제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 외관조사 결과

3.3 콘크리트 내구성 조사

3.4 현장조사 및 시험 결과요약

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

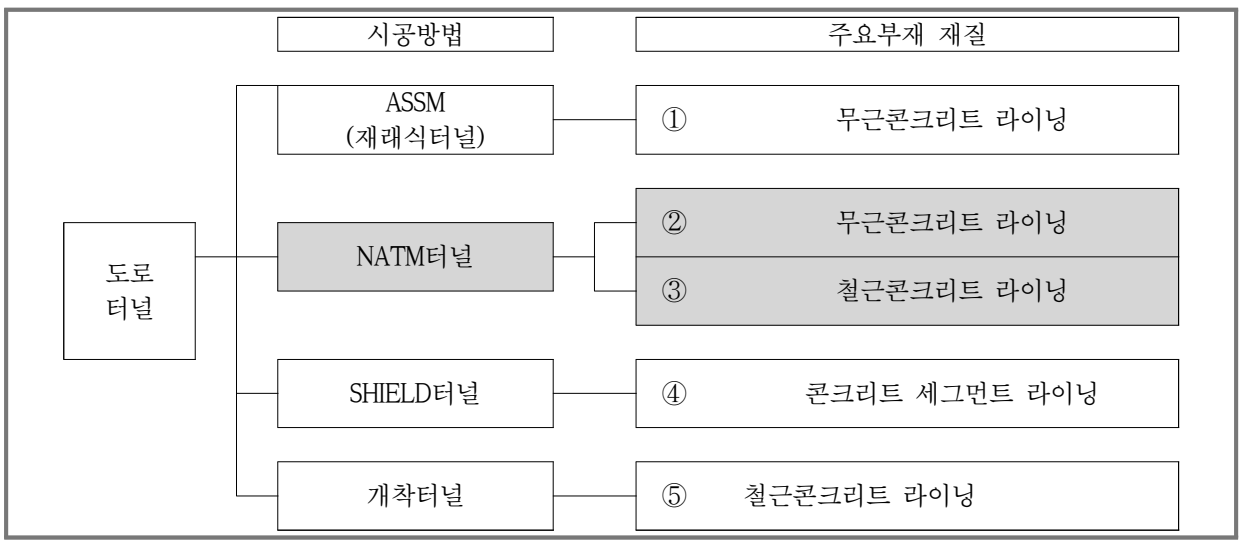
금회 정밀안전점검대상인 진부2터널(인천)은 강원도 평창군 진부면 하진부리 산251-1에 위치하고 있으며, 연장 185m, 폭 9.6m의 2차선 터널이다.

갱문형식은 시・종점부 면벽식으로 시공된 난형식의 터널로 1999년 12월 18일에 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~S20	도보, 고소점검차	2019.05.27.~12.27	

【사진 3.1】 위치도

터널종점 전경

터널내부 전경

고소점검차를 이용한 근접조사

터널 라이닝 비파괴시험

【사진 3.2】 근접조사를 위한 장비 사용 전경

3.1.1 터널 주요 점검항목 및 손상현황

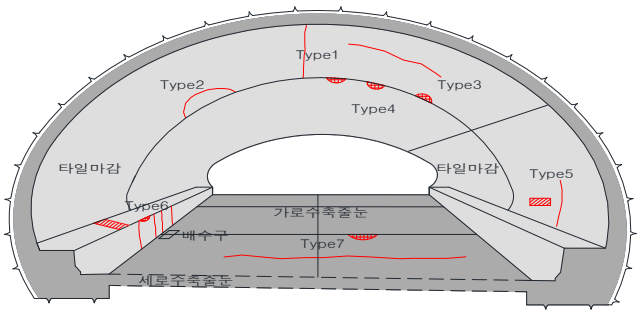
가. 터널 주요 점검항목

【표 3.1】 터널주요 점검항목

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

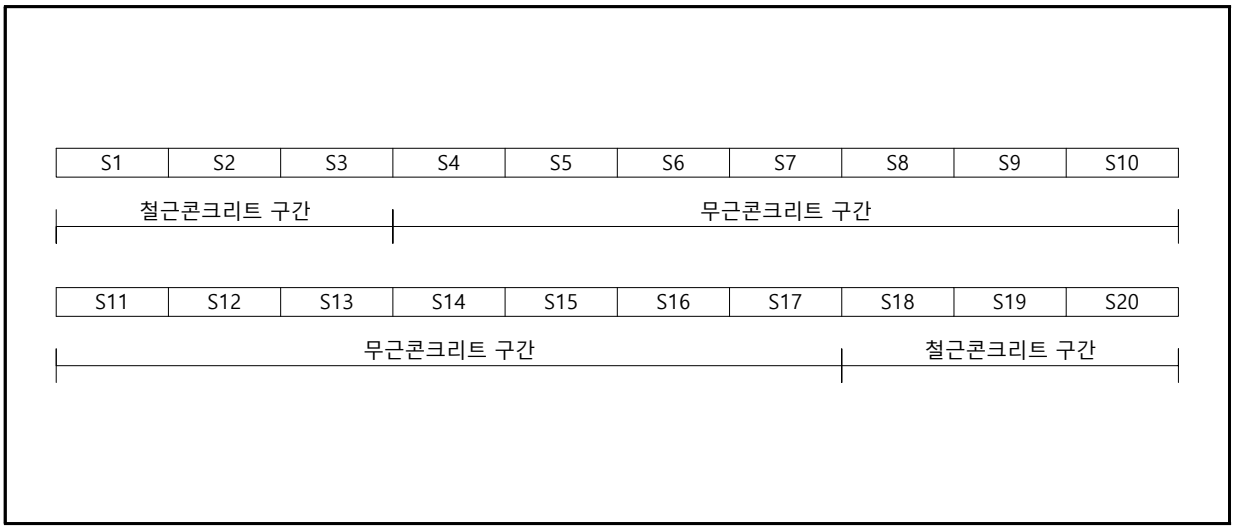
나. 터널 주요 손상현황

【표 3.2】 터널주요 점검항목

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

3.1.2 터널 구간 분할

정밀안전점검을 위한 외관조사, 비파괴 시험, 시설물의 상태평가 등을 효과적으로 수행하기 위하여 측점분할 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 터널 내에 측점표시 또는 구간이 명확하게 구분되어 있지 않는 경우는 구간분할에 따른 오차를 최소화할 수 있도록 구분되어야 하며 통상적으로 현장에서 직접확인이 가능한 시공(신축)이음부를 기준으로 분할하는 것이 타당하다. 본 터널은 185m터널로써 구조물의 형식은 다음 그림과 같이 총 20SPAN 구간으로 분할하였다.

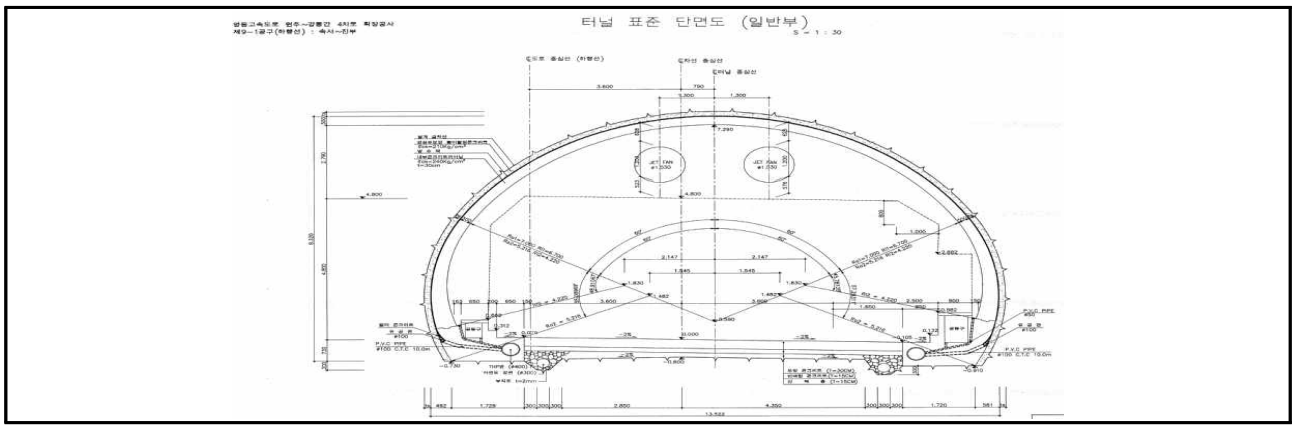


【그림 3.2】 Span별 시공현황

3.2 외관조사 결과

3.2.1 터널 라이닝

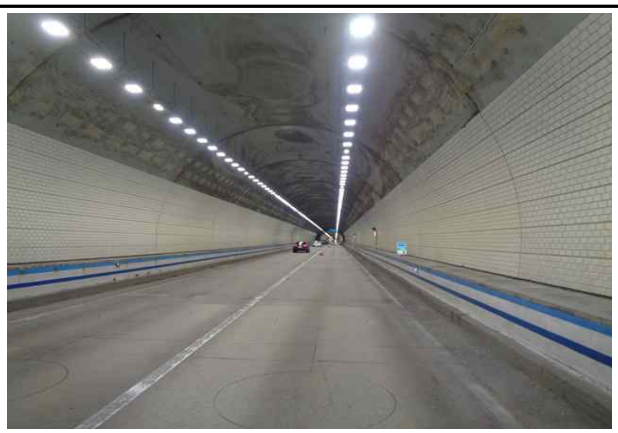
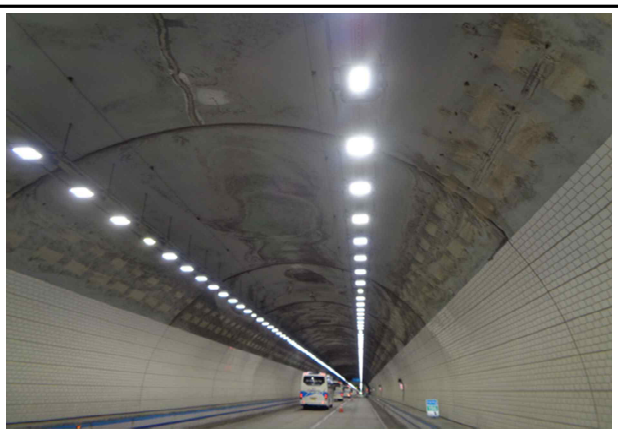
진부2터널(인천)은 NATM공법으로 시공된 난형식의 터널이다. 라이닝은 터널의 기능을 장기간 안정적으로 유지하기 위한 지보구조적 목적과 유지관리상 목적으로 타설한다. 지보구조적 목적은 터널의 안정에 필요한 구속력을 주고, 상재하중, 수압 등의 외력을 지지해주는 역할을 하며, 유지관리상 목적은 지하수 등의 누수를 막아주고, 사용중 점검 및 보수 등의 효율적인 작업을 위한 목적이 있다. 외관조사 시 천단부와 측벽부로 구분하여 외관조사를 실시하였다.



【그림 3.3】 진부2터널 표준 단면도

가. 라이닝 천단부

본 터널의 라이닝 두께는 300mm이며, 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 0.3mm내·외의 횡방향 균열 및 망상균열, 백태, 조인트부 들뜸, 박락 등이 일부 구간에 조사되었다.

【표 3.3】 라이닝 천단부 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
라이닝 천단부	횡균열(cw=0.3㎜미만)	m	4.6 / 10	건조수축 및 온도변화	
	횡균열(cw=0.3㎜이상)	m	28.4 / 6	건조수축 및 온도변화	
	망상균열	㎡	140.0 / 4	건조수축 및 온도변화	
	조인트부 들뜸/박락	㎡	1.34 / 4	거푸집 조기탈형, 다짐불량 온도변화에 의한 신축작용	
	백태	㎡	0.1 / 2	균열 및 누수	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

천단부는 횡방향 균열 및 망상균열, 백태 손상이 일부 구간에 국부적으로 발생되었다. 균열은 라이닝 콘크리트의 계절변화에 따른 건조수축 및 온도변화에 의한 구속과 시공초기 발생된 균열에 대해 미보수된 비구조적 균열로 판단되며, 누수의 경우 균열부를 통한 누수가 원인 것으로 추정된다.

본 구조물에 발생된 균열은 구조물의 안전성에는 큰 영향이 없으나 장기적으로 내구성 저하방지를 위한 표면보수, 주입보수 등의 적절한 보수가 필요할 것으로 판단되며, 조인트부 들뜸 및 박락의 경우, 손상부를 제거하고 단면보수를 실시하더라도 경과년수가 증가함에 따라 기존 콘크리트와 보수재와의 불연속면에서 박리가 발생하여 재손상의 가능성이 높다. 따라서 안전사고 예방차원에서 유지관리하는 것이 적절하다고 판단된다.

S3 천단부 망상균열(A=8.0m×10.0m)

S4 천단부 균열부 백태(A=0.1m×0.5m)

【사진 3.4】 천단부 손상현황

S8 천단부 횡균열(cw=0.5㎜, L=20.0m)	J8 천단부 조인트부 들뜸(A=0.1m×0.3m)
S13 천단부 조인트부 박락(A=0.2m×1.0m)	S17 천단부 횡균열(cw=0.5㎜, L=3.0m)

【사진 3.4】 천단부 손상현황(계속)

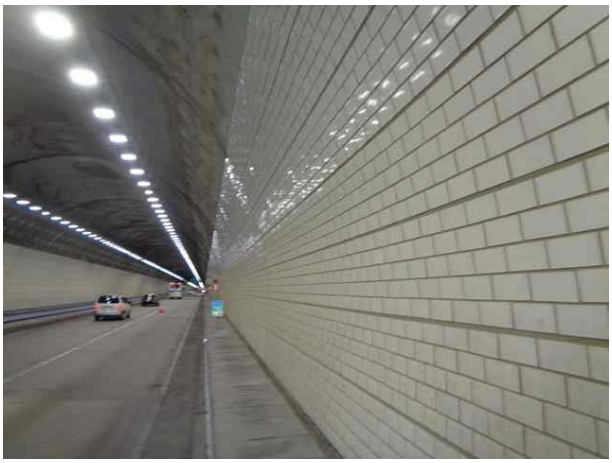
3) 기 점검 결과 비교

천단부에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 망상균열과 백태 등의 손상이 공용기간 일부 추가 발생하였으며, 반면 조인트부 손상은 일부 보수를 실시하여 다소 감소한 것으로 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀점검	금회점검	비 고
횡균열(cw=0.3㎜미만)	m	4.6	4.6	-
횡균열(cw=0.3㎜이상)	m	28.4	28.4	-
망상균열	㎡	105.0	140.0	▲35.0
조인트부 들뜸/박락	㎡	2.4	1.34	▼1.06
백태	㎡	-	0.1	▲0.1

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 누수여부, 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 폭0.3㎜이상 균열, 타일균열, 들뜸 및 탈락, 파손 등이 국부적으로 발생한 것으로 조사되었다.

【표 3.4】 라이닝 측벽부 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
라이닝 측벽부	횡균열(cw=0.3㎜이상)	m	3.0 / 1	건조수축 및 온도변화	
	타일균열	m	2.4 / 2	건조수축 및 온도변화	
	타일 들뜸/탈락	EA	19.0 / 19	시공 미흡 및 열화	
	타일파손	EA	18.0 / 18	시공 미흡 및 열화	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

본 터널 측벽부에 발생된 균열, 타일균열, 들뜸 및 탈락, 파손 등의 손상은 건조수축 및 온도변화, 시공미흡, 공용중 열화 등에 의해 발생된 것으로 판단된다.

조사된 균열은 구조물의 안전성에는 영향이 없으나 내구성 저하 방지를 위한 표면보수, 주입보수 등이 요구되며, 타일에 발생된 손상들에 대해서는 안전사고예방 및 미관 확보를 위해 타일 재시공 등 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

S2 측벽부 타일 파손(7EA)	S5 측벽부 타일 탈락(3EA)
S5 측벽부 타일 들뜸 및 탈락(10EA)	S10 측벽부 타일 균열(5EA)

【사진 3.6】 측벽부 손상현황

S14 측벽부 타일 파손(12A)	S16 측벽부 균열(cw=0.5㎜, L=3.0m)
S19 측벽부 타일 균열(7EA)	S20 측벽부 타일 파손(5EA)

【사진 3.6】 측벽부 손상현황(계속)

3) 기 점검 결과 비교

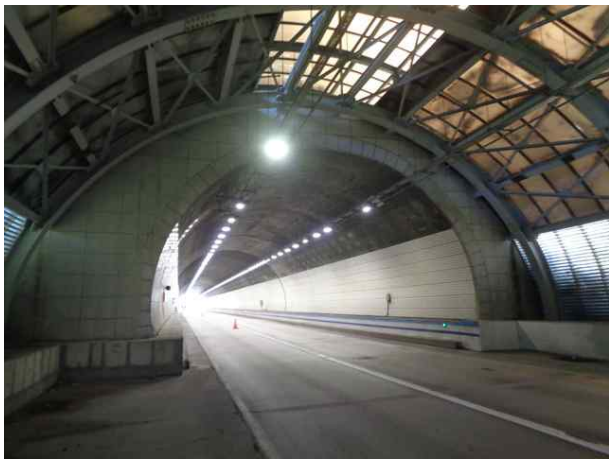
측벽부에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 타일 균열, 들뜸 및 탈락, 파손 등이 공용기간중 일부 증가 한 것으로 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀점검	금회점검	비 고
횡균열(cw=0.3㎜이상)	m	3.0	3.0	-
타일 균열	m	1.2	2.4	▲1.2
타일 들뜸/탈락	EA	10	19	▲9.0
타일파손	EA	5	18	▲13.0

3.2.2 터널주변

가. 갱문

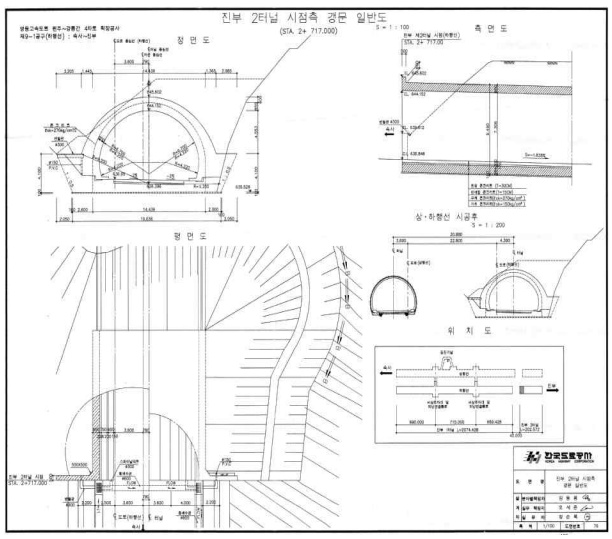
본 터널의 갱문은 NATM구간 시・종점부 면벽식으로 시공되어있다. 갱문 외관조사시 대리석 마감재 파손, 박락, 균열 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

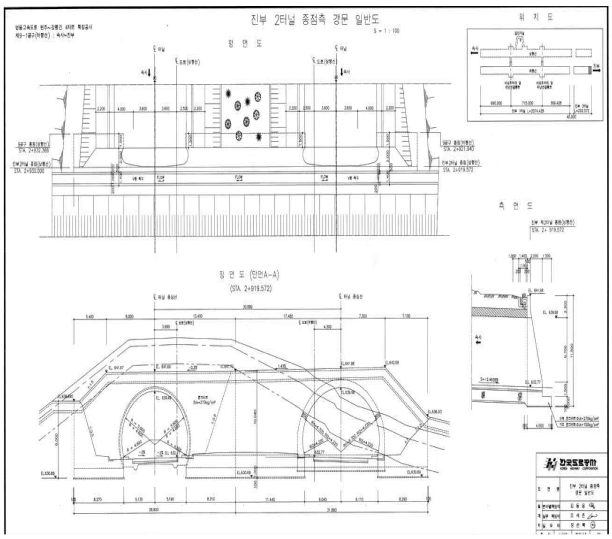


시점부 갱문 전경

종점부 갱문 전경

【사진 3.7】 갱문 시·종점부 전경





【그림 3.4】 갱문 시·종점부 일반도

1) 외관조사 결과

갱문 외관조사 결과 시점측 일부구간에서 대리석 균열이 발생한 것으로 확인되었다. 반면 종점측은 양호한 상태이다.

【표 3.5】 갱문 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
갱문	대리석 균열	m	0.3 / 1	공용중 열화	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

본 터널 갱문에 발생된 균열은 공용중 열화에 의해 발생한 것으로 판단되며, 당해 보수보다는 점검을 통한 주의관찰이 요구된다.

시점부 갱문 대리석 균열

종점부 갱문 상태양호

【사진 3.8】 갱문 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

갱문에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 기존 손상인 대리석 균열 외에 추가 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀점검	금회점검	비 고
대리석 균열	m	0.3	0.3	-

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.

종점부 사면 전경	종점부 사면 전경

【사진 3.9】 사면 시·종점부 전경

1) 외관조사 결과

사면 외관조사 결과, 터널 주변 사면에 초본류 및 목본류의 식생상태는 양호하며, 사면의 슬라이딩, 토사유실 및 침식, 낙석, 식생부족 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

종점부 사면 식생 상태양호	종점부 사면 식생 상태양호

【사진 3.10】 사면 손상현황

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, 일부구간 공동구 덮개 파손이 조사되었으며, 배수시설은 특이손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3.6】 배수시설 및 공동구 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
공동구	덮개 파손	EA	2.0 / 2	외부충격	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

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

S10 공동구 덮개 파손(1EA)	S17 공동구 덮개 파손(1EA)

【사진 3.12】 공동구 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

공동구에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 덮개 파손이 공용기간중 일부 추가 발생한 것으로 조사되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀점검	금회점검	비 고
덮개 파손	EA	-	2	▲2.0

3.2.3 부대시설

가. 포장부

본 터널의 포장부는 콘크리트 포장으로 시공되어 있으며, 운전자 시선 유도효과 및 소음감소, 운전 편의성 향상, 주행 접지력 향상을 목적으로 차량의 주행방향과 수평하게 종방향 타이닝으로 시공된 상태이다. 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

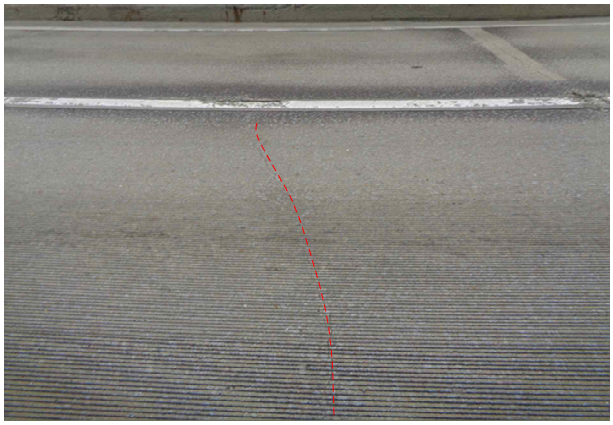
포장부 외관조사 결과, 전 구간에 국부적으로 포장 균열 및 파손, 스폴링 등의 손상이 발생한 것으로 확인되었다.

【표 3.7】 터널 포장부 손상현황

구분	손상내용	단위	손상물량 (물량/개소)	손상원인	비고
포장부	포장 균열	m	4.0 / 1	차량반복하중	
	포장 파손	㎡	1.27 / 6	차량반복하중	
	스폴링	㎡	0.04 / 2	차량반복하중	

2) 손상 발생원인 및 대책방안

콘크리트 포장에 발생한 균열, 파손 등은 중차량의 반복통행에 의해 발생된 것으로 판단되며, 현재 손상의 크기가 작으나, 내구성 확보를 위해 보수가 필요하며 보수 후에도 차량하중으로 인한 재손상이 우려되므로 점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

	
S7 포장 균열(L=4.0m)	S12 포장 파손(A=0.3m×0.3m)

【사진 3.14】 터널 포장부 손상현황

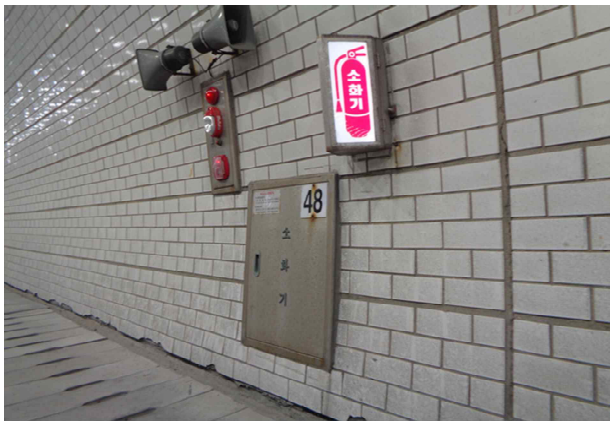
3) 기 점검 결과 비교

포장부에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 균열 및 파손, 스폴링 등의 손상이 공용기간중 일부 추가 발생한 것으로 조사되었다.

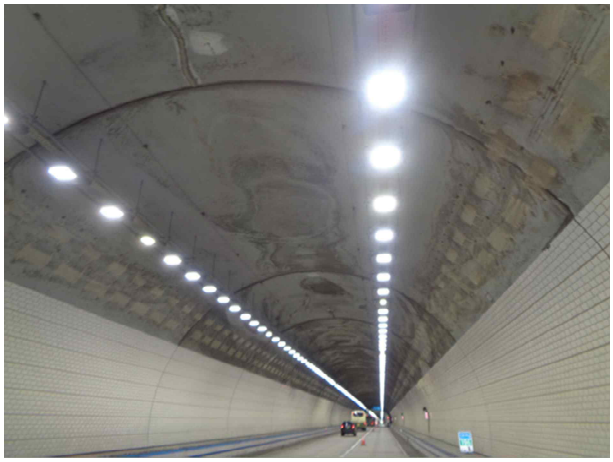
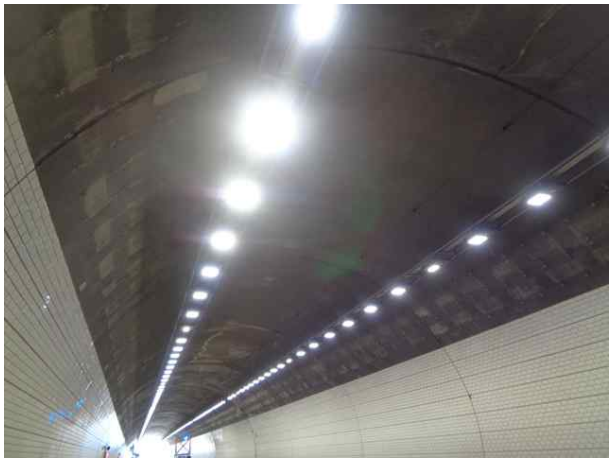
구 분	단 위	2017년 정밀점검	금회점검	비 고
포장 균열	m	-	4.0	▲4.0
포장 파손	㎡	0.09	1.27	▲1.23
포장 스폴링	㎡	-	0.04	▲0.04

3.2.4 기타 부속시설

본 터널의 부속시설은 조명시설, 소화시설, 환기시설, 이정표지판 등이 설치되어 있다.

	
소화시설	소화시설

【사진 3.15】 기타 부속시설 전경

	
조명시설 설치현황	대피시설

【사진 3.15】 기타 부속시설 전경(계속)

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.

3.2.5 외관조사 총괄표

【표 3.8】 손상내용 총괄표

구분	손상 내용	단위	물량	개소	비고
라이닝 천단부	횡균열(cw=0.3㎜미만)	m	4.6	10	
	횡균열(cw=0.3㎜이상)	m	28.4	6	
	망상균열	㎡	140.0	4	
	조인트부 들뜸/박락	㎡	1.34	4	
	백태	㎡	0.1	2	
라이닝 측벽부	횡균열(cw=0.3㎜이상)	m	3.0	1	
	타일 균열	m	2.4	2	
	타일 들뜸/탈락	EA	19.0	19	
	타일 파손	EA	18.0	18	
갱 문	대리석 균열	m	0.3	1	
공동구	덮개 파손	EA	2.0	2	
포장부	포장 균열	m	4.0	1	
	포장 파손	㎡	1.27	6	
	스폴링	㎡	0.04	2	

3.2.6 전회차 손상물량 비교

【표 3.9】 전회차 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상 열화내용	단위	손상수량		증•감 물량
			2017 정밀점검	2019 정밀점검	
라이닝 천단부	횡균열(cw=0.3㎜미만)	m	4.6	4.6	-
	횡균열(cw=0.3㎜이상)	m	28.4	28.4	-
	망상균열	㎡	105.0	140.0	▲35.0
	조인트부 들뜸/박락	㎡	2.4	1.34	▼1.06
	백태	㎡	-	0.1	▲0.1
라이닝 측벽부	횡균열(cw=0.3㎜이상)	m	3.0	3.0	-
	타일 균열	m	1.2	2.4	▲1.2
	타일 들뜸/탈락	EA	10	19.0	▲9.0
	타일 파손	EA	5	18.0	▲13.0
갱 문	대리석 균열	m	0.3	0.3	-
공동구	덮개 파손	EA	-	2.0	▲2.0
포장부	포장 균열	m	-	4.0	▲4.0
	포장 파손	㎡	0.09	1.27	▲1.23
	스폴링	㎡	-	0.04	▲0.04

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 3.10】 콘크리트 비파괴시험 현황

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

2) 콘크리트 내구성시험 위치 선정사유

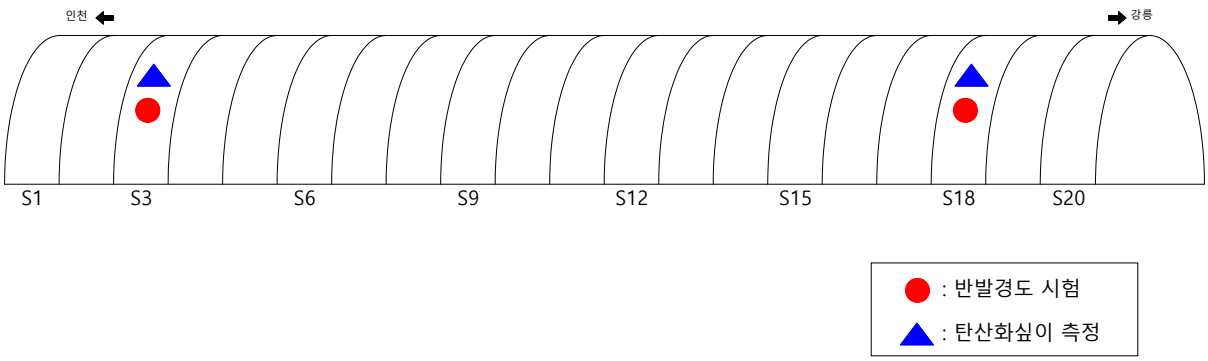
콘크리트 강도 등 시공정밀도 검증이 필요한 재료시험은 내구성 시험의 정확한 갑승 얻기 위하여 접근성이 용이하고 콘크리트의 요철 및 곰보작국 등을 피하여 외관상 양호한 곳을 선정하여 내구성 시험을 실시하였다. 따라서 본 터널의 내구성 시험은 고소작업차를 이용하여 천단부 등의 주요부재를 중심으로 우선적으로 선정하여 시험위치를 정하였다.

3) 조사 사진

반발경도 시험 현황	탄산화깊이 측정 현황

【사진 3.16】 콘크리트 내구성조사 현황

4) 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3.5】 콘크리트 내구성조사 위치도

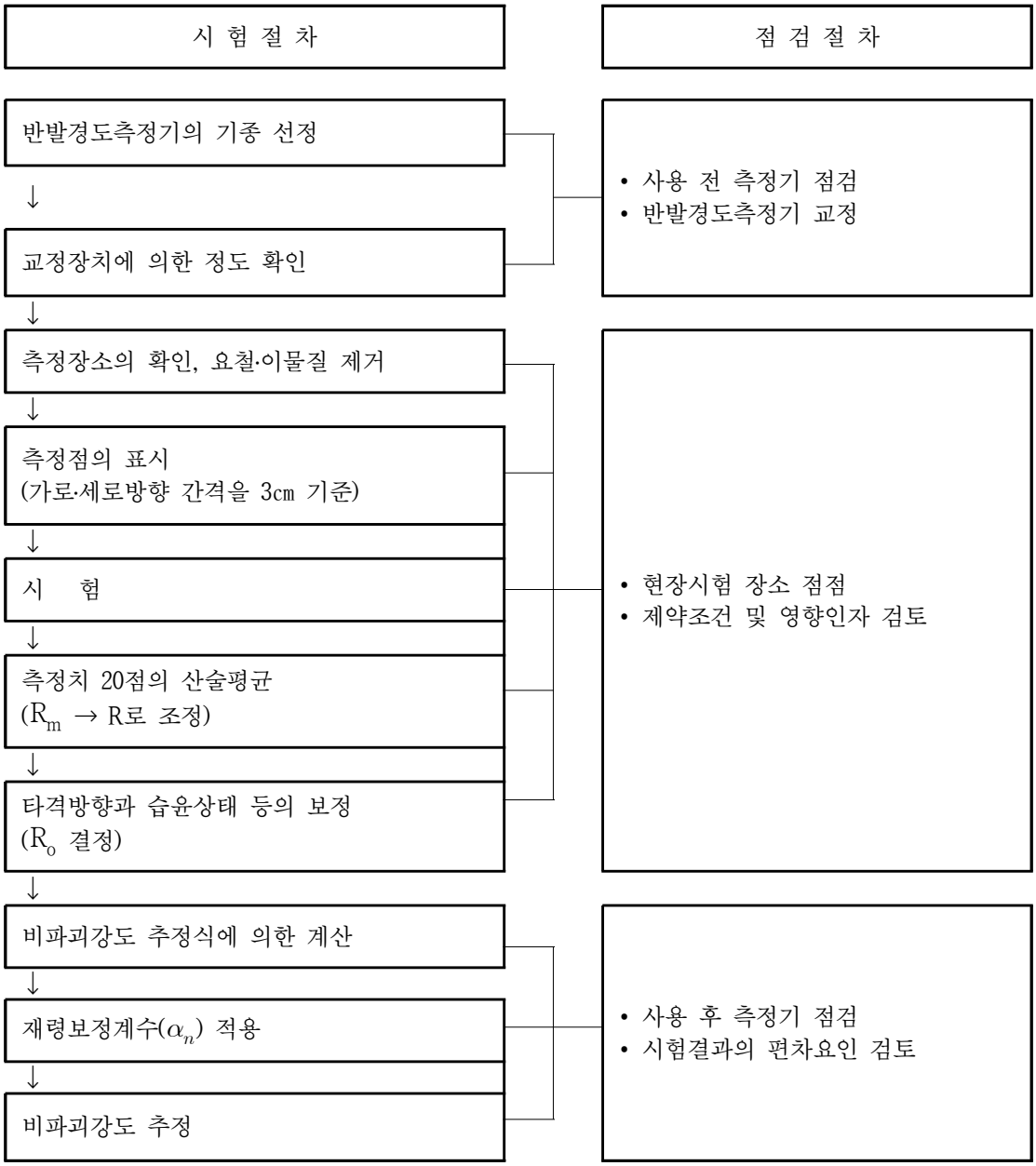
3.3.2 시험내용 및 평가기준

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 3.11】 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 3.12】 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 3.13】 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

다. 탄산화깊이 측정

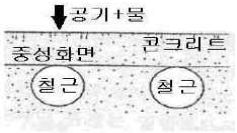
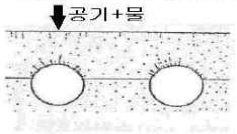
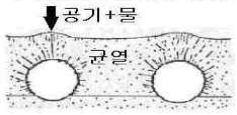
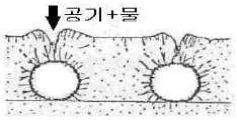
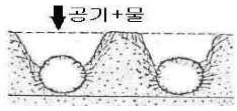
1) 개 요

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

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

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

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

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

【그림 3.7】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

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

【표 3.14】 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 3.15】 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

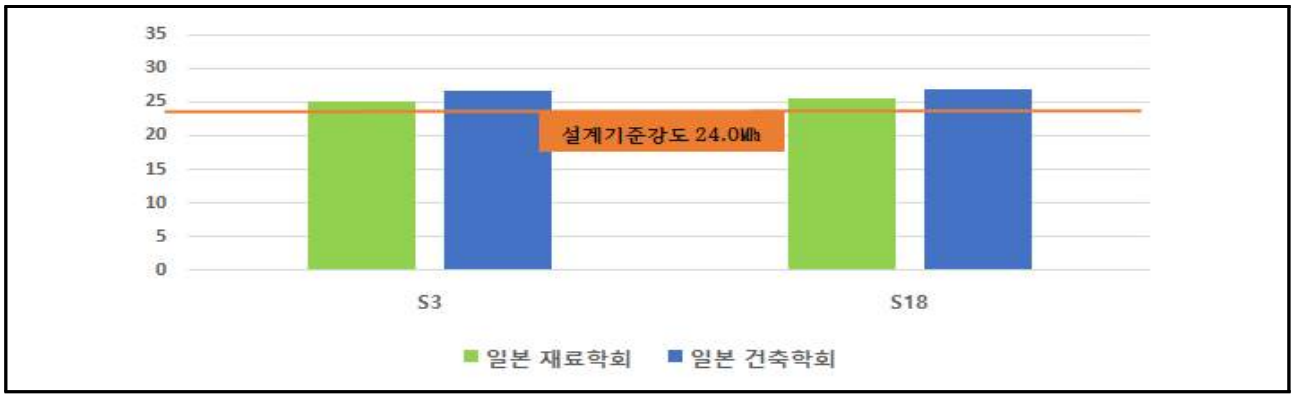
가. 콘크리트 강도시험

진부2터널(인천)의 콘크리트 비파괴강도시험은 콘크리트 라이닝에서 반발경도시험(총 2개소)를 실시하였으며, 검토결과는【표 3.16】과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.16】 콘크리트 라이닝 비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험	반발경도법(MPa)			설계기준 강도 (MPa)	비고
		반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
라이닝	S3 라이닝	48.6	25.0	26.6	0.63	24.0	
	S18 라이닝	49.3	25.5	26.9	0.63		
	평 균	48.9	25.2	26.7	-		



【그림 3.8】 콘크리트 라이닝 평균압축강도 추정결과

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 25.2~26.7MPa로 측정 되었으며, 금회 실시한 진부2터널(인천)은 모두 설계기준 압축강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 진부2터널(인천)의 라이닝 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하가 발생되지 않은 것으로 판단된다.

【표 3.17】 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	시험방법	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
라이닝	반발경도법	25.2~26.7	24.0	105.0~111.3

② 기 점검결과와의 비교

【표 3.18】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분	2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	설계기준강도
반발경도법	22.8~23.5	25.2~26.7	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.		

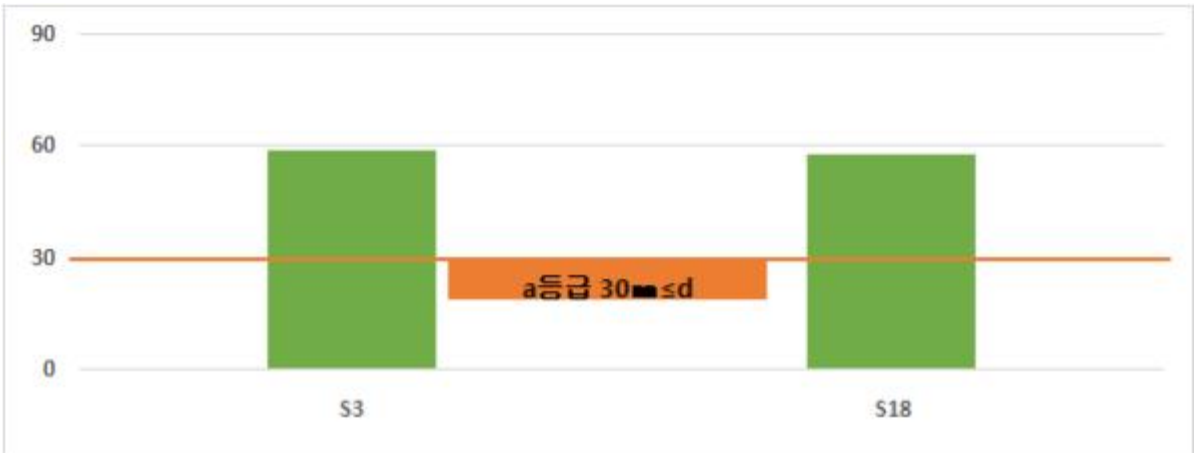
나. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 2개소에서 실시하였다. 시험위치는 철근구간인 시·종점부 개착구간에 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 3.19】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	실측 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
라이닝	S3	16.0	75.0	59.0	a	3.58	100년이상	-
	S18	17.0	75.0	58.0	a	3.80	100년이상	



【그림 3.9】 탄산화 깊이 측정결과

■ 측정결과, 탄산화깊이는 16.0㎜~17.0㎜로 측정되었으며, 잔여깊이가 30㎜이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 “a“로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

【표 3.20】 탄산화 시험결과 분석

구 분	탄산화 깊이(㎜)	잔여깊이(㎜)	비고
라이닝	16.0~17.0	58.0~59.0	

② 기 점검결과와의 비교

【표 3.21】 탄산화 깊이 기 점검결과와의 비교

구 분	2017년 정밀안전점검			금회 정밀안전진단			비 고
	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	
라이닝	14.0~15.0	60.0~61.0	a	16.0~17.0	58.0~59.0	a	
검토의견	■기존 및 금회 측정값 비교 분석 결과, 실측피복두께를 적용하여 다소 차이는 있지만, 잔여깊이가 30mm 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=4.6m	표면보수
		cw=0.3㎜ 이상	건조수축 및 온도변화	L=28.4m	주입보수
	망상균열		건조수축 및 온도변화	A=140.0㎡	표면보수
	조인트부 들뜸/박락		거푸집 조기탈형, 다짐불량 온도변화에 의한 신축작용	A=1.34㎡	단면보수
	백태		균열 및 누수	A=0.1㎡	표면보수

【표 3.22】 금회 정밀안전점검 외관조사 결과요약(계속)

구 분	결함내용 및 손상 열화내용	원인	수량	조치방안
라이닝 측벽부	횡균열(cw=0.3㎜이상)	건조수축 및 온도변화	L=3.0m	표면보수
	타일 균열	건조수축 및 온도변화	L=2.4m	실링
	타일 들뜸/탈락	시공 미흡 및 열화	19EA	재설치
	타일파손	시공 미흡 및 열화	18EA	재설치
갱 문	대리석 균열	공용중 열화	L=0.3m	실링
공동구	덮개 파손	외부 충격	2EA	재설치
포장부	포장 균열	차량 반복하중	L=4.0m	실링
	포장 파손	차량 반복하중	A=1.27㎡	단면보수
	스폴링	차량 반복하중	A=0.04㎡	단면보수

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	
진부2터널 (인천)	비파괴 강도 (MPa)	반발 경도	라이닝	25.2~26.7	fck=24.0	· 설계강도를 만족하는 것으로 측정됨
	탄산화 깊이 (mm)	라이닝		58.0~59.0 (잔여깊이)	a 등급	· 탄산화에 의한 철근 부식 가능성은 없음

나. 내구성조사 결과 비교

【표 3.24】 내구성조사 기 정밀점검(2017년)결과 비교

시 험 명	시험부위		시험 결과				비 고
			2017년 정밀안전점검		금회 정밀안전점검		
비파괴강도 (MPa)	라이닝	반발경도	22.8~23.5		25.2~26.7		■ 설계강도를 100% 만족하는 것으로 측정됨
탄산화 잔여깊이 (㎜)	라이닝		60.0~61.0 (잔여깊이)	a	58.0~59.0 (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.						