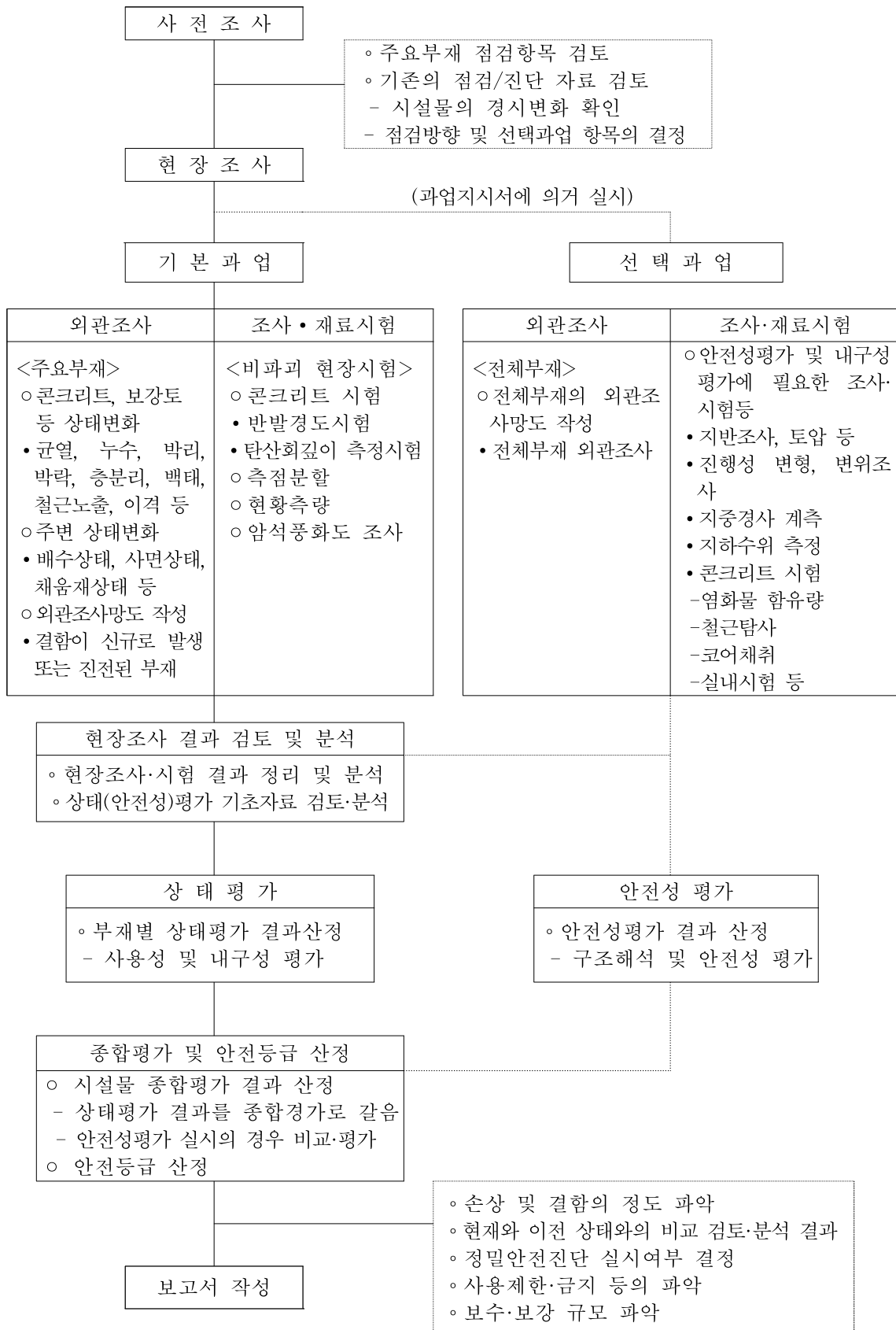
1.3.5 위치도



1.4 과업수행흐름도



[그림 1.4-1] 터널 과업수행 흐름도



[그림 1.4-2] 용벽 과업수행 흐름도

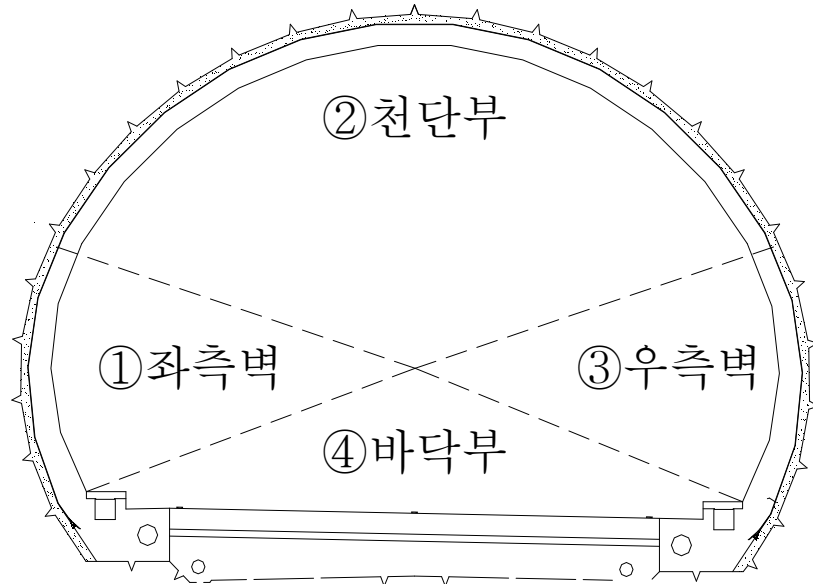
1.5 사용장비

구 분	장 비 명	규 격	제 조 사 (제 조 국)	Serial Number	용 도	비 고
콘크리트 강도	Schmidt Hammer	NR-10	Proceq (스위스)	28191	반발경도에 의한 강도 측정	
철근 탐사	RC-RADAR	NJJ-95A	JRC (일본)	ED72471	철근배근 및 피복두께조사	
탄산화 측정	Conkit	-	-	-	탄산화 깊이 측정	
콘크리트 균열측정	균 열 경	PEAK 2028	PEAK	-	균열폭 측정	
제원조사	버니어 캘리퍼스	CD-15APX	Mitutoyo (일본)	A16019562	제원확인 확인 균열폭 측정	
고소차	고소차 렌탈장비	-	-	-	외관조사 및 비파괴 시험 접근장비	

1.6 구조물 기호정의

1.6.1 터널

금번 조사에서 조사결과의 표기에 대한 일관성을 위해 터널의 기호는 터널 표준시방서(대한 터널협회, 1999)를 참고하여 다음과 같이 표기하였다.



- 천단(Crown Line) : 좌·우측 어깨의 중심으로 터널의 최고점
- 천장부(Crown) : 터널 천단을 포함한 좌·우 어깨사이의 구간
- 측벽부(Wall) : 터널스프링 라인에서 바닥부까지 이르는 구간
- 스프링라인(Spring Line) : 터널단면에서 최대 폭을 형성하는 점 가운데 최상부의 점을 종방향으로 연결하는 선
- 어깨(Shoulder) : 터널의 천단과 스프링라인(SL)의 중간점
- RC : 우측 천장부(우측어깨에서 천단까지의 구간)
- LC : 좌측 천장부(좌측어깨에서 천단까지의 구간)
- RW : 우측벽부(터널진행방향으로 우측SL에서 바닥사이의 구간)
 - RW_U : 우측벽 상부(터널진행방향으로 우측어깨에서 우측SL 사이의 구간)
 - RW_L : 우측벽 하부(터널진행방향으로 우측SL에서 바닥사이의 구간)
- LW : 좌측벽부(터널진행방향의 좌측SL에서 바닥사이의 구간)
 - LW_U : 좌측벽 상부(터널진행방향으로 좌측어깨에서 좌측SL 사이의 구간)
 - LW_L : 좌측벽 하부(터널진행방향으로 좌측SL에서 바닥사이의 구간)

1.6.2 옹벽

본 과업을 수행함에 있어서 표기의 효율성과 통일성을 기하기 위하여 다음과 같이 기호 및 일련번호를 부여하였다. 부재별 기호는 시점을 기준으로 옹벽별로 블록을 설정한 후 Span 번호를 부여하였다. 옹벽의 시·종점은 옹벽별로 외관조사 부분에 명시하였다.

구 분	사 용 기 호	비 고
스판	SPAN	스판
높이	H	노출높이

1.7 과업수행일정

- 과업기간 : 2021. 12. 11 ~ 2022. 03. 31



제 2 장 외 관 조 사



2.1 개 요

2.2 상태평가 기준

2.3 터널의 부재별 상태평가 기준 및
산정절차

2.4 옹벽의 상태평가기준 및 산정절차



제 2 장 외 관 조 사

2.1 개 요

대상 구조물의 결함 및 손상은 내적, 외적으로 구분되어지나 대부분의 열화현상들이 외적으로 표출되므로 외관조사는 구조물의 상태파악을 위하여 대단히 중요한 진단요소이다. 따라서 외관조사는 점검장비 및 보조기구를 이용하여 모든 구조요소에 근접한 상태에서 외관조사를 실시하여야 하며 향후 유지관리가 용이하도록 외관조사망도를 작성하여 기록·보존하여야 한다.

균열 현미경이나 점검망치 등의 간단한 도구와 육안점검에 의해 실시되는 외관조사는 구조물의 안전성과 사용성을 확보하기 위해 선행되는 상태평가 조사이다. 이 외관조사의 목적은 재료의 불균일, 시공의 부적절, 환경의 영향 및 구조성능 미흡으로 인하여 발생될 수 있는 구조물의 성능저하 현상의 조기탐지 및 이에 대한 억제 대책을 유도하고 나아가 합리적인 유지관리 대책과 보수·보강 대책을 수립하여 내구성 및 내하력 증진을 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

본 점검대상 터널 및 옹벽의 외관조사는 각 부재별로 각각 나누어 직접, 접근장비(점검차 및 사다리 등) 등을 이용하여 대상 부위에 가능한 근접하여 조사를 실시하였다. 점검대상 부위는 육안관찰을 기본으로 하여 실시하였으며 필요한 경우 망원경, 균열자, 균열확대경, 줄자 등을 이용하였고 카메라를 이용하여 손상현황을 파악하였다. 외관조사 시 손상 또는 결함의 정도를 육안점검에 의하여 실시하였기 때문에 조사자의 주관적인 판단 등에 의해 발생하는 차이를 최소화하기 위하여 국토교통부에서 발행한 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침」을 기준으로 손상정도는 a, b, c, d, e의 5가지 등급으로 분류하여 적용하였고, 점검항목의 체계화를 위하여 구조물 항목별로 평가를 실시하였다.



고소작업차를 이용한 외관조사



고소작업차를 이용한 외관조사

2.2 상태평가 기준

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 상태평가 기준에 따라 실시해야하며, 정확한 상태평가를 하기 위해서는 평가부위의 노후화 및 파손의 정도뿐만 아니라 그 발생원인과 평가부위 주위의 전반적인 상태를 고려하여 구조물 전체에 미치는 영향을 평가하여야 한다. 외관조사 상태에 대한 판정기준은 국토교통부 및 한국시설안전기술공단에서 제시한 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(터널편, 옹벽편 2021. 12. 국토교통부)에 준하여 적용하였다.

【표 2.2-1】 상태평가등급 기준

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

- 1) A, B, C, D, E : 점검부재의 손상정도에 따라 상태가 양호한 경우인 A등급에서 손상이 심한 경우인 E등급까지 손상의 정도에 따라 5등급으로 구분한다. 이에 대한 자세한 평가기준은 점검부재별로 세분한다.
- 2) Q : 점검부재에 대해서 접근이 불가능한 경우 등급 Q를 사용하여 점검되지 않은 부재임을 표시하고, 반드시 향후 실시하는 점검 시에 접근장비를 동원하여 점검한다.
- 3) X : 점검대상 시설물에 해당 점검부위가 없을 경우 등급 X를 사용하여 점검의 필요성이 없음을 표시한다.

2.3 터널 부재별 상태평가기준 및 산정절차

2.3.1 터널주요 점검항목

【표 2.3-1】 터널주요 점검항목

구 분	조 사 부 재	조 사 항 목	비 고
입 · 출 구 부	갱구부	• 벽체균열 및 누수상태조사 • 콘크리트 박리, 박락 상태조사 • 기타 콘크리트 열화상태 조사	<점검장비> • 균열경 • 망치 • 랜턴 • 줄자 • 카메라 • 고소작업차
	비탈면 (주변사면)	• 수목, 식생 상태조사 • 사면의 절리방향, 낙석 유무 조사 • 지하수 유출 • 배수로 및 우수로 상태조사	
본 터 널	측벽 및 천단	• 청소상태 • 균열, 단차, 누수상태 • 시공이음부 누수 및 손상상태 • 박리, 박락 및 변형조사 • 망치타격에 의한 공동발생 유무 • 타일의 변형 및 들뜸	
	배수시설	• 배수상태 및 청소상태 • 배수구 덮개 망실 및 파손	
	바닥면	• 포장면 요철, 균열, 함몰 • 포장층의 파손 및 보수상태 • 용수로 인한 손상 • 부풀음 상태조사	
기 타	인도부	• 균열상태조사 • 파손발생유무	
	소화설비	• 소화전 표시등 작동 여부 및 격납 상태	
	안전간판	• 안전 표지판 설치현황 및 파손 유무	
	조명시설	• 조명시설 점등 및 부점등 여부 • 등기구의 파손 및 청소유무	

2.3.2 터널의 상태평가 기준

가. 터널별 결함점수 및 결함지수 산정기준

터널분류에 따른 터널별 상태평가를 위한 결함등급 및 결함점수화 결함지수 산출방법은 다음과 같다.

여기서, 라이닝 결함지수는 터널주변 항목점수를 제외한 라이닝만의 결함점수인 총점36점(조적식, 무근콘크리트:26점)으로 계산되며, 터널 결함지수는 라이닝의 결함점수 및 터널주변 결함점수를 모두 합한 총점 42점(조적식, 무근콘크리트:32점)으로 계산하여 상태평가등급을 산정한다.

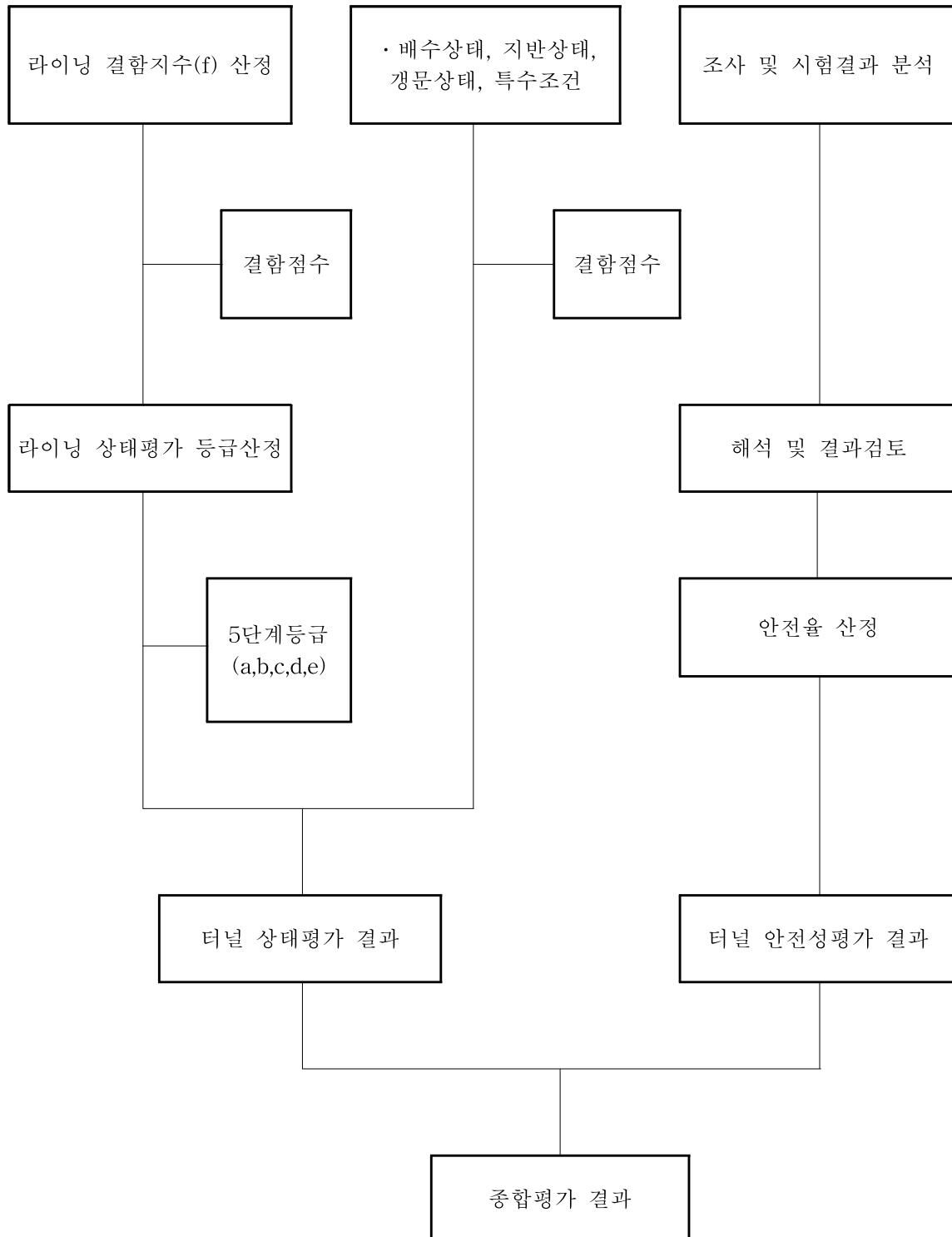
본 과업 대상 구조물은 NATM형식이며, 상태평가를 판정하기 위해 무근콘크리트 라이닝 터널을 기준으로 상태평가를 실시한다.

· NATM터널(철근콘크리트 라이닝)

결 함 등 급		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	1~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누 수	1	2	3	4	5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질 열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박 락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		중 성 화	0	1	2	3	4
염 화 물	0	1	1	2	2		
터 널 주 변	배수상태	오 염 됨 : 1					
		배수불량 또는 막힘 : 2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갱문상태	손 상 : 1					
특수조건		전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					
$\text{라이닝 결함지수 (f)} = \frac{\sum \text{결함점수}}{36}, \text{터널결함지수 (F)} = \frac{\sum \text{결함점수}}{42}$							

나. 상태평가 등급 산정절차

터널 상태평가 등급은 라이닝 상태평가와 터널주변 상태평가를 종합하여 결정하며, 안전성 평가 결과중 최저 등급을 터널 종합평가 결과로 결정한다. 평가 과정은 다음과 같다.



다. 상태평가 결과 산정

1) 제1단계 : 라이닝 결함지수(f) 산정

① 라이닝 SPAN별 평가항목에 대해 최저등급의 결함점수를 부여한다.

균열의 결함점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.

② 라이닝 SPAN별 결함지수를 구한다

③ 라이닝 전체에 대한 결함지수(f)를 구한다. 이때에 라이닝 SPAN별 평가항목에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 라이닝 상태평가 등급 산정

① 라이닝 SPAN별 평가항목과 결함지수에 대한 등급을 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.

② 라이닝 전체의 평가항목(산술평균값)과 결함지수(f)에 대한 등급을 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.

3) 3단계 : 터널 주변 상태 결함점수 산정

① 터널 주변 상태에 대한 배수, 지반, 갯문상태의 결함점수를 부여한다.

② 특수조건에 해당 될 경우에는 추가점수를 부여한다. 터널결함지수(F) 산정시 분모에 대한 영향은 고려하지 않는다.

4) 제4단계 : 터널 상태평가등급 산정

① 제1단계의 라이닝 결함지수(f) 산정시 사용한 평가항목별 결함점수 산술평균값과, 제3단계의 터널 주변상태 평가 결함점수를 합한다.

② 터널 결함지수(F)를 산정하고, 터널 상태평가 등급을 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

③ 터널 상태평가등급 산정

- A등급 : 터널 결함지수(F) $0.00 \leq F < 0.15$

- B등급 : 터널 결함지수(F) $0.15 \leq F < 0.30$

- C등급 : 터널 결함지수(F) $0.30 \leq F < 0.55$

- D등급 : 터널 결함지수(F) $0.55 \leq F < 0.75$

- E등급 : 터널 결함지수(F) $0.75 \leq F$

2.4 옹벽의 상태평가기준 및 산정절차

2.4.1 결함점수 및 결함지수 산정기준

1) 콘크리트 옹벽

결 함 등 급		a	b	c	d	e		
		0 ≤ f < .15	.15 ≤ f < .30	.30 ≤ f < .55	.55 ≤ f < .75	.75 ≤ f		
침 하		0	1	2	3	4		
활 동		0	1	2	3	4		
배수공상태		0	3	6	9	12		
계획선형오차 (전도/경사)		0	1	2	3	4		
파손 및 손상(재료분리)		0	1	2	3	4		
균 열		0	2	4	6	8		
마모/침식		0	0	1	1	1		
재료 열화	박 리	0	0	1	1	2		
	박락 및 충분리	0	1	2	3	4		
	백태	0	0	1	1	1		
	탄산화	0	1	2	3	4		
	염화물	0	1	1	2	4		
	철근노출	0	1	2	3	4		
세 굴		0	4	8	12	16		
주변영향 인자	배수시설	배수시설이 양호할 경우 : 0, 배수시설이 없거나 불량할 때 : 1						
	사면조사	사면구배	적절	0	부적절	1		
		낙석흔적	미발생	0	발생	1		
		침출수	무	0	유	1		
철근콘크리트 옹벽 결함지수 (F)			①	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{76}$		②	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{60}$	
중력식 옹벽 결함지수(F)			①	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{64}$		②	$\frac{\Sigma \text{결함점수}}{48}$	

※ 철근이 포함되지 않은 구조물은 철근노출, 염화물, 탄산화 항목 제외

※ 세굴 발생이 가능한 부위가 불투수 처리(아스콘, 콘크리트 포장)가 되었을 경우 ②번 산정식을 사용.

※ 콘크리트 옹벽의 누수에 대한 평가는 철근콘크리트 옹벽에 한하여 실시하며, 평가단위당 균열폭 최대점을 기준으로 균열깊이 측정을 실시하여 균열깊이가 콘크리트 피복보다 클 경우에 결함점수를 한 단계 하향 조정한다.

※ 주변영향인자 평가항목 중 사면조사는 절토사면 및 사면 보호시설물에 해당하여 실시하며, 해당 시설물이 아닌 경우에는 평가식의 분모를 3점 감산하여 계산한다.

2) 보강토 옹벽

결 합 등 급		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
침 하		0	0	1	1	2
계획선형오차 (전도/경사)		0	0	1	1	2
활 동		0	1	2	3	4
전면부 진행성 배부름		0	2	4	6	8
파손, 손상 및 균열		0	1	2	3	4
유 실		0	2	4	6	8
이 격		0	1	2	3	4
세 굴		0	4	8	12	16
주변영향 인자	배수시설	배수시설이 양호할 경우 : 0, 배수시설이 없거나 불량할 때 : 1				
	사면조사	사면구배	적절	0	부적절	1
		낙석흔적	미발생	0	발생	1
		침출수	무	0	유	1
보강토 옹벽 결합지수 (F)		①	$\frac{\Sigma \text{결합점수}}{52}$		②	$\frac{\Sigma \text{결합점수}}{36}$

※ 세굴 발생이 가능한 부위가 불투수 처리(아스콘, 콘크리트 포장)가 되었을 경우 ②번 산정식을 사용

※ 전면판에 발생한 균열은 파손으로 처리함.

※ 주변영향인자 평가항목 중 사면조사는 절토사면 및 사면 보호시설물에 해당하여 실시하며, 해당 시설물이 아닌 경우에는 평가식의 분모를 3점 감산하여 계산한다.

2.4.2 옹벽시설물의 상태평가기준

상태평가기준	시설물의 상태평가 내용	비고
A	$0.00 \leq F < 0.15$	F = 옹벽결합지수
B	$0.15 \leq F < 0.30$	
C	$0.30 \leq F < 0.55$	
D	$0.55 \leq F < 0.75$	
E	$0.75 \leq F$	

2.4.3 상태평가 항목별 세부기준

[표 2.4-1] 침하의 상태평가 기준 (콘크리트 옹벽)

평가기준 (결함점수)	최대 침하량의 범위		조사된 상태
	비진행성	진행성	
a (0)	5cm미만	2cm미만	- 침하가 발생되지 않은 상태
b (1)	5cm이상 ~ 8cm미만	2cm이상 ~ 5cm미만	- 부분적으로 경미한 침하가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c (2)	8cm이상 ~ 12cm미만	5cm이상 ~ 8cm미만	- 침하의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d (3)	12cm이상 ~ 16cm미만	8cm이상 ~ 12cm미만	- 침하의 정도가 심각하여 옹벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠수 있는 상태
e (4)	16cm이상	12cm이상	- 침하의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

[표 2.4-2] 침하의 상태평가 기준 (보강토 옹벽)

평가기준 (결함점수)	최대 침하량의 범위		조사된 상태
	비진행성	진행성	
a (0)	5cm미만	3cm미만	- 침하가 발생되지 않은 상태
b (1)	5cm이상 ~ 10cm미만	3cm이상 ~ 8cm미만	- 부분적으로 경미한 침하가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c (2)	10cm이상 ~ 20cm미만	8cm이상 ~ 16cm미만	- 침하의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d (3)	20cm이상 ~ 30cm미만	16cm이상 ~ 25cm미만	
e (4)	30cm이상	25cm이상	- 침하의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

[표 2.4-3] 계획선형 오차(전도/경사)의 상태평가 기준 (콘크리트 옹벽)

평가기준 (결함점수)	최대기울기의 범위		조사된 상태
	비진행성	진행성	
a (0)	2%미만	1%미만	- 경사/전도가 발생되지 않은 상태
b (1)	2%이상 ~ 3%미만	1%이상 ~ 2%미만	- 부분적으로 경미한 경사/전도가 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c (2)	3%이상 ~ 4%미만	2%이상 ~ 3%미만	- 경사/전도의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d (3)	4%이상 ~ 6%미만	3%이상 ~ 4%미만	- 경사/전도의 정도가 심각하여 옹벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠 수 있는 상태
e (4)	6%이상	4%이상	- 경사/전도의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

[표 2.4-4] 활동의 상태평가 기준 (공통적용)

평가기준 (결함점수)	최대 활동의 범위		조사된 상태
	비진행성	진행성	
a (0)	5cm미만	2cm미만	- 활동이 발생되지 않은 상태
b (1)	5cm이상~ 8cm미만	2cm이상~ 5cm미만	- 부분적으로 경미한 활동이 발생한 상태이나 근본적인 보수는 필요하지 않은 상태
c (2)	8cm이상~ 12cm미만	5cm이상~ 8cm미만	- 활동의 정도가 보통정도이나 지속적인 관찰로 진행성을 감시할 정도의 상태
d (3)	12cm이상~ 16cm미만	8cm이상~ 12cm미만	- 활동의 정도가 심각하여 옹벽의 구조적인 안정에 심각한 영향을 미칠수 있는 상태
e (4)	16cm이상	12cm이상	- 활동의 정도가 아주 심하고 광범위하게 발생하여 구조적인 안정을 상실할 수 있는 위험한 상태

[표 2.4-5] 파손 및 손상, 재료분리의 상태평가 기준 (콘크리트 옹벽)

평가기준 (결함점수)	깊이	면적율 10%미만	면적율 10%이상
a (0)	없음	a	a
b (1)	0mm~5mm 미만	b	c
c (2)	5mm~10mm 미만	c	d
d (3)	10mm~20mm 미만	d	e
e (4)	20mm 이상	e	e

[표 2.4-6] 기초부 세굴 상태평가 기준(공통적용)

평가기준 (결함점수)	조사된 상태	
	콘크리트 옹벽	보강토 옹벽
a (0)	- 세굴이 전혀 발생하지 않은 상태	- 세굴이 전혀 발생하지 않은 상태
b (4)	- 세굴이 (지표면에서 현치하부/2) 부분까지 발생한 상태	- (근입깊이/4)의 각각의 위치까지 세굴이 발생한 상태
c (8)	- 세굴이 저판의 현치하부까지 발생한 상태	
d (12)	- 세굴이 (저판의 최대두께/2) 부분까지 발생한 상태	
e (16)	- 세굴이 기초저면까지 발생한 상태	- 세굴이 기초저면까지 발생한 상태

[표 2.4-7] 마모/침식의 상태평가 기준(콘크리트 용벽)

평가기준 (결함점수)	조사된 상태
a (0)	- 침식/마모된 부위가 없는 양호한 상태
b (0)	- 침식/마모에 의해 골재가 노출된 상태
c (1)	- 상, 하부와 비교해서 단면(철근덮개)이 감소되기 시작한 상태 (다소 심한상태)
d (1)	- 철근덮개가 탈락되고 철근이 부분적으로 노출되어 부식이 발생한 상태(심한상태)
e (2)	- 침식부위의 철근이 완전히 노출되어 구조적인 기능을 상실한 상태 (매우 심한상태)

[표 2.4-8] 박락 및 층분리의 상태평가 기준 (콘크리트 용벽)

평가기준 (결함점수)	조사된 상태	면적율 20% 미만	면적율 20% 이상
a (0)	없음	a	a
b (1)	15mm 미만	b	c
c (2)	15mm~20mm 미만	c	d
d (3)	20mm~25mm 미만	d	e
e (4)	25mm 이상	e	e

[표 2.4-9] 박리의 상태평가 기준 (콘크리트 용벽)

평가기준 (결함점수)	조사된 상태	면적율 20% 미만	면적율 20% 이상
a (0)	없음	a	a
b (0)	0.5mm 미만	b	c
c (1)	0.5mm~1.0mm 미만	c	d
d (1)	1.0mm~25mm 미만	d	e
e (2)	25mm 이상이거나 조골재 손실	e	e

[표 2.4-10] 균열의 상태평가 기준 (콘크리트 용벽)

평가기준 (결함점수)	최대균열폭	면적율 20%미만	면적율 20% 이상 또는 구조적 균열
a (0)	0.1mm 미만	a	a
b (2)	0.1~0.2mm 미만	b	c
c (4)	0.2~0.3mm 미만	c	d
d (6)	0.3~0.5mm 미만	d	e
e (8)	0.5mm 이상	e	e

[표 2.4-11] 백태의 상태평가 기준 (콘크리트 용벽)

평가기준 (결함점수)	조사된 상태
a (0)	- 없음
b (0)	- 국부적으로 발견
c (1)	- 여러곳에서 발견
d (1)	- 심한상태
e (1)	- 매우 심하고 범위가 매우 넓은 상태

[표 2.4-12] 탄산화 잔여 깊이의 상태평가 기준 (콘크리트 용벽)

평가기준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	- 30mm 이상	탄산화에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	- 10mm 이상 ~ 30mm 미만	향후 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성 있음
c	- 0mm 이상 ~ 10mm 미만	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 있음
d	- 0mm 미만	철근부식 발생
e	-	-

[표 2.4-13] 철근노출의 상태평가기준 (콘크리트 옹벽)

평가기준 (결함점수)	철근노출 면적율
a (0)	0%
b (1)	0 ~ 1% 미만
c (2)	1 ~ 3% 미만
d (3)	3 ~ 5% 미만
e (4)	5% 이상

[표 2.4-14] 배수공 상태의 상태평가 기준 (콘크리트 옹벽)

평가기준 (결함점수)	조사된 상태
a (0)	- 배수공 내부가 우천시마다 맑은 물이 흘러서 깨끗한 상태
b (3)	- 배수공 내부가 우천시마다 세립토가 섞여서 배수된 흔적이 있는 상태
c (6)	- 배수공 내부가 우천시마다 조립토가 섞여서 배수된 흔적이 있는 상태
d (9)	- 배수공 내부에 전혀 배수된 흔적이 없고 거미줄이나 기타 이물질이 있는 상태
e (12)	- 배수공을 전혀 설치하지 않은 경우

[표 2.4-15] 진행성 배부름 상태평가 기준 (보강토 옹벽)

평가기준 (결함점수)	조사된 상태
a (0)	- 건전한 비진행성 상태
b (2)	- 경미하게 발생한 비진행성 상태
c (4)	- 경미하게 발생한 진행성 상태
d (6)	- 심하게 발생하여 구조적인 안정에 영향을 줄 정도의 진행성 상태
e (8)	- 매우 심하게 발생하여 경사가 발생하고 구조적인 안정에 크게 영향을 줄 정도의 진행성 상태

[표 2.4-16] 파손 및 손상, 균열의 상태평가 기준 (보강토 옹벽)

평가기준 (결합점수)	조사된 상태
a (0)	- 부재에 파손이 발생하지 않은 건전한 상태
b (1)	- 파손이 경미하고 추가적인 손상진행의 가능성이 없는 양호한 상태
c (2)	- 파손이 경미하지만, 다른 추가적인 손상진행의 가능성이 있는 보통의 상태
d (3)	- 시설의 주요부에 부분적인 파손이 발생하여 제체의 안전성이 저하되거나, 손상의 진행에 따라 손상규모가 확대될 위험이 있는 심각한 상태
e (4)	- 시설의 주요부에 큰 파손이 발생하여 시설의 기능상실, 안전성 결여 또는 파괴로 이어질 수 있는 위험한 상태

[표 2.4-17] 이격 상태평가 기준 (보강토 옹벽)

평가기준 (결합점수)	조사된 상태
a (0)	- 건전한 상태
b (1)	- 평가단위에서 1개소 이하로 발생한 상태
c (2)	- 평가단위에서 3개소 이하로 발생한 상태
d (3)	- 평가단위에서 4개소 이하로 발생한 상태
e (4)	- 평가단위에서 5개소 이상 발생한 상태

[표 2.4-18] 유실 상태평가 기준 (보강토 옹벽)

평가기준 (결합점수)	조사된 상태
a (0)	- 건전한 상태
b (2)	- 평가단위에서 1개소 이하로 발생한 상태
c (4)	- 평가단위에서 3개소 이하로 발생한 상태
d (6)	- 평가단위에서 4개소 이하로 발생한 상태
e (8)	- 평가단위에서 5개소 이상 발생한 상태



제 3 장 내구성 조사



3.1 개요

3.2 콘크리트 강도

3.3 철근배근 탐사

3.4 탄산화깊이 측정

3.5 터널 배면공동 조사



제 3 장 내구성 조사

3.1 개요

초기점검시 실시하는 필수적인 내구성조사 항목을 시행함으로써 초기점검 현장조사 범위 및 내용이 일정수준 이상이 유지되도록 점검결과에 의한 시설물의 상태 또는 안전성 평가가 객관적이며 보편타당하게 이루어질 수 있는 기초자료확보가 되도록 하였다. 본 과업시 시행된 내구성 평가 항목으로는 콘크리트 강도조사, 철근배근 탐사, 터널 배면공동 조사를 시행하였으며, 이를 토대로 구조물 구성재료인 철근 콘크리트의 역학적·화학적 특성을 체계적으로 규명하고 도출된 결과를 비교·분석·평가하여 구조물의 내구성과 사용성을 검토하고 상태평가, 보수·보강제시 및 유지관리제시의 기초자료로 활용될 수 있도록 하였다.

3.2 콘크리트 강도조사

3.2.1 개요

슈미트 해머에 의한 반발경도법은 경화된 콘크리트 표면을 타격시 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다. 초음파법은 콘크리트 내부를 통과하는 초음파(Ultra Sonics)의 속도가 콘크리트의 상태, 내구성, 균질성, 강도 등의 영향에 따라 각기 다르게 나타나는 경험적인 결과를 이용한 비파괴 시험법이다. 반발경도법과 초음파법에 의한 비파괴강도 조사를 병행한 조합법을 이용함으로써 보다 정확한 강도를 추정할 수 있도록 하였다.

가. 반발경도법

1) 개요

본 시험법은 일반적으로 슈미트햄머법이라고도 하며, 슈미트햄머(Schmidt Hammer)로 콘크리트의 표면을 타격하여 콘크리트 표면의 경도로부터 압축강도를 추정하는 방법으로, 압축강도를 추정하는 과정에서 측정방법, 적용가능한 강도범위, 판정의 평가방법등에 대해 고려하여야 한다.

2) 반발경도(R)

측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격 3cm를 표준으로 종,횡으로 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도값의 산술 평균값을 구한다. 산술평균값에 대해 각 반발경도의 값이 $\pm 20\%$ 의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다.

3) 보정반발경도(R_o)

보정반발경도 R 은 식(3.1)과 같이 측정경도 R 에 보정값을 더한 값으로 한다.

$$R_o = R + \Delta R1 + \Delta R2 + \Delta R3 \quad \text{식 (3.1)}$$

여기서, $\Delta R1$: 타격방향에 따른 보정값

$\Delta R2$: 압축응력에 따른 보정값

$\Delta R3$: 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

① 타격방향에 따른 보정값

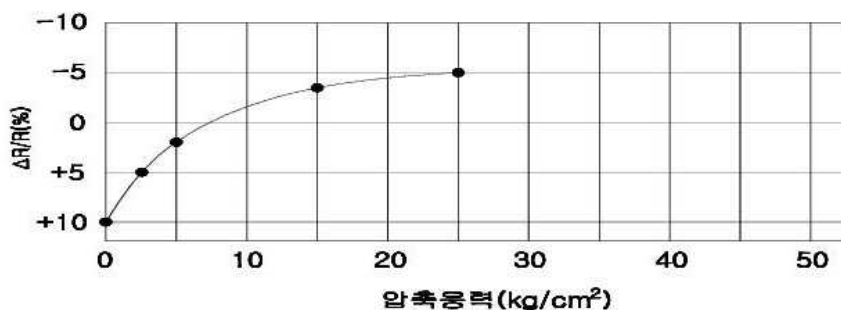
수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 한다. 반발경도 보정치는 【표 3.2-1】과 같다. 하향 타격(-90°)의 경우에는 슈미트 해머 내부의 해머중량에 의해서 실제보다 반동량이 작아지므로 +값으로 수정해 주고, 상향의 타격($+90^\circ$)의 경우에는 반대현상에 의해서 -값으로 수정해 주어야 한다.

【표 3.2-1】 타격방향에 따른 보정계수

반발경도 R	보정치 $\Delta R1$			
	상향		하향	
	$+90^\circ$	$+45^\circ$	-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	-2.0	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.7	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

② 압축응력에 따른 반발경도의 보정

타격방향과 직각방향으로 압축응력을 받는 부재는 압축응력이 커짐에 따라 반발경도에 의한 압축강도가 실제보다 커진다는 사실이 시험결과 입증되었다. 그 크기는 【그림 3.2-1】와 같이 대략 압축응력이 10kgf/cm^2 인 경우 $\Delta R2 = -0.015R$, 25kgf/cm^2 인 경우 $\Delta R2 = -0.05R$ 이다.



【그림 3.2-1】 압축응력에 따른 반발경도의 보정곡선

③ 콘크리트 습윤상태에 따른 보정

콘크리트 표면이 습윤상태에 있으면 건조상태 보다 반발도가 작게 나오게 된다. 따라서, 완전 습윤상태에서는 건조상태를 기준으로 $\Delta R3 = +5\%$ 를 적용한다.

④ 강도추정

보정반발경도 R_o 로부터 압축강도 F_c 를 추정하는 식은 여러 가지가 제안되어 있다. 본 과업에서는 표준편차가 양호하고 설계기준강도에 근접한 추정식 일본건축학회에서 제안된 식(3.2) 및 일본재료학회에서 제안된 식(3.3)을 사용하여 압축강도를 추정하였다. 또한 본 구조물에서 사용된 고강도 콘크리트의 경우 과학기술부에서 제안된 식(3.4)을 사용하여 압축강도를 추정하였다.

- 일본건축학회

$$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.1 \text{ (MPa)} \quad \text{식 (3.2)}$$

- 일본재료학회

$$F_c = 1.27R_o - 18.0 \text{ (MPa)} \quad \text{식 (3.3)}$$

- 과학기술부

$$F_c = (15.2R_o - 112.8) \times 0.1 \text{ (MPa)} \quad \text{식 (3.4)}$$

⑤ 시간경과 계수

수년이 경과한 콘크리트 구조물은 표면경도가 높기 때문에 식(3.5)와 같이 재령계수를 곱하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α 는 【표 3.2-2】 과 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_n = \alpha \cdot F_c \quad \text{식 (3.5)}$$

여기서, α 는 재령계수

【표 3.2-2】 재령일에 따른 보정계수

재 령	28일	100일	200일	300일	400일
a	1.00	0.78	0.72	0.70	0.68
재 령	500일	750일	1000일	2000일	3000일
a	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

5) 평가방법

반발경도법의 강도조사 결과에 대한 평가근거 및 내용은 【표 3.2-3】 과 같다.

【표 3.2-3】 반발경도법의 평가근거 및 내용

구 분	내 용	비 고
평가근거	◦ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (한국시설안전기술공단, 2019.09)	

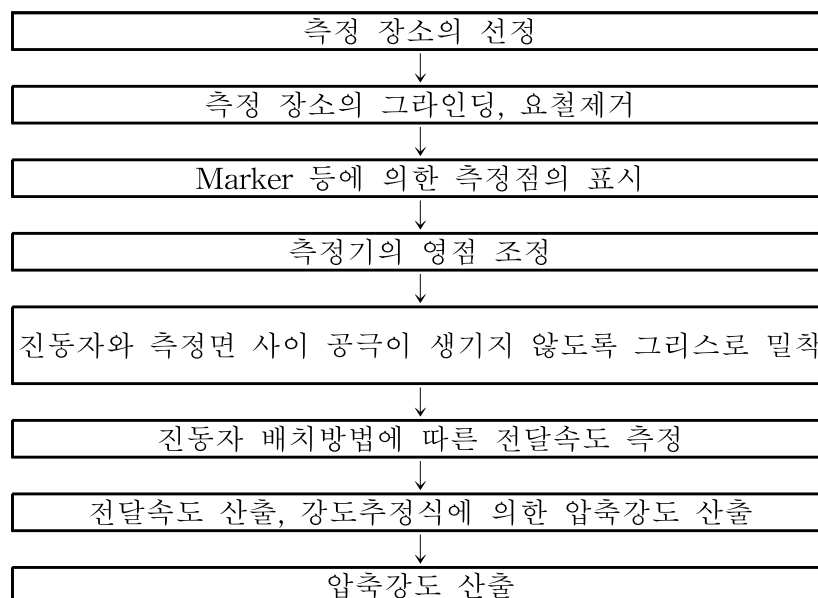
나. 초음파법

1) 개 요

콘크리트는 물리적 성질이 매우 다른 이질성 재료로 구성되어 파의 분산정도가 심하며 통상 5~100kHz 정도의 주파수가 이용된다. 초음파 시험은 대상물의 형상에 관계없이 내부의 상황변화 등을 파악할 수 있는 반면, 투과파 높이가 작을 때에는 측정정도가 떨어진다. 본 조사에 사용된 초음파 탐사기는 PUNDIT로 음파발생 장치 및 시간측정 회로로 구성되어 있으며, 일반적으로 가장 판별하기 쉬운 종파(P파)를 이용한다. 초음파 전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 아래 식에 의해서 구한다.

$$\circ \text{ 전달속도 (Velocity)} = \frac{\text{전달길이 (Path Length)}}{\text{전달시간 (Transit Time)}} \quad \text{식 (3.6)}$$

직접법과 표면법의 전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지의 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 직접법에 의하여 재료의 초음파 전달속도를 구하는 것이 바람직하나 현장에서는 직접법으로 측정할 수 없는 부위가 대부분이므로 주로 간접법(표면법)이 적용되며, 간접법(표면법)은 발진자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 5점의 측정점을 정하여 측정거리를 증가하면서 초음파 전달속도를 측정하였으며, 철근을 따라 초음파속도에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 RC-Rader로 철근의 위치를 파악한 후 철근위치를 피하여 초음파 속도를 측정하였다.



【그림 3.2-2】 초음파 속도법에 의한 콘크리트 압축강도 추정 흐름도

2) 압축강도 추정

분석된 간접전달속도 값으로부터 콘크리트 강도를 추정하기 위해 주로 적용되는 기존의 제안식은 다음과 같다.

- 일본재료학회식

$$f_c = 21.5 V_d - 62.0 \text{ (MPa)}$$

여기서, V_d : 직접속도

본 과업에서 측정된 값은 간접속도 값을 나타내므로 직접속도 값으로 환산하여 적용하였고 환산식은 다음과 같다.

$$V_d = 1.05 V_i$$

다. 조합법에 의한 평가방법

조합법에 의한 강도 조사는 슈미트해머와 초음파법에 의한 조사의 단점을 상호 보완하기 위하여 제안된 방법으로서 슈미트해머와 초음파시험 결과를 동시에 이용하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방법이다. 조합법에 의한 압축강도 추정은 다음의 추정강도식을 적용하였다.

- 릴렘(RILEM)식

$$\log_{10} f'_c = 0.3794 V_d + 0.01149R + 0.4332$$

$$f_c = 0.85 f'_c$$

3.3 철근배근 탐사

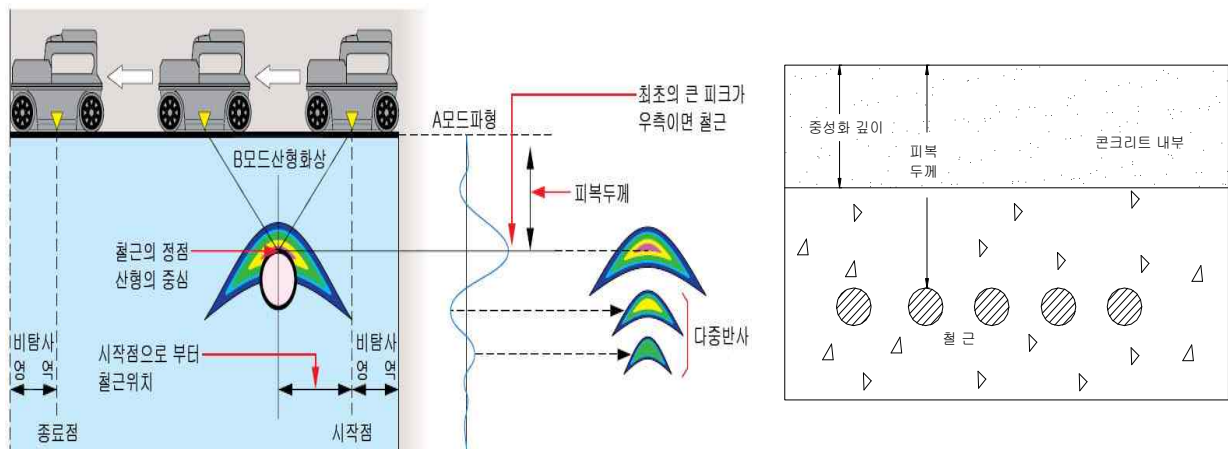
3.3.1 개요

일반적으로 철근 배근상태 조사는 부재의 국부파괴법과 비파괴 시험법이 있다. 부재의 국부 파괴법은 경제적인 측면과 구조물 피해 등을 발생시킬 수 있는 부정적인 영향이 있으므로 비파괴 시험법을 통한 방법으로 구조물의 전반적인 철근 배근상태를 확인하는 것이 일반적이며 본 과업에서는 전자파 레이더법을 이용한 RC-Radar를 사용하였다.

3.3.2 조사 및 평가

전자파 레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하게 콘크리트에 전자파를 안테나로부터 발사시켜 콘크리트 중의 비전도율이 다른 물체(철근, 매설물, 공동 등)와의 경계에서 반사파를 일으키는 성질을 이용하여 조사하는 방법이다. 반사물체까지의 거리(D)는 송신 시작으로부터 수신 시작까지의 시간차(T)의 측정치와 콘크리트내 전파속도(V)로부터 다른물체(철근, 매설물 공동 등)의 철근덮개를 구할 수 있다.

$$D = \frac{1}{2} VT(m)$$



<RC-Radar 측정원리>

<철근 피복두께 정의>

【그림 3.3-1】 RC-Radar 원리 및 철근 피복두께 정의

3.3.3 시험방법

콘크리트 피복두께 측정 깊이는 일반적으로 약 300mm 이내이며 측정 대상 철근의 지름은 D6 이상이어야 한다. 또한, 탐촉자의 이동 속도는 5~10m/min로 하고 측정방향은 철근의 직각 방향으로 한다. 철근탐사에 있어서 설계도 등을 숙지한 다음 실시하는 것이 바람직하다.

3.3.4 적용조건

【표 3.3-1】 철근탐사 시험 적용 조건

적용 가능한 조건	적용 곤란한 조건
- 측정심도 20cm이내 - 측정대상 철근지름이 6mm이상 - 콘크리트의 질이 대부분 균일한 것 - 철근이 안테나 진행방향에 직교하고 있는 것	- 표면에 금속 등의 전파를 반사하는 것이 있었고, 6mm미만의 철근 등을 측정하는 경우 100mm 이하의 피치에서 배근되어 있는 경우 - 진행방향과 평행으로 철근이 있는 경우

3.3.5 평가기준

- 철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단
- 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단

【표 3.3-2】 콘크리트 구조설계 기준(2007)의 최소 피복두께

부위		피복두께(mm)	
수중에서 타설하는 콘크리트		100	
흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀있는 콘크리트		80	
흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트	D29 이상의 철근	60	
	D25 이하의 철근	50	
	D16 이하의 철근, 지름 16mm 이하의 철선	40	
옥외의 공거나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트	슬래브, 벽체, 장선	D35 초과하는 철근	40
		D35 이하인 철근	20
	보, 기둥		40
	셀, 절판부재		20

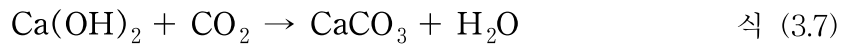
【표 3.3-3】 콘크리트 구조설계 기준(2007)의 최소 피복두께 허용오차

유효깊이(d)	유효깊이(d)의 허용오차	피복두께의 허용오차
$d \leq 200\text{mm}$	$\pm 10\text{mm}$	-10mm
$d > 200\text{mm}$	$\pm 13\text{mm}$	-13mm

3.4 탄산화 깊이 측정

3.4.1 개요

탄산화는 콘크리트 구조물의 열화 문제로 현재 주목받고 있는 현상 중 하나이다. 여기서 탄산화란 굳은 콘크리트와 공기 중의 탄산가스가 반응하면서 알칼리성을 잃게 되는 현상을 일컫는다. 즉 건전한 콘크리트는 경화 시멘트풀의 수산화 화합물중 약 25%를 차지하는 수산화칼슘(Ca(OH)_2)의 영향으로 pH가 12~13인 강알칼리성을 나타내나 외기 중의 탄산가스가 수산화칼슘과 반응하면 탄산칼슘(CaCO_3)으로 환원되면서 콘크리트표면부터 콘크리트의 pH가 서서히 10이하로 낮아지는 현상이다.



콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 내구성능이 저하되는 것은 아니며, 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문이다. 이와 같이 탄산화에 의한 철근콘크리트 성능저하 과정은 【그림 3.4-1】와 같다.

【그림 3.4-1】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

STEP 1

정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없다.
(약간의 건조수축에 의한 균열)

STEP 2

녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생한다.

STEP 3

철근의 윗면이 팽창한다. 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보인다.

STEP 4

철근 윗면의 피복이 부수어져 떨어지고, 철근의 노출이 시작된다.
철근단면적이 감소한다.

STEP 5

철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출된다.
내구성능은 없다.

3.4.2 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

콘크리트의 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로서는 환경조건(대기중의 탄산가스농도, 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. 탄산화 속도에 영향을 미치는 대표적인 요인을 정리하면 다음의 【표 3.4-1】와 같다.

【표 3.4-1】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구 분	영 향 인 자	탄 산 화 속 도
내 적 요 인	시멘트의 종류	수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름. 조강 포틀랜드 시멘트 < 보통 포틀랜드 시멘트 < 중용열 포틀랜드 시멘트
	골재의 종류	투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름 강모래, 강자갈<강모래, 화산골재<화산골재
	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 속도 빠름
환 경 조 건	온 도	온도상승 시 탄산화 속도 빠름 20~50℃ 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	농도가 진할수록 탄산화 속도 빠름 탄산가스농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습 도	상대습도 50~70%에서 탄산화속도가 최대
	실내, 실외	실내의 탄산화속도가 빠름

3.4.3 탄산화 진행에 따른 상태평가

탄산화 진행상태는 피복두께의 절대값이 클수록 탄산화 잔여 절대값이 커지므로 피복두께가 클수록 일반적으로 철근부식까지의 탄산화 도달시간에 대한 여유가 크다. 피복두께와 탄산화 측정깊이를 고려한 철근 콘크리트 구조물에서의 탄산화 잔여깊이상태에 대한 상태평가 등급은 다음 【표 3.4-2】 과 같다. (시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침, 2019.09, 국토교통부)

【표 3.4-2】 탄산화 상태평가 기준

기준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	◦ 30mm이상	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	◦ 10mm이상~30mm미만	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	◦ 0mm이상~10mm미만	탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	◦ 0mm미만	철근부식 발생
e	-	-

3.5 터널 배면공동 조사

3.5.1 개요

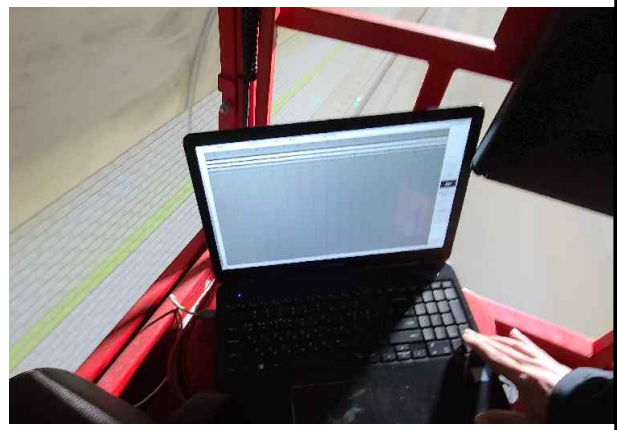
GPR 탐사의 주된 목적은 라이닝 배면에 공동이 존재할 경우, 이완토압, 잔류수압 및 기타 하중이 균등하게 작용하지 않으므로 장기적인 터널 안전성 확보를 위해서는 GPR 탐사 결과와 외관조사 결과를 종합적으로 분석하여 터널의 효율적인 유지관리에 필요한 보수·보강 대책을 수립하는데 있다. GPR 탐사 범위는 현장 답사 및 외관조사 결과를 토대로 축선위치를 선정하였고 조사결과는 외관조사, 시험 자료등과 비교·분석하였다.

· GPR 탐사장비

본 조사에 사용된 GPR 시스템은 Zond 12e 이며, 주요 제원은 다음과 같다.

【표 3.5-1】 G.P.R 탐사장비

구 분	구 성 품	모 델 및 규 격	비 고
주 장 치 (Zond-12e)	Main Frame Body	-	전원공급, 전자기파 송신 및 수신, 전자기파 상호 데이터 화상처리 및 표시, 이미지 조정, 데이터 filtering
	Control/Display Module	휴대용 노트북 PC	
측정 안테나 (전자기파 송수신기)	1.5GHz	-	조사 심도 및 분해기능에 따라 최적 안테나 선정
실 내 분석 장치	IBM 호환 퍼스널 컴퓨터	-	데이터 전송 및 저장
	데이터 분석용 Software	Prism2.60	디지털 신호처리 기법을 응용한 다각적인 데이터 분석 및 판독
출력 장치	컬러 프린터	-	분석 DATA 출력



· GPR 탐사의 원리

GPR은 전자기파를 단속적으로 발생시키고 수신하는 측정 장비로서 그 측정한계는 전자기파의 측정한계를 따른다. 전자기파가 안테나에서 방출되면 파동의 회절특성 때문에 진행 방향에 대해서 일정한 각도로 퍼져나가게 된다. 또한 매질 내를 진행하면서 매질의 유전상수에 따라 그 진행속도와 매질에 대한 파의 에너지 흡수율에 차이가 발생된다.

유전상수는 진동수와 전도도에 비례하는 양으로, 전자기파의 매질 내 속도는

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

v : 전자기파의 매질 내 속도

c : 광속

ϵ_r : 유전상수

이 되고, 매질에 대한 파의 에너지 흡수율은 전도도에 비례한다.

매질 내 임의의 심도에서 파의 강도는

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

α : 흡수율

x : 심도

로 쓸 수 있다.

또한, 전자기파의 회절 때문에 심도가 깊어지면 분해능은 떨어지게 되는데 알려져 있는 분해능은 안테나에 수직방향으로 반파장이고, 수평 방향으로는

$$R_f = \sqrt{(\lambda r_0 + 1/4x^2)}$$

이 되는데 여기서, λ : 파장

r_0 : 측정 대상물의 심도

이다.

그러므로 파장이 짧으면 전체적인 분해능은 커질 수 있으나, 전자기파의 투과깊이는 파장에 비례하므로 낮은 심도밖에 조사 할 수 없는 단점이 있고, 깊은 심도의 물체를 확인함에 있어서 신호처리에도 문제가 발생할 수 있다. 반대로 전자기파의 파장이 길면 투과깊이는 증가하나 정밀도가 떨어진다. 그러므로 측정에 있어서 적당한 안테나의 선택은 중요한 문제이다.

· 안테나의 측정 한계

1) 안테나의 주파수에 따른 측정 한계

지반이나 구조물을 탐사하는 경우 적당한 안테나의 선택은 중요한 문제이다. 일반적으로 저주파일수록 지반에 대한 투과율이 좋고 동일한 진동수의 파장이라면 안테나의 출력이 큰 편

이 지반 침투율이 좋아진다. 안테나의 측정 한계는 각 회사마다 다르며 본사에서 소유하고 있는 Zond-12c 에서 제공하는 자료에 따르면 주파수별 안테나의 측정심도는 다음과 같다. 단, 이것은 실험데이터로 절대적인 것은 아니며 매질에 따라 차이가 있다.

【표 3.5-2】 안테나의 측정한계

안테나							
Parameter	2GHz	900MHz	500MHz	300MHz	150MHz	75MHz	38MHz
Resolution(m)	0.06~0.1	0.2	0.5	1.0	1.0	2.0	4.0
Blind Zone(m)	0.08	0.1~0.2	0.25~0.5	0.5~1.0	1.0	2.0	4.0
Depth(m)	1.5~2	3~5	7~10	10~15	7~10	10~15	15~30

2) 대상물의 크기에 따른 측정한계(분해능)

안테나의 파장에 따라 전자기파의 투과 깊이에 한계가 있기 때문에 진동수가 큰, 즉 파장이 짧은 안테나를 이용해서 깊은 심도의 대상물을 탐사하기는 어렵다. 그러므로 깊은 심도의 대상물을 탐사하기 위해서는 긴 파장의 안테나를 이용해야 하는데 파장에 따른 안테나의 분해능은 다음과 같다.

① 수평방향 분해능

수평 방향의 분해능은 첫 번째 Fresnel Zone의 0% 이고, 이를 알기 위해서는 Relative Permittivity를 알고 있어야 한다.

② 수직방향 분해능

수직방향의 분해능은 반 파장으로서 다음과 같이 계산할 수 있다. 먼저 진동수에 따른 전자기파의 1파장에 소요되는 시간은 진동수의 역수로서

$$\lambda_t = \frac{1}{f_c} \times 10^9 (ns/s) \quad (ns)$$

이고, 특정 매질에서의 1파장의 길이는

$$\lambda_t = \frac{\lambda_t \times c}{10^9 (ns/s) \times \sqrt{\xi_r}} \quad (cm)$$

여기서, λ_t : 전자기파의 1파장 (ns)

λ_l : 매질 내에서의 1파장 (cm)

f_c : 진동수 (Hz)

c : 광속 (3.0×10^{10} cm/s)

ξ_r : 유전상수(상대 유전율)

로 나타낼 수 있으며 분해능은 파장의 반이므로 쉽게 유추할 수 있다.

【표 3.5-3】 대상물 크기의 따른 측정 한계

진 동 수		1 파 장 (ns)	매 질 내 에서 의 1 파 장 (cm)		
			공 기 중 (유 전 상 수 1)	마 른 사 질 토 (유 전 상 수 4)	콘 크 리 트 (유 전 상 수 6)
2500MHz		0.4	1	2	10
1000MHz		1	30	60	300
500MHz		2	15	30	150
100MHz		10	1.22	24.5	122.5
MLF	80MHz(120cm)	12.5	375	187.5	153.1
	40MHz(240cm)	25	750	375	306.2
	32MHz(360cm)	31.25	937.5	468.8	382.7
	20MHz(480cm)	50	1500	750	612.4
	16MHz(600cm)	62.5	1875	937.5	765.5

3) GPR 탐사의 문제점

GPR 장비는 전자기파를 단속적으로 발신하고 수신하는 장비로서 측정시간은 나노초(ns) 즉 10⁻⁹초의 단위를 사용한다. 그리고 매질경계면에서 반사도는 두 매질간 굴절율차에 의존하게 된다. 파의 성질상 지향성 안테나라도 어느 정도 각을 이루고 파를 송수신하게 되고, 특정한 방향에 대한 파의 세기는 거리에 따라 제곱 항으로 줄어들게 된다. 또한 파가 매질에 흡수되어 계획된 대로 심도를 구하지 못할 가능성도 있다. 이러한 문제점으로 인하여 데이터의 오 분석이 발생할 여지가 많고, 어느 정도 측정대상물에 대한 정보를 알지 못하면 전혀 분석을 할 수 없을 경우도 발생하며, 매질 경계면에 따라서는 분석할 만한 반사파가 탐지되지 않는 경우도 발생할 수 있다.

가) 파의 회절

Bistatic 안테나의 경우 임의성을 가지므로 전자기파가 전 방향에 대해서 동일한 세기로 송출되고, Monostatic 안테나인 경우 지향성을 가지므로 특정한 방향에 대한 세기가 다른 방향보다 강하게 송출된다. 파는 매질을 통과하면서 그 일부가 매질에 흡수되어 세기가 점차로 줄어들게 되고, 또한 회절과 송신각 때문에 세기는 줄어들게 된다.

그러므로 파를 수신할 때 파의 세기를 일정한 시간 비율로 증폭하여 수신하게 되는데 (GSSI사 제품만 그러하고 Zond-12c 제품은 수신할 때 증폭을 하지 않고 데이터 처리 과정에서 증폭을 한다.

이 증폭률은 기기의 성능에 따라 다르다. 지하매설물이나 지층경계면이 존재한다고 예상되는 구역에 대해서 증폭률을 강하게 주어야 한다. 그렇지 않으면 구별하기가 어렵고 좋은 데이터를 수신하였다 하더라도 놓치기 쉽다. 그런데 수신된 데이터를 증폭하는 과정에 있어서 동일한 시각에 발신 안테나에서 송신된 파가 경로차에 의해서 동일한 매질에 있는 단일 지하매설물이나 지층경계면이 2개 이상 존재하는 것으로 보여질 수 있고 또한 이러한 시간차 때문에 서로 간섭을 일으켜 지층 또는 지하매설물을 구별하기가 어려울 때도 있다.

이 현상은 피할 수 없는 것이며, 데이터를 분석할 때 사전정보가 없다면 심도를 변화시키거나 증폭률을 변화시킨 데이터가 최소한 2개 이상이 있어야 분석할 수 있을 것이다. 이때 2개 이상의 데이터에서 공통된 부분을 찾는다면 증폭에 대한 오분석을 줄일 수 있으나, 그래도 너무 작은 반사파는 식별하기 어렵다.

나) 매질의 불균일성

매질을 진행하던 전자기파가 다른 매질로 입사하면 반사파가 생기는데, 이때 두 매질 간 굴절률 혹은 유전상수 차에 의해서 반사파의 강도가 결정된다. 그런데 매질의 유전상수를 보면 금속과 공기, 물을 제외하고는 토층이나 구조물을 형성하는 매질인 모래, 아스팔트, 콘크리트, 점토, 자갈, 암석 등 대부분이 4 ~ 8 사이의 상대 유전상수를 가지고 있고 또한 물이라는 변수에 따라서 유전상수가 변하므로 반사파의 강도가 극히 미약할 수 있다.

또한 금속이라고 하더라도 표면에 피복이 되어 있거나 공기, 즉 공동이라고 하더라도 그 공동의 크기가 진동수와 비교하여 극히 작을 경우 반사파의 강도가 작게 된다. 또한 지층 경계면도 마찬가지로 구별하기 어려울 수 있다. 더욱이 지층 경계면은 단단한 암반인 경우를 제외하고는 경계면이 선으로 형성되는 것이 아니고 한 매질에서 다른 매질로 천천히 전이하고 유전상수도 매질경계면에서 천천히 변하므로 더욱 구별하기가 어렵다. 그러므로 이 경우 지하매설물이나 지층은 반사도 보다는 오히려 그 반사패턴으로 구별하는 것이 용이하다. 그러나 이는 사전에 어느 정도 조사된 자료가 있어야 효율적이다. 그리고 다분히 경험에 의할 수밖에 없다. 예를 하나 들면 지하에 매설되어 있는 콘크리트 관은 이 관에서 반사되는 반사강도보다 관내의 공간에 대한 반사 패턴으로 구별할 수 있다.

다) 수분

지하에 있는 매질 중 그 상대 유전상수차가 가장 큰 것은 물이다. 물이 지하나 지표에 있는 경우, 반사파의 강도가 상당히 크고 또한 큰 반사파는 안테나에서 다시 반사되어 연속 반사를 이룬다. 그러므로 물이 존재하는 경우, 이것이 지표에 있으면 물 하부에 대한 정보는 얻기 어렵다. 그러나 지하에 있는 경우에는 반사파의 강도가 크지 않으므로 물 하부에 대한 정보도 얻을 수 있다. 그러므로 지하에 지하수가 존재하는 경우는 탐사가 가능하다.

그리고 수분이 다량 함유되어 있거나 포화 상태인 매질 내에서의 지하매설물 탐사는 수면 반사 때문에, 그리고 염분이 함유된 물인 경우 파의 세기가 급격하게 감소함으로써 측정이 어렵다. 그런데 지하수는 물이 단속적인 면을 이루고 있지 않고 주변 매질에 흡수되게 된다. 그러면 매질에 대한 유전상수가 매질의 유전상수에서 물의 유전상수로 선형적으로 변화하게 되고 이 경우 매질 경계면이 모호해져 탐사가 어려워진다.

콘크리트 구조물의 경우, 토층과 콘크리트가 오랜 기간 접촉되어 있어 콘크리트의 함수율이 높아지면 그 경계를 찾기가 어렵다. 이 경우 구조물의 경계면 보다는 구조물내의 철근 반사를 이용하여 구조물을 확인한다.

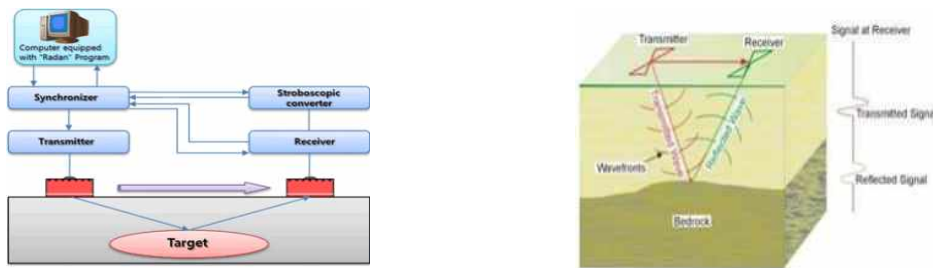
라) 표면반사

GPR 비파괴 시험법을 현장에서 적용하면 대부분의 표면 반사는 유전 상수가 크면 반사가 커지나 경우에 따라서 표면 반사가 매우 강한 경우가 있다. 이는 표면의 마감상태에 따라서 달라지는데 표면에 물이 있거나 유리, 대리석, 또는 이와 유사한 매질에 의해 표면이 매끈하게 처리된 표면의 반사는 매우 강하다.

표면 반사가 심한 경우 전자기파의 반사량이 투과량에 비해서 매우 크기 때문에 표면 하부의 상태가 전혀 측정이 불가능한 경우도 있고, 또한 표면 반사 강도가 크다는 것은 투과파의 파장이 작다는 것이므로 측정 심도가 더욱 작아질 수 있다. 이 경우 과도하게 신호를 증폭해야 하기 때문에 오분석의 소지가 많다.

4) GPR 탐사 자료분석

GPR 자료에서 수평축은 안테나의 이동거리를 나타내고 수직축은 전자기파의 이동시간을 거리로 환산한 심도를 나타낸다. 나타난 색상은 전자기파가 매질경계면에서 반사된 반사강도를 나타내는 데 반사강도의 크기에 따라 색깔로서 나타내게 된다. 그런데 그 반사강도는 우리가 조절을 해줄 수 있는 양이므로 색상이 중요하다기 보다는 인접부분과의 색상차이, 즉 반사강도 차이가 중요하다.



GPR의 신호처리 시스템

터널라이닝에 지보재나 공동이 존재한다면 이것은 포물선 형태로 나타나지만 지보재는 일정한 간격으로 설치하는 것이 보통이므로 일정한 간격을 유지하고 있는 것을 지보재로, 그 이외의 것과 축선방향으로 길이가 긴 것을 공동으로 분류할 수 있다. 이는 시공상황과 주변 상황을 고려하여 판단하여야 한다. 그러나, 라이닝에 철근이 배근되어 있다면 철근의 강한 반사 신호로 인하여 철근 배면의 작은 공동이나, 지보재등 배면의 많은 신호는 철근의 신호에 가려지게 된다. 한편 라이닝과 암반 경계면은 그 경계가 완전 밀착되었다면 두 매질의 유전상수 차이가 크지 않으므로 반사강도가 크게 측정되지 않는다. 그런데 밀착상태가 불량한 경우에는 이 경계가 명확해지는 경향이 있다.

가) 콘크리트 라이닝 두께

콘크리트 라이닝 내부의 경계면 즉, 라이닝과 슛크리트의 경계면은 연속적인 반사면으로 작용하여 전자파를 반사시키므로 반사 신호의 왕복도달시간으로 라이닝의 두께를 알 수 있다. 그러나 기본적으로는 라이닝과 슛크리트의 상대유전율이 4~8로 알 수 비슷하기 때문에 각

경계면들이 잘 밀착되어 있고 함수율의 변화가 미미하다면 각 경계면에서도 도달시간강도가 크지 않아 그 경계면을 탐지하기가 매우 곤란하다. 그러나 경계면들 사이에 공동로는 경계면 도달돌출현상 및 함수율의 급격한 변화 등 에너지를 많이 반사시켜주는 이상대(anomalous zone)가 존재하면 경계면은 쉽게 탐지될 수 있다. 대부분 터널의 탐사에서는 이러한 현상을 이용하여 콘크리트 라이닝의 경계면을 탐지하고 라이닝의 두께를 지한다.

결론적으로 라이닝과 슛크리트의 경계면에서 전술한 이상대가 존재하면, 대부분 쉽게 탐지된다. 그러나 라이닝과 슛크리트는 에너지반사율에 가장 큰 영향을 미치는 상대유전율이 비슷하고 (암반:4~7, 콘크리트:6~8) 함수비의 변화가 거의 없고 투과하던 에너지의 대부분이 감쇠, 반사 및 회절현상으로 라이닝과 암반의 경계면에 도달하는 에너지가 미미하다면 탐지가 매우 곤란하다.

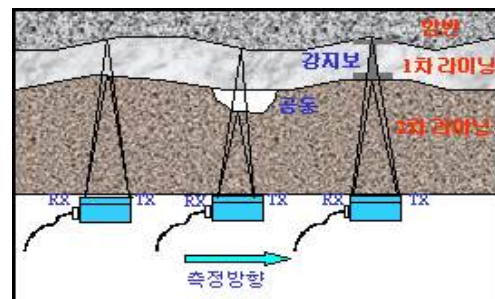
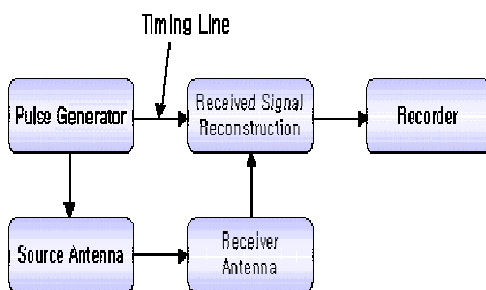
2) 공동

공동이 콘크리트 라이닝 배면에 존재한다면 공동에서 반사되는 신호는 다음과 같은 양상을 나타내고 이와 같은 특징을 이용하여 공동구간을 탐지한다.

- 상부 경계면에서의 강한 반사 신호.
- 콘크리트보다 3배 빠른 다중 반사 신호.
- 공동양 끝단에서의 회절신호.
- 불규칙한 공동경계면에서 많은 산란 회절신호.
- 공동은 전자기적으로 매우 균질한 전파매질이고 공동에서 전자파의 속도가 빠르므로 공동자체의 깊이에 따라 약간의 차이는 있지만 반사파가 중첩되어 나타난다.

3) 강지보공(Steel-Rib)

강지보공은 터널 라이닝의 재료들 중에서 철근과 함께 콘크리트와 전기적 물성의 차이가 가장 큰 탐사대상체이다. 강지보공의 끝단에서 회절신호가 합쳐지면서 포물선 모양의 반사 신호가 매우 강하게 나타나며 동일한 모양의 다중 반사 신호를 심도에 따라 1~2회 정도 나타내므로 쉽게 탐지가 가능하다. 그러나 표면으로부터 심도가 깊다든지 주변매질이 물로 포화되어 있으면 쉽게 탐지되지 않는 경우가 종종 있으며 강지보재 설치구간에 철근 혹은 강섬유가 보강되어 있으면 그 반사파로 인하여 쉽게 탐사되지 않는 경우도 있다.



GPR 터널탐사 모식도

