신 월 여 의 지 하 도 로

RAMP-D 긴급점검(정밀안전점검)용역

[긴급점검 보고서]

2026. 04

서 울 터 널 (주)

점검기관 : ㈜명성엔지니어링

RAMP-D 긴급점검 용역

신월여의지하도로

긴급점검

2026.04.

㈜명성엔지니어링

서울터널㈜

제 출 문

서울터널 주식회사 귀하

귀 사와 계약 체결한 『신월여의지하도로 **RAMP-D** 긴급점검(정밀안점검검)용역』의 과업을 성실히 수행하고, 그 결과를 제출합니다.

2026년 04월

주식회사 명 성 엔 지 니 어 링
경기도 성남시 분당구 야탑로 69번길 18
대표이사 김 선 무 (인)

신월여의지하도로 RAMP-D 긴급점검(정밀안전점검) 결과표

가. 일반현황

용 역 명	신월여의지하도로 RAMP-D 긴급점검(정밀안전점검)용역	점검기간	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15		
관리주체명	신월여의지하도로 관리사무소	대 표 자	박 영 호		
공동수급	독자수행 100%	계약 방법	수의계약		
시설물구분	터널	종 류	도로터널	종 별	1종
준 공 일	2021년 04월 15일	점검금액 (천원)	-	안전등급	양호
시설물 위치	서울 영등포구 여의도동 29-1	시설물 규모	연장 674.0m, 1차로		

나. 점검 실시결과 현황

중대결함	-
점검 주요결과	허용 높이 초과 차량 충돌 구간 손상 - NATM구간 천단부 균열 - 풍도슬래브 상면 파손, 댐퍼 고정볼트 탈락, 상면 댐퍼 변형 - 풍도슬래브 하면 파손(긁힘) - 풍도슬래브 격벽 파손 - NATM구간 측벽부 파손, 박리, 백태, 타일탈락, 균열 및 누수(스며있음) - 부대시설 유도배수관 누수
주요 보수·보강	표면처리, 주입보수, 단면보수, 정비 등

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급
책임기술자	이 상 훈	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	특급기술자
참여기술자	정 지 운	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	특급기술자
참여기술자	서 동 진	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	특급기술자
참여기술자	장 진 원	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	특급기술자
참여기술자	황 상 윤	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	특급기술자
참여기술자	양 주 윤	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	초급기술자
참여기술자	손 기 영	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	초급기술자
참여기술자	전 희 균	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	초급기술자
참여기술자	이 석 진	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	초급기술자
참여기술자	김 찬 영	2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15	초급기술자

라. 참고사항

신월여의지하도로 RAMP-D 긴급점검(정밀안전점검) 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
• 외관조사 결과, 주요 손상으로는 NATM구간 천단부 균열, 파손, 풍도슬래브 상면 이음부 몰탈파손, 파손, 상면 댐퍼 변형, 상면 댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손, 풍도슬래브 하면 파손, 풍도슬래브 격벽 파손, NATM구간 측벽부 타일탈락, 박리, 파손, 백태, 균열 및 누수(스며있음), 부대시설 유도배수관 누수 등의 손상이 조사되었다. 조사된 손상들은 주로 허용 높이 초과 차량 충돌 사고에 의한 손상이며 내구성 확보 및 2차손상 발생 방지를 위해 보수 및 정비가 필요한 상태이다. 또한 추후 재손상 방지를 위해 허용 높이 초과 차량의 출입을 제한하는 시설물의 설치가 필요하다. • 콘크리트 비파괴시험 결과, 콘크리트 부재의 강도는 양호한 것으로 측정되었으며, 철근탐사 시험 결과 배근간격이 준공도면과 대체로 일치하며, 피복두께는 설계치와 근접한 것으로 측정되었다. • 긴급점검(정밀안전점검) 종합평가 결과, 대상 구조물 전체의 안전성 및 사용성은 양호한 상태로 판단되나 외관조사에서 나타난 차량 충돌 사고 지점의 손상은 진전시 주행 차량에 피해를 줄 수 있으므로 손상에 대하여 보수를 실시하고, 중점유지관리사항에 대한 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 구조물의 원활한 기능발휘와 더불어 건전한 상태를 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단된다. 책임기술자 : 이 상 훈 (서명)

가. 긴급점검(정밀안전점검) 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수 · 보강				
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수 · 보강(안)
RAMP-D	NATM구간	c	· 균열(0.3㎜이상)	· 주입보수
	풍도슬래브	c	· 풍도상부 파손, 몰탈파손 · 풍도하부 파손 · 풍도격벽 파손 · 상부 댐퍼 변형, 볼트탈락	· 단면보수 · 단면보수 · 단면보수 · 정비
부대시설		-	· 유도배수관 누수	· 정비

나. 안전성평가 결과

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

다. 내진성능 검토 수행 여부

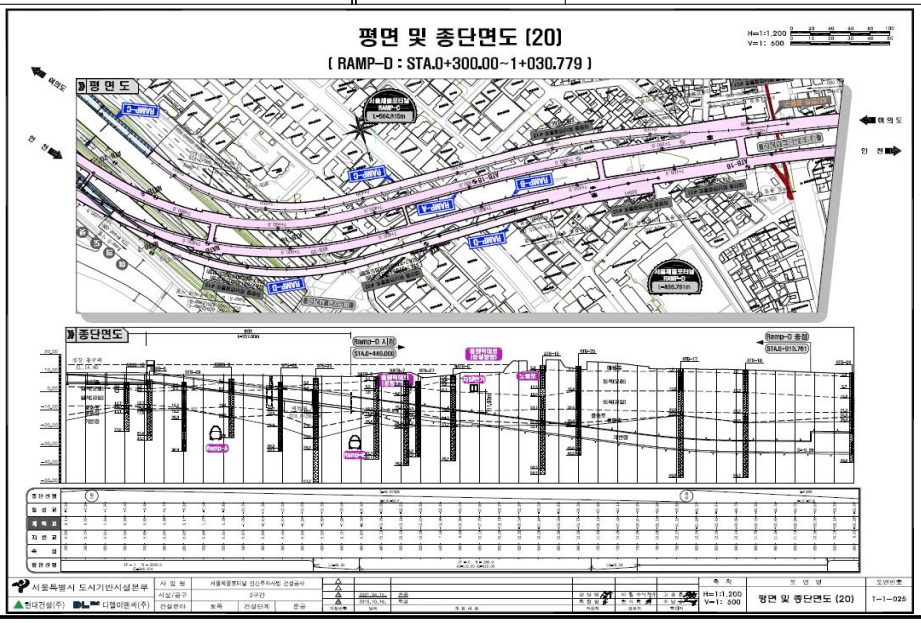
검토대상 부재	설계적용 여부	결과	검토결과 요약
해당상항 없음	Y	-	구조계산서 등 확인결과, 내진설계가 적용된 것으로 조사됨

라. 현장시험 (비파괴 및 추가시험)

시험명	시 험 위 치	시 험 결 과			비 고
비파괴 강도 (MPa)	시험종류	추정강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)	
	반발경도법	24.1~26.9	24.0	100.3~108.3	
		49.3~62.6	40.0	123.3~156.5	
	검토의견	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨			
탄산화 잔여깊이 (㎜)	부재	잔여깊이	평가	잔존수명	
	탄산화 잔여깊이	58.0~60.0	a	100년이상	
	검토의견	■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨			

신월여의지하도로 RAMP-D 현황표

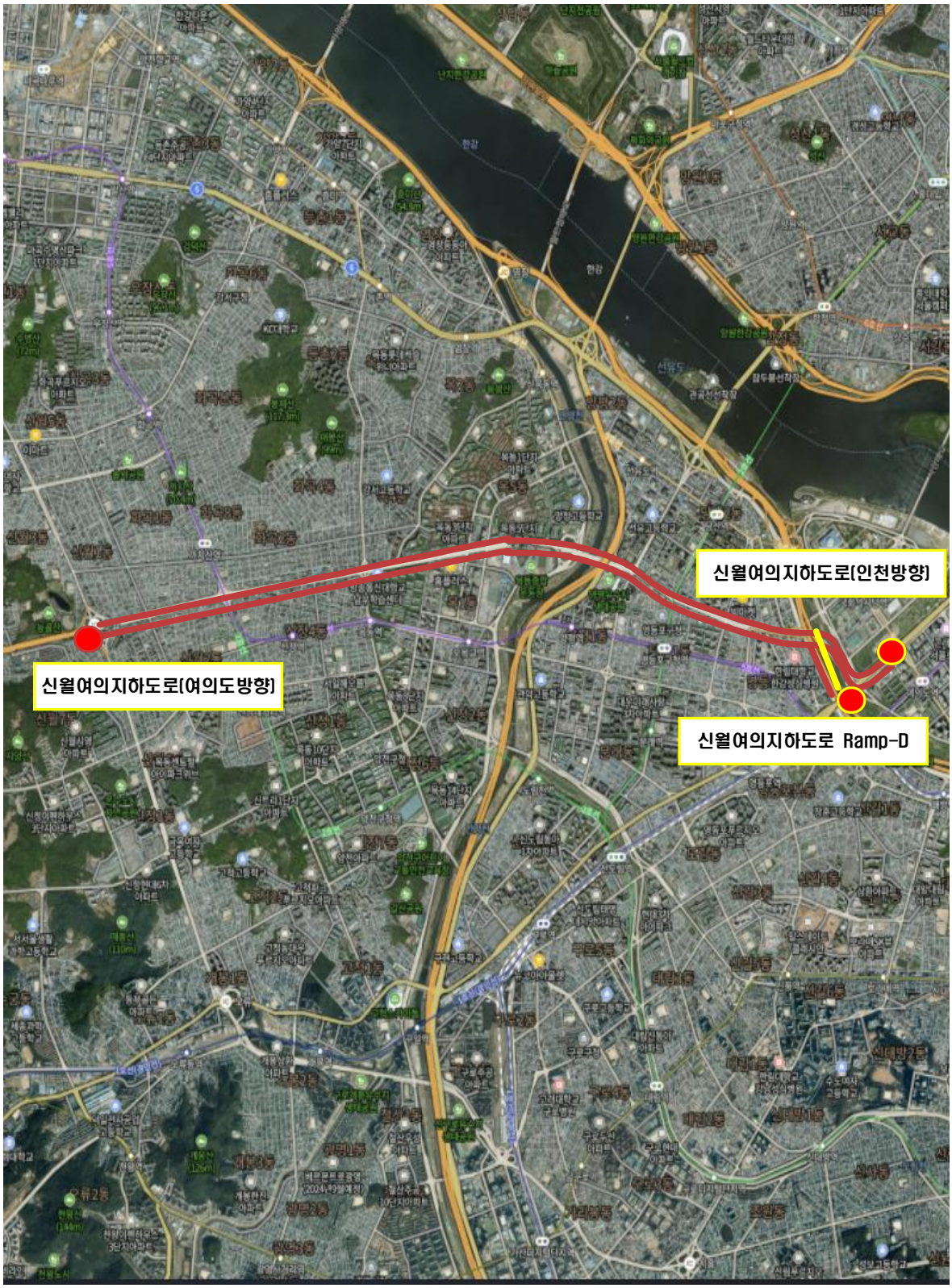
작성일 : 2026년 04월 10일

구 분	내 용	구 분	내 용
시설물명	신월여의지하도로 RAMP-D	시설물번호	-
위 치 (시 점)	서울특별시 영등포구 올림픽대로	위 치 (종 점)	신월여의지하도로 인천방향
터널형식	NATM+BOX	관리주체	서울터널주식회사
차 선 수	1차선	환기방식	강제환기
연 장	674.0m	설 계 사	㈜삼보기술단 외 2개사
내공단면	폭 : 6.50m, 풍도슬래브높이 : 3.00m	시 공 사	현대건설㈜
배수형식	측벽 배수관, 중앙 배수관	감 리 사	㈜동부엔지니어링, ㈜유신 외 12개사
종단기울기	0.5 ~ 6.96%	착 공	2015년 10월 16일
최소곡선반경	300m	준 공	2021년 04월 15일
연결통로	피난연락갱, 수직갱	갱문형식	면벽식
주요공법	NATM	보조공법	강관다단그라우팅
기 타			

긴급점검(정밀안전점검) 참여기술진 명단

참여구분	참여분야	이 름	등 급	직 책	날 인
사업 책임기술자	사업책임	이 상 훈	특급기술자	부 장	
참여기술자	보고서 작성 및 외관조사	정 지 운	특급기술자	이 사	
	보고서 작성 및 외관조사	서 동 진	특급기술자	부 장	
	보고서 작성 및 외관조사	장 진 원	특급기술자	부 장	
	보고서 작성 및 외관조사	황 상 윤	특급기술자	부 장	
	보고서 작성 및 외관조사	손 기 영	중급기술자	과 장	
	보고서 작성 및 외관조사	양 주 윤	초급기술자	과 장	양주윤
	보고서 작성 및 외관조사	전 희 균	초급기술자	대 리	전희균
	보고서 작성 및 외관조사	이 석 진	초급기술자	사 원	이석진
	보고서 작성 및 외관조사	김 찬 영	초급기술자	사 원	김찬영

시설물 위치도



시설물의 전경사진

BOX구간 내부 전경

BOX구간 슬래브 전경

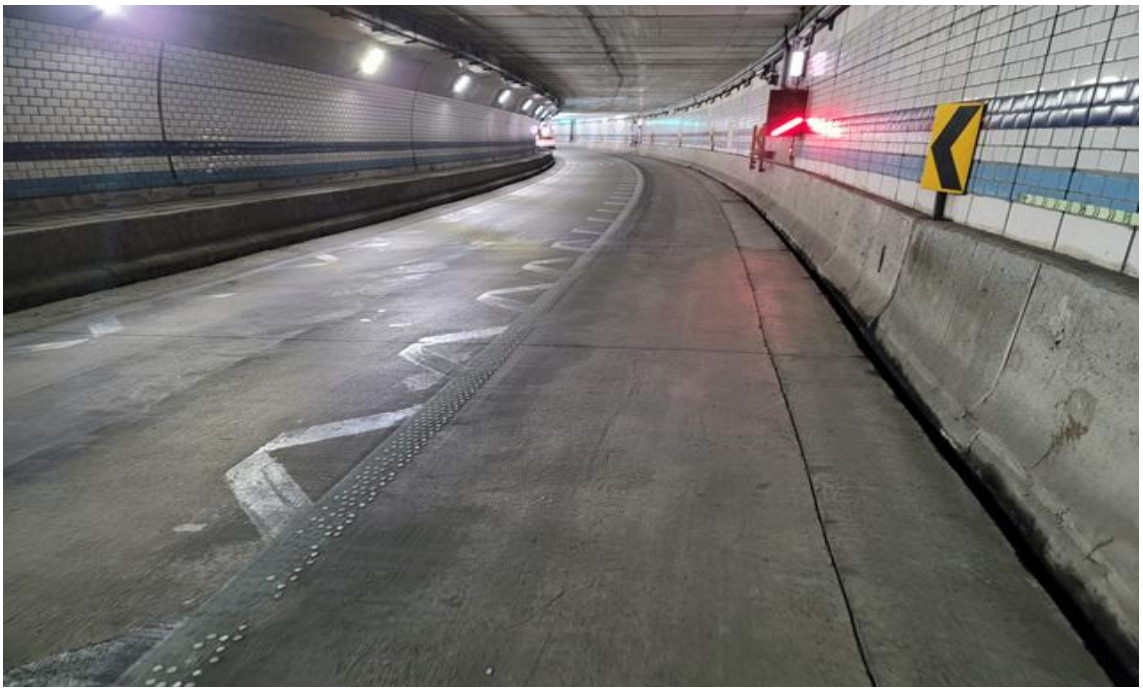
BOX구간 벽체 전경

BOX구간 포장 전경

NATM구간 라이닝 전경

NATM구간 측벽 전경

NATM구간 공동구 전경



NATM구간 포장 전경

RAMP-D 갱문 전경

Ramp-D 갱문 진입부 전경

신월여의지하도로 RAMP-D 긴급점검(정밀안전점검) 결과 요약문

1. 과업의 개요

1.1 과업의 목적

본 긴급점검(정밀안전점검)은 2025년 상반기 신월여의지하도로 RAMP-D에 발생한 허용 높이 초과 차량에 의한 풍도슬래브 충돌 사고의 영향을 조사하고 평가하기 위한 점검이며 근접 육안조사를 기본으로 필요 시 접근장비를 이용한 정밀 외관조사를 실시하되 현장조사 시에는 각종 안전조치를 취하였다. 충돌 사고 지점의 현장 외관조사 결과 및 각종 측정 및 시험결과를 바탕으로 해당 지점의 상태평가 결과를 도출하고 점검결과에 따라 적정한 보수 보강방법 및 사고 예방안을 제시하였다.

1.2 과업의 범위

가. 긴급점검(정밀안전점검)

1) 자료수집 및 분석

2) 현장조사 및 시험

3) 조사결과 검토 및 분석

4) 시설물의 상태평가

5) 종합평가

6) 보수·보강방법 및 유지관리방안 제시

7) 보고서 작성

나. 과업기간

2026. 03. 03 ~ 2026. 04. 15

1.3 시설물의 개요

1) 시설물의 현황

구 분	내 용	구 분	내 용
시설물명	신월여의지하도로 RAMP-D	시설물번호	-
위 치 (시 점)	서울특별시 영등포구 올림픽대로	위 치 (종 점)	신월여의지하도로 인천방향
터널형식	NATM+BOX	관리주체	신월여의지하도로 관리사무소
차 선 수	1차선	환기방식	강제환기
연 장	674.0m	설 계 사	㈜삼보기술단 외 2개사
내공단면	폭 : 6.50m, 풍도슬래브높이 : 3.00m	시 공 사	현대건설㈜
배수형식	측벽 배수관, 중앙 배수관	감 리 사	㈜동부엔지니어링, ㈜유신 외 12개사
종단기울기	0.5 ~ 6.96%	착 공	2015년 10월 16일
최소곡선반경	300m	준 공	2021년 04월 15일
연결통로	피난연락갱, 수직갱	갱문형석	면벽식
주요공법	NATM	보조공법	강관다단그라우팅
기 타			

2. 자료수집 및 분석

2.1 점검 이력

NO	점검 기간	점검 구분	등급	비고
1	2021.12.20 ~ 2021.12.31	정기안전점검(하반기)	양호	
2	2022.06.22 ~ 2022.06.30	정기안전점검(상반기)	양호	
3	2022.10.04 ~ 2022.12.31	정기안전점검(하반기)	양호	
4	2023.04.17 ~ 2023.06.30	정기안전점검(상반기)	양호	
5	2023.10.17 ~ 2023.12.22	정기안전점검(하반기)	양호	
6	2024.01.02 ~ 2024.04.15	정밀안전점검	B	
7	2024.10.29 ~ 2024.12.13	정기안전점검(하반기)	양호	
8	2025.01.02 ~ 2025.05.30	정기안전점검(상반기)	양호	
9	2025.11.10 ~ 2025.12.24	정기안전점검(하반기)	양호	

2.2 보수·보강 이력

번호	보수시기	공사구간	공사내역	시공사
1	~2023년	라이닝 공동구 등	준공이후 열화부 하자보수(부분)	-

2.3 자료수집 및 분석 결과요약

구 분	내 용	비고
설계도서	○현장조사 시 부재치수를 실측하여 구조물도와 비교·검토 후, 과업을 진행토록 함	
시설물관리대장	○관리대장의 내용과 설계도서를 비교 검토한 결과, 상이한 내용은 없으며, 정밀한 현장소사를 실시하여 향후 유지관리를 위한 사항들을 보고서에 수록함	
시공관련자료	○안전, 품질, 공정 및 변경등에 관한 검토를 통해 합당한 공사가 시행 된 것으로 확인되었고, 안전점검 기록 및 현장시험을 통해 품질의 현 상태를 분석하고 확인함	
안전점검 및 정밀안전진단자료	○점검이력을 검토한 결과, 시설물의 손상 및 상태가 확인되었고, 기존 점검 결과를 비교·검토하여 추가 손상 확인, 보수여부 재확인 후 대책방안을 검토함	
보수보강자료	○일괄보수 보다는 하자보수를 통하여 단계적인 예방 보수가 시행되고 있고, 기보수부 상태를 확인하여 재손상 발생여부를 확인함	
중 점 관리사항	○전차 안전점검 자료를 확인한 결과, 일부 부재에서 손상이 확인되었고, 금회 점검에서는 보수 여부 확인, 진전여부 확인, 신규손상 발생 여부에 대하여 중점조사 및 점검함	
시설물 특이사항	○중대결함 : 없음 ○구조가 변경(하중변화, 단면변화)된 경우 : 없음	
점검주기	○점검일 현재 정기안전점검 총 5회를 실시하였으며, 전반적으로 점검 시기는 적정하게 이루어지고 있는 것으로 조사됨.	

3. 현장조사 및 시험

3.1 외관조사 결과요약

1) 금회(2026년) 점검 외관조사 결과요약

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	비고
NATM구간 천단부	균열(0.3㎜이상)	m	1	3.00	주입보수	
	균열(0.5㎜이상)	m	2	13.00	주입보수	
풍도슬래브 상면	이음부 몰탈파손	㎡	10	6.30	단면보수	
	파손	㎡	14	1.64	단면보수	
	댐퍼 변형	m	1	0.50	정비	
	댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손	EA	9	9.00	정비	
풍도슬래브 하면	파손	㎡	13	1.75	단면보수	
풍도슬래브 격벽	격벽 파손	㎡	1	0.36	단면보수	
NATM구간 측벽부	타일탈락	㎡	9	18.00	정비	
	박리	㎡	1	0.10	단면보수	
	파손	㎡	3	0.50	단면보수	
	백태	㎡	4	1.59	표면처리	
	균열 및 누수(스며있음)	m	1	0.50	주입보수	
부대시설	유도배수관 길이부족	m	1	1.50	정비	

2) 사고 전·후 손상물량 비교 결과

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	충돌 전 물량	충돌 후 물량	증감		비고
NATM구간 천단부	균열(0.3㎜이상)	m	3.00	3.00	-	-	하자
	균열(0.5㎜이상)	m	4.00	13.00	▲	9.00	차량충돌
풍도슬래브 상면	이음부 몰탈파손	㎡	-	6.30	▲	3.90	차량충돌
	파손	㎡	-	1.64	▲	1.44	차량충돌
	댐퍼 변형	m	-	0.50	▲	0.50	차량충돌
	댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손	EA	-	9.00	▲	9.00	차량충돌
풍도슬래브 하면	파손(긁힘)	㎡	0.12	1.75	▲	1.63	차량충돌
풍도슬래브 격벽	격벽 파손	㎡	-	0.36	▲	0.36	차량충돌
NATM구간 측벽부	타일탈락	㎡	18.00	18.00	-	-	하자
	박리	㎡	0.10	0.10	-	-	하자
	파손	㎡	0.50	0.50	-	-	하자
	백태	㎡	1.59	1.59	-	-	하자
	균열 및 누수(스며있음)	m	0.50	0.50	-	-	하자
부대시설	유도배수관 길이부족	m	1.50	1.50	-	-	하자

3.2 내구성 결과요약

1) 금회(2026년) 점검 내구성조사 결과요약

시험명	시 험 위 치	시 험 결 과			비 고
비파괴 강도 (MPa)	시험종류	추정강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)	
	반발경도법	24.1~26.9	24.0	100.3~108.3	
		49.3~62.6	40.0	123.3~156.5	
	검토의견	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨			
탄산화 잔여깊이 (㎜)	부재	잔여깊이	평가	잔존수명	
	탄산화 잔여깊이	58.0~60.0	a	100년이상	
	검토의견	■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 "a"로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨			

4. 상태평가 및 종합평가

4.1 상태평가 및 종합평가

구분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							충돌 사고 전·후 영향	
				박리	층분리 및 박락	백태	재료분리	철근 노출	탄산화	-		
S51	c	a	a	a	a	a	a	a	x	-	· 파손 a→a	· 균열 a→c
S52	c	a	b	a	a	b	a	a	a	-	· 파손 a→b	· 균열 a→c
S53	a	a	c	a	a	a	a	a	x	-	· 파손 a→c	· 균열 a→a
S54	a	a	d	a	a	a	a	a	a	-	· 파손 a→d	· 균열 a→a

· 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침에 의한 신월여의지하도로 RAMP-D S51~S54 구간 상태평가를 실시한 결과, 상태평가항목 중 균열, 파손 및 손상에서 사고전·후(a→c~d) 등급의 변화가 확인되었다.

5. 보수·보강 및 유지관리방안

5.1 보수·보강 및 우선순위

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	우선순위
NATM구간 천단부	균열(0.3㎜이상)	m	1	3.00	주입보수	하자
	균열(0.5㎜이상)	m	2	13.00	주입보수	차량충돌
풍도슬래브 상면	이음부 몰탈파손	㎡	10	6.30	단면보수	차량충돌
	파손	㎡	14	1.64	단면보수	차량충돌
	댐퍼 변형	m	1	0.50	정비	차량충돌
	댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손	EA	9	9.00	정비	차량충돌
풍도슬래브 하면	파손	㎡	13	1.75	단면보수	차량충돌
풍도슬래브 격벽	격벽 파손	㎡	1	0.36	단면보수	차량충돌
NATM구간 측벽부	타일탈락	㎡	9	18.00	정비	하자
	박리	㎡	1	0.10	단면보수	하자
	파손	㎡	3	0.50	단면보수	하자
	백태	㎡	4	1.59	표면처리	하자
	균열 및 누수(스며있음)	m	1	0.50	주입보수	하자
부대시설	유도배수관 길이부족	m	1	1.50	정비	하자

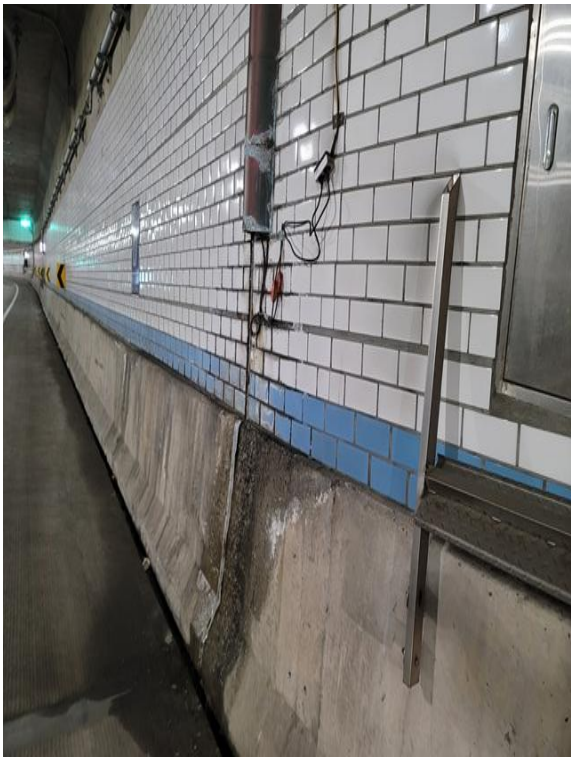
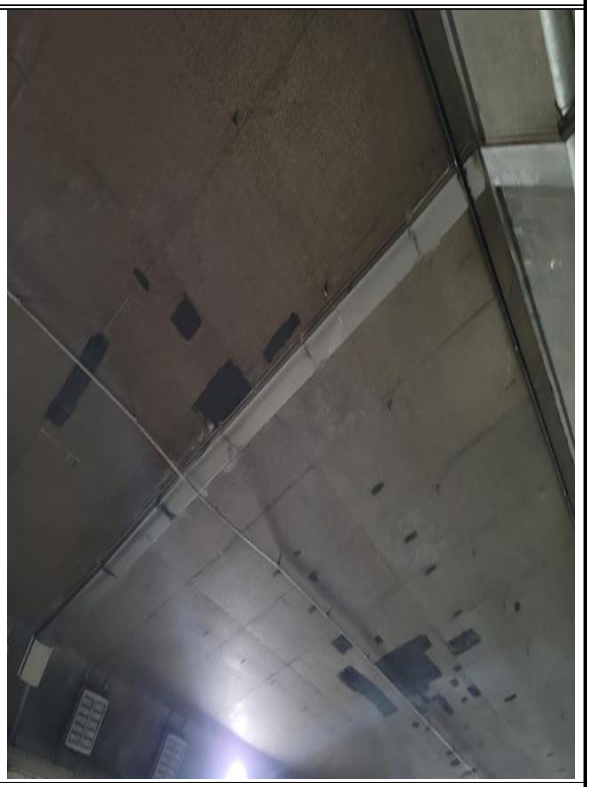
6.2 중점 유지관리사항

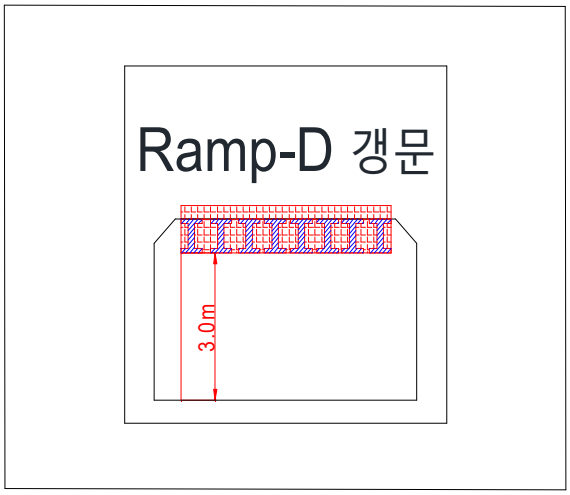
구 분	세 부 내 용	
NATM 구간		
	NATM구간 천단부 S54 균열	NATM구간 천단부 S54 균열
조사 결과	· 균열 등 ⇒ 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 아니나, 내구성 저하 등, 손상의 진전이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 보수가 필요 ⇒ 보수 전까지는 주행차량의 안전사고가 발생되지 않도록 지속적인 점검 필요	

구 분	세부내용	
풍도 슬래브		
	풍도슬래브 S54 파손	풍도슬래브 S53 파손
조사 결과	· 파손, 몰탈파손 등 ⇒ 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 아니나, 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 단면보수가 필요함 ⇒ 파손, 몰탈파손의 진전여부에 대하여 주의관찰이 요구됨	

구 분	세 부 내 용	
풍도 슬래브		
	풍도슬래브 하면 S54 파손	풍도슬래브 하면 S54 파손
조사 결과	· 파손 및 철근노출 ⇒ 파손 및 철근노출은 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 단면보수, 단면보수(방청)를 실시하는 것이 필요함 ⇒ 보수 전까지는 주행차량의 안전사고가 발생되지 않도록 지속적인 점검 필요	

구 분	세부내용	
풍도 슬래브		
	풍도슬래브 상면 S53 댐퍼 변형 및 볼트파손	풍도슬래브 상면 S53 댐퍼 변형 및 볼트파손
조사 결과	· 댐퍼변형, 볼트파손 등 ⇒ 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 아니나, 내구성 저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 정비 등의 보수가 필요함	

구 분	세 부 내 용	
부대 시설		
	부대시설 S55 유도배수관 길이부족	부대시설 S58 유도배수관 전경
조사 결과	· 유도배수관 누수, 유도배수관 길이부족 등 ⇒ 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 아니나, 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 보수가 필요함	

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="2">세 부 내 용</th></tr>
<tr><td rowspan="4">보수
예시</td><td>
</td><td> </td></tr>
<tr><td>차량 높이 제한시설 보수예시</td><td>차량 높이 제한시설 보수예시</td></tr>
<tr><td>
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>차량 높이 제한시설 보수 예상도</td><td>차량 높이 제한시설 보수 예상도</td></tr>
<tr><td>조사
결과</td><td colspan="2">· 허용 높이 초과 차량의 진입 예방
⇒ 허용 높이 초과 차량의 진입으로 인한 충돌 파손 등 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 이를 예방하기 위하여 H빔을 사용한 진입제한시설을 설치하고 유지관리가 요망된다.</td></tr>
</table>

7. 종합결론

7.1 긴급점검(정밀안전점검) 실시결과의 종합결론

신월여의지하도로 RAMP-D의 점검결과, 외관조사에서 나타난 허용 높이 초과 차량 충돌 사고에 의한 풍도슬래브 파손 손상에 대하여 보수를 실시하고, 중점유지관리사항에 대한 지속적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 원활한 기능발휘와 더불어 건전한 상태를 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

7.2 정밀안전진단 및 시설물의 사용제한의 필요성 여부

차량 충돌 사고의 영향으로 인한 내구성능의 현저한 저하 또는 구조적 안전성에 문제가 될 만한 사안은 발생되지 않은 상태로서 시설물의 정밀안전진단 및 사용제한은 필요치 않은 것으로 검토되었다.

7.3 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

NATM구간 라이닝 및 풍도슬래브에 발생한 파손은 허용 높이 초과 차량 충돌 사고로 발생한 손상이며, 구조물에 영향을 미치는 손상은 아닌 것으로 판단되나 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 단면보수를 실시하는 것이 필요하며, 보수 전까지는 주행차량의 안전사고가 발생되지 않도록 지속적인 점검이 요구된다.

허용 높이를 초과한 차량의 진입으로 라이닝 및 풍도슬래브에 충돌 파손 등 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 이를 예방하기 위하여 H빔을 사용한 진입제한시설을 설치하고 유지관리가 요망된다.

7.4 기타 필요한 사항

시설물의 안전성 유지는 점검 당시에는 양호한 상태로 존재하여도, 이후의 유지관리 상태 및 예기치 않던 외적요인에 의해 잔존해 있던 위험요소가 일시적으로 노출되어 안전성에 영향을 미칠 수 있으므로 지속적인 점검 등의 유지관리를 통해 기능성과 안전성을 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

보고서 목차

◉서두

◉긴급점검(정밀안전점검) 결과 요약문

제 1장 긴급점검(정밀안전점검) 개요 ····· 1

1.1 과업의 목적 ····· 3

1.2 과업의 범위 및 내용 ····· 3

1.2.1 과업의 범위 ····· 3

1.2.2 과업수행기간 ····· 3

1.2.3 과업의 내용 ····· 4

1.3 과업수행 절차 및 일정 ····· 5

1.3.1 과업수행 절차 ····· 5

1.3.2 과업수행 일정 ····· 6

1.4 대상시설물의 현황 ····· 7

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황 ····· 8

제 2장 자료수집 및 분석 ····· 13

2.1 자료수집 현황 ····· 13

2.1.1 자료수집 현황 ····· 13

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약 ····· 14

2.2.1 주요 설계도면 ····· 14

2.2.2 구조 및 수리계산서 ····· 36

2.2.3 지반조사보고서 ····· 42

2.3 기존 점검 및 진단자료 분석 ····· 47

2.3.1 점검 및 진단 이력 ····· 47

2.3.2 기존 정밀안전점검 분석 ····· 47

2.4 보수 · 보강 이력 ····· 47
2.5 내진설계 여부 ····· 48
2.6 시설물의 용도변경 여부 확인 ····· 48
2.7 자료분석 결과요약 ····· 48

제 3장 현장조사 및 시험 ····· 49
3.1 현장조사 개요 ····· 51
3.1.1 현장조사 수행 현황 ····· 51
3.1.2 현장조사 항목 ····· 56
3.1.3 하중상태 등 조사 ····· 62
3.2 터널 측점분할 ····· 63
3.3 현장조사 결과 ····· 64
3.3.1 신월여의지하도로 RAMP-D ····· 64
3.3.2 외관조사 결과 ····· 104
3.3.3 사고 전·후 손상물량 비교 결과 ····· 105
3.3.4 차량 충돌에 의해 발생한 손상 대책 ····· 106
3.4 내구성 시험 및 측정 개요 ····· 107
3.4.1 콘크리트 내구성 조사 ····· 107
3.4.2 시험내용 및 평가기준 ····· 107
3.5 내구성 조사 결과 ····· 115
3.5.1 콘크리트 강도시험 ····· 116
3.5.2 철근탐사 시험 ····· 118
3.5.3 탄산화 깊이 측정 ····· 119
3.5.4 내구성조사 결과 요약 ····· 120

제 4장 상태평가 ····· 121
4.1 개요 ····· 123
4.2 상태평가 항목 및 기준 ····· 123
4.2.1 상태평가 기준 ····· 123
4.2.2 상태평가 항목 및 기준 ····· 126
4.3 상태평가 결과 ····· 134

4.3.1 구간분할 ····· 134
4.3.2 상태평가 결과 ····· 134

제 5장 종합평가 ····· 135
5.1 개요 ····· 137
5.2 종합평가 결과 ····· 137

제 6장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· 139
6.1 개 요 ····· 141
6.2 보수 · 보강 방안 ····· 142
6.2.1 보수 · 보강의 필요성 판단 ····· 142
6.2.2 보수 · 보강 수준 결정 ····· 142
6.2.3 보수 · 보강 공법 선정 ····· 143
6.2.4 보수·보강의 업무 흐름도 ····· 145
6.2.5 보수·보강 방안 ····· 146
6.3 보수·보강 공법 ····· 147
6.3.1 균열보수공법 ····· 147
6.3.2 단면보수공법 ····· 155
6.3.3 누수보수공법 ····· 159
6.4 유지관리 방안 ····· 166
6.4.1 개요 ····· 166
6.4.2 유지관리 일반 ····· 166
6.4.3 중점 유지관리사항 ····· 169

제 7장 종 합 결 론 ····· 175
7.1 개요 ····· 177
7.2 현장조사 및 시험 ····· 177
7.2.1 신월여의지하도로 RAMP-D ····· 177
7.2.2 내구성 조사결과 ····· 180
7.3 시설물의 상태평가 ····· 180
7.4 종합결론 ····· 181

7.4.1 긴급점검(정밀안전점검) 실시결과의 종합결론 ····· 181
7.4.2 정밀안전진단 및 시설물의 사용제한의 필요성 여부 ····· 181
7.4.3 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항 ····· 181
7.4.4 기타 필요한 사항 ····· 181

◉ 부 록

1. 과업지시서
2. 외관조사망도
3. 측정, 시험 성과표
4. 상태평가 결과자료
5. 시설물관리대장 사본
6. 현장조사 및 외관조사 사진첩
7. 사용장비 및 기기의 사진
8. 사전조사 자료 일체

제1장 긴급점검(정밀안전점검) 개요

1.1 과업의 목적

1.2 과업의 범위 및 내용

1.3 과업수행 절차 및 일정

1.4 대상시설물의 현황

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

제1장 긴급점검(정밀안전점검) 개요

1.1 과업의 목적

본 긴급점검(정밀안전점검)은 2025년 상반기 신월여의지하도로 RAMP-D에 발생한 허용 높이 초과 차량에 의한 풍도슬래브 충돌 사고의 영향을 조사하고 평가하기 위한 점검이며 근접 육안조사를 기본으로 필요 시 접근장비를 이용한 정밀 외관조사를 실시하되 현장조사 시에는 각종 안전조치를 취하였다. 충돌 사고 지점의 현장 외관조사 결과 및 각종 측정 및 시험결과를 바탕으로 해당 지점의 상태평가 결과를 도출하고 점검결과에 따라 적정한 보수 보강방법 및 사고 예방안을 제시하였다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

가. 긴급점검(정밀안전점검)

1) 자료수집 및 분석

2) 현장조사 및 시험

3) 조사결과 검토 및 분석

4) 상태평가

5) 종합평가

6) 보수·보강방법 및 유지관리방안 제시

7) 보고서 작성

1.2.2 과업수행기간

2026. 03. 03. ~ 2026. 04. 15

1.2.3 과업의 내용

본 과업은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2026. 01, 국토교통부/국토안전관리원)』에 의거 수행하였으며, 과업의 내용에 대한 세부사항은 다음과 같다.

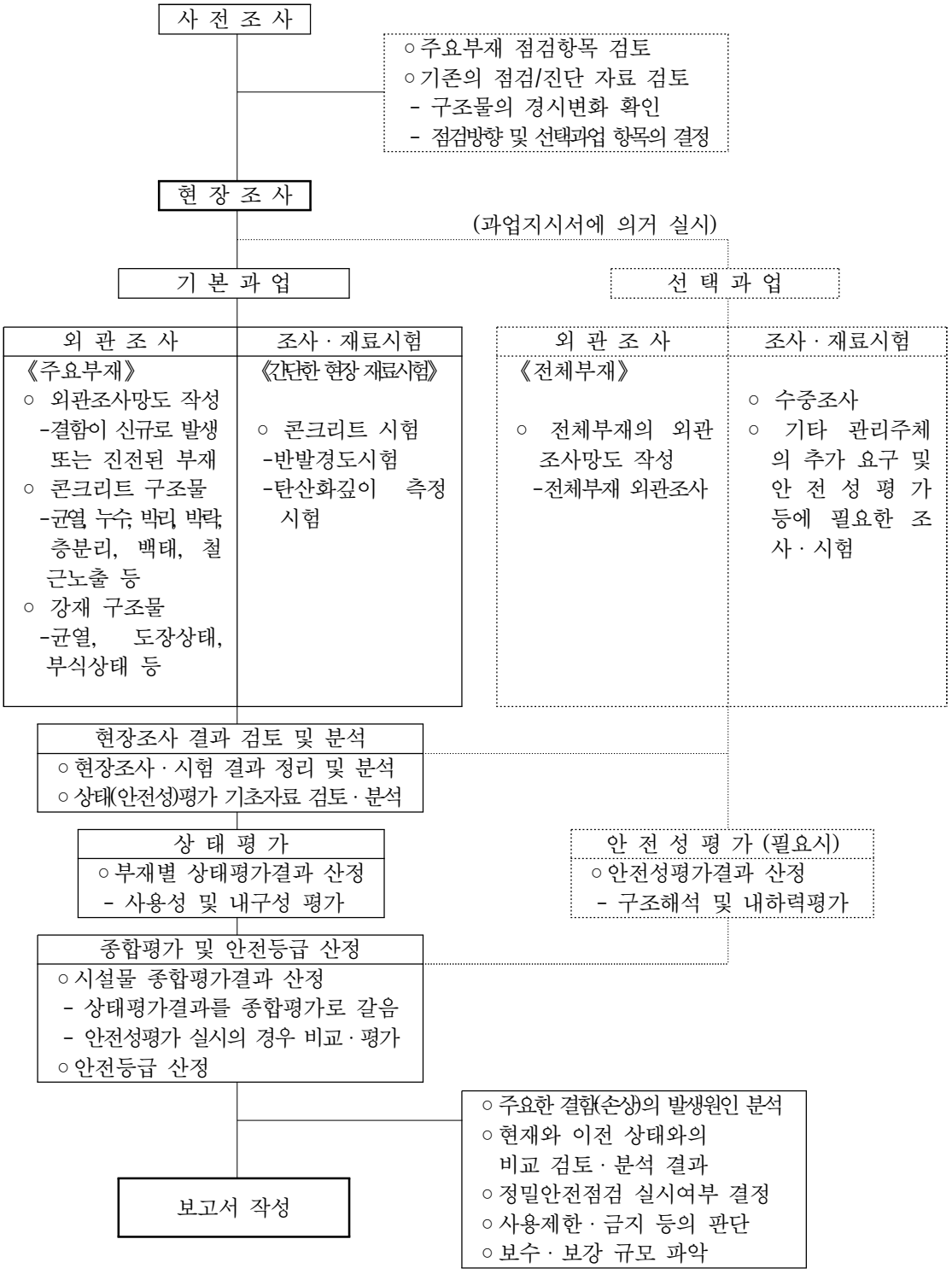
【표 1.2.1】 과업의 내용

과 업 의 범 위		과 업 의 내 용	비 고
설계도서 및 관련자료 수집·검토		1) 설계자료 검토(준공도면, 구조계산서, 특별시방서) 2) 시설물관리대장, 시공관련자료 3) 기존 안전점검 실시결과 및 보수·보강 이력 검토	시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (2026.01) 적용
현장 조사 및 시험	외관 조사	1) 제원 및 시공상태 조사 2) 외관 결함 및 손상 등 외관조사	
	내구성 조사	1) 콘크리트 - 콘크리트 강도 조사 : 반발경도시험 - 탄산화 깊이 측정 - 철근탐사시험 : 피복두께	
상태평가		1) 부재별 상태평가 산정	
종합평가		1) 상태평가 결과로 갈음	
보수 및 보강 대책 수립		1) 결함 및 손상부위에 대한 원인 분석 및 평가 2) 기능 회복 및 향상을 위한 보수·보강 공법 제시 3) 보수·보강 물량 및 보수·보강 우선순위 제시	
유지관리 대책 수립		1) 효율적인 유지관리를 위한 방안 제시	
보고서 작성		1) 최종보고서 작성 및 제출	

1.3 과업수행 절차 및 일정

1.3.1 과업수행 절차

본 긴급점검(정밀안전점검) 과업수행 흐름도는 다음과 같다.



【그림 1.3.1】 긴급점검(정밀안전점검) 과업수행 흐름도

1.3.2 과업수행 일정

【표 1.3.1】 긴급점검(정밀안전점검) 과업수행 일정

공 종		2026년 03월 03일 ~ 2026년 04월 15일							비 고
		7	14	21	35	42	49	59	
1. 자료수집 및 분석 ·관계도서 수집 및 분석 현장답사 및 점검계획 수립									- 3/3 착수
2. 현장조사 및 시험 ·외관조사 ·재료시험 및 측정									-현장조사 및 시험 -구조물별 조사팀 운영 -필요시 추가조사
3. 상태평가 ·상태평가 결과작성									-현장조사와 내업작업 병행 실시
4. 종합평가 및 안전등급 지정 ·종합평가 ·안전등급 지정									
5. 보수보강 및 유지관리 방안 제시 ·보수보강방안 제시 ·유지관리방안 제시									
6. 보고서 작성 ·보고서 작성 ·보고서 수정 및 납품									- 04/15 준공예정
공정율(%)	진행	15	15	15	15	15	15	10	
	누계	15	30	45	60	75	90	100	

1.4 대상시설물의 현황

본 과업의 대상시설물인 신월여의지하도로의 현황은 다음과 같다.

【표 1.4.1】 신월여의지하도로 RAMP-D 현황표

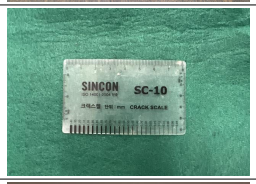
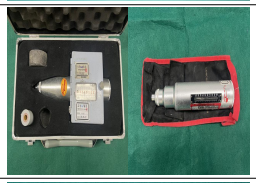
작성일 : 2026년 04월 15일

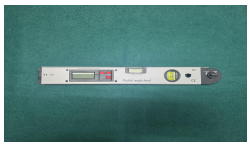
구 분	내 용	구 분	내 용
시설물명	신월여의지하도로 RAMP-D	시설물번호	-
위 치 (시 점)	서울특별시 영등포구 올림픽대로	위 치 (종 점)	신월여의지하도로 인천방향
터널형식	NATM+BOX	관리주체	신월여의지하도로 관리사무소
차 선 수	1차선	환기방식	강제환기
연 장	674.0m	설 계 사	㈜삼보기술단 외 2개사
내공단면	폭 : 6.50m, 풍도슬래브높이 : 3.00m	시 공 사	현대건설㈜
배수형식	측벽 배수관, 중앙 배수관	감 리 사	㈜동부엔지니어링, ㈜유신 외 12개사
종단기울기	0.5 ~ 6.96%	착 공	2015년 10월 16일
최소곡선반경	300m	준 공	2021년 04월 15일
연결통로	피난연락갱, 수직갱	갱문형석	면벽식
주요공법	NATM	보조공법	강관다단그라우팅
기 타			

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

본 과업을 수행하기 위하여 사용한 주요 진단장비는 다음과 같다.

【표 1.5.1】 주요 사용장비 및 시험기기 일반사항

수행장비	장비명	용 도	사 진
휴대 장비	줄 자	구조물 부재 치수 측정	
	디지털 카메라	구조물 현황 사진 촬영	
	드 론	구조물 현황 사진 촬영	
	균열게이지	외관조사시 균열폭 측정	
	균열측정기	균열폭의 크기와 길이를 확대렌즈를 통해 육안으로 확인	
	버니어 캘리퍼스	부재 상세치수 측정 및 탄산화 시험	
비파괴 시험	콘크리트 슈미트해머	콘크리트 강도조사	
	암반 슈미트해머	암반강도조사	

수행장비	장비명	용 도	사 진
비파괴 시험	그라인더	비파괴 시험 실시 전 콘크리트 면처리	
	햄머드릴	콘크리트 탄산화 및 염화물 시험	
	탄산화시험 SET	콘크리트 탄산화 시험	
	Rc-Radar	철근배근측정	
	디지털 경사계	하부구조 변위 및 직립도 측정	
	광파기	하부구조 변위 및 직립도 측정	

제2장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.3 기존 점검 및 진단자료 분석

2.4 보수·보강 이력

2.5 내진설계 여부

2.6 시설물의 용도변경 여부 확인

2.7 자료분석 결과요약

제2장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

본 과업에 대한 자료조사는 주변현황 자료와 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련자료로 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, 보수·보강대책 및 유지관리방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였다.

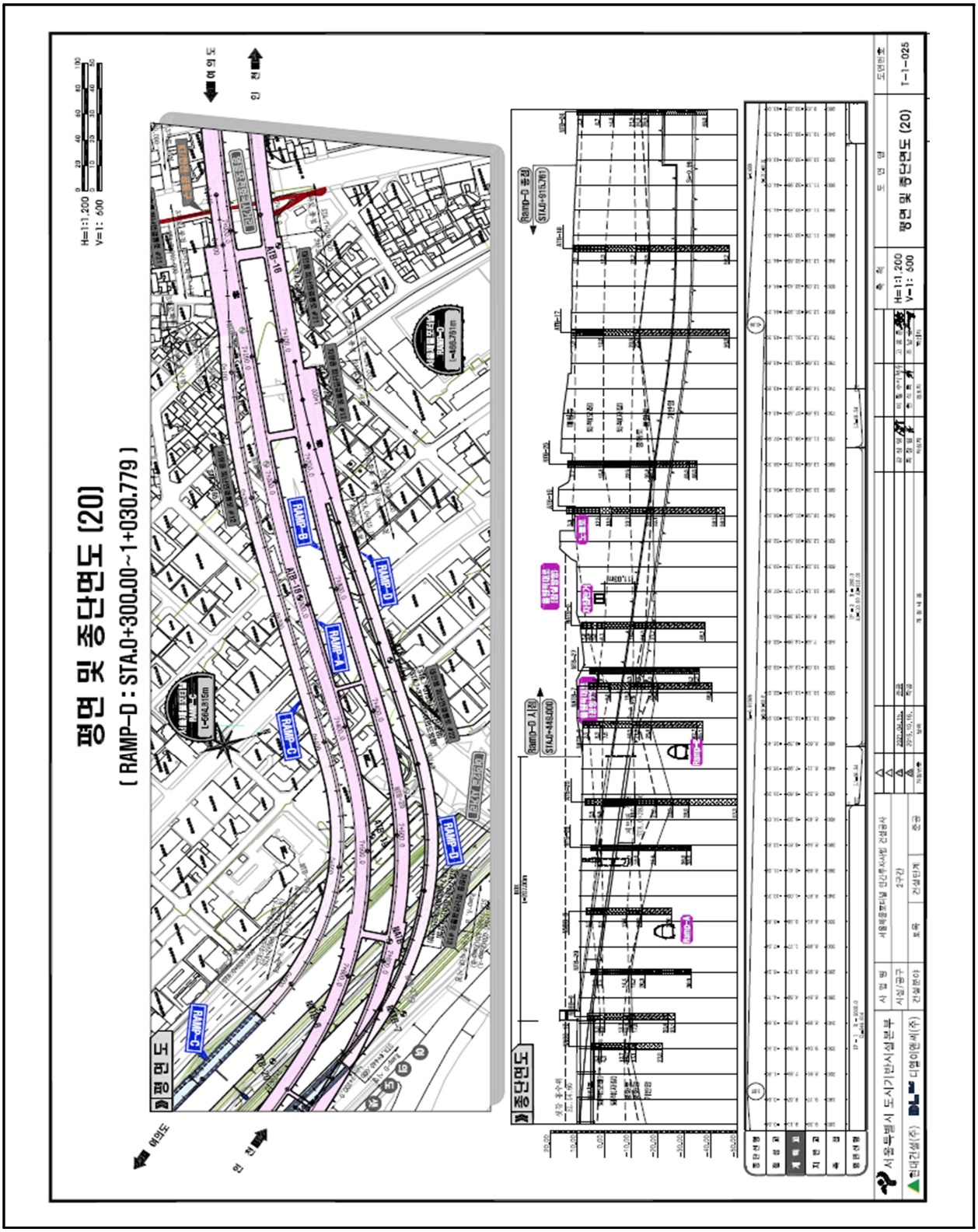
2.1.1 자료수집 현황

【표 2.1.1】 자료수집 현황

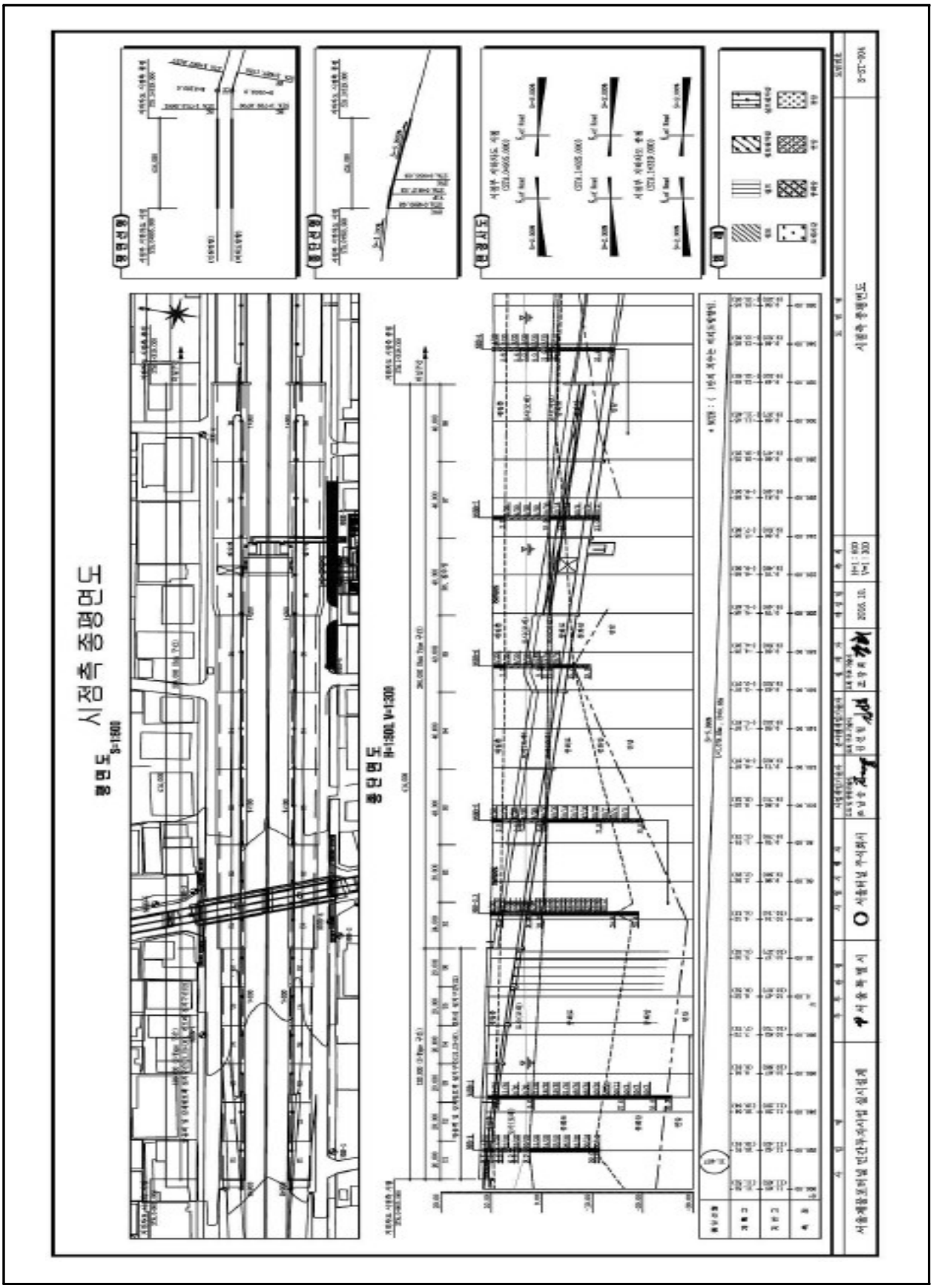
보존대상 목록		보유 현황	비 고
설계 도서	◇ 공통 - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	○	◇ FMS
	◇ 설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(종 · 횡), 구조물도, 상세도	○	◇ FMS
시설물 관리대장	◇ 기본현황 ◇ 상세제원 ◇ 유지관리 이력	○	◇ FMS
시공 관련 자료	◇ 시공관련 자료 ◇ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리·선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 주요 구조부위에 대한 계측 관련자료 ◇ 사고기록	○	◇ FMS
안전점검 및 정밀안전진단 자료		○	◇ 도서, 파일, FMS
보수 · 보강 자료		○	

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

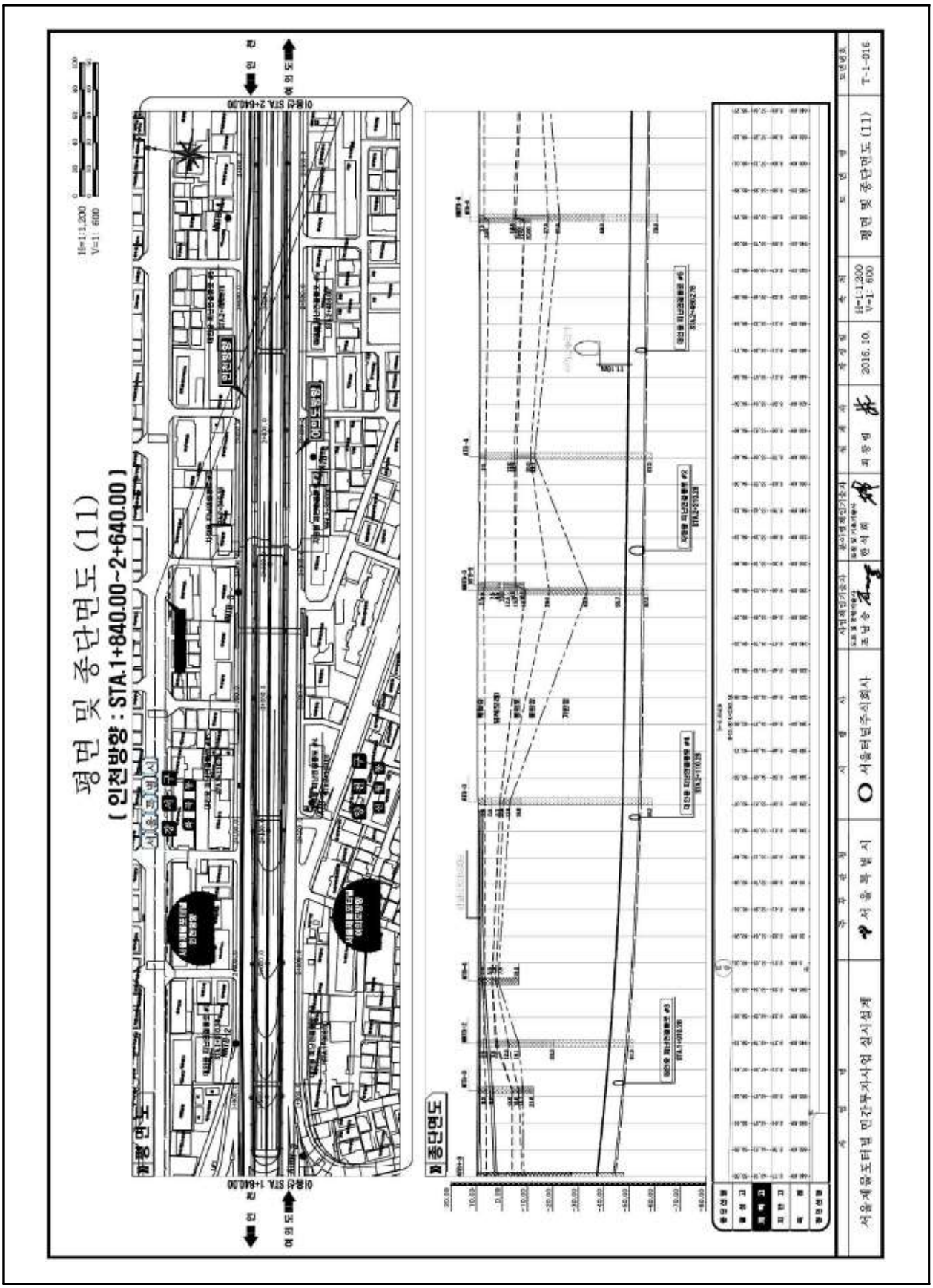
2.2.1 주요 설계도면



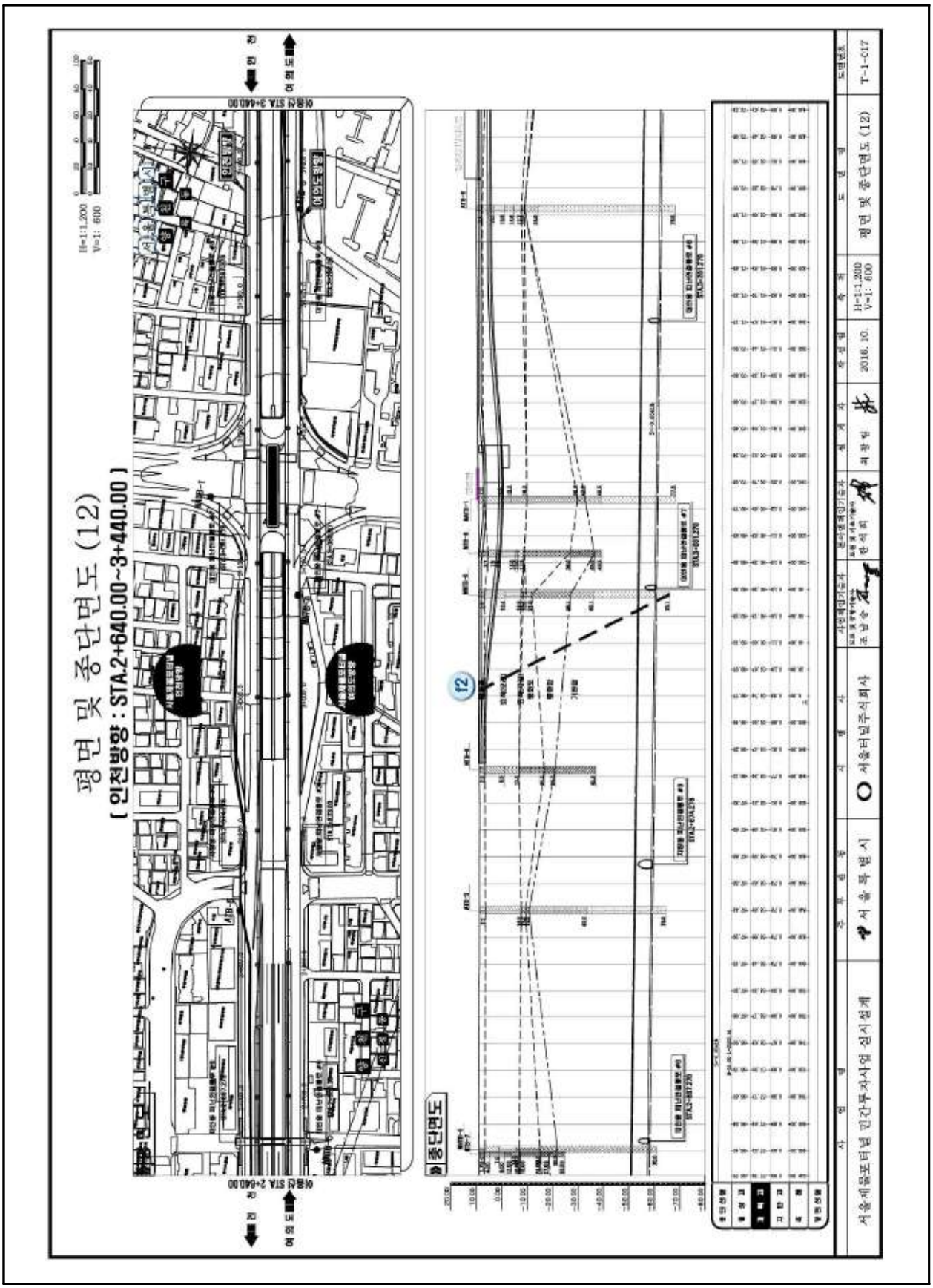
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도



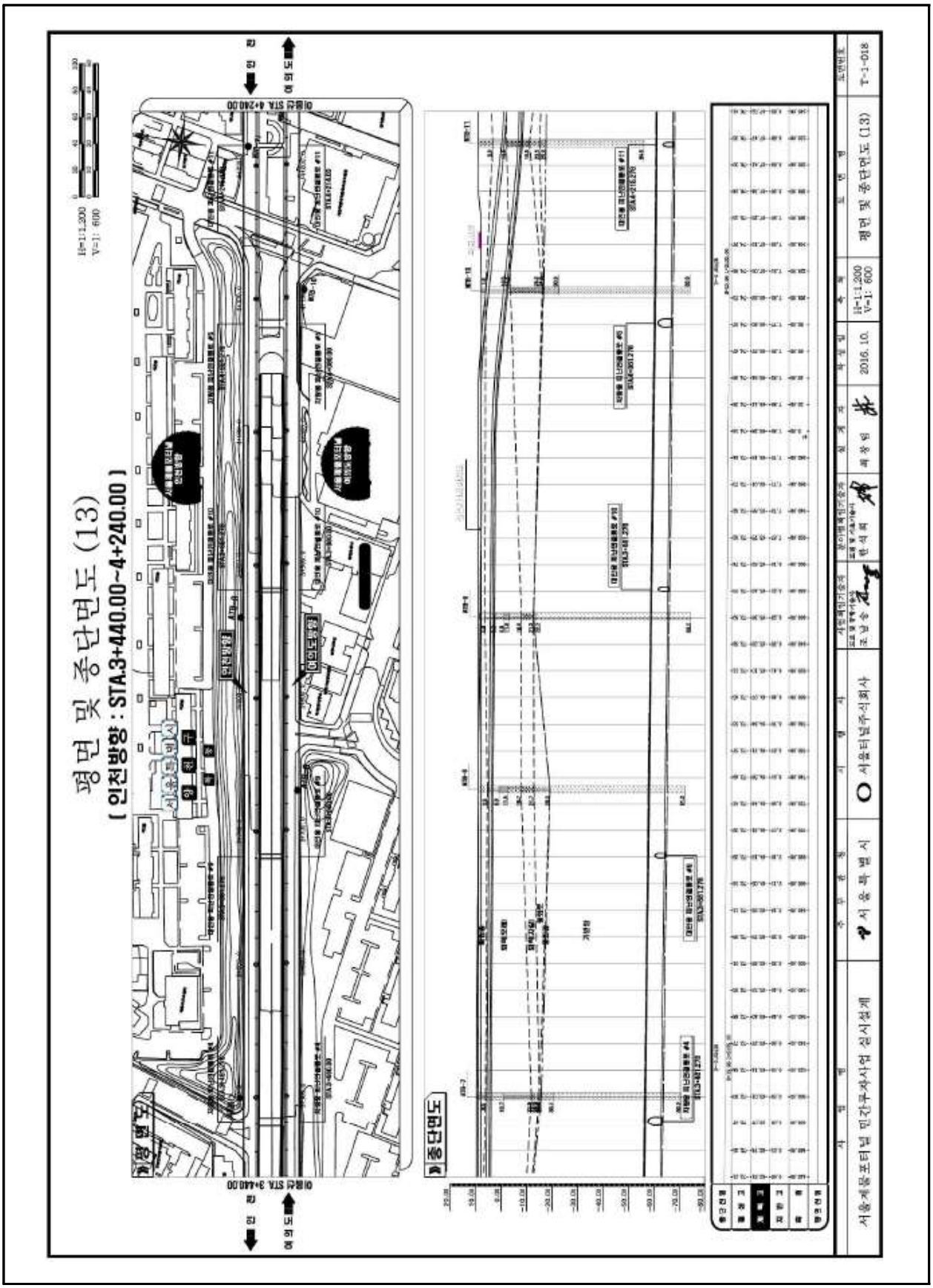
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도(계속)



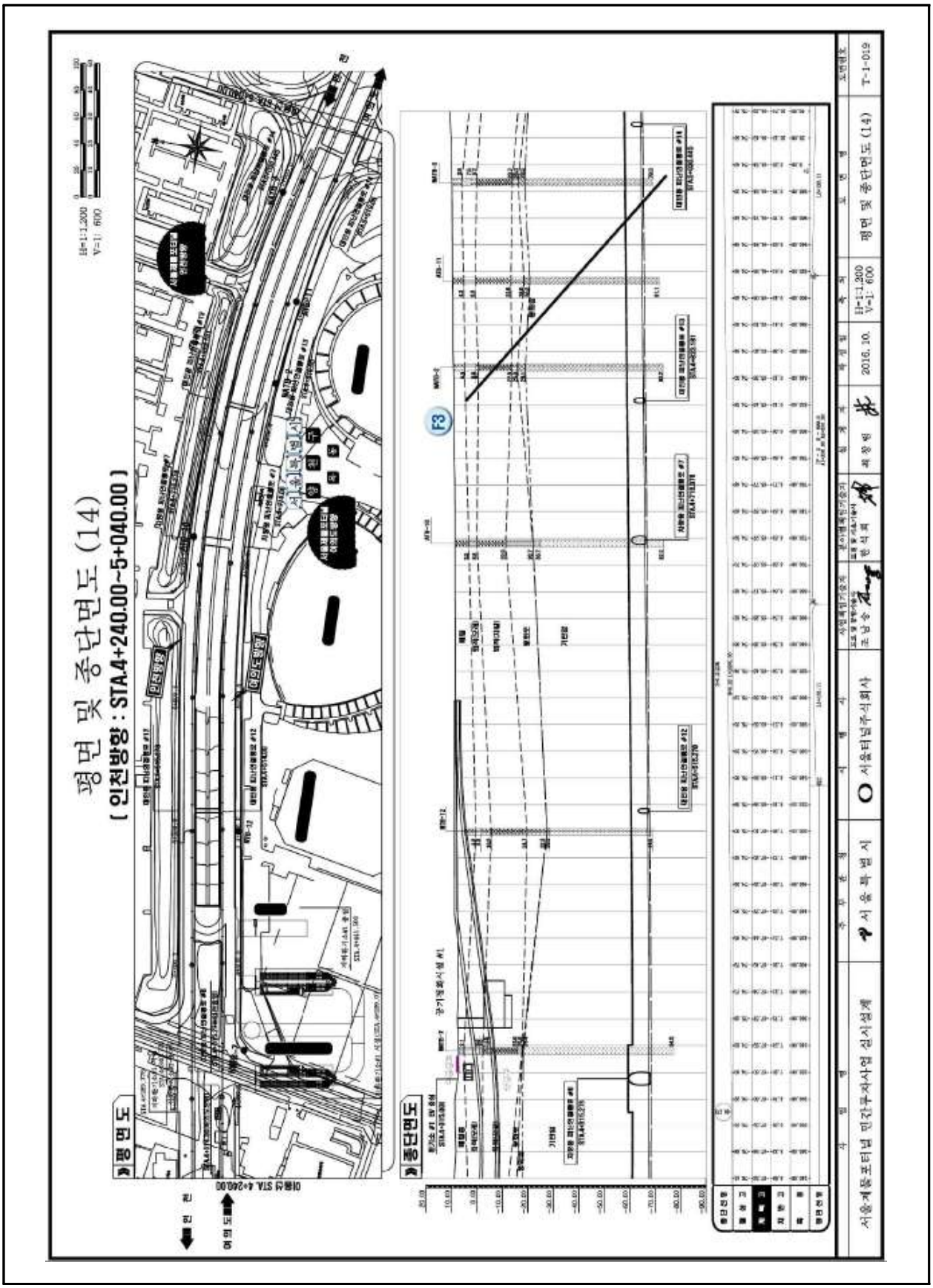
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도(계속)



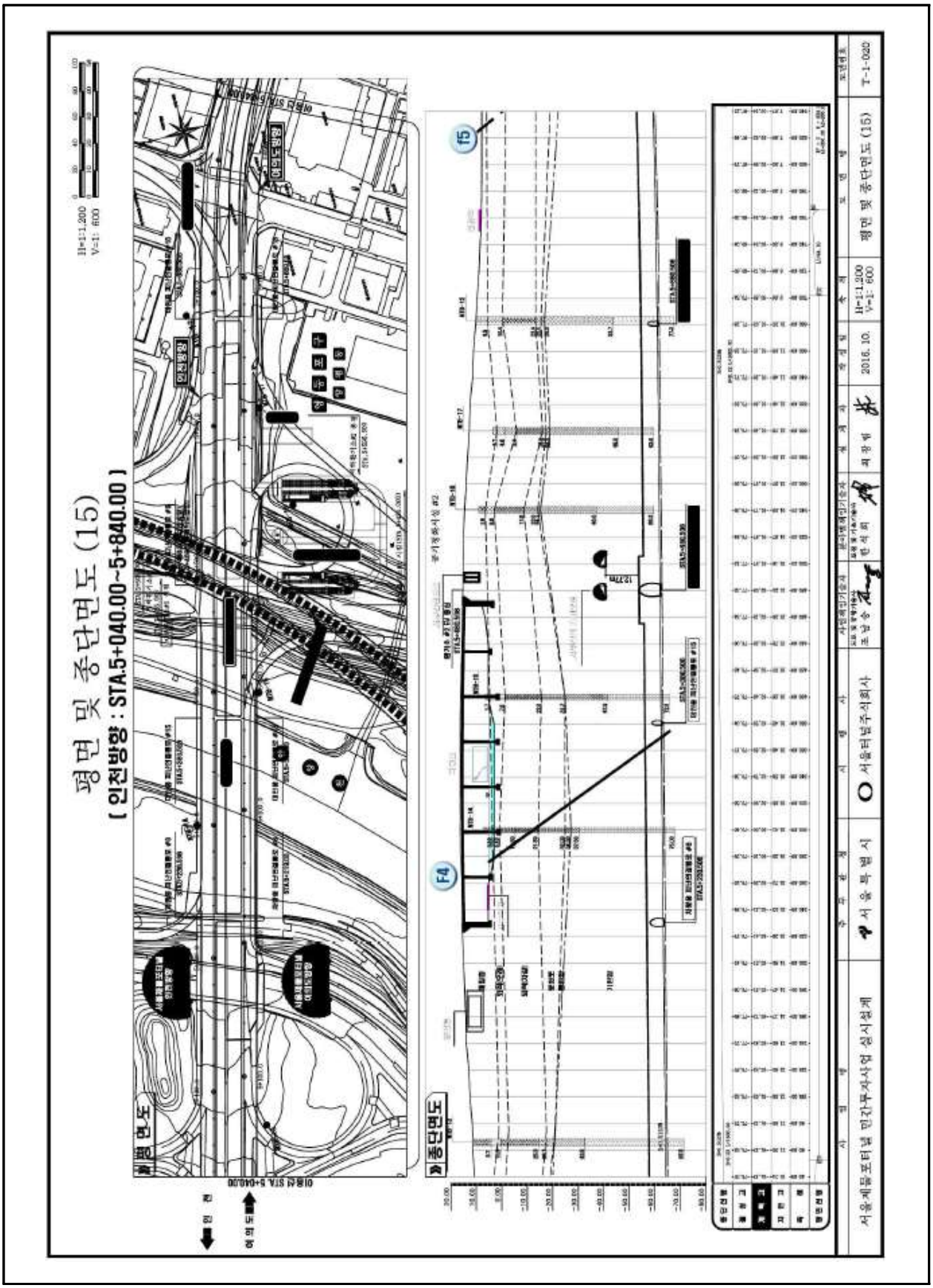
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도(계속)



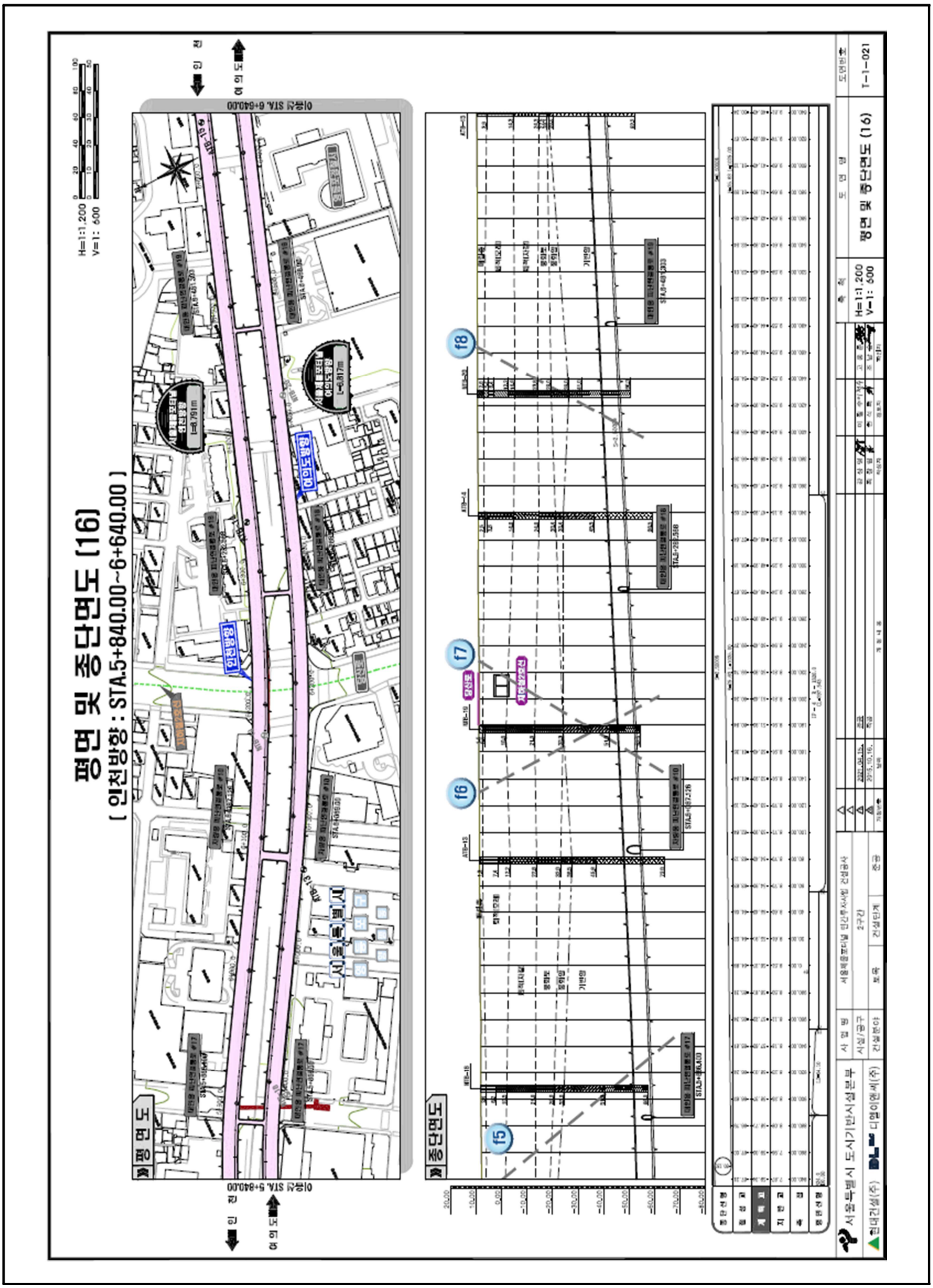
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도(계속)



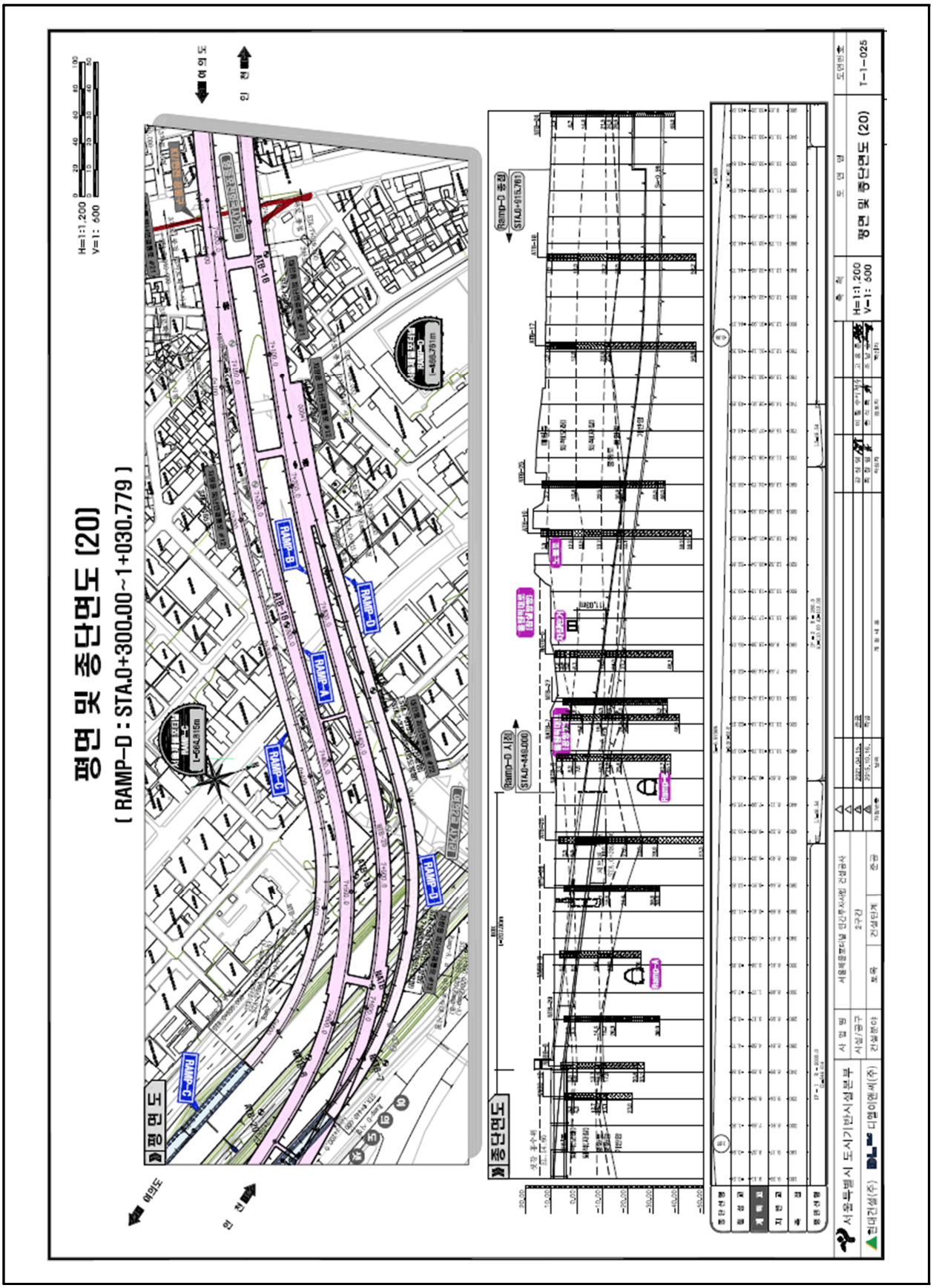
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도(계속)



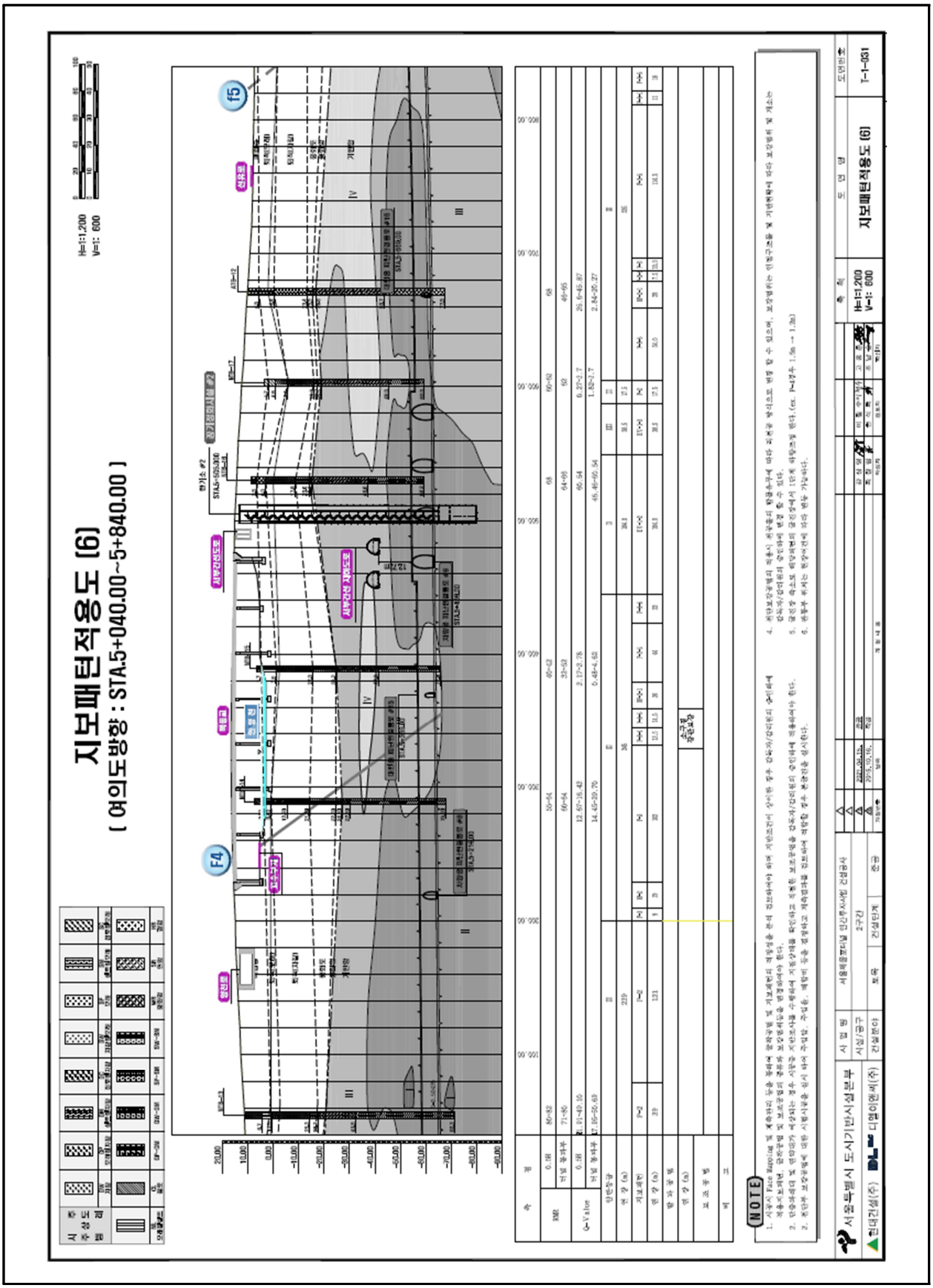
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도(계속)



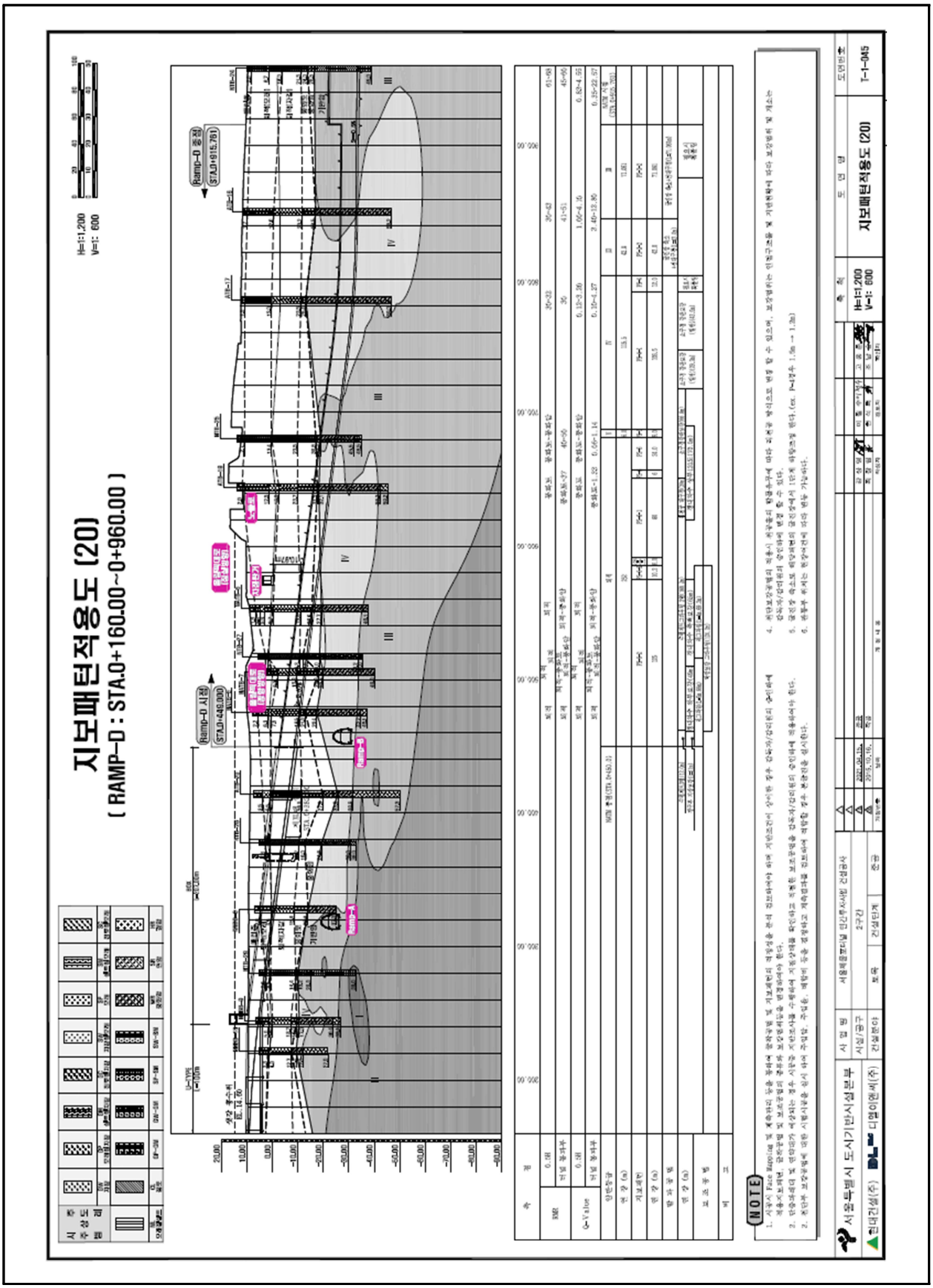
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도(계속)



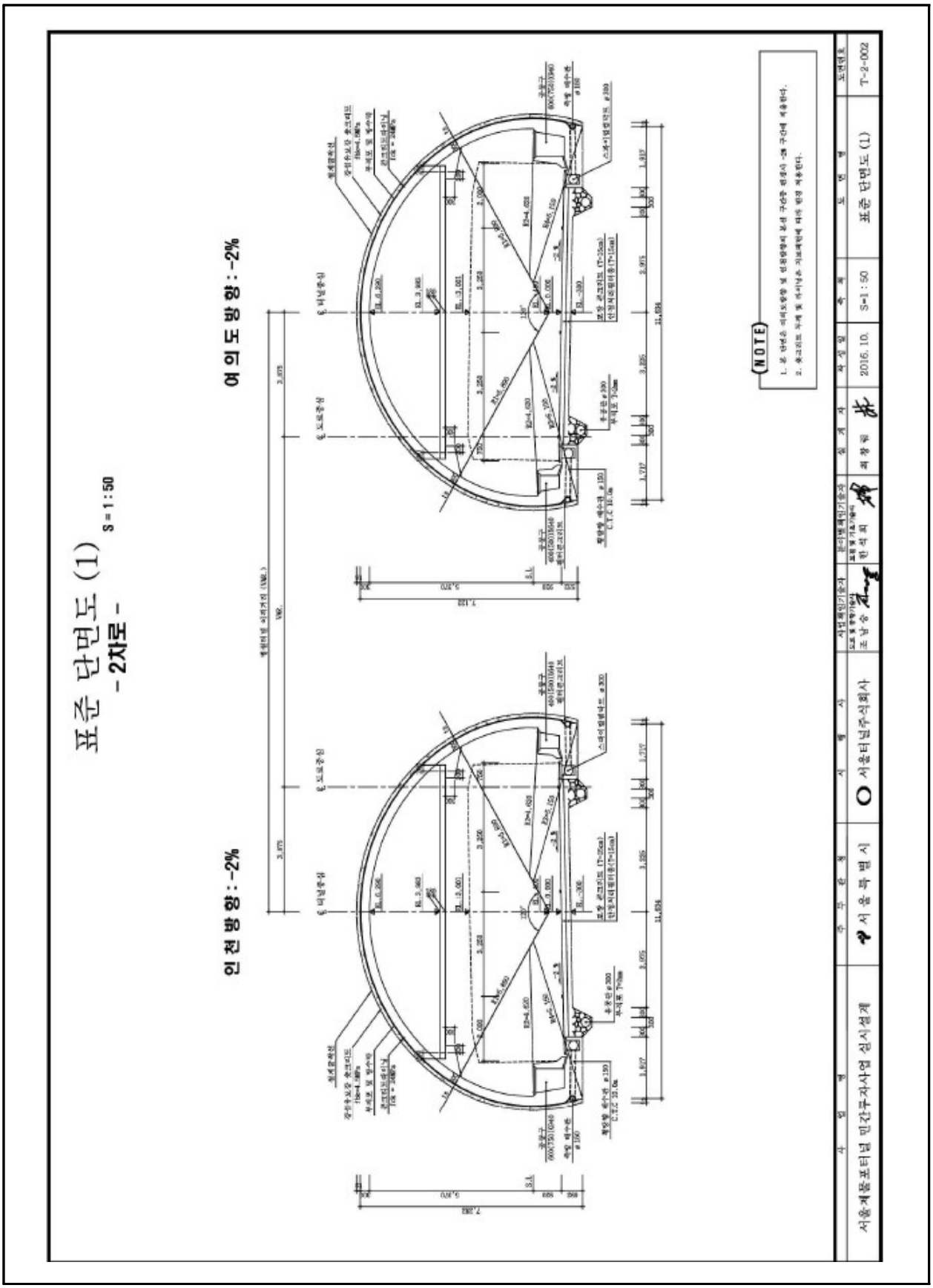
【그림 2.4.1】 신월여의지하도로 평면 및 종단면도(계속)



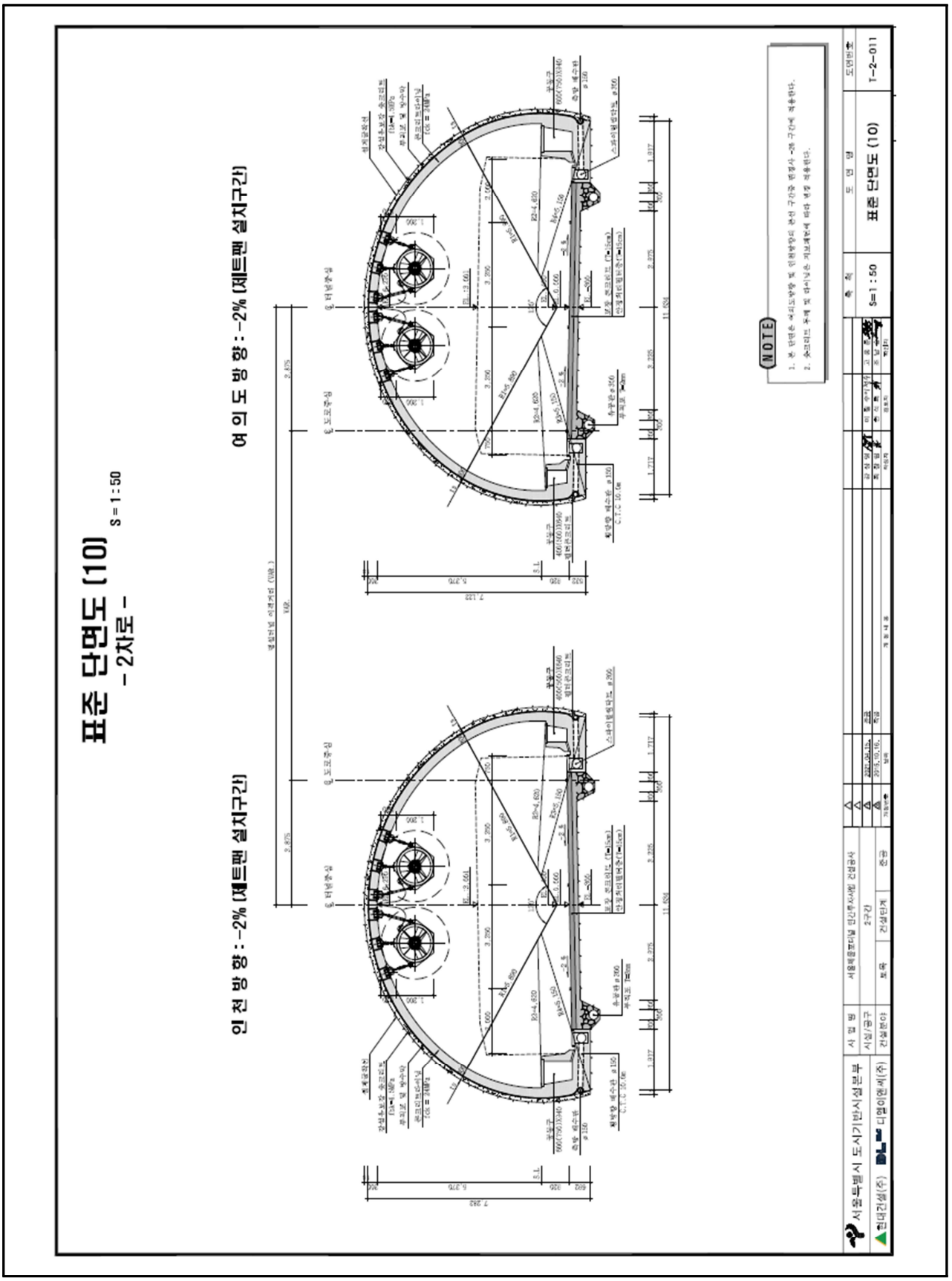
【그림 2.4.2】 신월여의지하도로 지보패턴 적용도



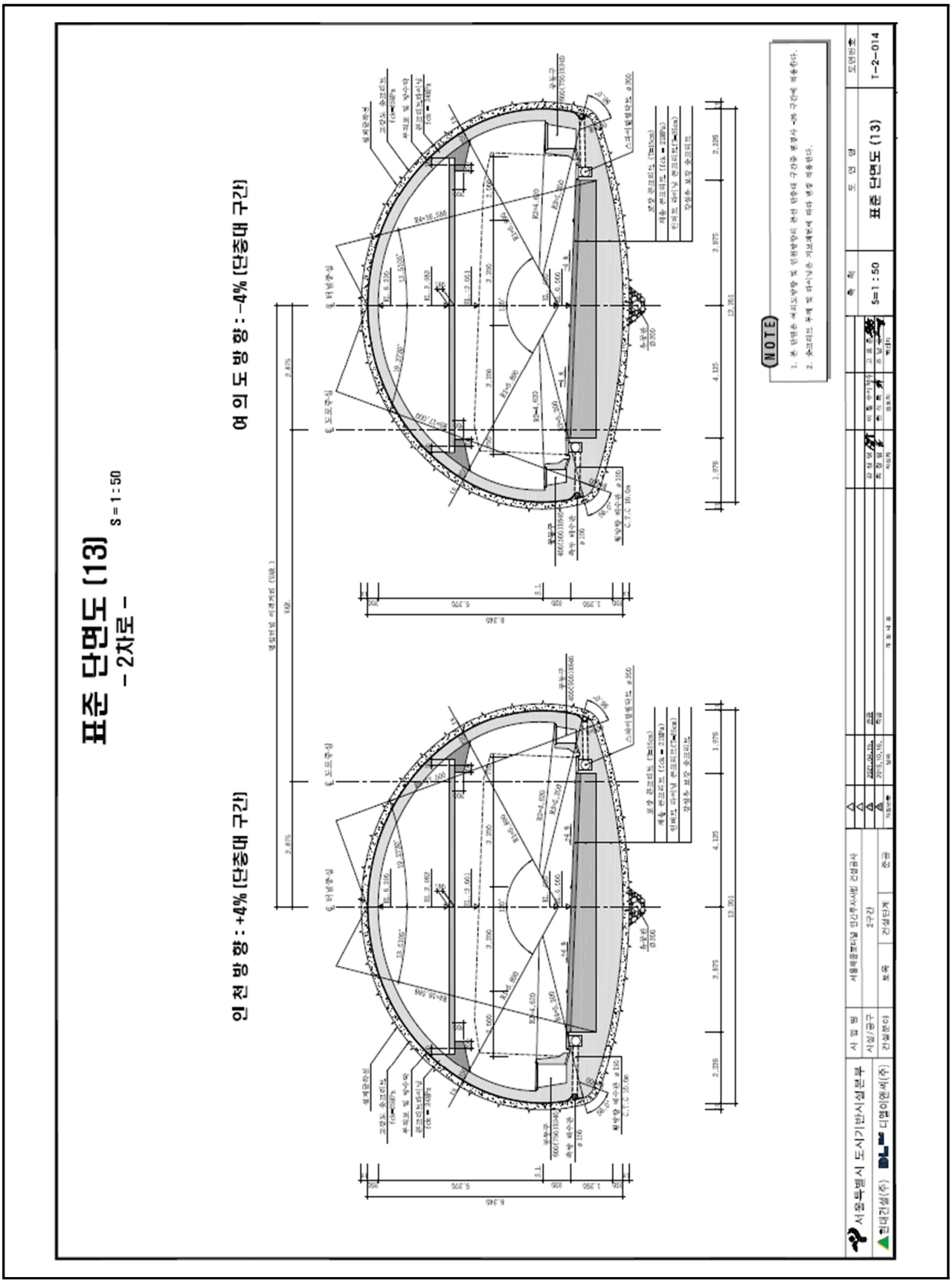
【그림 2.4.2】 신월여의지하도로 지보패턴 적용도(계속)



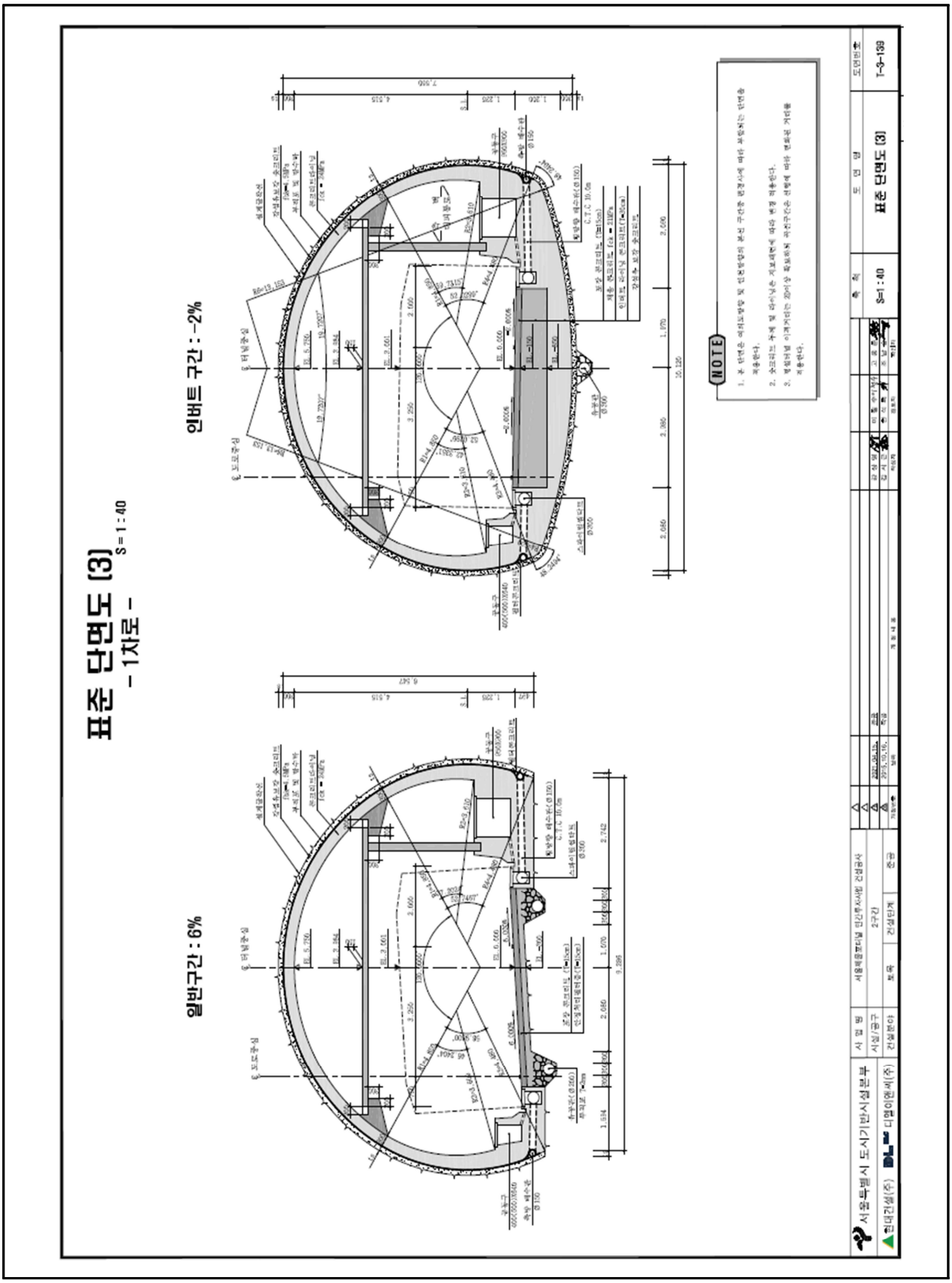
【그림 2.4.3】 신월여의지하도로 표준단면도



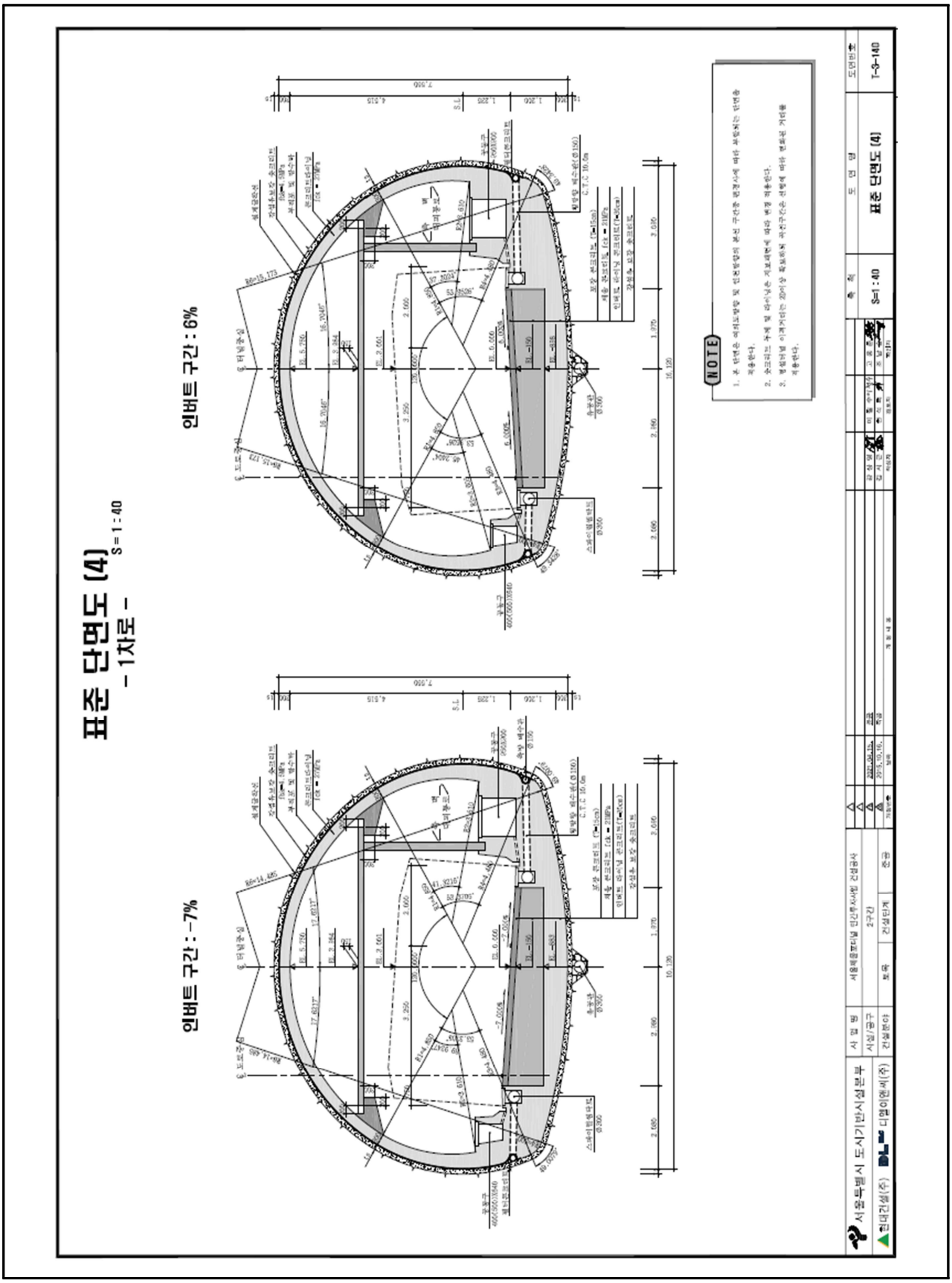
【그림 2.4.3】 신월여의지하도로 표준단면도(계속)



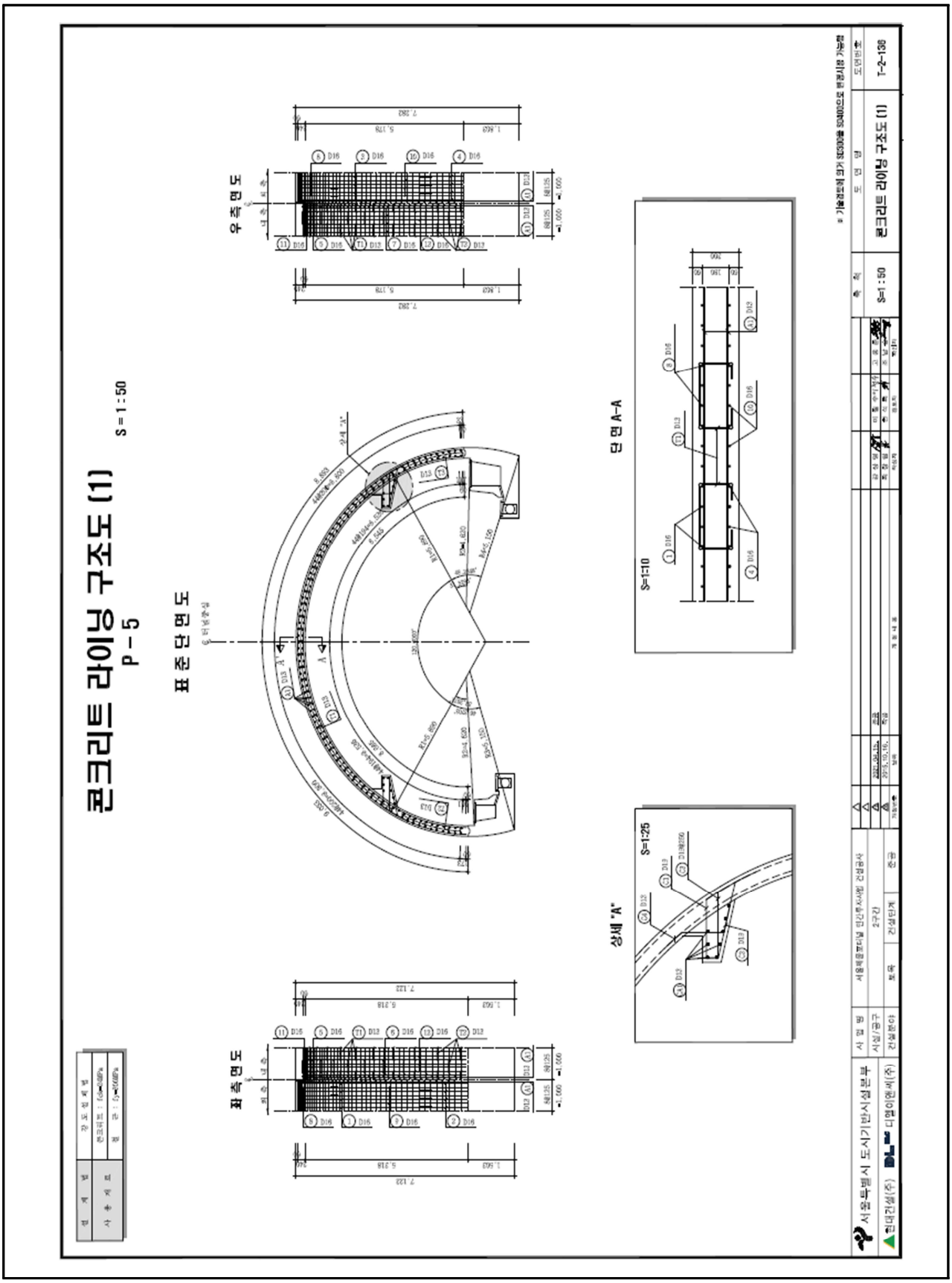
【그림 2.4.3】 신월여의지하도로 표준단면도(계속)



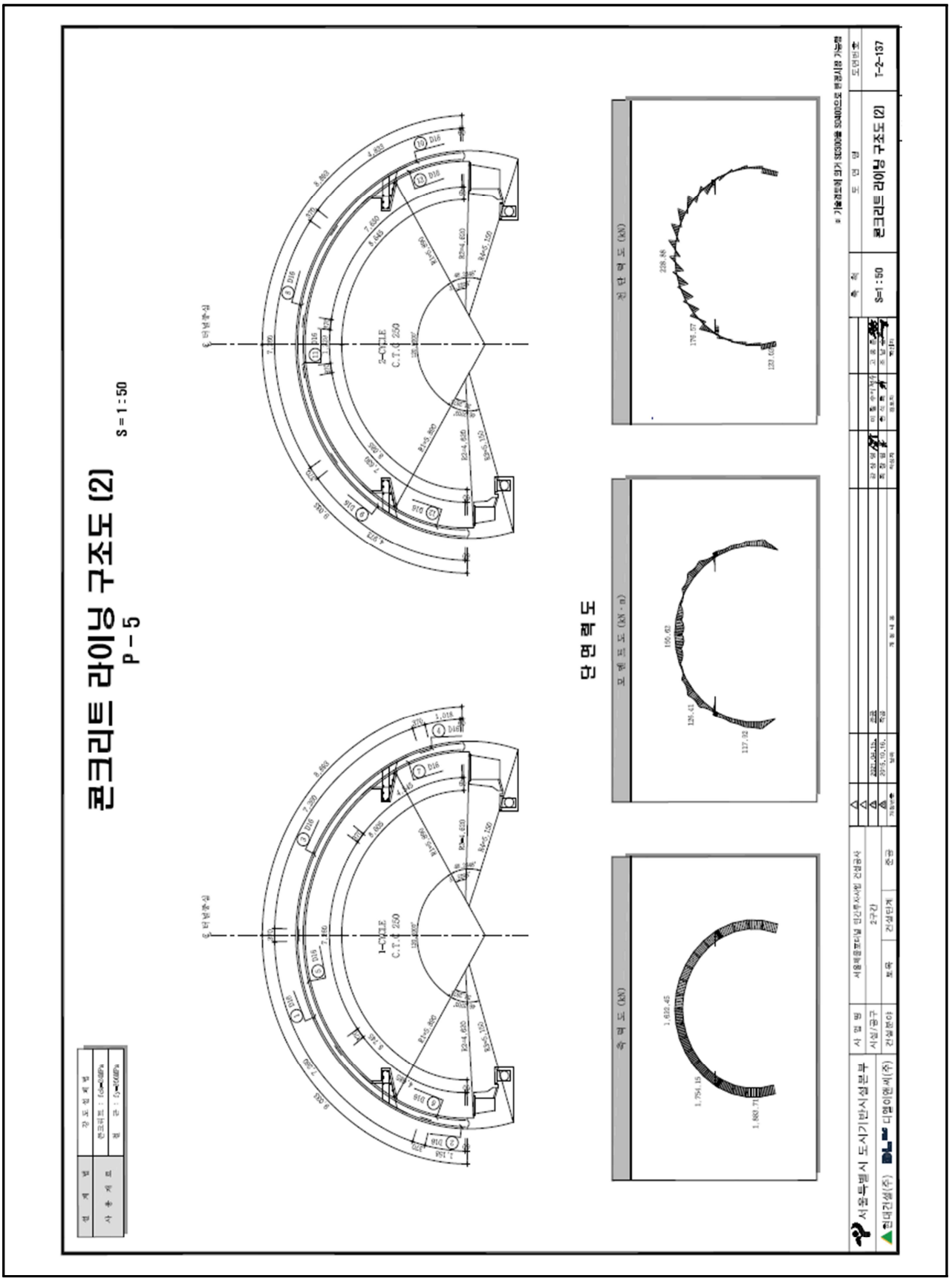
【그림 2.4.3】 신월여의지하도로 표준단면도(계속)



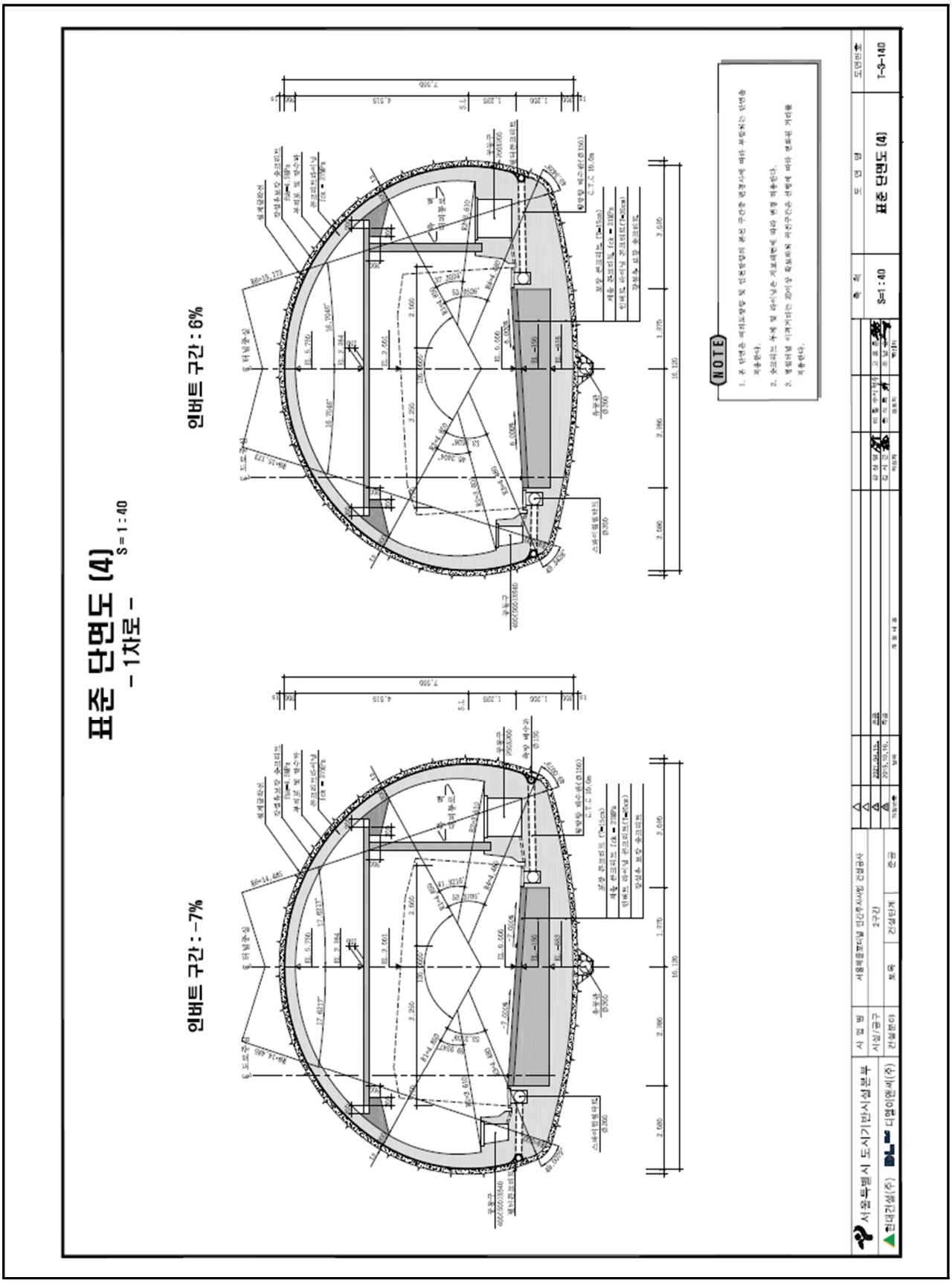
【그림 2.4.3】 신월여의지하도로 표준단면도(계속)



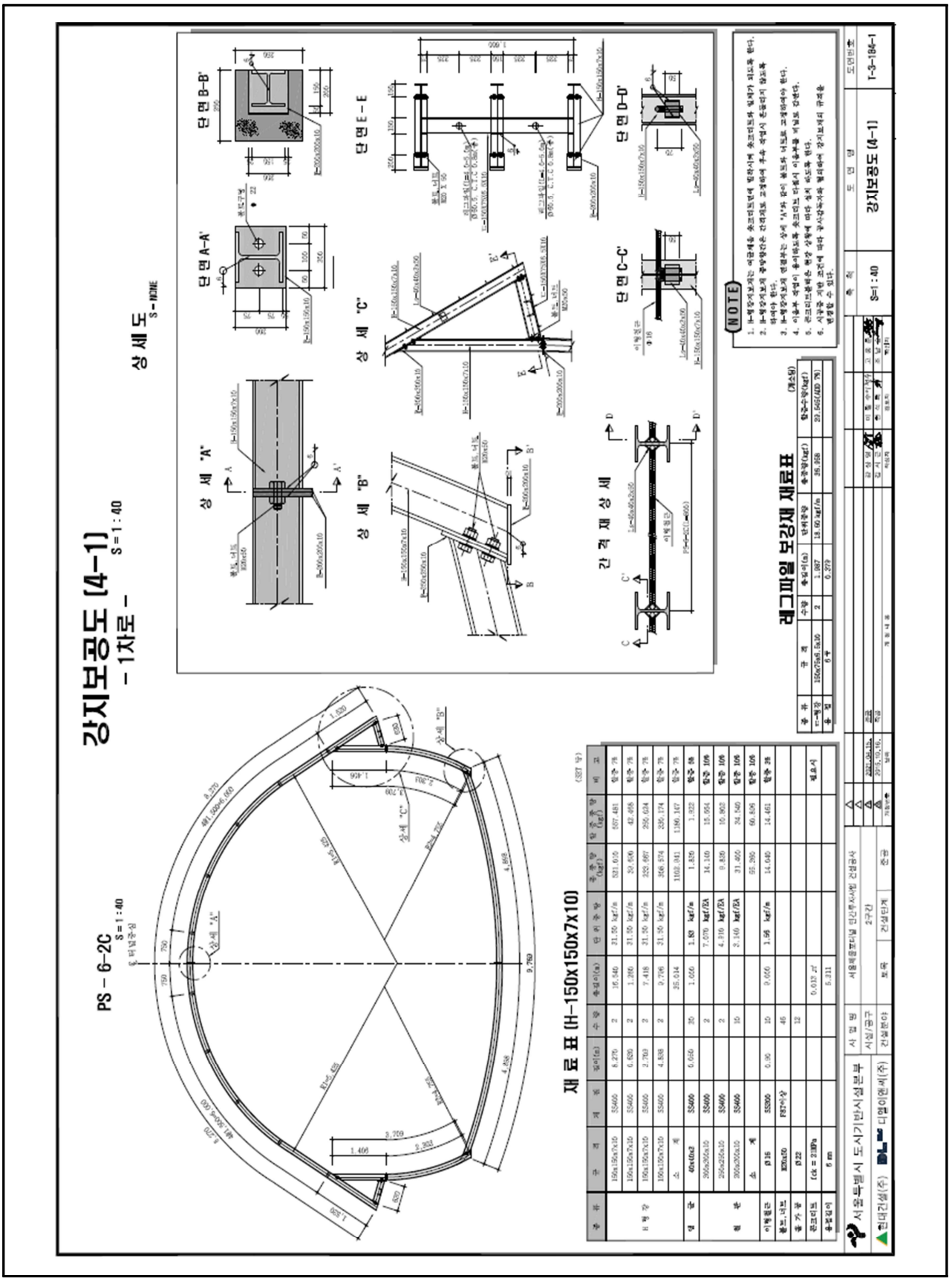
【그림 2.4.4】신월여의지하도로 라이닝구조도



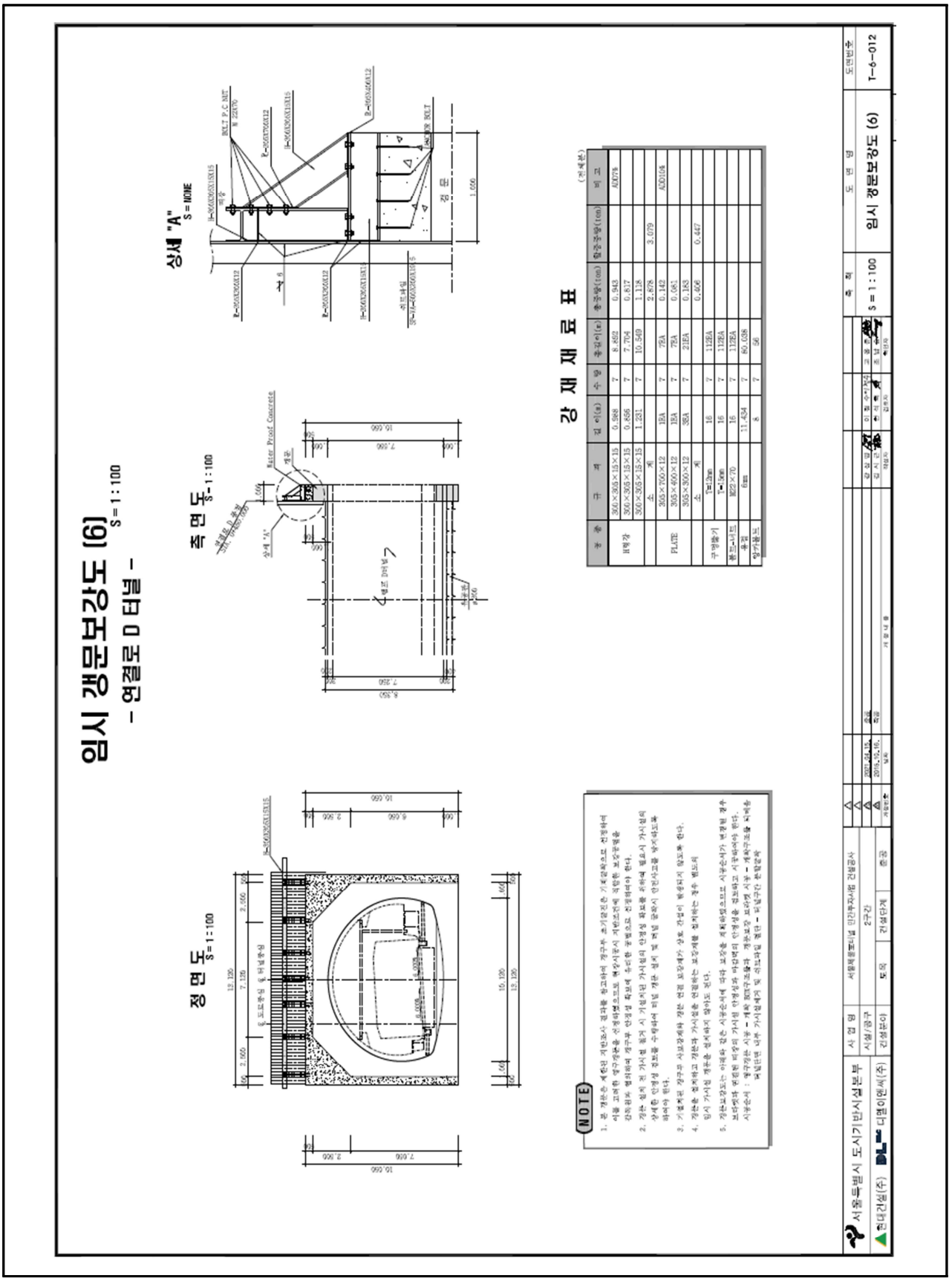
【그림 2.4.4】 신월여의지하도로 라이닝구조도(계속)



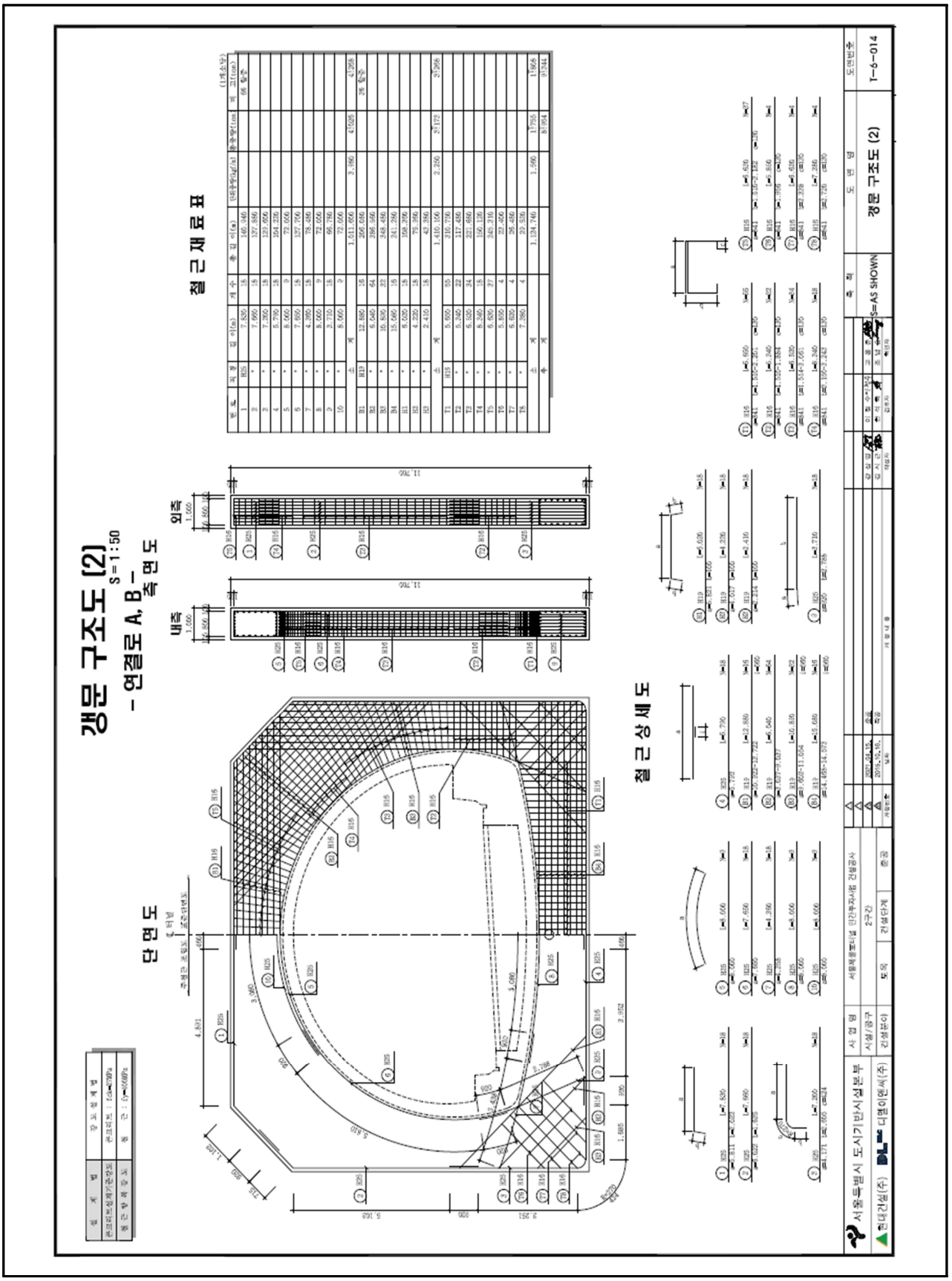
【그림 2.4.5】 신월여의지하도로 표준 단면도



【그림 2.4.6】 신월여의지하도로 강지보공도



【그림 2.4.7】 신월여의지하도로 갱문 구조도 및 보강도



【그림 2.4.7】 신월여의지하도로 갱문 구조도 및 보강도(계속)

2.2.2 구조 및 수리계산서

■ 단면 휨 설계

구분	부재 위치			b	d	Mu	ΦMn	req'd As	BAR	use'd As	S.F
				mm	mm	kN.m	kN.m	mm²		mm²	
하부슬래브	1경간	좌측	1	1000	500	903.08	960.50	5923.83	H32 - 8.0EA	6353.60	1.06
		중앙부	2	1000	520	607.90	667.99	3863.26	H25 - 8.0EA	4053.60	1.10
		우측	3	1000	500	164.42	262.62	984.04	H16 - 8.0EA	1588.80	1.60
좌측벽체	1층	중앙부	4	1000	500	419.37	679.51	2583.20	H19 - 4.0EA + H32 - 4.0EA	4322.80	1.62
		하부	5	1000	500	870.20	960.50	5681.38	H32 - 8.0EA	6353.60	1.10
우측벽체	1층	중앙부	6	1000	500	85.68	262.62	508.52	H16 - 8.0EA	1588.80	3.06
		하부	7	1000	500	147.82	262.62	883.12	H16 - 8.0EA	1588.80	1.78
		추가1	8	1000	500	572.92	640.43	3595.40	H25 - 8.0EA	4053.60	1.12

■ 수평철근 검토

구분	부재 위치			단면적비			0.0015hs		
				필요철근량	사용철근량	비고	필요철근량	사용철근량	비고
하부슬래브	1경간	좌측	1	1200.0	1267.0	O.K	900.0	1267.0	O.K
		중앙부	2	1200.0	1267.0	O.K	900.0	1267.0	O.K
		우측	3	1200.0	1267.0	O.K	900.0	1267.0	O.K
좌측벽체	1층	중앙부	4	1200.0	1267.0	O.K	900.0	1267.0	O.K
		하부	5	1200.0	1267.0	O.K	900.0	1267.0	O.K
우측벽체	1층	중앙부	6	1200.0	1267.0	O.K	900.0	1267.0	O.K
		하부	7	1200.0	1267.0	O.K	900.0	1267.0	O.K
		추가	8	1200.0	1267.0	O.K	900.0	1267.0	O.K

■ 전단철근 검토

구분	부재 위치			ΦVc	Vu	ΦVn	다리수	req'd As	BAR	s	use'd As	비 고
				kN	kN	kN	EA	mm²		mm	mm²	
하부슬래브	1경간	좌측	1	324.8	209.3	324.76	-	-	-	-	-	O.K
		중앙부	2	337.8	247.1	337.75	-	-	-	-	-	O.K
		우측	3	324.8	72.4	324.76	-	-	-	-	-	O.K
좌측벽체	1층	중앙부	4	324.8	254.8	419.78	2.00	-	H13	400	253.40	O.K
		하부	5	324.8	338.9	419.78	2.00	37.68	H13	400	253.40	O.K
우측벽체	1층	중앙부	6	324.8	190.3	419.78	2.00	-	H13	400	253.40	O.K
		하부	7	324.8	266.0	419.78	2.00	-	H13	400	253.40	O.K
		추가1	8	324.8	300.2	419.78	2.00	-	H13	400	253.40	O.K

■ 사용성 검토

(1) 균열 검토 (콘크리트 구조설계기준·해설 6.3.3(4))

(C.T.C. 125 mm)

구분	부재 위치			유효높이 (mm)	인장사용철근량	철근 간격(mm)	최대 간격 (mm)	검토 결과	S.F
하부슬래브	1경간	좌측	1	500	H32 - 8.0EA	125	186.053	O.K	1.488
		중앙부	2	520	H25 - 8.0EA	125	227.313	O.K	1.819
		우측	3	500	H16 - 8.0EA	125	349.196	O.K	2.794
좌측벽체	1층	중앙부	4	500	H19 - 4.0EA + H32 - 4.0EA	125	376.052	O.K	3.008
		하부	5	500	H32 - 8.0EA	125	197.530	O.K	1.580
우측벽체	1층	중앙부	6	500	H16 - 8.0EA	125	860.313	O.K	6.883
		하부	7	500	H16 - 8.0EA	125	402.435	O.K	3.219
		추가	8	500	H25 - 8.0EA	125	184.668	O.K	1.477

2. 설 계 조 건

1) 구조형식
- Ramp D U type (내공 : 6M × 6.183M, 사각 : 90°)

2) 지하수위
- GL 에서 0.700 m

3) 재료 중량
- 철근콘크리트 (ω_c) = 25.00 kN/m³
- 포 장 (γ_{asp}) = 23.00 kN/m³
- 지 하 수 (γ_w) = 10.00 kN/m³

4) 사용재료의 강도
- 콘크리트 강도 (fck) = 27 MPa
- 콘크리트 탄성계수 (Ec) = 26702 MPa
- 철근(SD400) (fy) = 400 MPa
- 철근의 탄성계수 (Es) = 200000 MPa

5) 토압계산에 사용되는 흙의 단위중량
: 입도배합이 양호한 모래, 자갈, 경암 및 일반적인 모래
- 일 반 (γ_t) = 19.0 kN/m³
- 수 중 (γ_{sub}) = 10.0 kN/m³

6) 지진계수
- 내진등급 : I 등급 (위험도 계수 - 기능수행 : 0.570, 붕괴방지 : 1.400)
- 지진구역 : I 구역 (지진구역계수 : 0.110)
- 지반종류 :Sc
- 기능수행수준, 붕괴방지수준

7) 노면활하중 (DB-24 적용)

8) 토 사
- 흙의 습윤 단위중량 (γ_t) = 19.0 kN/m³
- 흙의 수중 단위중량 (γ_{sub}) = 10.0 kN/m³
- 흙의 내부마찰각 (ϕ) = 30.0°
- 벽면마찰각 = 0.0°

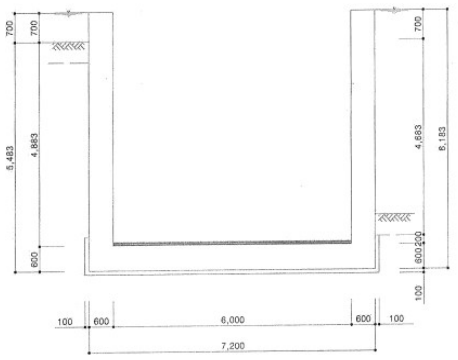
9) 설계방법
- 강도설계법 : 부재의 단면검토 (슬래브, 벽체, 보, 기둥)
- 허용응력 설계법 : 사용성 검토 (처짐, 균열, 접점부보강 등)

10) 사용프로그램 : SAP2000

11) 참고문헌
- 도로교설계기준 : 국토해양부(2010)
- 도로교설계기준·해설 : 건설교통부(2008)
- 콘크리트구조기준 : 국토해양부(2012)

-12-

3. 단 면 가 정



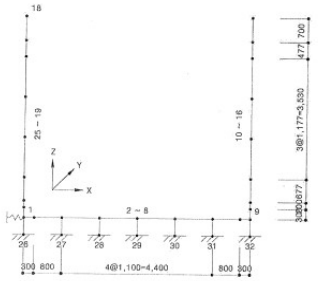
4. 해석모델 및 단면제원

1) Modeling

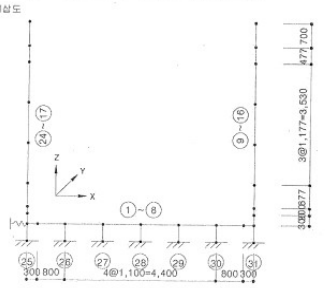
본 구조물과 같은 지하 박스는 종방향으로 동일한 패턴이 반복·지속되므로 평면 해석이 가능하다. 따라서 구조해석용 프로그램인 SAP2000을 이용하여 2차원 보요소를 사용하여 구조해석을 수행하도록 한다. 해석 모델에서 하부슬래브와 지반이 접하는 부분은 NLLink요소로 모델링을 하였는데, 지반반력 스프링의 특성이 압축에만 저항하고 인장에는 저항하지 못하기 때문에 이를 해석에서 반영하기 위하여 압축에만 저항하는 GAP 특성을 이용하여 모형화 하였다.

이와같은 모형화 기법은 하부슬래브의 지지지반을 탄성체로 보고 해석하기 위한 것으로, 그 이론적 근거는 BEF(Beams on Elastic Foundation) Analogy에 바탕을 두고 있다.

① 절점삼도



② 부재삼도



2) 단면제원

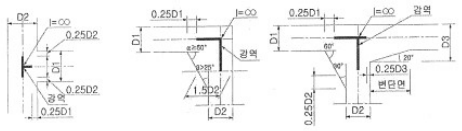
NO	A (m²)	I (m⁴)	부 재
1	0.600 × 1.000 = 0.600	0.01800	1~24

3) 단면좌표

(단위 : m)

절점번호	X	Z	절점번호	X	Z
1	0.000	0.500	17	6.600	6.383
2	0.300	0.500	18	0.000	6.383
3	1.100	0.500	19	0.000	5.683
4	2.200	0.500	20	0.000	5.206
5	3.300	0.500	21	0.000	4.030
6	4.400	0.500	22	0.000	2.853
7	5.500	0.500	23	0.000	1.677
8	6.300	0.500	24	0.000	1.000
9	6.600	0.500	25	0.000	0.800
10	6.600	0.800	26	0.000	0.000
11	6.600	1.000	27	1.100	0.000
12	6.600	1.677	28	2.200	0.000
13	6.600	2.853	29	3.300	0.000
14	6.600	4.030	30	4.400	0.000
15	6.600	5.206	31	5.500	0.000
16	6.600	5.683	32	6.600	0.000

4) 강역설정



(가) 등단면의 경우 (나) 변단면의 경우(1) (다) 변단면의 경우(2)

∴ B = 헌치폭 (mm), H = 헌치높이 (mm)

(1) 1 지점 - 슬래브 하면
D2 / 2 - 0.25 × D1 = 600 / 2 - 0.25 × 600 = 150 mm
(2) 1 지점 - 슬래브 벽체 연결부
D2 / 2 - 0.25 × D1 = 600 / 2 - 0.25 × 600 = 150 mm
(3) 9 지점 - 슬래브 하면
D2 / 2 - 0.25 × D1 = 600 / 2 - 0.25 × 600 = 150 mm
(4) 9 지점 - 슬래브 벽체 연결부
D2 / 2 - 0.25 × D1 = 600 / 2 - 0.25 × 600 = 150 mm

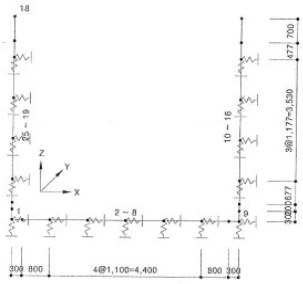
5. 해석모델 및 단면제원 (지진시)

1) Modeling

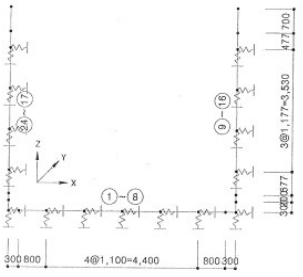
본 구조물과 같은 지하 박스는 종방향으로 동일한 패턴이 반복·지속되므로 평면 해석이 가능하다. 따라서 구조해석용 프로그램인 SAP2000을 이용하여 2차원 보요소를 사용하여 구조해석을 수행하도록 한다. 해석 모델에서 하부슬래브와 지반이 접하는 부분은 연직지반반력계수를 지반반력 스프링으로 모델링을 하였다.

이와같은 모형화 기법은 하부슬래브의 지지지반을 탄성체로 보고 해석하기 위한 것으로, 그 이론적 근거는 BEF(Beams on Elastic Foundation) Analogy에 바탕을 두고 있다.

① 절점삼도



② 부재삼도



2) 단면제원

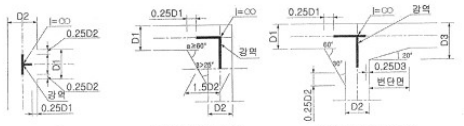
NO	A (m²)	I (m⁴)	부 재
1	0.600 × 1.000 = 0.600	0.01800	1~24

3) 단면좌표

(단위 : m)

절점번호	X	Z	절점번호	X	Z
1	0.000	0.000	14	6.600	3.530
2	0.300	0.000	15	6.600	4.706
3	1.100	0.000	16	6.600	5.183
4	2.200	0.000	17	6.600	5.883
5	3.300	0.000	18	0.000	5.883
6	4.400	0.000	19	0.000	5.183
7	5.500	0.000	20	0.000	4.706
8	6.300	0.000	21	0.000	3.530
9	6.600	0.000	22	0.000	2.353
10	6.600	0.300	23	0.000	1.177
11	6.600	0.500	24	0.000	0.500
12	6.600	1.177	25	0.000	0.300
13	6.600	2.353			

8) 강역설정



(가) 등단면의 경우 (나) 변단면의 경우(1) (다) 변단면의 경우(2)

∴ B = 헌치폭 (mm), H = 헌치높이 (mm)

(1) 1 지점 - 슬래브 하면
D2 / 2 - 0.25 × D1 = 600 / 2 - 0.25 × 600 = 150 mm
(2) 1 지점 - 슬래브 벽체 연결부
D2 / 2 - 0.25 × D1 = 600 / 2 - 0.25 × 600 = 150 mm
(3) 9 지점 - 슬래브 하면
D2 / 2 - 0.25 × D1 = 600 / 2 - 0.25 × 600 = 150 mm
(4) 9 지점 - 슬래브 벽체 연결부
D2 / 2 - 0.25 × D1 = 600 / 2 - 0.25 × 600 = 150 mm

-17-

6. 지반반력계수 (상시)

< 연직방향 지반반력계수 >

- 사질토층이 우세한 경우 $K_V = K_{V0}\left(\frac{B_v}{0.3}\right)^{-1/2}$
- 사질토와 점성토의 혼합층인 경우 $K_V = K_{V0}\left(\frac{B_v}{0.3}\right)^{-3/4}$
- 점성토층이 우세한 경우 $K_V = K_{V0}\left(\frac{B_v}{0.3}\right)^{-1}$

α = Eo 의 산정방법에 대한 보정계수
Eo = 지반의 탄성계수

- 연직방향 지반반력계수 (Kv)

$$K_V = K_{V0}\left(\frac{B_v}{0.3}\right)^{-3/4}$$

여기서, $K_{v0} = \frac{1}{0.3} \times \alpha \times E_0$

Eo : 지반탄성계수 (kN/m²)

α = 1
Eo = 4900.00 kN/m² (지반보고서 참조)

Bv = √(B × B) = √(7.200 × 7.200) = 7.20 m (L > B)
Kvo = 1 / 0.3 × 1 × 4900 = 16330.00 kN/m²
Kv = 16330.000 × (7.200 / 0.3) $^{-3/4}$ = 1506.01 kN/m³

지반반력계수	계 산 식	해당 절점
Kv1	Kv x (0.600/2 + 1.100/2) = 1280 kN/m	1,9
Kv2	Kv x (1.100/2 + 1.100/2) = 1657 kN/m	3-7
Kh	1E10 kN/m (무한강성)	5

7. 지반반력계수 (지진시)

< 연직방향 지반반력계수 >

- 사질토층이 우세한 경우 $K_V = K_{V0}\left(\frac{B_v}{0.3}\right)^{-1/2}$
- 사질토와 점성토의 혼합층인 경우 $K_V = K_{V0}\left(\frac{B_v}{0.3}\right)^{-3/4}$
- 점성토층이 우세한 경우 $K_V = K_{V0}\left(\frac{B_v}{0.3}\right)^{-1}$

α = Eo 의 산정방법에 대한 보정계수
Eo = 지반의 탄성계수

- 연직방향 지반반력계수 (Kv)

$$K_V = K_{V0}\left(\frac{B_v}{0.3}\right)^{-3/4}$$

여기서, $K_{v0} = \frac{1}{0.3} \times \alpha \times E_0$

Eo : 지반탄성계수 (kN/m²)

α = 2
Eo = 4900.00 kN/m² (지반보고서 참조)

(1) 하부슬래브 : 제1토층 , 실트
① 연직방향 지반반력계수
Eo = 4900.000 kN/m²
Bv = √(B × B) = √(7.200 × 7.200) = 7.200 m
Kvo = 1 / 0.3 × α × Eo = 1 / 0.3 × 2 × 4900.0 = 32666.67 kN/m³
Kv = 32666.670 × (7.200 / 0.3) $^{-3/4}$ = 3012.63 kN/m²
② 전단 지반반력계수
Ksb = λ × Kv = 1/3.0 × 3012.630 = 1004.21 kN/m³

(2) 측벽 : 제1토층 , 실트
① 수평방향 지반반력계수
Eo = 4900.000 kN/m²
Bv = √(H × H) = √(5.483 × 5.483) = 5.483 m
Kho = 1 / 0.3 × α × Eo = 1 / 0.3 × 2 × 4900.0 = 32666.67 kN/m³
Kh = 32666.670 × (5.483 / 0.3) $^{-3/4}$ = 3695.58 kN/m³
② 전단 지반반력계수
Kss = λ × Kh = 1/3.0 × 3695.580 = 1231.86 kN/m³

(3) 적용 지반반력계수

- 측벽

지반반력계수	계 산 식	해당 절점
Kh1	Kh x (1.177/2 + 1.177/2) = 4346 kN/m	12-15,20-23
Kss1	Kss x (1.177/2 + 1.177/2) = 1449 kN/m	

- 하부슬래브

지반반력계수	계 산 식	해당 절점
Kv1	Kv x (1.100/2 + 1.100/2) = 3314 kN/m	3-7
Ksb1	Ksb x (1.100/2 + 1.100/2) = 1105 kN/m	

- 우각부

지반반력계수	계 산 식	해당 절점
Kv1	Kv x (0.600/2 + 1.100/2) = 2561 kN/m	1,9
Ksb1	Kh x (1.177/2 + 0.600/2) = 3263 kN/m	

8. 하 중 계 산 (상시)

1) 구체자중 - 프로그램내에서 자동계산

2) 활하중

① 상재활하중에 의한 수평하중
- WH = 10.000 x 0.500 = 5.000 kN/m²

3) 토압 (지하수가 없을 경우)
① 좌측 벽체
Wh1 = 0.477 × 23.000 × 0.500 = 5.481 kN/m²
Wh2 = 5.481 + 0.023 × 23.000 × 0.500 = 5.750 kN/m²
Wh3 = 5.750 + 1.153 × 19.000 × 0.500 = 16.705 kN/m²
Wh4 = 16.705 + 1.177 × 19.000 × 0.500 = 27.883 kN/m²
Wh5 = 27.883 + 1.177 × 19.000 × 0.500 = 39.061 kN/m²
Wh6 = 39.061 + 0.677 × 19.000 × 0.500 = 45.489 kN/m²
Wh7 = 45.489 + 0.200 × 19.000 × 0.500 = 47.389 kN/m²
Wh8 = 47.389 + 0.300 × 19.000 × 0.500 = 50.239 kN/m²
② 우측 벽체
Wh1 = 0.500 × 23.000 × 0.500 = 5.750 kN/m²
Wh2 = 5.750 + 0.004 × 19.000 × 0.500 = 5.788 kN/m²
Wh3 = 5.788 + 0.200 × 19.000 × 0.500 = 7.688 kN/m²
Wh4 = 7.688 + 0.300 × 19.000 × 0.500 = 10.538 kN/m²

4) 토압 (지하수가 있을 경우)
① 좌측 벽체
Wh1 = 0.477 × 23.000 × 0.500 = 5.481 kN/m²
Wh2 = 5.481 + 0.023 × 23.000 × 0.500 = 5.750 kN/m²
Wh3 = 5.750 + 1.153 × 10.000 × 0.500 = 11.516 kN/m²
Wh4 = 11.516 + 1.177 × 10.000 × 0.500 = 17.399 kN/m²
Wh5 = 17.399 + 1.177 × 10.000 × 0.500 = 23.282 kN/m²
Wh6 = 23.282 + 0.677 × 10.000 × 0.500 = 26.665 kN/m²
Wh7 = 26.665 + 0.200 × 10.000 × 0.500 = 27.665 kN/m²
Wh8 = 27.665 + 0.300 × 10.000 × 0.500 = 29.165 kN/m²
② 우측 벽체
Wh1 = 0.500 × 23.000 × 0.500 = 5.750 kN/m²
Wh2 = 5.750 + 0.004 × 10.000 × 0.500 = 5.770 kN/m²
Wh3 = 5.770 + 0.200 × 10.000 × 0.500 = 6.770 kN/m²
Wh4 = 6.770 + 0.300 × 10.000 × 0.500 = 8.270 kN/m²

5) 지하수압 (지하수위 : GL = 0.700 m)

① 측벽에 작용하는 하중

- 좌측 벽체

Ww1	= 0.700 × 10.000	= 7.000 kN/m²
Ww2	= 7.000 + 0.477 × 10.000	= 11.766 kN/m²
Ww3	= 11.766 + 1.177 × 10.000	= 23.532 kN/m²
Ww4	= 23.532 + 1.177 × 10.000	= 35.298 kN/m²
Ww5	= 35.298 + 1.177 × 10.000	= 47.064 kN/m²
Ww6	= 47.064 + 0.677 × 10.000	= 53.830 kN/m²
Ww7	= 53.830 + 0.200 × 10.000	= 55.830 kN/m²
Ww8	= 55.830 + 0.300 × 10.000	= 58.830 kN/m²

- 우측 벽체

Ww9	= 0.700 × 10.000	= 7.000 kN/m²
Ww10	= 7.000 + 0.477 × 10.000	= 11.766 kN/m²
Ww11	= 11.766 + 1.177 × 10.000	= 23.532 kN/m²
Ww12	= 23.532 + 1.177 × 10.000	= 35.298 kN/m²
Ww13	= 35.298 + 1.177 × 10.000	= 47.064 kN/m²
Ww14	= 47.064 + 0.677 × 10.000	= 53.830 kN/m²
Ww15	= 53.830 + 0.200 × 10.000	= 55.830 kN/m²
Ww16	= 55.830 + 0.300 × 10.000	= 58.830 kN/m²

② 하부슬래브에 작용하는 하중

- Ww17 = (5.483 - -0.700) × 10.000 = 61.830 kN/m²

6) 온도하중

- 온도의 승강은 ± 10° C로 한다.
- 콘크리트 및 철근의 열팽창계수 α = 0.00001 으로 한다.

7) 건조수축

- 15° C의 온도하중으로 변환 설계.

- 건조수축계수 $\varepsilon = 15\times10^{-5}$
- 온도선팽창 계수 $\alpha = 1.0\times10^{-5}$
- $\Delta T = -\frac{\varepsilon}{\alpha}$ = 15° C

9. 하 중 계 산 (지진시)

1) 지진시 토압계수(Mononobe Okabe 토압) : 붕괴방지수준

Φ	= 뒷채움흙의 내부마찰각	: 30.000°
α	= 뒷채움흙의 경사각	: 0.000°
β	= 벽배면과 연직면이 이루는각	: 0.000°
δ	= 벽면마찰각	: 0.000°
kh	= 설계수평진도	: 0.154
θ	= tan-1(kh/(1-kv)),kv =	: 8.755
θ'	= tan-1(kh/(1-kv)xγt/γsub),kv = 0	: 16.309

$$K_{Ea} = \frac{\cos^2(\phi-\theta-\beta)}{\cos\theta\cos^2\beta\cdot\cos(\delta+\beta+\theta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin(\phi-\alpha-\theta)}{\cos(\alpha-\beta)\cdot\cos(\delta+\beta+\theta)}}\right]^2}$$

= 0.436

$$K_{Ea}' = \frac{\cos^2(\phi-\theta'-\beta)}{\cos\theta'\cos^2\beta\cdot\cos(\delta+\beta+\theta')\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin(\phi-\alpha-\theta')}{\cos(\alpha-\beta)\cdot\cos(\delta+\beta+\theta')}}\right]^2}$$

= 0.561

2) 지진시 토압계수(Mononobe Okabe 토압) : 기능수행수준

Φ	= 뒷채움흙의 내부마찰각	: 30.000°
α	= 뒷채움흙의 경사각	: 0.000°
β	= 벽배면과 연직면이 이루는각	: 0.000°
δ	= 벽면마찰각	: 0.000°
kh	= 설계수평진도	: 0.063
θ	= tan-1(kh/(1-kv)),kv =	: 3.605
θ'	= tan-1(kh/(1-kv)xγt/γsub),kv = 0	: 6.826

$$K_{Ea} = \frac{\cos^2(\phi-\theta-\beta)}{\cos\theta\cos^2\beta\cdot\cos(\delta+\beta+\theta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin(\phi-\alpha-\theta)}{\cos(\alpha-\beta)\cdot\cos(\delta+\beta+\theta)}}\right]^2}$$

= 0.372

$$K_{Ea}' = \frac{\cos^2(\phi-\theta'-\beta)}{\cos\theta'\cos^2\beta\cdot\cos(\delta+\beta+\theta')\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin(\phi-\alpha-\theta')}{\cos(\alpha-\beta)\cdot\cos(\delta+\beta+\theta')}}\right]^2}$$

= 0.410

3) 구체자중 - 프로그램내에서 자동계산

4) 토압 (지하수가 없을 경우) : 붕괴방지수준

① 좌측 벽체

Wh1	= 0.477 × 23.000 × 0.436	= 4.779 kN/m²
Wh2	= 4.779 + 0.023 × 23.000 × 0.436	= 5.014 kN/m²
Wh3	= 5.014 + 1.153 × 19.000 × 0.436	= 14.567 kN/m²
Wh4	= 14.567 + 1.177 × 19.000 × 0.436	= 24.314 kN/m²
Wh5	= 24.314 + 1.177 × 19.000 × 0.436	= 34.061 kN/m²
Wh6	= 34.061 + 0.677 × 19.000 × 0.436	= 39.666 kN/m²
Wh7	= 39.666 + 0.200 × 19.000 × 0.436	= 41.323 kN/m²
Wh8	= 41.323 + 0.300 × 19.000 × 0.436	= 43.808 kN/m²

② 우측 벽체

Wh1	= 0.500 × 23.000 × 0.436	= 5.014 kN/m²
Wh2	= 5.014 + 0.004 × 19.000 × 0.436	= 5.047 kN/m²
Wh3	= 5.047 + 0.200 × 19.000 × 0.436	= 6.704 kN/m²
Wh4	= 6.704 + 0.300 × 19.000 × 0.436	= 9.189 kN/m²

5) 토압 (지하수가 없을 경우) : 기능수행수준

① 좌측 벽체

Wh1	= 0.477 × 23.000 × 0.372	= 4.078 kN/m²
Wh2	= 4.078 + 0.023 × 23.000 × 0.372	= 4.278 kN/m²
Wh3	= 4.278 + 1.153 × 19.000 × 0.372	= 12.429 kN/m²
Wh4	= 12.429 + 1.177 × 19.000 × 0.372	= 20.745 kN/m²
Wh5	= 20.745 + 1.177 × 19.000 × 0.372	= 29.061 kN/m²
Wh6	= 29.061 + 0.677 × 19.000 × 0.372	= 33.843 kN/m²
Wh7	= 33.843 + 0.200 × 19.000 × 0.372	= 35.257 kN/m²
Wh8	= 35.257 + 0.300 × 19.000 × 0.372	= 37.377 kN/m²

② 우측 벽체

Wh1	= 0.500 × 23.000 × 0.372	= 4.278 kN/m²
Wh2	= 4.278 + 0.004 × 19.000 × 0.372	= 4.306 kN/m²
Wh3	= 4.306 + 0.200 × 19.000 × 0.372	= 5.720 kN/m²
Wh4	= 5.720 + 0.300 × 19.000 × 0.372	= 7.840 kN/m²

6) 토압 (지하수가 있을 경우) : 붕괴방지수준

① 좌측 벽체

Wh1	= 0.477 × 23.000 × 0.436	= 4.779 kN/m²
Wh2	= 4.779 + 0.023 × 23.000 × 0.436	= 5.014 kN/m²
Wh3	= 5.014 + 1.153 × 10.000 × 0.561	= 11.483 kN/m²
Wh4	= 11.483 + 1.177 × 10.000 × 0.561	= 18.084 kN/m²
Wh5	= 18.084 + 1.177 × 10.000 × 0.561	= 24.685 kN/m²
Wh6	= 24.685 + 0.677 × 10.000 × 0.561	= 28.481 kN/m²
Wh7	= 28.481 + 0.200 × 10.000 × 0.561	= 29.603 kN/m²
Wh8	= 29.603 + 0.300 × 10.000 × 0.561	= 31.286 kN/m²

② 우측 벽체

Wh1	= 0.500 × 23.000 × 0.436	= 5.014 kN/m²
Wh2	= 5.014 + 0.004 × 10.000 × 0.561	= 5.036 kN/m²
Wh3	= 5.036 + 0.200 × 10.000 × 0.561	= 6.158 kN/m²
Wh4	= 6.158 + 0.300 × 10.000 × 0.561	= 7.841 kN/m²

7) 토압 (지하수가 있을 경우) : 기능수행수준

① 좌측 벽체

Wh1	= 0.477 × 23.000 × 0.372	= 4.078 kN/m²
Wh2	= 4.078 + 0.023 × 23.000 × 0.372	= 4.278 kN/m²
Wh3	= 4.278 + 1.153 × 10.000 × 0.410	= 9.006 kN/m²
Wh4	= 9.006 + 1.177 × 10.000 × 0.410	= 13.830 kN/m²
Wh5	= 13.830 + 1.177 × 10.000 × 0.410	= 18.654 kN/m²
Wh6	= 18.654 + 0.677 × 10.000 × 0.410	= 21.428 kN/m²
Wh7	= 21.428 + 0.200 × 10.000 × 0.410	= 22.248 kN/m²
Wh8	= 22.248 + 0.300 × 10.000 × 0.410	= 23.478 kN/m²

② 우측 벽체

Wh1	= 0.500 × 23.000 × 0.372	= 4.278 kN/m²
Wh2	= 4.278 + 0.004 × 10.000 × 0.410	= 4.294 kN/m²
Wh3	= 4.294 + 0.200 × 10.000 × 0.410	= 5.114 kN/m²
Wh4	= 5.114 + 0.300 × 10.000 × 0.410	= 6.344 kN/m²

8) 구체 관성력

fi = Ai × rcon'c × KH

① 하부슬래브

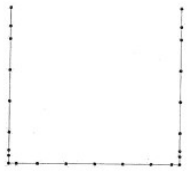
기능수행수준(kN/m²)	붕괴방지수준(kN/m²)
fb = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	fb = 0.600×25.000×0.154 = 2.310

② 측벽

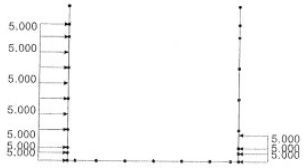
기능수행수준(kN/m²)	붕괴방지수준(kN/m²)
f1 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f1 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310
f2 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f2 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310
f3 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f3 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310
f4 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f4 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310
f5 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f5 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310
f6 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f6 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310
f7 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f7 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310
f8 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f8 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310
f9 = 0.600×25.000×0.063 = 0.945	f9 = 0.600×25.000×0.154 = 2.310

10. 하 중 재 하 (상시)

1) CASE1 - 구체자중(SW)

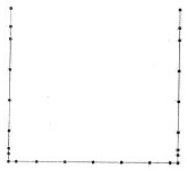


2) CASE2 - 상재활하중에 의한 수평하중(LIVEAH)

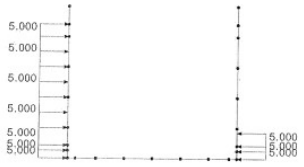


11. 하중 재하 (기능수행)

1) CASE1 - 구체자중(SW)

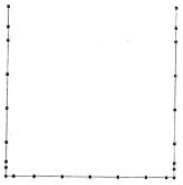


2) CASE2 - 지진시 상재활하중에 의한 수평하중(LIVEAHE)

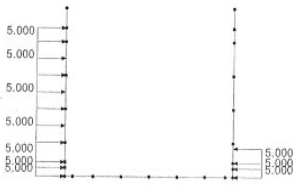


12. 하중 재하 (붕괴방지)

1) CASE1 - 구체자중(SW)



2) CASE2 - 지진시 상재활하중에 의한 수평하중(LIVEAHE)



13. 하중계수 및 하중조합

αH : 토피의 두께에 따른 연직방향 하중Hv에 대한 보정계수

h ≤ 2.0 m 에 대해서, αH = 1.0

h > 2.0 m 에 대해서, αH = 1.05 - 0.025h (≥ 0.875) = 1.000, h = -0.700 m

1) 계수하중

구 분	D	Hv	L	Hh	T	F	지하수 고려
LC1	1.200	1.600	1.600	1.600	1.200		
LC2	1.200		1.000				
LC3	1.200	1.600	1.600	0.800	1.200		
LC4	0.900	0.900		1.600			
LC5	0.900	0.900		0.800			
LC6	1.200	1.600	1.600	1.600	1.200	1.600	●
LC7	1.200	1.600	1.600	0.800	1.200	1.600	●
LC8	0.900	0.900		1.600	1.200	0.900	●
LC9	0.900	0.900		0.800		0.900	●

2) 사용하중

구 분	D	Hv	L	Hh	T	F	지하수 고려
LC1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
LC2	1.000		1.000				
LC3	1.000	1.000	1.000	0.500	1.000		
LC4	0.900	0.900		1.000			
LC5	0.900	0.900		0.500			
LC6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	●
LC7	1.000	1.000	1.000	0.500	1.000	1.000	●
LC8	0.900	0.900		1.000		0.900	●
LC9	0.900	0.900		0.500		0.900	●

3) 지진시(붕괴방지수준)

구 분	D	Hv	L	Hh	T	F	E	지하수 고려
LC1	1.200	1.200	1.000	1.000			1.000	
LC2	1.200	1.200	1.000	0.500			1.000	
LC3	0.900	0.900		1.000			1.000	
LC4	0.900	0.900		0.500			1.000	●

4) 지진시(기능수행수준)

구 분	D	Hv	L	Hh	T	F	E	지하수 고려
LC1	1.200	1.200	1.000	1.000			1.400	
LC2	1.200	1.200	1.000	0.500			1.400	
LC3	0.900	0.900		1.000			1.400	
LC4	0.900	0.900		0.500			1.400	●

16. 수평철근 검토

1) 하부슬래브 : 1경간(좌측)

① Req's As = B × H × 0.0020 (≤ 1800 ㎟)[콘.설 5.7.2]
= 1000 × 600 × 0.0020 = 1200.00 ㎟

∴ Used As = H13 - 10EA = 1267.000 ㎟ ≥ 1200.000 ∴ O.K

② 0.0015hb [도로교설계기준 4.3.9]
h : 부재두께 최대 1200 b : 부재 폭
필요 철근량 : 0.0015 x 600 x 1000 = 900.0 ㎟ (≤1800)
∴ 900.0 ㎟ ≤ 1267.0 ㎟ ∴ O.K

2) 하부슬래브 : 중앙부

① Req's As = B × H × 0.0020 (≤ 1800 ㎟)[콘.설 5.7.2]
= 1000 × 600 × 0.0020 = 1200.00 ㎟

∴ Used As = H13 - 10EA = 1267.000 ㎟ ≥ 1200.000 ∴ O.K

② 0.0015hb [도로교설계기준 4.3.9]
h : 부재두께 최대 1200 b : 부재 폭
필요 철근량 : 0.0015 x 600 x 1000 = 900.0 ㎟ (≤1800)
∴ 900.0 ㎟ ≤ 1267.0 ㎟ ∴ O.K

3) 하부슬래브 : 1경간(우측)

① Req's As = B × H × 0.0020 (≤ 1800 ㎟)[콘.설 5.7.2]
= 1000 × 600 × 0.0020 = 1200.00 ㎟

∴ Used As = H13 - 10EA = 1267.000 ㎟ ≥ 1200.000 ∴ O.K

② 0.0015hb [도로교설계기준 4.3.9]
h : 부재두께 최대 1200 b : 부재 폭
필요 철근량 : 0.0015 x 600 x 1000 = 900.0 ㎟ (≤1800)
∴ 900.0 ㎟ ≤ 1267.0 ㎟ ∴ O.K

4) 좌측벽체 : 중앙부

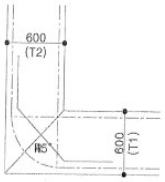
① Req's As = B × H × 0.0020 (≤ 1800 ㎟)[콘.설 11.3(3)]
= 1000 × 600 × 0.0020 = 1200.00 ㎟

∴ Used As = H13 - 10EA = 1267.000 ㎟ ≥ 1200.000 ∴ O.K

② 0.0015hb [도로교설계기준 4.3.9]
h : 부재두께 최대 1200 b : 부재 폭
필요 철근량 : 0.0015 x 600 x 1000 = 900.0 ㎟ (≤1800)
∴ 900.0 ㎟ ≤ 1267.0 ㎟ ∴ O.K

17. 절점부 검토

1) 좌측하단



- CON'C 설계기준강도: fck = 27 MPa
- 철근 항복강도 : fy = 400 MPa
- 사용 모멘트 : Mu = 573.248 kN.m
- 절점부 휨모멘트 : Mo = 573.248 kN.m

$R = \sqrt{(T1^2 + T2^2)} = 848.528$ ㎜

▣ 절점부 보강철근으로 볼 수 있는 주 철근량
H32 @250 - 4EA = 3176.800 ㎟
∴ Total Asb = 3176.800 ㎟

- 절점부 보강철근량 필요여부 판정

$$Ftmax = \frac{5 \times Mo}{R^2 \times W} = \frac{5 \times 573.25 \times 10^6}{848.528^2 \times 1000} = 3.981\ MPa > 0.13\sqrt{fck}\ (=0.675)$$

∴ 절점부 보강철근 필요 !!!

- 소요철근량
외측 인장에 대한 보강철근량(As)

$$As = \frac{2 \times Mo}{R \times fsa} = \frac{2 \times 573.25 \times 10^6}{848.528 \times 180} = 7506.441\ ㎟$$

Asb = 3176.800 ㎟

Req'd As = As - Asb
= 7506.441 ㎟ - 3176.800 ㎟
= 4329.641 ㎟

- 사용보강철근
Use'd As = H29 - 4EA , H25 - 4EA

∴ Total As = 4596.400 ㎟ > Req'd As (= 4329.641 ㎟) ----------> O.K !!!

18. 사용성 검토

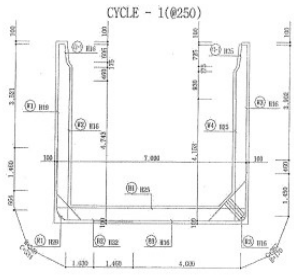
(1) 균열 검토 (콘크리트 구조설계기준·해설 6.3.3(4))

(C.T.C. 125 ㎜)

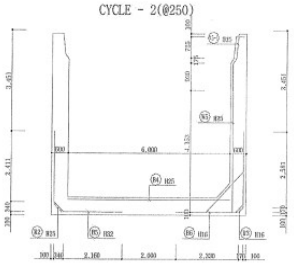
구분		부재 위치		유효높이 (㎜)	인장사용철근량	철근 간격(㎜)	최대 간격 (㎜)	검토 결과	S.F
하부슬래브	1경간	좌측	1	500	H32 - 8.0EA	125	186.053	O.K	1.488
		중앙부	2	520	H25 - 8.0EA	125	227.313	O.K	1.819
		우측	3	500	H16 - 8.0EA	125	349.196	O.K	2.794
좌측벽체	1층	중앙부	4	500	H19 - 4.0EA + H32 - 4.0EA	125	376.052	O.K	3.008
		하부	5	500	H32 - 8.0EA	125	197.530	O.K	1.580
우측벽체	1층	중앙부	6	500	H16 - 8.0EA	125	860.313	O.K	6.883
		하부	7	500	H16 - 8.0EA	125	402.435	O.K	3.219
		추가	8	500	H25 - 8.0EA	125	184.668	O.K	1.477

20. 주철근 조립도

CYCLE - 1(@250)



CYCLE - 2(@250)



2.2.3 지반조사보고서

제1장 조사개요

1.1 조사목적 및 기본방향

조사목적

사 업 명	•서울채물포터널 민간투자사업 실시설계
조사목적	•기본설계 조사결과를 토대로 민근지역 조사 및 문헌자료 등 기존자료 분석을 통하여 합리적인 조사계획 수립 •조사결과의 신뢰성 확보를 위해 다양한 조사기법 및 통계분석을 수행하여 합리적인 설계정수 산정 •중점검토 대상구간에 대한 지층분포 및 지반특성 규명을 통하여 경제적이고 안정성이 확보된 설계 유도

기본방향

기본설계 및 주변현황을 고려한 조사계획	지반특성 파악을 위한 정밀조사
• 기본설계 자료 분석으로 중점검토 대상구간 선정 • 주변현황을 고려한 단계별 조사계획	• 시추공시험발파를 통한 최적발파설계 자료 제공 • 단층파쇄대 특성파악을 위한 추가확인 조사
• 다각적 조사기법을 통한 지질이상대 파악 • 확률통계기법을 적용한 객관적인 설계지반정수 산정	• 최신 조사기법 및 현장시험 적용 • 기존사례 및 지반조사 성과 합리적 분석
체계적인 성과분석 및 신뢰성 제고	정확한 지반정보 제공을 통한 최적설계 유도

최적설계를 위한 지반조사 수행

1.2 사업범위 및 현황

사업범위

사업위치	•시점 : 서울특별시 양천구 신월동(신월IC) •종점 : 서울특별시 영등포구 여의도동(여의대로)
사업목적	•수도권 서부도심권과 서울도심을 연결하는 주간선도로 역할 •경인고속도로, 서부간선도로, 올림픽대로를 연결하는 광역간선축 •도심내 단거리 통행과 장거리 통행 혼재에 따른 교통체증 완화
사업규모	•연장 : 여의도방향 L : 7.53km, 인천방향 L : 7.57km •터널 규모 : 2차로 여의도방향 6,817m, 인천방향 6,791m 1차로 여의도방향 564.82m, 인천방향 398.5m •지하차도 규모 : U-Type 1차로 : 2개소, 2차로 : 4개소 Box 1차로 : 2개소, 2차로 : 4개소

사업현황

분석결과	• 도심지 구간으로 인근에 다수의 건물 위치 ⇒ 개착 및 터널 시공 굴착시 영향 검토 필요 • 안양천, 여의샛강 교차 통과 ⇒ 지질구조선 발달가능 지역으로 정밀조사 계획 필요 • 남부순환로 및 강서로 연계한 사업노선 ⇒ 구조물별 특성을 고려한 조사항목 선정 필요

1.3 조사수행절차 및 수행기간

조사수행절차

조사수행절차	조사 및 분석 내용	주요 조사 항목
사 전 조 사	•최초제안 및 기본설계 조사결과 분석 •인접지역 및 유사현장 설계자료 분석 •기존문헌자료 분석 •주변현황 및 예상문제점 분석	•기본설계 보고서 결과 분석 및 보완사항 파악 •서부간선 지하도로 민간투자사업 등 총 3개 사업의 인근설계자료 •서울도록(1:50,000), 지형도(광복이전, 1969, 1997), 인공위성영상, 항공사진 분석 •현장답사, 관공서 방문 및 탐문 조사
광 역 조 사	•지진이력, 강우량 확인 •선구조 분석 및 광역지표지질조사 •지구조 변화사 및 단층구조 분석	•지진발생현황조사, 강우량 분석 •인공위성 영상분석, 음영기복도 분석, 현장노두조사 •산계 및 수계분석, 고지형도 분석
상 세 조 사	•지질구조 및 지층 분포 특성 분석을 통한 지층급변구간 등 지질이상대 규명 •강도 및 변형특성 분석을 위한 조사 •동적특성 분석을 위한 조사 •수리특성 분석을 위한 조사 •불연속면특성 분석을 위한 조사 •터널의 측압계수 산정을 위한 조사 •환경영향 및 시공계획을 위한 조사	•상세 지표지질조사, 시추조사, 고출력전기비저항탐사, 상시미진동탄성파탐사, 탄성파토모그래피탐사 •공내재하, 공내전단시험, 일축/삼축압축시험, •S-PS검층, 하향식탄성파탐사, 밀도검층 •현장투수시험, 양판수압시험, 양수시험 •시추공영상촬영, 초음파주사검층, 절리면전단시험 •수압파쇄시험, AE/DRA시험 •시추공시험발파, 재료원조사
추가·보완조사	•교차터널 등 지하구조물 인접부 영향검토 및 단층파쇄대 원인 및 영향범위 규명	•추가 시추조사, 단층파쇄대 영향 범위 분석 •정밀분석을 통한 구조선의 단층파쇄대 입체화

• 최적의 노선 및 구조물 위치 선정 • 구간별 지질 및 지층 분석 • 설계지반정수 산정

수행기간

구 분		조 사 내 용	2013년 2월 4월 6월 8월 10월 12월	2014년 2월 4월 6월 8월 10월 12월	2015년 11월 12월
예비조사	사전조사	•현장답사를 통한 조사위치 계획 •문헌 및 기존자료 성과, 문제점 분석			
	광역조사	•사업구간 주변 선구조 및 이상대 파악 •사업지역 특성에 맞는 조사계획 수립			
상 세 조 사		•설계 목적별 현장조사 및 시험 수행 •구간별 상세 지반특성 파악			
추가조사	이상대 예상구간	•단층파쇄대구간 방향 및 범위 파악을 위한 정밀조사 수행으로 단층파쇄대 입체화			
추가조사	변경설계	•시점 설계변경 추가조사			
성 과 분 석 보고서 작성		•구간별 공학적 특성 종합 분석 •통계분석 적용, 설계지반정수 산정			

제2장 조사계획 수립

2.1 조사계획 수립을 위한 사전검토

2.1.1 사업지역 주변현황분석

기본방향 • 주변현황에 따른 구간별 시공 저해요소, 민원예상 지역을 파악하여 상세조사계획 수립시 반영

사업구간 현황

구간별 문제점 분석

구 분	현황특성 및 예상문제점	중점고려사항	조사 착안사항
전 지역	•상가 및 주택가 밀집지역 통과로 환경영향 및 민원발생 우려 •차량통행 빈번, 지하매설물 분포로 인한 기존 탐사 적용 불리 •시추조사 지점 4차선 도로변 인도로 국한되며, 보행자 통행시 안전사고 및 지장물 훼손 우려	•굴착/발파로 인한 소음·진동 영향 •굴착으로 인한 지하수 영향 검토 •오염물질의 거동조사 수행 •상시미진동탄성파탐사, 고출력 전기비저항탐사로 노이즈 영향 최소화 •도심지 굴착중 발생가능한 민원 및 지장물 훼손방지 필요	•시추공시험발파 •대수성시험, 지하수모델링 •고출력전기비저항탐사, 상시미진동탄성파탐사 •안전사고 방지용 휀스 설치 •GPR 탐사 수행, 시추조사지점 터파기 후 유관기관 입회하 수행
① 지역	•지하철 2, 5호선, 기존지하차도, 경인고속국도, 서부간선지하도로, 올림픽대로 등 지상 및 지하구조물 등의 통과구간으로 시추조사 제한 및 민원발생 우려	•기존 지상 및 지하구조물 영향검토 •개착구간 연도변 건물 영향검토 •서부간선 지하도로와 연계한 목동램프 추가설치를 위한 조사계획	•전기비저항탐사, MASW탐사 •상시미진동탄성파탐사, GPR 탐사 •시추공시험발파 •공내재하시험
② 지역	•안양천, 샛강 통과 구간으로 두터운 충적층 분포 예상 •개착시 하천수 및 지하수 유입 우려	•구조물 지지층 확인을 통한 안정성 검토 •지하수 및 하천수 유입에 대한 차수 대책 수립	•GPR탐사, 공내재하시험, 공내전단시험 및 토성시험 •현장투수시험, 양판수압시험 장기지하수위 측정 및 지하수유동분석
③ 지역	•환기구 구간 환경영향 특성자료 정보 부재	•구조물의 안정성, 지하수 재활용 방안 검토 및 환경영향검토	•수압파쇄시험, 수질/토양분석, 라돈농도 측정

분석결과	•도심지 특성을 고려한 고출력전기비저항탐사, 상시미진동탄성파탐사 및 시추조사를 통한 상세지층파악 •굴착에 따른 주변 환경 및 민원 방지를 위한 시추공 시험발파, 수질토양 분석, 라돈농도측정 및 지하수유동 분석 계획 •현장특성에 부합하는 조사기법을 도입하여 지반특성 및 지질이상대의 영향을 반영한 경제적이고 안정성이 확보된 설계 유도

- 3 -

2.1.2 지반조사 관련기준 검토

지반분류기준 분석

구 분	국교부/도로공사 기준	적 용 기 준
풍화암	•N≥ 50/10~15 •TCR〈 10~40%, RQD〈 0~20%	•흙의 공학적 분류는 1차 육안 분류 후, 통일분류법으로 분류 •풍화암 분류는 기초안정을 위해 N≥50/10을 기준으로 결정
암반분류	구 분 / TCR(%) 국교부 도로공사 / RQD(%) 국교부 도로공사 연 암 20~40 40~70 〈25 20~40 보통암 40~70 70~90 25~50 40~70 경 암 〉70 〉90 〉50 〉70	•보수적인 등급기준인 한국도로공사 암반분류 기준 적용 •TCR/RQD를 이용 1차 분류 후 절리면상태, 풍화도, 강도 등을 고려 결정

시추빈도 및 심도 기준

터널구간

구 분	한국도로공사	국토교통부	한국건설기술연구원	구조물기초설계 기준	지하철건설본부
조사간격	•개소당 3공 이상 •경구부 상 · 하 입출구부 각 1공씩 •터널본선구간 최소 300m 간격	•개소당 입출구부 각 1공 •노선방향으로 50~200m 간격 •지층불규칙, 주변여건에 따라 간격 축소	•입출구부에 각 2공 •100~300m 당 1공 •지질구조대가 발생할 경우 간격 축소 조정	•개착구간 100m •터널구간 50~100m	•도심터널구간 노선방향으로 100~200m •지질구조적으로 취약한 경우 간격 축소 조정
조사심도	•계획고하 2m	•계획고하 0.5m	•계획고하 2m •연약층, 팽창성지반, 광산지역 터널 직경 1~2D 범위	•계획고하 2m •계획고하 0.5~1.0D	•계획고하 터널직경 •개착터널의 경우 계획심도 120% 또는 견고한 지반 3m 확인

구조물구간

구 분		한국도로공사	국토교통부	한국건설기술연구원	구조물기초설계 기준
U-Type 및 Box	조사간격	•구조물마다 1공씩	•구조물마다 1공씩	•구조물당 2개소 이상 •각 방향 15~30m 간격	•구조물마다 1공씩 •100~200m 간격 1공
	조사심도	•풍화암 7m, 연암 3m, 경암 1m 중 택일	•풍화암 7m, 연암 2m, 경암 1m 중 택일	•계획고하 5m •기반암하 2m	•기반암하 2m

본사업 적용

구 분	터널 구간	U-Type 및 Box 구간	교량구간(보도육교)
조사간격	•지질이상대 예상구간을 중점조사 구간으로 선정하여 50m 간격 수행 •일반구간은 기본설계공을 감안하여 100~200m 당 1공 수행	•구조물마다 4공 이상 •100m 간격 1공	•구조물교대, 교각마다 1공
조사심도	•계획고하 1.0D	•계획고하 2m •지지층 확인 (풍화암 7m, 연암 3m, 경암 1m)	•지지층 확인 (풍화암 7m, 연암 3m, 경암 1m)

- 4 -

제3장 조사내용 및 방법

3.1 흙과 암반의 분류 및 기재방법

3.1.1 토질 분류 및 방법

기본방향
- 흙의 분류는 성질이 다른 여러 흙을 간단한 시험을 근거로 몇 가지 무리로 나누기 위해 수행
- 지반공학적 특성을 개략적으로 파악하여 설계기초 자료로 활용

개요

구 분	흙의 분류 기재방법 및 내용
흙의 분류	•흙의 공학적 분류는 1차 육안관찰에 의한 분류 수행 후, 최종적으로 통일 분류법 (KS F 2324, USCS)을 기준으로 분류
기재방법	•시추주상도의 지층구분은 통일된 기호를 사용 •N값에 의하여 상대밀도 및 연경도를 판단하고, 채취된 교란시료의 육안관찰 및 물성시험에 근거하여 통일 분류법으로 흙을 분류하여 기재
기재내용	•지층상태는 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암으로 지층 구분 •연경도 및 사질토의 상대밀도와 습윤 상태, 색조, N값 등을 고려하여 기재 •함수상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet) 및 포화상태(Saturated)로 구분 •색조는 흑색, 갈색, 홍색, 적색, 황색등에 담(연한)과 암(진한)의 접두어를 사용

흙의 분류방법

육안관찰에 의한 분류(1차 분류)

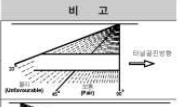
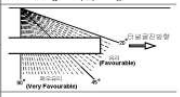
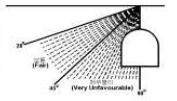
구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤상태에서 손가락으로 끈모양으로 꼴때
		건조상태	습윤상태	
모래 (Sand)	•각 입자의 크기가 판별될 수 있는 입상구조 •건조 상태에서 흘러내림	•덩어리져지지 않고 흐트러짐	•덩어리져지고 가벼운 충격에 흐트러짐	•끈모양으로 꼬아지지 않음
실트섞인모래 (Silty Sand)	•입상이나 실트, 점토가 섞여서 약간 점성 있음 •모래질의 특성 우세함	•덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	•덩어리지며 가벼운 충격에 부서지지 않음	•끈모양으로 꼬아지지 않음
모래섞인 실트 (Sandy Silt)	•적당량 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트 입자가 50% 이상 •건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	•덩어리지며 만져도 부서지지 않음 •부서지면 밀가루와 같은 감촉	•덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 •물을 부으면 서로 엉김	•끈모양으로 꼬아지지 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
실트 (Silt)	•세립사와 점토함량이 극소량이고 실트입자 함량이 80%이상 •건조되면 덩어리지나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루로 됨	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 물에 젖으면 엉김	•완전히 꼬아 지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점토 (Clay)	•건조되면 아주 딱딱한 덩어리의 상태가 됨 •건조 상태에서 잘 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨	•길고 얇게 꼬아지며, 점성이 큼

제3장 조사내용 및 방법

불연속면 상태 평가 기준

평가요소		평가기준				
불연속면 길이	구 분	〈 1m	1~3m	3~10m	10~20m	〉 20m
	평 점	6	4	2	1	0
불연속면 틈새	구 분	None	〈 0.1mm	0.1~1.0mm	1.0~5.0mm	〉 5.0mm
	평 점	6	5	4	1	0
거칠기	구 분	매우거침	거침	약간거침	평활	Slickensided
	평 점	6	5	3	1	0
충전물	구 분	없음	단단한 충전물	연한 충전물		
		〈 5mm	〉 5mm	〈 5mm	〉 5mm	
	평 점	6	4	2	2	0
풍화정도	구 분	신선	약간풍화	풍화	심한풍화	파쇄
	평 점	6	5	3	1	0

불연속면 방향 및 경사에 따른 평가기준

불연속면 방향	불연속면 경사		평 가	비 고
터널축과 직교	역경사	20~45°	불리(Unfavorable)	
		45~90°	불리(Fair)	
	순경사	20~45°	양호(Favorable)	
		45~90°	매우양호(Very Favorable)	
터널축과 평행	20~45°		보통(Fair)	
터널축과 무관	45~90°		매우불리 (Very unfavorable)	
	0~20°		보통(Fair)	

평점에 따른 등급

구 분	I 등급	II 등급	III 등급	IV 등급	V 등급
평 점	81~100	61~80	41~60	21~40	20이하
평 가	매우양호 (Very Good Rock)	양호 (Good Rock)	보통 (Fair Rock)	불량 (Poor Rock)	매우불량 (Very Poor Rock)

- 20 -

제4장 예비조사 결과

4.1 조사개요

기본방향
- 광역적인 지형구조와 지질구조를 분석함으로써 사업구간 지반특성 파악
- 지질구조에 대한 상세조사를 통해 예상 문제점 파악하고 지질특성을 고려한 합리적 설계 도모

예비조사 수행과정

사전·문헌조사	예비조사 항목 선정	예비조사 성과분석	상세조사 반영
•기존 및 참조문헌 자료 분석을 통한 지질특성 파악 •현지답사를 통한 현황 특성 파악	•위성영상 및 DEM분석을 통한 선구조 특성 분석 •교차선구조 분석을 통한 상세 지표지질조사 위치 선정	•조사위치별 불연속면의 공학적 특성 파악 •절리 및 인접노두 단층 방향 분석을 통한 영향성 분석	•지질취약구간 선정을 통한 상세조사 계획 수립에 반영 •구조물 안정 해석을 위한 기초자료 제공

예비조사 착안사항

구 분	분 석 항 목	중 점 검 토 사 항
지형 · 지질분석	•고지형 분석 •위성영상 및 음영기복도를 이용한 선구조분석 •광역지질도, 상세지질도, 지구조 진화사 분석	•지형특성 및 퇴적환경 상관성 규명 •단층, 절리 등에 의한 선구조 해석 •지질 선후관계를 통한 지질공학적 특성 해석
육상 환경 변화 분석	•연도별 토지이용변화 분석 •고지형 변화 분석	•육상 토사층 분포 변화양상 파악 •안양천 및 샛강 통과 지역 퇴적환경변화 유추 – 퇴적층 분포 변화 양상 분석
지진이력 및 강우량 분석	•인근지역 지진발생이력 및 강우량 파악	•지진에 따른 내진설계 기준안 산정 및 강우량 분석

4.2 광역지형 특성 분석

기본방향
- 사업구간의 지형 특성변화 및 이력을 분석하여 주요구간의 구조물에 미치는 영향 검토

4.2.1 산계 및 수계 분석

산계분석	수계분석
•북동 · 남서방향의 한강을 중심으로 대칭적 구조의 산계 발달 •사업구간 일대는 산계발달이 미약한 노년기 분지지형	•산계 방향 영향으로 북서~남동방향으로 발달한 한강으로 안양천, 도림천, 샛강 등이 유입

분석결과
- 사업지역은 북동~남서 방향으로 180m 미만의 산계가 발달한 전형적 노년기 분지지형을 보임
- 사업구간 인접지역에 발달한 안양천, 도림천, 샛강 등은 북서~남동방향으로 발달한 한강으로 유입됨

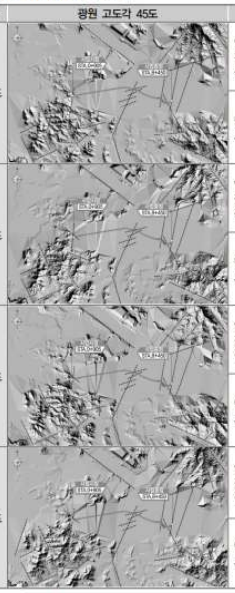
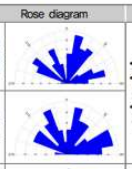
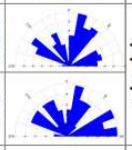
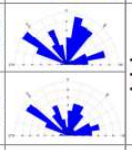
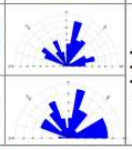
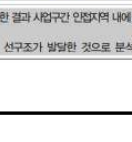
- 53 -

4.3 선구조 분석

기본방향
- 사업구간을 포함하는 광역적 영상분석으로 지형적 발달 요건을 고려한 선구조 분석
- 선구조의 분포특성, 방향성 및 발달 기작을 유추하여 안정성 검토 등 설계의 기초자료로 활용

4.3.1 광역 선구조 분석

DEM을 이용한 선구조 분석

방위각	광원 고도각 45도	Rose diagram	비 고
45도		연장성:  빈도: 	•선구조 수 : 44개조 •주방향 : N30W, N15E, N70E •부방향 : N60W, N30E, N85E
135도		연장성:  빈도: 	•선구조 수 : 41개조 •주방향 : N15E, N70E, N85E •부방향 : N30W, N60W, N30E
225도		연장성: 빈도: 	•선구조 수 : 47개조 •주방향 : N60W, N15E •부방향 : N30W, N70E
315도		연장성: 빈도:	•선구조 수 : 45개조 •주방향 : N15E, N30W •부방향 : N60W, N30E, N70E

분석결과
- 음영기복도 광원방위각 변화에 따른 선구조를 분석한 결과 사업구간 인접지역 내에 5개조의 선구조가 발달 – N15E, N30E, N70~85E, N30W, N60W
- 사업구간 노선 안정성에 영향을 미치는 8개의 선구조가 발달한 것으로 분석됨

- 55 -

제5장 상세조사 결과

5.1 지층분포 특성 조사

기본방향
- 사업구간에 계획된 구조물에 대한 사추조사를 통해 지층분포상태 및 기반암 발달특성 파악
- 실내시험을 위한 암석, 토사시료채취 및 각종 원위치시험을 실시하여 설계에 필요한 자료제공

5.1.1 조사현황

5.1.2 사추조사

지층분포현황

기본설계

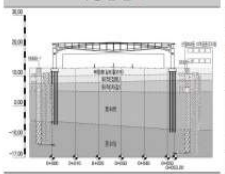
구 분		층 후(m) 토사층	풍화대	기반암출현 심도(m)	사추 심도(m)	구 분		층 후(m) 토사층	풍화대	기반암출현 심도(m)	사추 심도(m)
터널부	NTB-1	13.5	5.0	18.5	21.0	터널부	NTB-16	17.6	6.5	24.1	68.3
	NTB-2	13.5	4.5	18.0	20.5		NTB-17	19.6	2.9	22.5	63.0
	NTB-3	13.5	4.2	17.7	21.8		NTB-18	21.8	11.2	33.0	66.0
	NTB-4	5.5	2.3	7.8	16.0		NTB-19	21.8	11.2	33.0	63.5
	NTB-5	14.5	3.5	-	18.0		NTB-20	23.6	12.4	36.0	60.0
	NTB-6	17.5	2.5	-	20.0		NTB-21	23.8	7.5	31.3	56.0
	NTB-7	16.0	11.0	27.0	33.3		NTB-22	22.5	2.9	25.4	52.0
	NTB-8	15.5	14.2	29.7	45.6		NTB-23	19.8	1.7	21.5	49.0
	NTB-9	17.8	27.7	45.5	48.5		NTB-24	21.5	5.1	26.6	49.0
	NTB-10	24.0	0.5	24.5	82.0		NTB-25	23.5	9.2	32.7	48.5
	NTB-11	19.5	6.5	26.0	64.5		NTB-26	22.8	9.2	32.0	46.0
	NTB-12	24.7	7.8	32.5	74.0		NTB-27	16.3	7.7	24.0	41.0
	NTB-13	25.3	3.4	28.7	82.3		NTB-28	15.7	8.9	24.6	38.0
	NTB-14	21.5	13.0	34.5	75.0		NTB-29	14.4	0.8	15.2	38.0
	NTB-15	22.0	9.2	31.2	72.0		NTB-30	13.6	8.2	21.8	34.0

- 63 -

조사결과 및 분석

신당보도육교

지층단면도

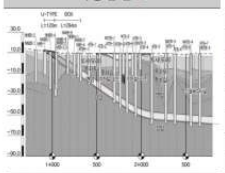


구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매립층		0.0	2.0~2.6	SM	6/30
퇴적층	점성토	2.0~2.6	2.0~2.4	CL	5/30~11/30
	모래	4.0~5.0	2.5~4.0	SM, SP	8/30~27/30
	자갈	-	-	-	-
풍화토		7.5~8.0	10.1~12.3	SM	17/30~50/10
풍화암		17.6~20.3	7.4~7.70암	WR	50/10~50/3
연암		-	-	-	-
경암		-	-		-

- 견고한 점성토가 2.0~2.4m의 층후로 분포, 지지층(풍화암)의 출현심도는 17.6~20.3m로 분포

본선 시점부

지층단면도

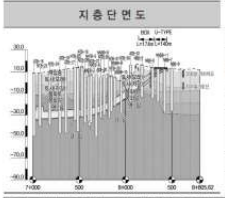


구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매립층		0.0	1.7~3.8	SM, SP, SC	1/30~14/30
퇴적층	점성토	1.7~3.8	1.6~13.2	CL, ML	2/30~16/30
	모래	2.2~15.5	1.2~8.0	SM, SP, SC	4/30~34/30
	자갈	7.0~15.5	0.5~1.5	GP, GM	15/30~41/30
풍화토		5.5~18.7	1.0~18.00암	SM	9/30~50/9
풍화암		7.0~28.0	0.5~15.00암	WR	50/10~50/2
연암		7.8~43.0	0.4~39.10암	편마암	0~66
경암		16.8~55.7	2.5~51.40암		11~100

- U-Type 및 Box구간 N값 3/300상의 연약~보통견고 점성토 분포, 영업소구간,Box하부 풍화대 발달

본선종점 개착구간(Ramp-A, Ramp-B)

지층단면도



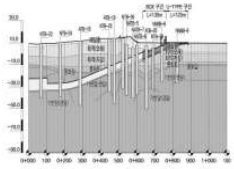
구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매립층		0.0	1.5~5.0	SM,ML,SP,GP	2/30~50/11
퇴적층	점성토	1.7~9.4	0.8~4.6	CL, ML	7/30~15/30
	모래	1.5~7.0	0.7~16.3	SM, SP, SW	2/30~50/12
	자갈	2.9~17.0	3.8~12.7	GP, GM, GW	13/30~50/6
풍화토		13.4~24.7	1.2~12.5	SM, SC	5/30~50/11
풍화암		12.7~33.0	0.6~7.00암	WR	50/10~50/2
연암		14.0~33.0	2.2~33.70암	편마암	0~82
경암		17.1~56.2	1.8~22.40암		6~100

- 종단 계획상 기초저면부는 퇴적 자갈 및 모래층이 분포하며 상부 매립층 분포
- Box구간 기초저면부 퇴적 자갈층 및 모래 분포, U-Type구간 실트질 모래 및 자갈층 분포

- 65 -

램프 개착구간-여의도 방향(Ramp-C)

지층단면도

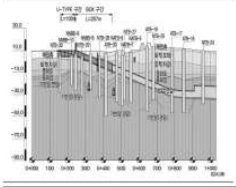


구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매립층		0.0	1.7~5.0	SM, SP	2/30~1930
퇴적층	점성토	2.6	1.6	ML	8/30~15/30
	모래	1.7~5.0	1.6~14.5	SM, SP	2/30~50/22
	자갈	4.2~16.5	7.1~12.5	GP, GM, GW	15/30~50/6
풍화토		13.7~24.7	2.3~8.7	SM	20/30~50/11
풍화암		16.0~31.5	0.6~6.6	WR	50/10~50/2
연암		17.0~33.0	5.9~29.70암	편마암	0~82
경암		26.6~56.2	2.0~22.40암		6~95

- 종점 Box~U-Type구간 기초저면부는 퇴적 자갈층이 분포하고 상부에는 매립 모래층 분포

램프 개착구간-인천 방향(Ramp-D)

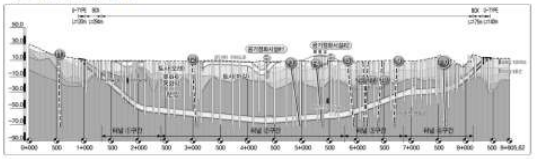
지층단면도



구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매립층		0.0	1.5~5.0	SM	2/30~19/30
퇴적층	점성토	2.6	1.6	ML	8/30~15/30
	모래	1.5~5.0	0.7~14.5	SM, SP, SW	2/30~50/22
	자갈	3.6~16.5	7.1~12.7	GP, GM, GW	13/30~50/6
풍화토		13.7~24.7	1.2~8.7	SM	20/30~50/11
풍화암		12.7~31.5	0.6~6.6	WR	50/10~50/2
연암		14.5~33.0	2.6~33.70암	편마암	0~82
경암		17.1~56.2	1.8~22.40암		6~100

- Box 구간 N값 13/30~50/6의 퇴적 자갈층이 주로 분포, U-Type 구간 매립 모래층이 분포

터널구간 지층분석



- 터널 ①구간(STA.1+319~2+420)

구 분		출현심도(m)	층후(m)	USCS/분포암종	N값/RQD(%)
매립층		0.0	2.2~3.5	SM, SC	1/30~11/30
퇴적층	점성토	2.2~3.8	2.0~13.2	ML, CL	2/30~16/30
	모래	2.2~12.6	1.2~8.0	SM, SC, SP	4/30~34/30
	자갈	7.0~13.8	0.7~0.9	GP, GM	30/30~41/30
풍화토		5.5~18.7	1.0~9.3 이상	SM	9/30~50/11
풍화암		7.0~28.0	0.5~15.0	편마암	50/10~50/2
연암		7.8~43.0	0.4~27.8 이상	편마암	0~49
경암		16.8~55.7	2.5~51.4 이상	편마암	23~100

구 분	지 층 분 석
터널상단 0.5H구간	•터널상부 0.5H구간은 대부분 연암 및 경암으로 구성 •STA. 1+319구간은 상부 1.0D 상부에 풍화대 분포
터널 통과구간	•터널통과구간은 시점부는 연암이 STA. 1+750 이후부터는 경암이 우세함 •암반등급 II~IV등급으로 편차가 심함

- 터널 ②구간(STA.2+420~5+794)

구 분		출현심도(m)	층후(m)	USCS/분포암종	N값/RQD(%)
매립층		0.0	1.7~6.7	GP, SM, SC, SP, CL	1/30~50/2
퇴적층	점성토	1.7~6.7	2.0~14.5	CL, ML	1/30~18/30
	모래	2.5~15.5	1.2~12.3	SP, SM, SC	5/30~50/28
	자갈	6.0~21.5	0.5~15.1	GP, GM, GW	7/30~50/5
풍화토		14.5~25.3	0.5~20.0	SM	11/30~50/8
풍화암		18.0~39.0	0.6~16.6	편마암	50/10~50/2
연암		18.8~45.5	1.0~54.1 이상	편마암	0~88
경암		22.8~53.7	14.0~60.4 이상	편마암	0~100

구 분	지 층 분 석
터널상단 0.5H구간	•터널상부 0.5H구간은 F3 통과구간을 제외하고 대부분 경암으로 분포 •대부분 I~II등급으로 비교적 양호한 암반상태
터널 통과구간	•터널통과구간은 대부분 경암으로 분포하며, RQD= 41~100% •안양천과 인접하여 F3, F4 단층대 통과구간(ATB-11, NATB-2, 3, NTB-15)은 단층점토 및 파쇄대 우세

- 터널 ③구간(STA.5+794~6+873)

구 분		출현심도(m)	층후(m)	USCS/분포암종	N값/RQD(%)
매립층		0.0	1.1~3.9	SM, SC, ML, CL	2/30~50/21
퇴적층	점성토	1.3~2.6	1.1~9.6	ML, CL	2/30~12/30
	모래	2.0~12.2	2.6~11.8	SM, SP	4/30~50/11
	자갈	10.5~14.8	8.0~13.0	GP, GM, GW	10/30~50/6
풍화토		21.8~24.3	2.9~11.2	SM	18/30~50/8
풍화암		27.5~32.0	0.6~7.0	편마암	50/10~50/2
연암		25.4~36.5	1.9~26.6 이상	편마암	0~62
경암		30.0~55.0	11.0~32.5 이상	편마암	0~100

- 67 -

제5장 상세조사 결과

코어박스(NTB-18)	코어박스(NTB-19)	코어박스(NTB-20)
•RQD: 0~37%의 단층파쇄대 분포 •단층각력, 단층활면, 점토층진 및 토사화 •단층경사: 40~50°	•39.0~51.0m: 단층파쇄로 인한 변질 풍화대, 단층점토 및 토사화 구간 •단층대 하부 RQD는 53%로 암질 양호	•18단층대로 단층각력 및 단층활면 발달 •단층파쇄구간 RQD: 15~45% •단층경사 40~50° 우세

구 분	지 층 분 석
터 널 상 단 0 . 5 H 구 간	•터널상부 0.5H구간은 대부분 경암으로 구성 •③구간 중점부인 STA. 6+800 주변부는 암질상태가 불량한 연암이 깊게 분포
터 널 통 과 구 간	•터널통과구간은 대부분 경암으로 분포, 암반등급은 II~III등급으로 양호함 •터널상부에서 단층파쇄대를 확인하였으나, 통과구간 하부까지 연장성은 확인되지 않음

◉ 터널 ④구간(STA.6+873~8+160)

구 분		출현심도(m)	층후(m)	USCS/분포암종	N값/RQD(%)
매 립 층		0.0	1.5~5.0	SP, SM, ML	2/30~19/30
퇴적층	점성토	1.7~7.5	0.8~3.3	CL, ML	7/30~15/30
	모 래	1.5~5.0	0.7~14.5	SP, SM	2/30~50/22
	자 갈	2.9~16.5	7.1~12.7	GP, GM, GW	13/30~50/6
풍 화 토		13.4~24.7	0.5~8.7	SM, SC	5/30~50/11
풍 화 암		12.7~31.5	0.6~6.6	편마암	50/10~50/2
연 암		14.5~33.0	2.2~33.7 이상	편마암	0~82
경 암		17.1~56.2	1.8~24.9 이상	편마암	6~100

구 분	지 층 분 석
터 널 상 단 0 . 5 H 구 간	•터널상부 0.5H구간은 대부분 퇴적모래, 자갈층, 풍화토, 풍화암, 연암 및 경암으로 구성 •STA. 7+645부터 토사, 풍화암 우세
터 널 통 과 구 간	•STA. 7+667까지 연암이 우세하고 이후로 풍화토, 풍화암이 주로 분포 •ATB-17~19, NATB-5, 7부근에는 암질상태가 불량한 연암이 깊게 분포

제6장 중점검토사항 및 종합분석

6.1 지질이상대 분석

기본방향
- •사업노선과 교차하는 지질이상대의 지질학적 특성, 영향범위 등을 파악하여 노선과의 연관성 규명
- •정량적으로 평가된 지질이상대 특성을 분석하여 터널 및 개착구간 구조물 안정성 평가

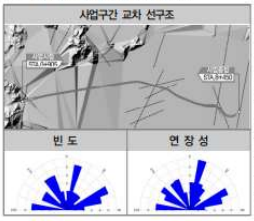
6.1.1 수행흐름

선구조 및 지질특성 분석 •광역적 선구조 발달 특성 및 교차선구조 분석 •지질도 및 지표지질조사시 분석된 단층 연관성 파악 → 이상대 분포확인 •전기비저항탐사에 의한 저비저항 이상대 확인 •선구조와의 연관성 및 방향성 추정 → 코아 확인/공내검층 •시추조사 및 검층을 통한 이상대 주향/경사 파악 •단층점토 함유여부, 암석코아 상세분석 → 공간적 분포 파악 •지질이상대 공간적 위치 및 영향범위 결정 •시추코아 화학분석을 통한 유해요소 분석

6.1.2 지형 · 지질정보 분석

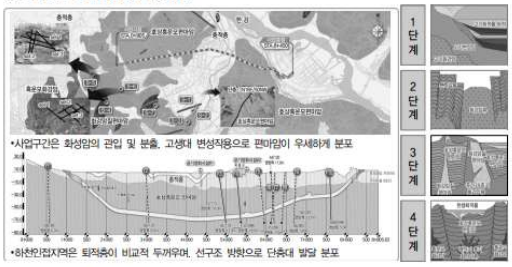
선구조 분포에 따른 이상대 파악

사업구간 교차 선구조



구 분	방 향	연장(km)	교차 위치	노선 교차각
L - 1	N9E	3.06	STA. 0+275	70°
L - 2	N51W	1.54	STA. 0+582	51°
L - 3	N77E	1.75	STA. 5+260	29°
L - 4	N24E	4.72	STA. 5+285	81°
L - 5	N68E	1.29	STA. 5+700	40°
L - 6	N73E	1.50	STA. 6+320	39°
L - 7	N70E	1.33	STA. 6+700	42°
L - 8	N10E	3.89	STA. 7+580	71°
L - 9	N27W	2.83	STA. 8+140	63°
L-10	N11E	4.05	STA. 8+660	11°

지질분포 및 지질이상대 특성분석



•사업구간은 화성암의 관입 및 분출, 고생대 변성작용으로 편마암이 우세하게 분포

•하천인접지역은 퇴적층이 비교적 두꺼우며, 선구조 방향으로 단층대 발달 분포

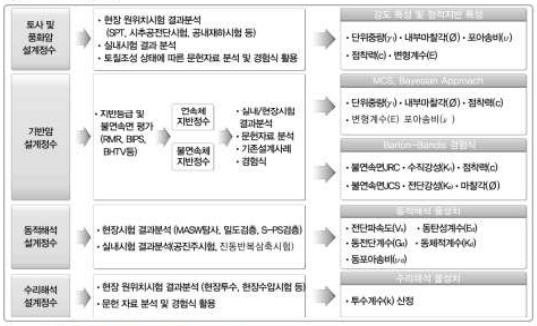
제7장 설계지반정수 산정

7.1 개요

7.1.1 기본방향

기본방향
- •기존문헌 및 기본설계 분석과 현장 및 실내시험 자료를 종합분석 설계지반정수의 신뢰성 향상
- •설계지반정수 산정의 신뢰도 향상을 위하여 MCS 및 베이시안 통계 기법 활용

주요 설계지반정수



7.1.2 신뢰성 향상을 위한 분석방법 검토

구 분	착 안 사 항	분 석 방 법
인근 자료 및 경험식 활용	•사업구역과 유사한 인근지역 설계사례 검토 → 설계지반정수 적정성 검토	•현장시험 및 실내시험 결과를 우선적으로 적용 •문헌자료 및 경험식을 비교 검증 자료로 이용
지 질 별 특 성 분 석	•지역별 풍화대의 분포특성의 상이성 검토 •호상편마암의 광물조성 차이에 따른 공학적 상이성 검토 및 단층파쇄대 구간 공학적 특성파악	•지질 분포별 특성 분석 수행, 적용대상 선정 •단층파쇄대 특성을 고려한 균질절리연속체(HFD) 분석을 활용하여 불연속체 설계지반정수 산정
Bayesian 이 론 적 용	•삼축압축시험에 의한 전단강도는 무결함값으로서 과대하게 나타나므로 신뢰구간 95%적용	•Bayesian 이론과 Monte Carlo Simulation을 적용하여 설계지반정수의 객관성 및 신뢰성 확보
지 중 응 력 특 성 파 악	•지중에 작용하는 응력 및 방향은 터널구조물의 안정성에 영향을 미침	•현장수압파쇄시험 및 실내 AE/DRA시험을 수행하여 설계적용 지반정수의 신뢰도 확보
지 반 수 리 특 성 파 악	•안양천 및 여의샛강 주변 터널굴착시 유입수 등에 의한 지하수위강하 및 인근관정에 미치는 영향 파악	•현장투수시험, 양반수압시험, 양수시험 및 순간충격시험 결과를 반영하여 구간별 지하수위 변동량 분석
지 반 동 적 특 성 파 악	•S-PS검층, DHT, MASW탐사 등의 시험 특성상 지반의 전단파 속도(V_s) 산출값 상이	•주파수 대역과 장비특성을 고려하여 시험값 차등 적용하여 지층별 동적물성치 산정

제7장 설계지반정수 산정

7.2 연속체 설계지반정수

7.2.1 토사구간 설계지반정수

문헌자료 분석

단위중량 및 강도정수

흙의 일반적인 물성(Roy E, Hunt, 1987)

	토질의 종류	다짐정도	Dr(%)	N값	단위중량(kN/m³)	내부마찰각(°)
M L	무기질 실트, 매우고운 모래	조밀/중간/느슨	75/50/25	35/20/<4	14.9/14.1/13.5	33/31/27
S W	입도분포 양호한 모래, 자갈섞인 모래	조밀/중간/느슨		65/35/< 15	18.9/17.9/17.0	37/34/30
S P	입도분포 불량한 모래, 자갈섞인 모래	조밀/중간/느슨		50/30/< 10	17.6/16.7/15.9	36/33/29
S M	실트질 모래	조밀/중간/느슨		45/25/< 8	16.5/15.6/14.9	35/32/29
G W	입도분포 양호한 자갈, 자갈-모래 혼합	조밀/중간/느슨		90/55/< 28	22.1/20.8/19.7	40/36/32
G P	입도분포 불량한 자갈, 자갈-모래 혼합	조밀/중간/느슨		70/50/< 20	20.4/19.2/18.3	38/35/32

원지반의 개략적인 토질정수(도로설계실무편람, 2001)

구 분	통일분류	재료의 상태	단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
점 성 토	ML, CL	굳은 것/약간 무른 것/무른것(손가락이 쉽게 들어감)	18/17/17	50/30/15 이하	25/20/20
모 래	SW, SP	조밀하거나 입도가 좋은 것/조밀하지 않거나 입도가 나쁜 것	20/18	0.0/0.0	35/30
사 질 토	SM, SC	조밀한 것/조밀하지 않은 것	19/17	30 이하/0.0	30/25
자갈섞인모래	GW, GP	조밀한 것/조밀하지 않은 것	21/19	0.0/0.0	40/35
자 갈	GW, GP	조밀하거나 입도가 좋은 것/조밀하지 않거나 입도가 나쁜 것	20/18	0.0/0.0	40/35

풍화대의 일반적인 물성

구 분	단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비 고
지 반 조 사 편 람	17~20	0.0~100	25~30	서울특별시(1996)
지 반 학 술 발 표 회	20	20	25	지반공학회(1991, 1998)
사면안정학술발표회	18	10	30	지반공학회(1996, 1997)

변형계수 및 포아송비

구 분	지 층	상 태	변형계수(MPa)	포아송비
Hunt (1984)	자 갈	느슨	30.0~80.0	0.3~0.4
		중간조밀	80.0~100.0	
		조밀	100.0~120.0	
	모 래	느슨	10.0~30.0	0.2~0.35
		중간조밀	30.0~50.0	
		조밀	50.0~80.0	

구 분	지 층	변형계수(MPa)	포아송비
Das (1995)	느슨한 모래섞인 자갈	69.0~172.0	0.15~0.35
	조밀한 모래섞인 자갈		
	느 슨 한 모 래	10.0~24.0	0.20~0.40
	보 통 굳 기 모 래	24.0~28.0	0.25~0.40
	조 밀 한 모 래	35.0~55.0	0.30~0.45
	실 트 질 모 래	10.0~24.0	0.20~0.40

풍화대의 변형계수 및 포아송비

구 분	변형계수(MPa)	포아송비	비 고
지 반 조 사 편 람	20~40	0.50	서울특별시(1996)

제8장 구조물 기초 안정성 검토

8.1 검토개요

8.1.1 기본방향

기본방향
- 국 · 내외 설계기준 분석 후 안전측 설계기준 적용
- 지반조건, 안정성, 경제성 및 시공성을 고려하여 기초형식 선정
- 현장시험 및 시험결과를 반영하여 최적의 지하차도 기초설계
- 선정된 기초형식에 대한 시공성을 평가하고 품질관리 및 유지관리 계획 수립

설계 수행흐름

지반특성분석 및 지지층 선정
- 기초 지지층의 심도파악을 위해 시추조사 시행
- 상부하중의 응력범위 고려
- 기초 지반의 역학적 특성파악
- 합리적인 지반정수 산정

기초형식 및 공법선정
- 상부하중 및 지반조건을 고려한 기초형식의 선정
- 시공성 및 경제성 분석
- 시공중 인접구조물 영향을 최소화한 공법선정
- 친환경적 기초공법 선정

기초 안정성 검토
- 다양한 방법에 의한 기초 지지력 및 침하량 검토
- 기초의 부등침하 검토
- 특수조건 및 시공성을 고려한 안정성 검토
- 지지하중에 대한 검토

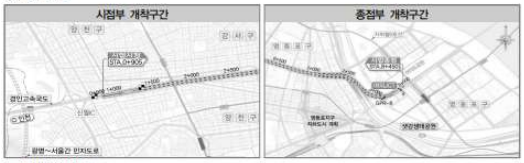
시공 및 유지관리
- 기초의 합리적 시공을 위한 품질관리 계획 수립
- 시공사례 분석을 통한 시공개선사항 제시
- 지지력 검증을 위한 재하시험 계획

중점검토 사항

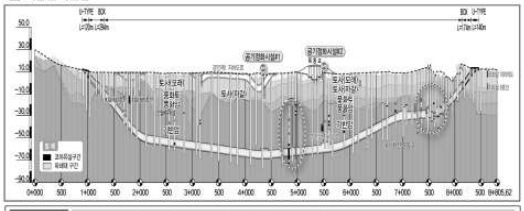
구 분	중점검토사항
지반조사 분석 및 설계기준 선정	• 상세 지반조사 분석을 통한 지반특성 파악 • 전 구간 시추조사(100m~200m 간격) 및 물리탐사 병행으로 지지층 변화 파악 • 퇴적특성 분석 및 지지층 평가시험 수행 • 설계기준 비교 후 안전측 설계기준 적용 (안전율, 침하량, 부등침하량)
지하차도 기초형식선정	• 기초지면 지반평가를 통한 기초계획의 적정성 파악 • 지하차도 전 구간에 대해 지내력이 확보 가능한 직접기초 선정
지하차도 안정성검토	• 지하차도 구간 경제적인 기초설계 계획 • 하부 지지층을 고려한 직접기초 안정성 검토 • 부등침하 안정성 검토 및 최소화 대책 수립 • 가시설 시공단계 고려하여 공동구 및 연도변 구조물 안정성 검토
말뚝기초 검토	• 지지력, 침하량 검토 • 말뚝기초의 안정성 확보 방안 계획
유지관리 계획	• 재하시험 및 암식시험 계획으로 기초 지지력 확보 • 기초 시공시 품질확보 방안 수립 및 반영

8.1.2 과업구간 현황

과업현황



지층분석현황



검토결과
- 지반은 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 연/경암 순으로 분포
- 퇴적지층은 8.0~11.4m, 풍화토는 대부분이 모래질 실트층으로 5.2~11.0m의 두께로 분포

8.1.3 설계기준 검토

허용지지력 안전율 기준

구 분	도로교 설계기준 (2001)	구조물기초 설계기준(2009)	한국도로공사 도로설계편람	일본도로교 시 방 서	설계적용
상 시	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
지 진 시	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

허용침하량 기준

Terzaghi & Peck	도로설계기준 (2001)	구조물기초 설계기준(2009)	국도건설공사 설계실무요령(2013)	설계적용
25.4mm	13.0mm(일반)	40~60.0mm(사질토) 60.0mm(점성토)	25.0~50.0mm	25.0mm 13.0mm(일반)

제9장 비탈면 안정성 검토

9.1 검토 개요

기본방향
- 연결로-C, D구간 지하차도 시공에 따라 계획되는 비탈면의 안정성을 검토 수행
- 비탈면 안정성 검토는 현장조건(조사 및 시험결과)을 충분히 파악하고 시공성 및 경제성을 고려하여 비탈면의 안정성을 확보하는데 그 목적이 있다.

9.1.1 비탈면 설계

설계 일반사항
- 쌓기 비탈면의 설계는 장 · 단기적으로 비탈면의 안정성을 확보하도록 설계
- 장기적으로 유지관리가 되도록 하여야 하며, 형성된 비탈면은 주변경관과 어울리도록 설계

구 분	고 려 사 항
쌓기 비탈면	• 지형조건에 따른 쌓기 계획 • 비탈면 안정해석 및 경사와 소단의 결정 • 지하수 및 지표수의 배수계획 • 장기적인 비탈면 표면보호 방법 • 유지관리를 위한 점검시설 • 시공 중 관리방안

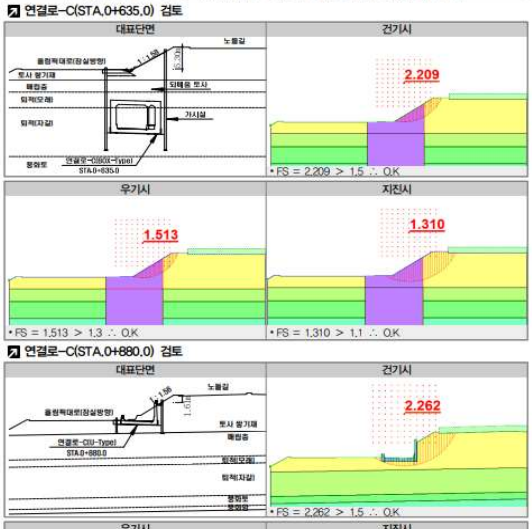
안정성 검토 필요조건

구 분	흙쌓기 조건
흙 쌓기 자체의 조 건	• 흙쌓기 높이가 한국도로공사의 기준치를 넘는 경우(높은 쌓기 등) • 비탈면 경사가 표준치보다 급한 경우 • 흙쌓기 재료의 함수비가 높고, 특히 전단강도 낮은 경우 • 흙쌓기 재료가 실트와 같이 간극수압이 증가하기 쉬운 흙인 경우
외 적 조 건	• 붕괴되면 인접시설물 등에 중대한 손상을 주는 경우(철도 등) • 붕괴되면 복구에 장기간을 요하고 도로기능을 현저하게 저해하는 경우 • 흙쌓기의 기초가 연약지반이거나 비탈면활동이 염려되는 경우(연약지반, 산사태 등) • 지형조건에 의해 제체속으로 물의 침투가 많은 경우 (경사지반상의 흙쌓기, 계곡사이의 흙쌓기 등) • 홍수시에 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우(예를 들면, 연못가운데의 흙쌓기)

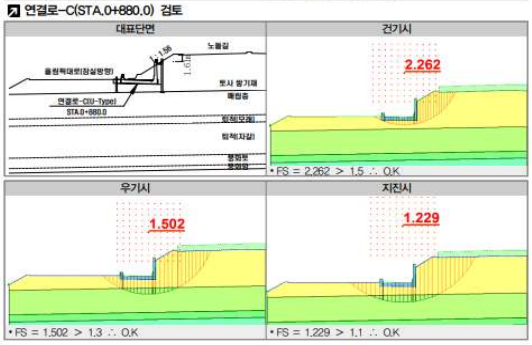
9.2.2 비탈면 안정성 검토 결과

기본방향
- 연결로-C, D구간 지하차도 시공에 따라 계획되는 비탈면 안정성 검토 수행
- 지진강도, 지층조건 및 작용하중 등을 고려한 대표단면에서 내진 안정성 검토 수행

연결로-C(STA.0+635.0) 검토



연결로-C(STA.0+880.0) 검토



2.3 기존 점검 및 진단자료 분석

2.3.1 점검 및 진단 이력

신월여의지하도로는 1종 시설물로서 2021년 4월 15일에 준공이후, 기준에 따라 지속적으로 점검을 실시해 왔으며, 현재까지 정기안전점검 8회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 확인되었으며, 그 이력사항은 다음과 같다.

【표 2.3.1】 신월여의지하도로 점검 및 진단 이력

NO	점검 기간	점검 구분	등급	비고
1	2021.12.20 ~ 2021.12.31	정기안전점검(하반기)	양호	
2	2022.06.22 ~ 2022.06.30	정기안전점검(상반기)	양호	
3	2022.10.04 ~ 2022.12.31	정기안전점검(하반기)	양호	
4	2023.04.17 ~ 2023.06.30	정기안전점검(상반기)	양호	
5	2023.10.17 ~ 2023.12.22	정기안전점검(하반기)	양호	
6	2024.01.02 ~ 2024.04.15	정밀안전점검	B	
7	2024.10.29 ~ 2024.12.13	정기안전점검(하반기)	양호	
8	2025.01.02 ~ 2025.05.30	정기안전점검(상반기)	양호	
9	2025.11.10 ~ 2025.12.24	정기안전점검(하반기)	양호	

2.4 보수 · 보강 이력

【표 2.4.1】 신월여의지하도로 보수·보강 이력

번호	보수시기	공사구간	공사내역	시공사
1	~2023년	라이닝 공동구 등	준공이후 열화부 하자보수(부분)	-

2.5 내진설계 여부

본 과업대상 구조물은 설계 당시 내진설계가 반영된 것으로 확인되었다.

【표 2.5.1】 신월여의지하도로 내진설계 이력

내진설계 적용유무	내진설계 반영여부	비고
적용	구조계산서 확인 결과 내진설계를 적용한 것으로 확인됨.	

2.6 시설물의 용도변경 여부 확인

FMS (시설물정보종합관리시스템) 상에 용도변경 이력은 없는 것으로 확인되었다.

2.7 자료분석 결과요약

본 과업의 효과적인 용역 수행을 위하여 건설관련 자료와 유지관리 자료(기 점검자료, 보수·보강자료 등) 등을 입수하였으며, 수집 자료를 검토한 결과 및 진단과업 진행방향은 다음과 같다.

【표 2.7.1】 자료분석 결과요약

구 분	내 용	비고
설계도서	○현장조사 시 부재치수를 실측하여 구조물도와 비교·검토 후, 과업을 진행토록 함	
시설물관리대장	○관리대장의 내용과 설계도서를 비교 검토한 결과, 상이한 내용은 없으며, 정밀한 현장소사를 실시하여 향후 유지관리를 위한 사항들을 보고서에 수록함	
시공관련자료	○안전, 품질, 공정 및 변경등에 관한 검토를 통해 합당한 공사가 시행 된 것으로 확인되었고, 안전점검 기록 및 현장시험을 통해 품질의 현 상태를 분석하고 확인함	
안전점검 및 정밀안전진단자료	○점검이력을 검토한 결과, 시설물의 손상 및 상태가 확인되었고, 기존 점검 결과를 비교·검토하여 추가 손상 확인, 보수여부 재확인 후 대책방안을 검토함	
보수보강자료	○일괄보수 보다는 하자보수를 통하여 단계적인 예방 보수가 시행되고 있고, 기 보수부 상태를 확인하여 재손상 발생여부를 확인함	
중 점 관리사항	○전차 안전점검 자료를 확인한 결과, 일부 부재에서 손상이 확인되었고, 금회 점검에서는 보수 여부 확인, 진전여부 확인, 신규손상 발생 여부에 대하여 중점조사 및 점검함	
시설물 특이사항	○중대결함 : 없음 ○구조가 변경(하중변화, 단면변화)된 경우 : 없음	
점검주기	○점검일 현재 정기안전점검 총 5회를 실시하였으며, 전반적으로 점검 시기는 적정하게 이루어지고 있는 것으로 조사됨.	

제3장 현장조사 및 시험

3.1 현장조사 개요

3.2 터널 측점분할

3.3 현장조사 결과

3.4 내구성 시험 및 측정 개요

3.5 내구성 조사 결과

제3장 현장조사 및 시험 개요

3.1 현장조사 개요

본 과업대상인 신월여의지하도로 RAMP-D는 서울특별시 영등포구 영등포동7가 94-411 일원에 위치하며 2021년 04월 15일에 준공된 신월여의지하도로 RAMP-D 구간(BOX구간 207.0m, NATM구간 467.0m) 1차로의 지하도로다.

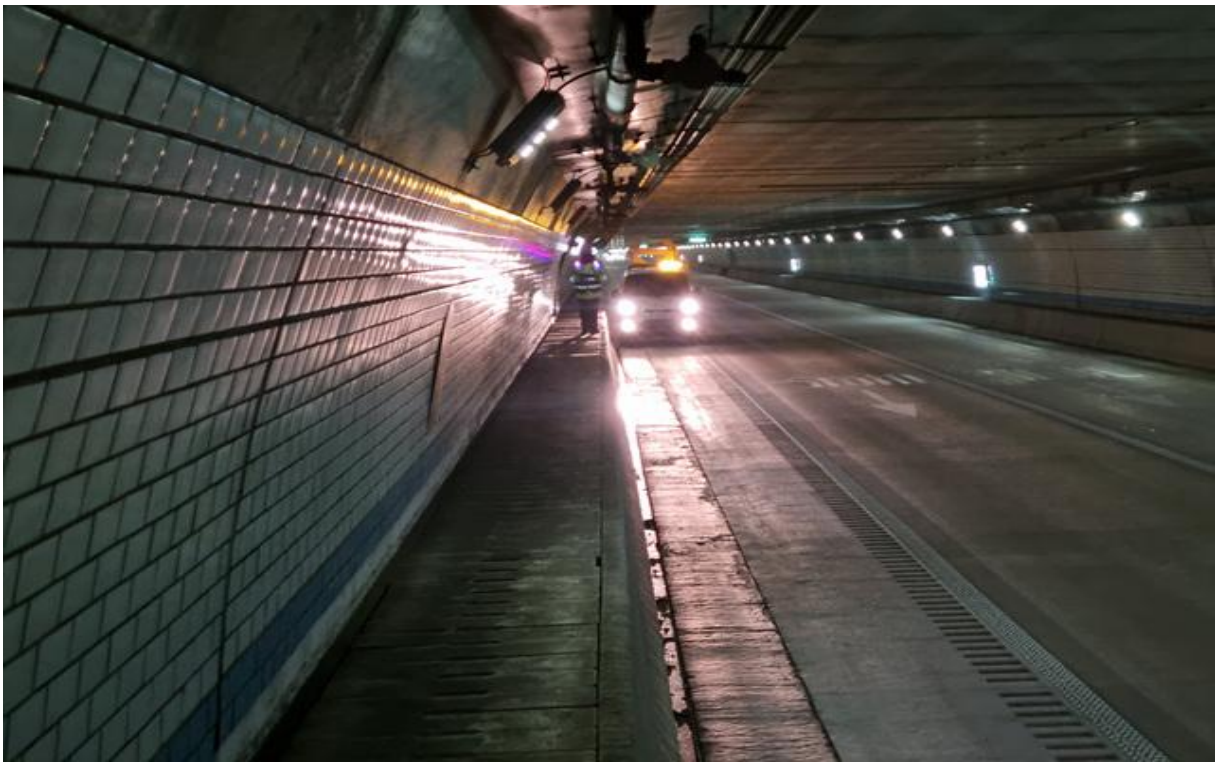
외관조사는 신월여의지하도로 RAMP-D에 발생한 허용 높이 초과 차량에 의한 풍도슬래브 충돌 사고의 영향으로 발생한 물리적, 기능적 결함을 발견하고 구조적 손상유무를 판단하기 위해 부재 전체에 대하여 가능한 근접 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 현장 접근에 필요한 접근방법 및 장비 동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전 검토를 통하여 주요 손상을 파악한 후 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-터널편(2026.01, 국토교통부/국토안전관리원)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는 데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

본 시설물의 외관조사시에는 풍도슬래브 내부로 이동작업하여 라이닝 및 풍도슬래브 상면을 조사하고, 그 외 풍도슬래브 하면, 풍도슬래브 격벽, 측벽, BOX구간 등은 도보를 이용하여 구조물에 최대한 근접한 상태에서 조사를 실시하였다.

본 장에서는 외관조사 결과 확인된 결함과 손상 상태에 대하여 구성 부재별로 사진을 첨부하여 설명하고 발생 원인을 분석하여 보수·보강 및 유지관리 방안을 마련하는 데 참고할 수 있도록 하였으며, 충돌 사고부 근처 지점 S45~60에 대한 외관조사망도를 작성하여 향후 신월여의지하도로 RAMP-D의 점검 및 유지관리시 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.

3.1.1 현장조사 수행 현황

지하도로 외관조사는 조명장비, 점검차량, 카메라 등의 접근장비를 이용하여 최대한 지하도로 슬래브에 근접한 후 육안조사를 실시하였으며, 조사결과는 지보패턴, 주변구조물의 상태, 주변 지형상태 등을 고려하여 분석하였다.

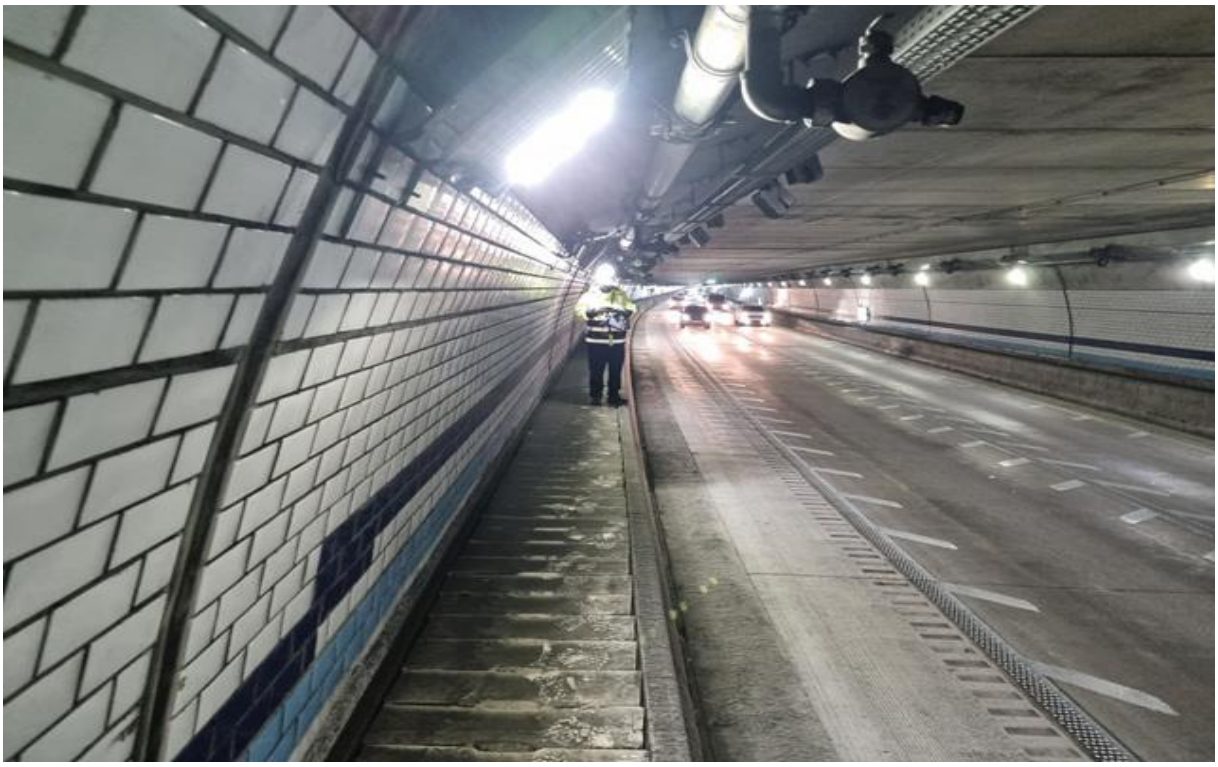


통제현황

통제현황

【사진 3.1.1】 외관조사 전경

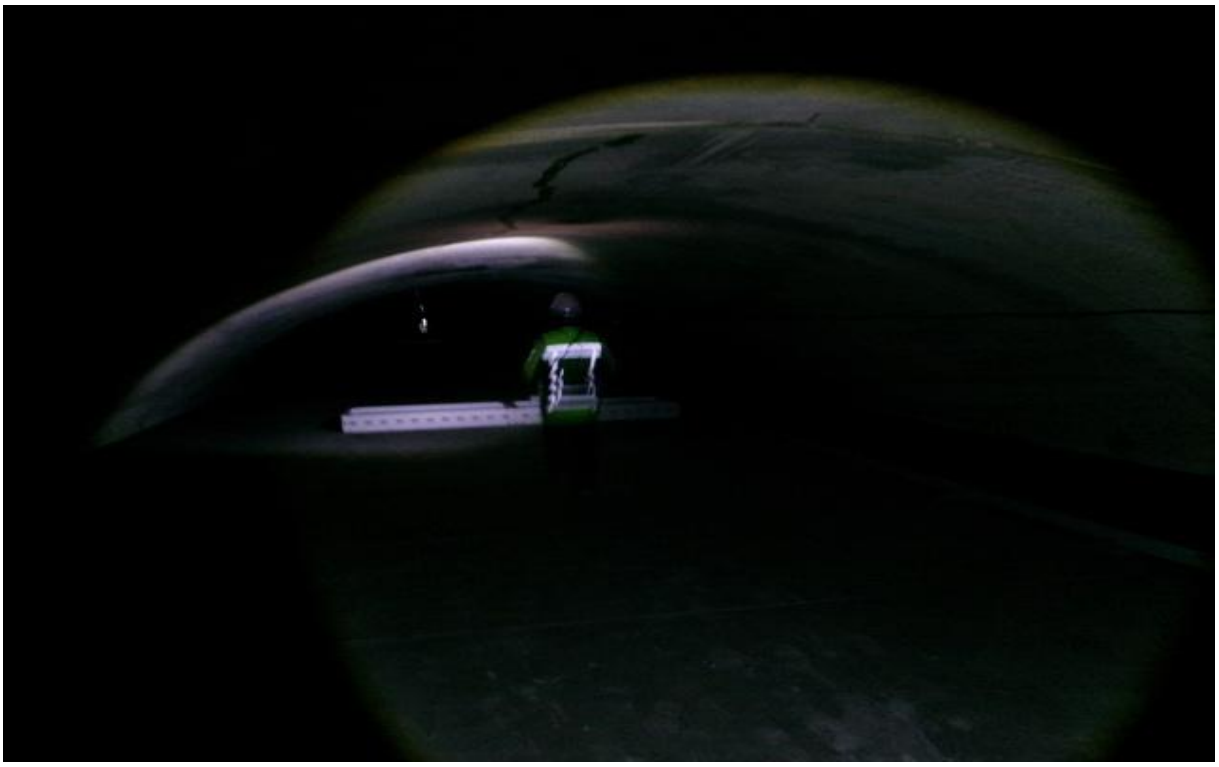
통제현황



도보점검

【사진 3.1.1】 외관조사 전경(계속)

풍도슬래브 내부 이동점검



풍도슬래브 내부 이동점검

【사진 3.1.1】 외관조사 전경(계속)

비파괴시험

비파괴시험

【사진 3.1.1】 외관조사 전경(계속)

3.1.2 현장조사 항목

가. 터널 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설

【표 3.1.1】터널 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설 범위

구 분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			비 고
		정기안전점검	정밀안전점검	정밀안전진단	
기본 시설물	◦라이닝	○	○	○	
	◦갱문	○	○	○	
	◦개착터널	○	○	○	
	◦지하도로	○	○	○	
	◦지하역사1)	○	○	○	
부대 시설물	◦연직갱 및 경사갱	○		○	
	◦환기구2)	○		○	
	◦피난연락갱	○		○	
	◦연결터널(환기시설)	○		○	
	◦갱구부옹벽	○		○	
공중이 이용하는 부위	◦추락방지시설	○	○	○	
	◦도로포장	○	○	○	
	◦도로부 신축이음부	○	○	○	
	◦환기구 등의 덮개	○	○	○	

나. 상태변화 점검항목

【표 3.1.2】터널의 상태변화 점검항목

구 분	점 검 항 목
라이닝 상태	◦ 균열 ◦ 누수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 재질열화 (박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)
터널주변 상태 등	◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 갱문상태 ◦ 공동구상태 ◦ 특수조건 : 추가점수 부여

【표 3.1.3】 지하도로의 상태변화 점검항목

구 분	점 검 항 목
철근 콘크리트	◦균열, 누수 ◦파손 및 손상 ◦재질열화 (박리, 층분리 및 박락, 백태, 철근노출, 탄산화, 염화물)
지하도로주변 상태 등	◦배수상태 ◦갱문상태

다. 긴급점검(정밀안전점검) 점검항목

금회 긴급점검(정밀안전점검)시 현장답사, 기존자료 등을 토대로 외관조사 방법을 결정하였으며, 부위별 점검항목별로 외관조사를 실시하였다.

【표 3.1.4】 정밀안전점검 점검항목

점 검 부 위	점 검 항 목	비고
터널내부	◦ 라이닝 등 주요변상 · 균열, 누수, 파손 및 손상 · 박리, 박락, 백태 · 철근노출 등 ◦ 하중상태의 변화 ◦ 기타조사 ◦ 반발경도법에 의한 강도조사 ◦ 탄산화 시험	
터널외부	◦ 갱문의 주요변상 · 균열, 침하 등 ◦ 공중이 이용하는 부위 ◦ 결함원인분석을 위한 지상면조사	

【표 3.1.5】 공중이 이용하는 부위 점검항목

점 검 부 위	점 검 항 목	비고
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설의 상태 ◦ 도로부 포장 및 신축이음부 상태 ◦ 환기구 등의 덮개 상태 ◦ 기타조사	

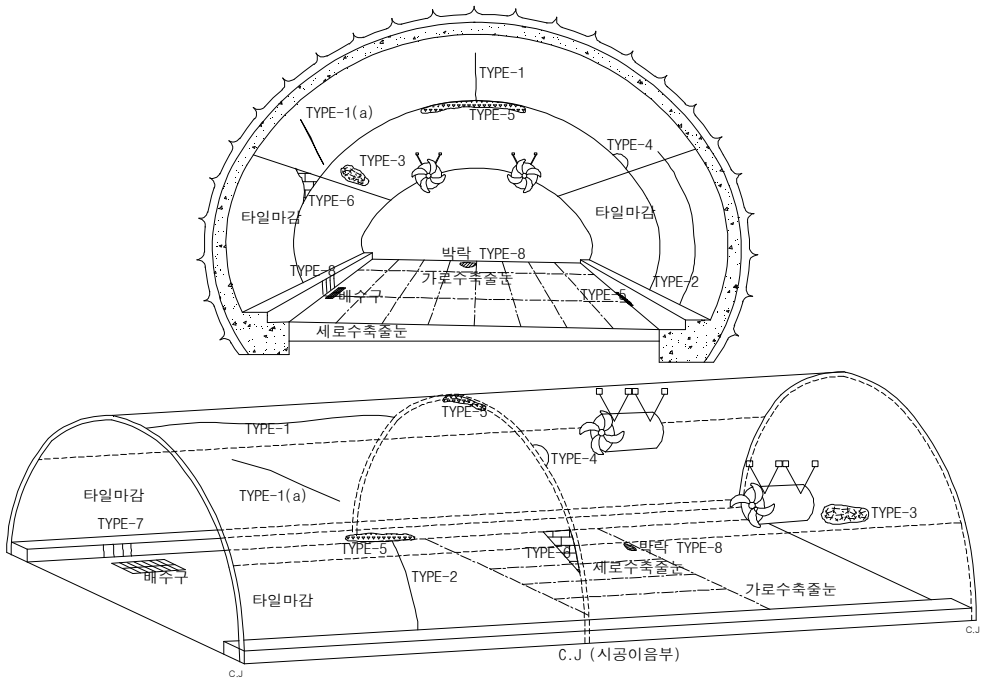
라. 부재별 주요조사 항목

본 신월여의지하도로에 발생한 주요 변상들에 대하여 대표적인 특징을 나타내면 다음과 같으며 부재별, 결함별로 세분화하여 기술하였다.

【표 3.1.6】 부재별 주요조사 항목

구 분		조 사 항 목	비 고
현장답사		•현장접근에 필요한 고소차, 사다리 등의 접근방법, 일정계획을 수립 •예비조사를 통해 신월여의지하도로에 발생된 주요 결함을 형태별로 분류 •결함 및 손상의 발생 원인을 추정하고 조사방향 결정 •현장조사 안전조치 사항	
기존자료 검토		•천단부 및 측벽부 라이닝 균열 발생 유무, 보수 유무 확인 •조인트부 반원형 균열 발생, 들뜸 및 박락, 누수 유무 확인 •공동구 균열 발생 및 진전 유무 확인 •포장부 균열 발생 및 진전 유무 확인	
NATM구간	천단부 측벽부	•천단부 및 측벽부 라이닝 균열 발생 유무, 보수 유무 확인 •조인트부 반원형 균열 발생, 들뜸 및 박락, 누수 유무 확인	
BOX구간	슬래브 벽체	•균열, 단차, 누수상태 •조인트부 누수 및 손상상태 •박리, 박락 및 변형조사	
기타구간	포장부 공동구 배수시설	•균열, 박리, 파손, 침하 유무 확인 •균열, 박리, 박락 유무 확인 •배수상태 •배수구 덮개 파손 및 망실	

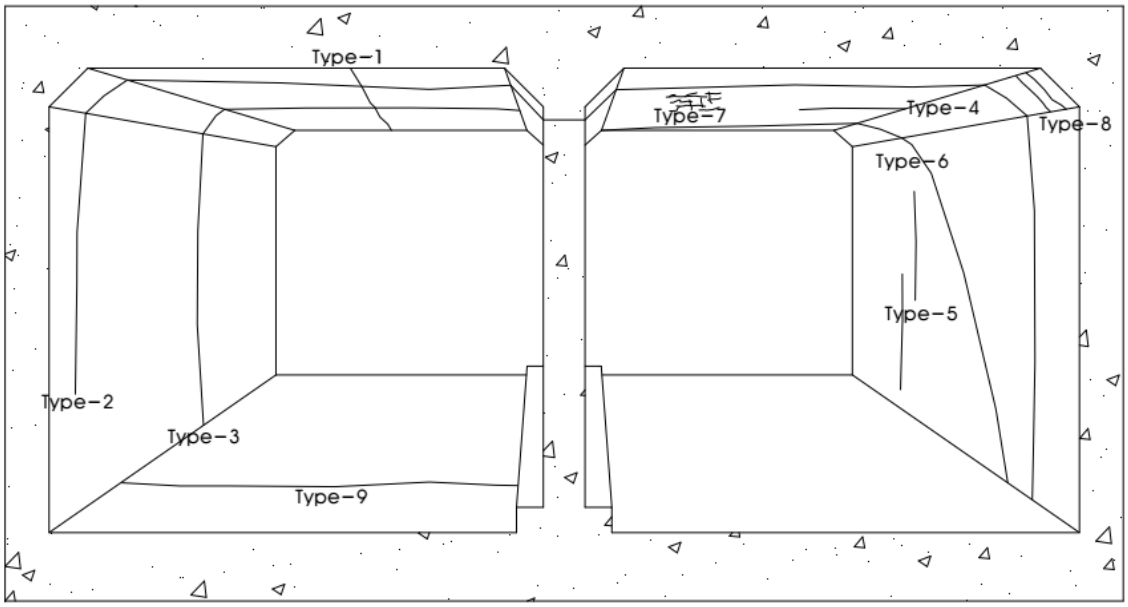
【표 3.1.7】NATM구간 주요 손상현황



NATM구간의 균열발생 현황

구분	손상내용	발생원인
Type-1	- 종방향균열 ▪구조적 균열인 경우 ▪비구조적 균열인 경우	▪이완토압, 지압작용, 지보공 편중침하 ▪건조수축, 횡방향 온도변화
Type-1(a)	- 사방향균열 ▪구조적 균열인 경우 ▪비구조적 균열인 경우	▪부등침하 ▪초기수화열, 건조수축, 온도균열
Type-2	▪횡방향균열	▪종방향구속, 건조수축
Type-3	▪망상균열	▪동결융해 및 화학작용 ▪콘크리트 비비기를 시작하여 타설까지의 시간 과다
Type-4 시공이음부 반원형균열	▪시공이음부 반원형균열	▪거푸집 조기탈영 및 시공이음부 시공 미진 ▪슬럼프가 큰 콘크리트 타설 ▪천장부 라이닝 두께 부족
Type-5	▪누수 및 공동구 하면 누수	▪시공이음 경계부에 방수결함
Type-6	▪타일마감부의 박락	▪시공이음부에 맞닿아 발생
Type-7	▪공동구 측면 파손 및 횡방향 균열	▪종방향 구속
Type-8	▪가로 및 세로수축줄눈부의 줄눈부 박락 및 노면 재료분리	▪시공미흡, 건조수축

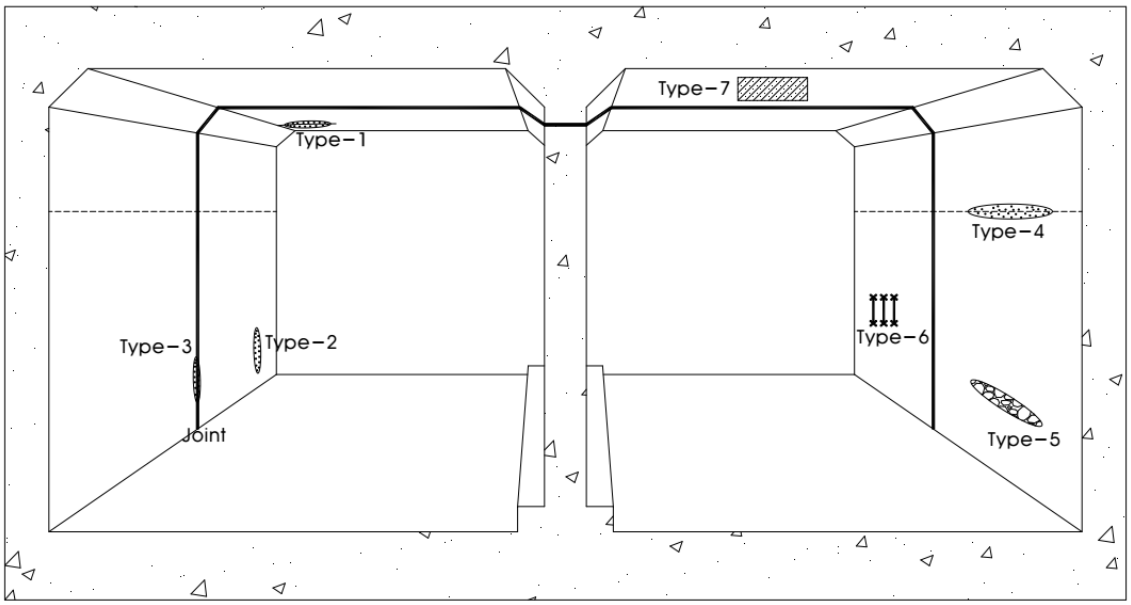
【표 3.1.8】 BOX구간 주요 손상현황(균열)



지하도로(Box Type)의 균열발생 현황

구 분	손상내용	발생원인
Type-1	종방향균열 (슬래브 중앙부 및 헌지부 발생)	• 거푸집 조기 탈형, 초과 가설하중 재하, 인장철근의 절단(절곡)위치 불량, 내하력 저하, 설계하중 이상의 초과하중 재하
Type-2	2련박스 연결 횡방향 균열	• 수화열, 건조수축, 종방향 부등침하
Type-3	1련박스 횡방향 균열	• 수화열, 종방향 부등침하
Type-4	슬래브 횡방향 균열	• 수화열, 건조수축
Type-5	벽체 수직균열	• 수화열, 건조수축
Type-6	벽체-슬래브 연결 사방향균열	• 종방향 부등침하
Type-7	망상균열	• 건조수축, 시공불량
Type-8	헌치부 균열	• 건조수축
Type-9	바닥 횡방향 균열	• 건조수축

【표 3.1.8】 BOX구간 주요 손상현황(단면결함)

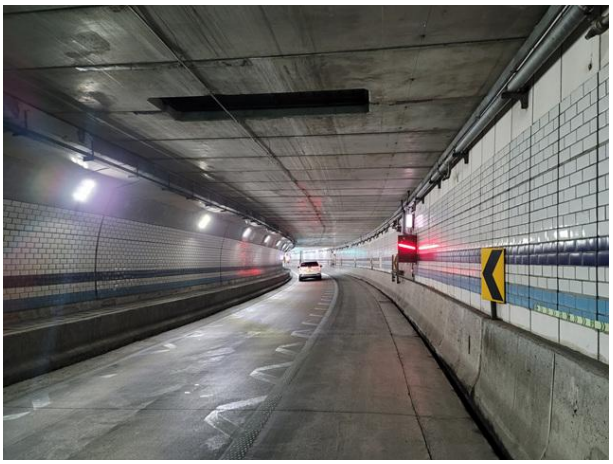
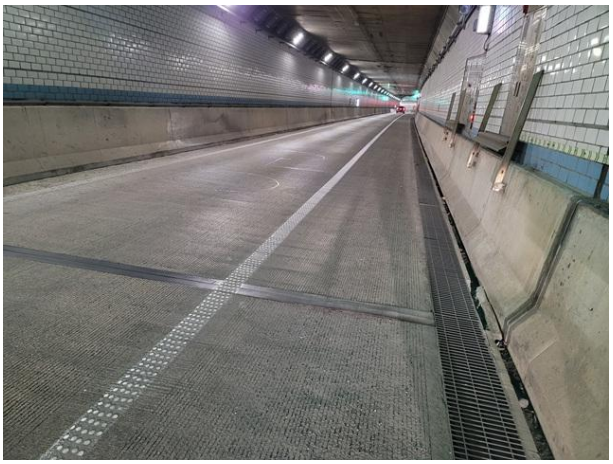


지하도로(Box Type)의 손상현황(단면결함)

구 분	손상내용	발생원인
Type-1	균열부 누수 및 백태	• 관통균열로 인한 지하수 유입
Type-2	구체(단면)을 통한 누수 및 백태	• 단면 내부의 재료분리, 공동 등의 치밀성 부족 결함부를 통한 누수
Type-3	Joint부 누수 및 백태	• Joint부 방수처리 시공 불량, 유도배수관 설치 불량
Type-4	벽체 시공이음부 백태 면상백태	• 시공이음부에 발생된 균열을 통해 누수 • 시공이음부 재료분리부(치밀성부족)를 통한 누수
Type-5	재료분리(표면)	• 시공시 다짐불량
Type-6	철근노출	• 시공시 설계피복두께 미확보
Type-7	보수부 손상 재발생	• 보수 시공 불량
Type-8	기타 손상	• 결로현상, 누수흔적, 철근 녹물흔적, 체수

3.1.3 하중상태 등 조사

본 지하도로에 대한 준공도면과 현재 부재의 상태를 확인한 결과, 대체로 준공도면과 일치하는 것으로 확인되었으며, BOX구간 및 NATM구간에 준공이후 균열보수, 누수보수 등 주기적으로 보수를 실시하였다.

	
NATM구간 천단부 전경	NATM구간 도로부 전경
	
BOX구간 슬래브 전경	BOX구간 도로부 전경

【사진 3.1.2】하중상태 등 조사

3.2 터널 측점분할

금회 긴급점검(정밀안전점검)에서의 측점분할은 아래 표와 같으며, 이 중 충돌 사고 지점인 S45~60 구간을 점검하였다.

【표 3.2.1】측점분할 자료 인천방향 RAMP-D

구분	Sheet	SPAN BOX	철근 무근	거리 (m)	누적거리 (m)	구분	Sheet	SPAN BOX	철근 무근	거리 (m)	누적거리 (m)
NATM 구간	01	S01~S04	무근	27.2	27.2	NATM 구간	13	S38~S41	철근	31.5	356.8
	02	S05~S07	무근	27.2	54.4		14	S42~S44	철근	27.0	383.8
	03	S08~S10	무근	27.3	81.7		15	S45~S47	철근	27.4	411.2
	04	S11~S13	무근	27.3	109.0		16	S48~S50	철근	27.4	438.6
	05	S14~S16	무근	27.3	136.3		17	S51~S54	철근	28.4	467.0
	06	S17~S19	무근	27.4	163.7	종점측 BOX구간	18	S55	철근	40.0	507.0
	07	S20~S22	무근	27.4	191.1		19	S56	철근	40.7	547.7
	08	S23~S25	철근	27.0	218.1		20	S57	철근	40.8	588.5
	09	S26~S28	철근	26.9	245.0		21	S58	철근	40.8	629.3
	10	S29~S31	철근	26.8	271.8		22	S59	철근	30.5	659.8
	11	S32~S34	철근	26.7	298.5		23	S60	철근	14.2	674.0
	12	S35~S37	철근	26.8	325.3		-	-	-	-	-

3.3 현장조사 결과

신월여의지하도로 RAMP-D는 기본시설물인 BOX구간, NATM구간, 풍도슬래브로 시공되어 있다. 공중이 이용하는 부위는 도로포장, 환기구 등의 덮개가 있는 상태이다.

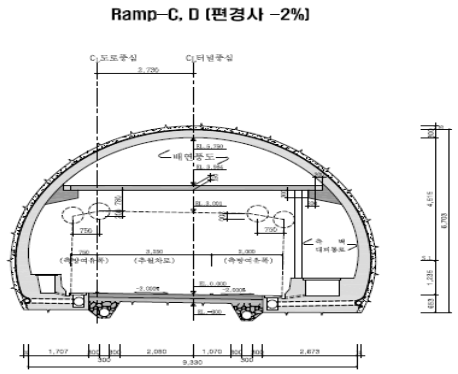
긴급점검으로 실시하는 구간은 S45~S60이고, 해당 구간에 관한 현장조사 결과는 다음과 같다.

3.3.1 신월여의지하도로 RAMP-D

가. NATM구간 천단부(S45~S54)

본 시설물의 라이닝 두께는 300㎜이며, 외관조사시 고소차를 이용해 풍도슬래브 내부에 진입 후 도보를 통한 RAMP-D의 사고 구간인 SPAN 45~54의 점검을 실시하였다. 주요 점검 사항으로는 허용 높이 초과 차량 충돌에 의한 라이닝 균열, 조인트부 박리, 파손, 철근노출 등의 단면손상에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

NATM구간 천단부 전경

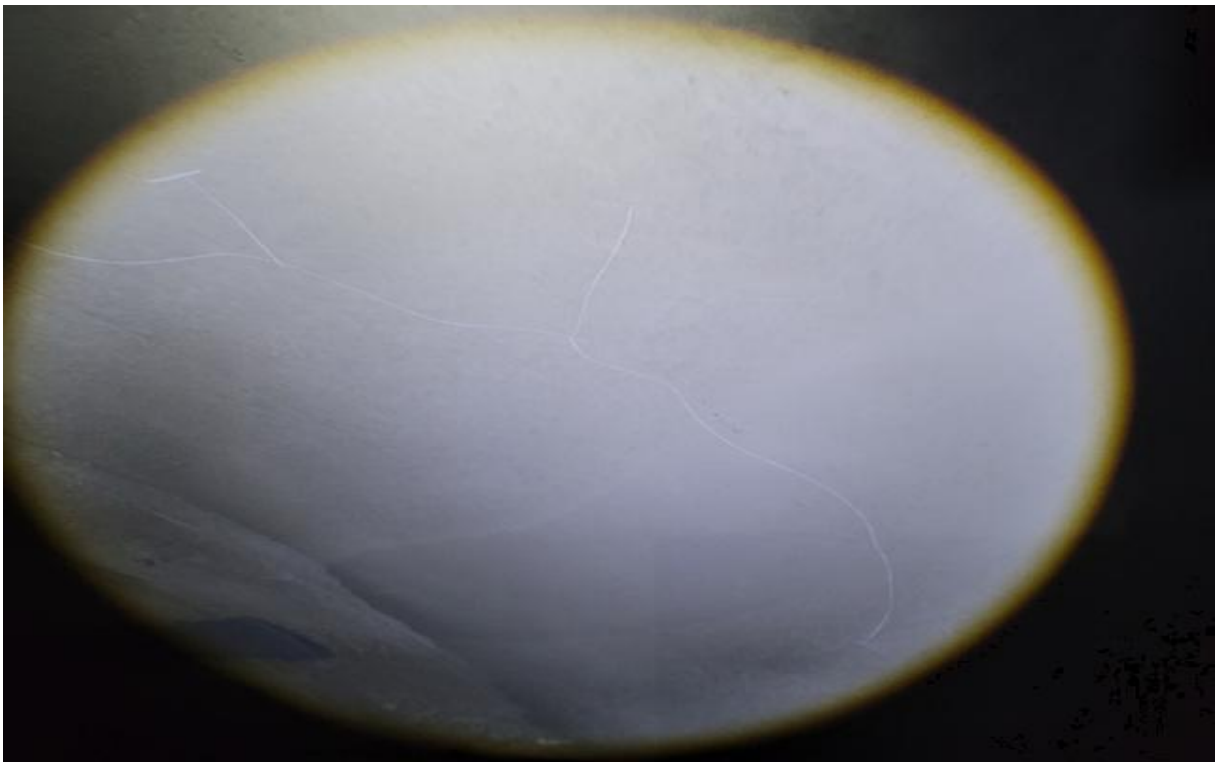


NATM구간 표준횡단면도

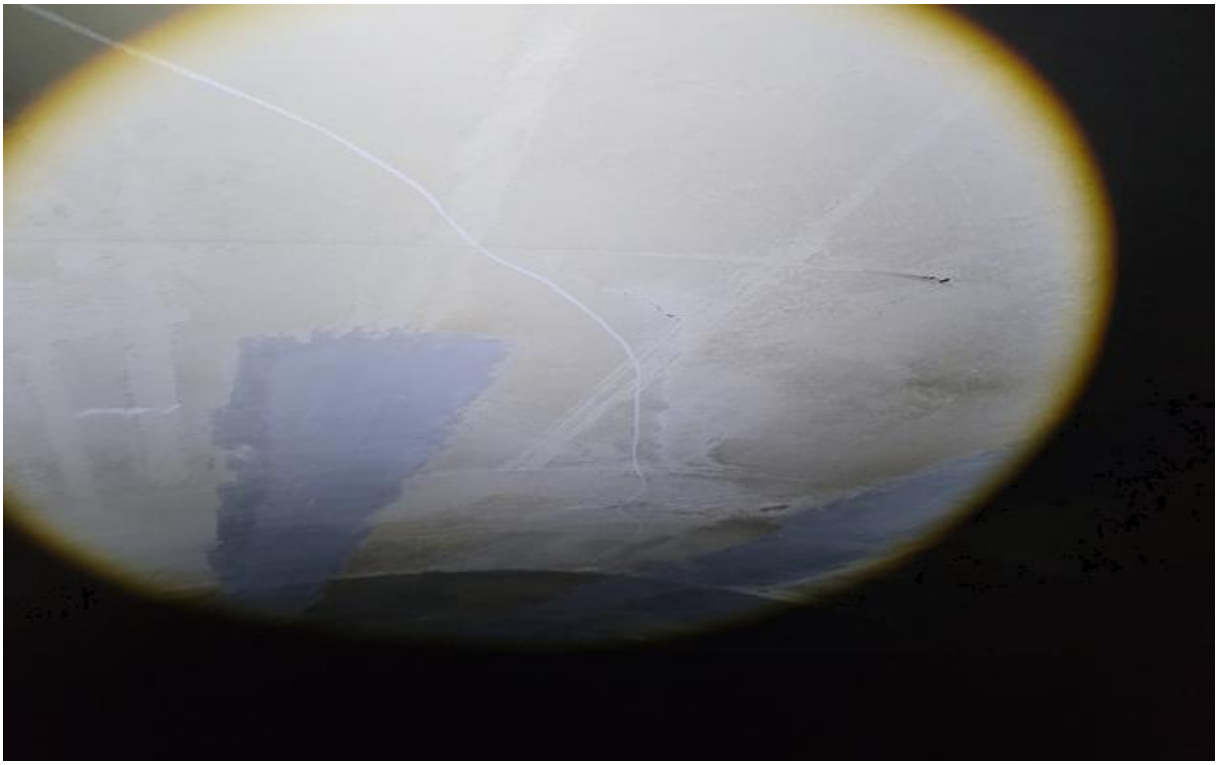
【사진 3.3.1】NATM구간 천단부 전경

1) 조사결과

NATM구간 천단부 외관조사 결과 균열(0.3㎜이상, 0.5㎜이상) 등이 조사되었으며, 기 손상인 균열은 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등의 원인에 의한 손상이고, 허용 높이 초과 차량의 충돌사고로 신규 균열(0.5㎜이상)이 조사되었다.



NATM구간 천단부 S52 균열(Cw=0.5㎜)



NATM구간 천단부 S51 균열(Cw=0.5㎜)

【사진 3.3.2】NATM구간 천단부 손상현황

NATM구간 천단부 S54 상태양호

NATM구간 천단부 S50 상태양호

【사진 3.3.2】NATM구간 천단부 손상현황(계속)

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① NATM구간 천단부에 조사된 균열(0.3㎜이상, 0.5㎜이상)의 경우 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형, 차량 충격 등의 원인에 의해 발생된 비구조적 균열로 판단되며, 구조물의 내구성 증진을 위한 균열에 대한 주입보수를 실시하는 유지관리가 요구된다.

【표 3.3.1】NATM구간 천단부 외관조사 손상물량

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	비고
NATM구간 천단부	균열(0.3㎜이상)	m	1	3.00	주입보수	
	균열(0.5㎜이상)	m	2	13.00	주입보수	

3) 사고 전・후 손상물량 비교

허용 높이 초과 차량 충돌 사고 이후 균열(0.5㎜이상)이 발생하였다.

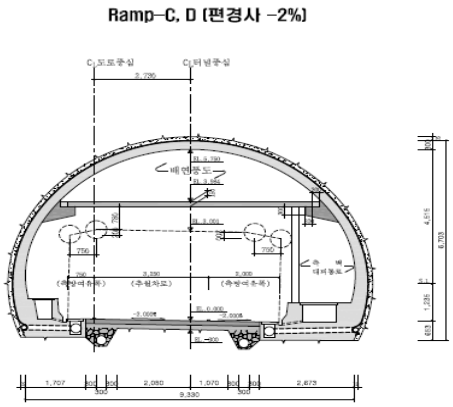
【표 3.3.2】NATM구간 천단부 사고 전・후 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	충돌 전 물량	충돌 후 물량	증감	비고
NATM구간 천단부	균열(0.3㎜이상)	m	3.00	3.00	- -	하자
	균열(0.5㎜이상)	m	4.00	13.00	▲ 9.00	차량충돌

나. 풍도슬래브 상면(S45~S54)

본 시설물의 풍도슬래브 두께는 260㎜이며, 외관조사시 고소차를 이용해 풍도슬래브 내부에 진입 후 도보를 통한 RAMP-D의 사고 구간인 SPAN 45~54의 풍도슬래브 상면 점검을 실시하였다. 주요 점검사항으로 허용 높이 초과 차량 충돌에 의한 풍도슬래브 균열, 박리, 파손, 철근노출 등의 단면손상에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

풍도슬래브 상면 전경



풍도슬래브 표준횡단면도

풍도슬래브 상면 전경

풍도슬래브 상면 전경

【사진 3.3.3】 풍도슬래브 상면 전경

1) 조사결과

풍도슬래브 상면에 대한 외관조사 결과, S52~54에 집중적으로 손상이 확인되었으며 이는 허용 높이 초과 차량의 충돌 사고로 파손, 이음부 몰탈파손, 댐퍼 변형, 볼트탈락 및 파손, 등이 조사되었다.

풍도슬래브 상면 S54 파손

풍도슬래브 상면 S54 파손

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황

풍도슬래브 상면 S54 파손

풍도슬래브 상면 S54 파손

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S54 파손

풍도슬래브 상면 S54 파손

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S54 파손

풍도슬래브 상면 S54 파손

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S54 파손

풍도슬래브 상면 S54 이음부 몰탈파손

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S53 이음부 몰탈파손

풍도슬래브 상면 S53 이음부 몰탈파손

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S53 댐퍼 변형

풍도슬래브 상면 S53 댐퍼 볼트탈락 및 파손

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S53 파손

풍도슬래브 상면 S53 파손

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S53 파손

풍도슬래브 상면 S52 이음부 몰탈 파손

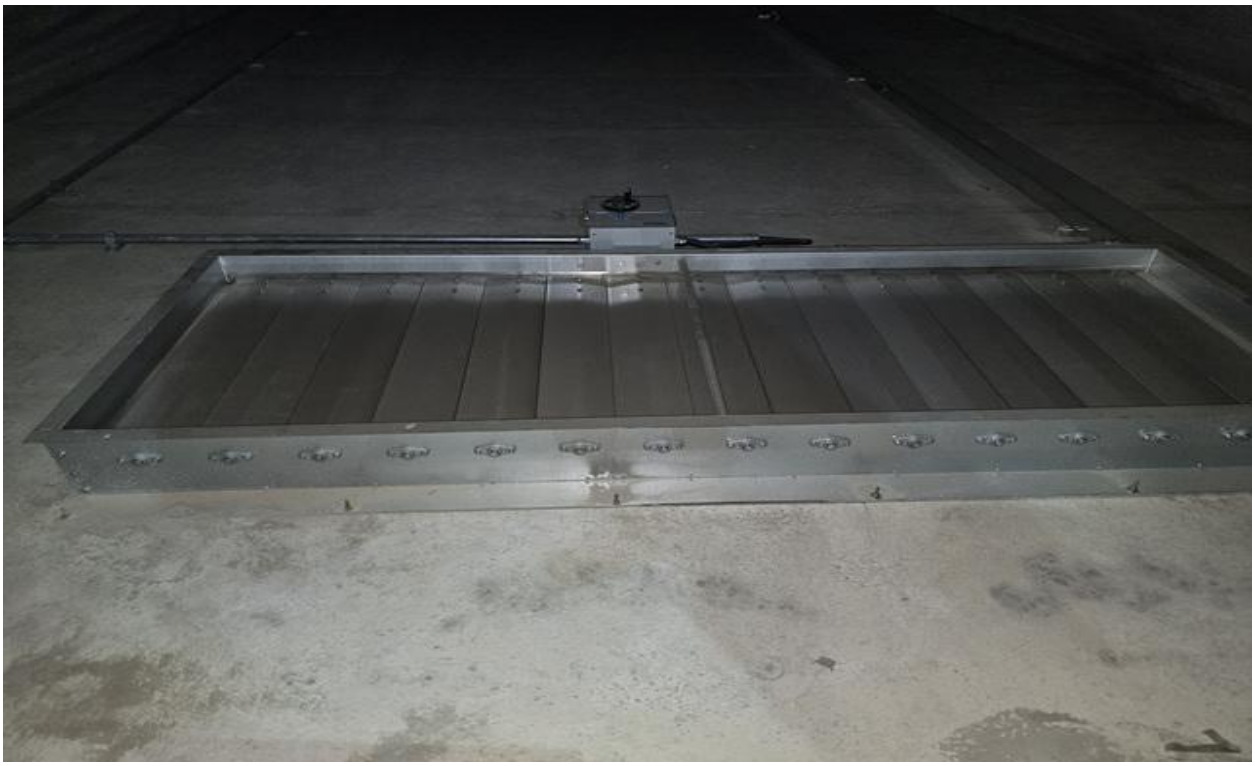
【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S52 이음부 몰탈 파손

풍도슬래브 상면 S50 상태양호

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

풍도슬래브 상면 S48 상태양호



풍도슬래브 상면 S47 댐퍼 상태양호

【사진 3.3.4】 풍도슬래브 상면 손상현황(계속)

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 풍도슬래브 상면에 파손, 이음부 몰탈파손이 조사되었고, 손상은 허용 높이 초과 차량 충돌에 의한 파손으로 판단되며, 콘크리트에 미치는 영향은 적으나 내구성 확보 차원의 단면보수 등의 보수가 요망된다. 또한 추후 재손상 방지를 위해 허용 높이 초과 차량의 출입을 제한하는 시설물의 설치가 필요하다.

② 풍도슬래브 상면 댐퍼에 고정볼트 탈락 및 파손, 상면 댐퍼 변형이 손상 조사되었고, 통과 허용 높이를 초과한 차량 충돌에 의한 파손으로 판단되며, 볼트교체등의 정비가 필요하다. 보수작업시 손상의 정도가 심한 경우 댐퍼 교체가 필요한 것으로 사료된다.

【표 3.3.3】 풍도슬래브 상면 외관조사 손상물량

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	비고
풍도슬래브 상면	이음부 몰탈파손	㎡	10	6.30	단면보수	
	파손	㎡	14	1.64	단면보수	
	댐퍼 변형	m	1	0.50	정비	
	댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손	EA	9	9.00	정비	

3) 사고 전・후 손상물량 비교

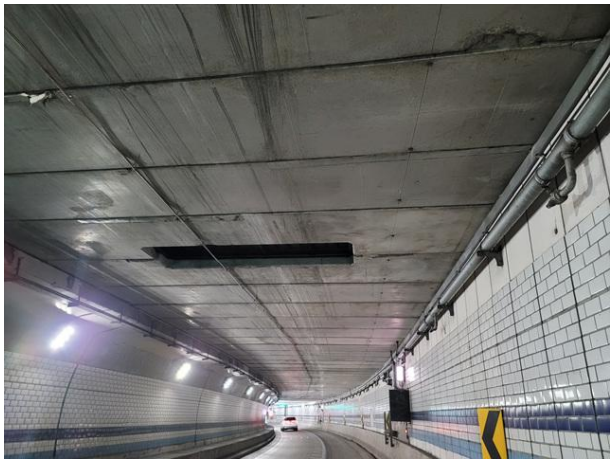
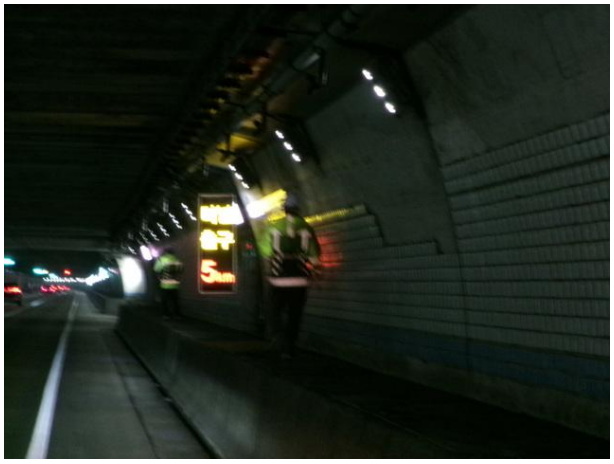
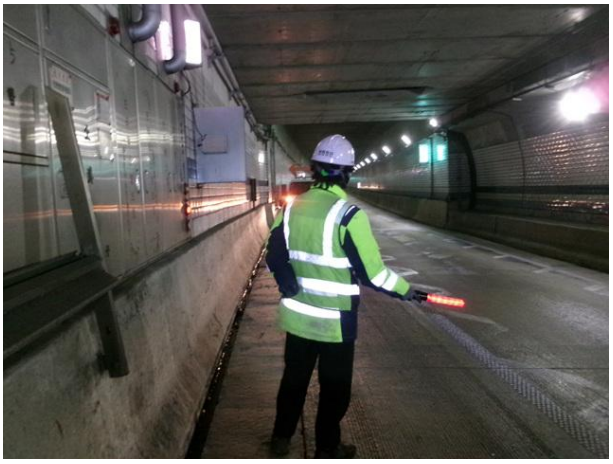
허용 높이 초과 차량 충돌 사고 이후 이음부 몰탈파손, 파손, 댐퍼 변형, 고정볼트 탈락 및 파손 등의 손상이 발생하였다.

【표 3.3.4】 풍도슬래브 상면 사고 전・후 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	충돌 전 물량	충돌 후 물량	증감	비고
풍도슬래브 상면	이음부 몰탈파손	㎡	-	6.30	▲ 3.90	차량충돌
	파손	㎡	-	1.64	▲ 1.44	차량충돌
	댐퍼 변형	m	-	0.50	▲ 0.50	차량충돌
	댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손	EA	-	9.00	▲ 9.00	차량충돌

다. 풍도슬래브 하면(S45~S54)

본 시설물의 풍도슬래브 두께는 260㎜이며, 외관조사시 갓길 차선 통제 후 RAMP-D의 일부 구간인 SPAN 45~54의 풍도슬래브 하면 도보 및 드론점검을 실시하였다. 주요 점검사항으로 허용 높이 초과 차량 충돌에 의한 풍도슬래브 균열, 박리, 파손, 철근노출 등의 단면손상에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

	
풍도슬래브 하면 전경	풍도슬래브 하면 전경
	
풍도슬래브 하면 통제 및 점검현황	풍도슬래브 하면 통제 및 점검현황

【사진 3.3.5】 풍도슬래브 하면 전경

1) 조사결과

풍도슬래브 하면에 대한 외관조사 결과, S52~54에 손상이 집중적으로 확인되었으며 이는 허용 높이 초과 차량의 충돌 사고로 파손 등이 조사되었다.

풍도슬래브 하면 S54 파손

풍도슬래브 하면 S54 파손

【사진 3.3.6】 풍도슬래브 하면 손상현황

풍도슬래브 하면 S54 파손

풍도슬래브 하면 S54 보수부 파손

【사진 3.3.6】 풍도슬래브 하면 손상현황(계속)

풍도슬래브 하면 S54 보수부 파손

풍도슬래브 하면 S54 파손

【사진 3.3.6】 풍도슬래브 하면 손상현황(계속)

풍도슬래브 하면 S54 파손

풍도슬래브 하면 S53 파손

【사진 3.3.6】 풍도슬래브 하면 손상현황(계속)

풍도슬래브 하면 S53 파손

풍도슬래브 하면 S53 보수부 파손

【사진 3.3.6】 풍도슬래브 하면 손상현황(계속)

풍도슬래브 하면 S52 상태양호

풍도슬래브 하면 S51 상태양호

【사진 3.3.6】 풍도슬래브 하면 손상현황(계속)

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 풍도슬래브 하면에 파손이 조사되었고, 손상은 통과 허용 높이를 초과한 차량 충돌에 의한 파손으로 판단되며, 구조물의 안전성에 영향은 없으나 손상의 진전으로 인한 콘크리트의 잔여물 낙하시 주행 차량에 피해를 줄 수 있으므로 주행차량의 안전성 확보 차원의 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

【표 3.3.5】 풍도슬래브 하면 외관조사 손상물량

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	비고
풍도슬래브 하면	파손	㎡	13	1.75	단면보수	

3) 사고 전・후 손상물량 비교

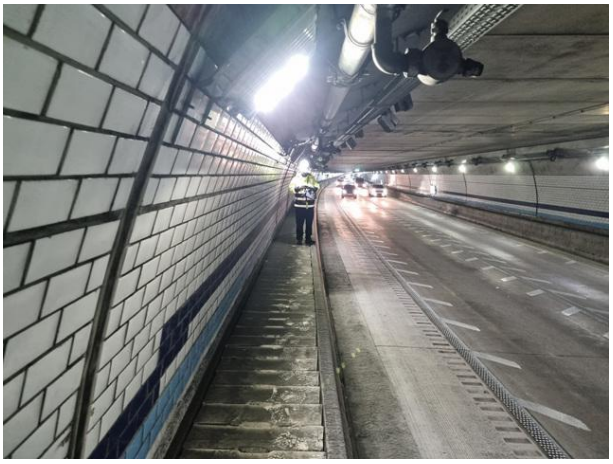
허용 높이 초과 차량 충돌 사고 이후 파손(긁힘), 파손 및 철근노출 등의 손상이 발생하였다.

【표 3.3.6】 풍도슬래브 하면 사고 전・후 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	충돌 전 물량	충돌 후 물량	증감	비고
풍도슬래브 하면	파손	㎡	0.12	1.75	▲ 1.63	차량충돌

라. 풍도슬래브 격벽(S54)

본 시설물의 풍도슬래브 격벽은 NATM구간 시점부에 위치하며, 외관조사시 갓길 차선 통제 후 RAMP-D의 사고 구간인 SPAN 54의 풍도슬래브 격벽 도보 및 드론점검을 실시하였다. 주요 점검사항으로 허용 높이 초과 차량 충돌에 의한 풍도슬래브 균열, 박리, 파손, 철근노출 등의 단면손상에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

풍도슬래브 격벽 전경(2026년 상반기 긴급점검)	풍도슬래브 격벽 전경(2025년 상반기 정밀안전점검)
	
풍도슬래브 격벽 전경(2026년 상반기 긴급점검)	풍도슬래브 격벽 통제 및 점검현황

【사진 3.3.7】 풍도슬래브 격벽 전경

1) 조사결과

풍도슬래브 격벽에 대한 외관조사 결과 허용 높이 초과 차량의 충돌 사고로 격벽에 국부적인 파손이 조사되었다.

풍도슬래브 격벽 S54 파손

풍도슬래브 격벽 S54 파손

【사진 3.3.8】 풍도슬래브 격벽 손상현황

풍도슬래브 격벽 S54 파손

풍도슬래브 격벽 S54 파손

【사진 3.3.8】 풍도슬래브 격벽 손상현황(계속)

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 풍도슬래브 격벽에 파손이 조사되었고, 손상은 통과 허용 높이를 초과한 차량 충돌에 의한 파손으로 판단되며, 구조물의 안전성에 영향은 없으나 손상의 진전으로 인한 콘크리트의 잔여물 낙하시 주행 차량에 피해를 줄 수 있으므로 주행차량의 안전성 확보 차원의 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

【표 3.3.7】 풍도슬래브 격벽 외관조사 손상물량

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	비고
풍도슬래브 격벽	격벽 파손	㎡	1	0.36	단면보수	

3) 사고 전・후 손상물량 비교

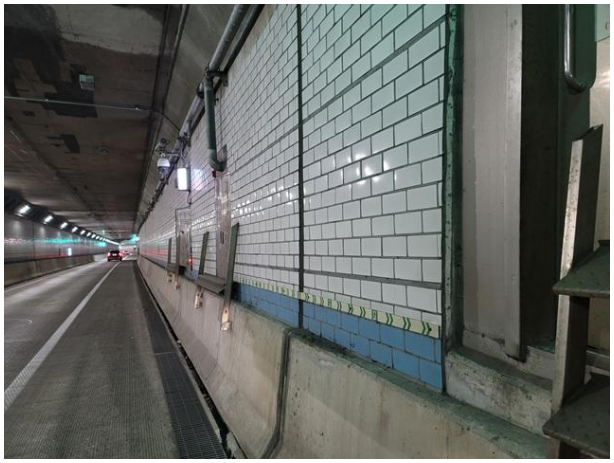
허용 높이 초과 차량 충돌 사고 이후 파손 및 철근노출 등의 손상이 발생하였다.

【표 3.3.8】 풍도슬래브 격벽 사고 전・후 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	충돌 전 물량	충돌 후 물량	증감	비고
풍도슬래브 격벽	격벽 파손	㎡	-	0.36	▲ 0.36	차량충돌

마. NATM구간 측벽부(S45~S54)

본 시설물의 NATM구간 측벽부는 미관을 고려한 타일로 표면을 마감하였으며, 측벽부 외관조사시 충돌 사고의 영향에 의한 라이닝 측벽부 타일손상, 콘크리트 파손 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

NATM구간 측벽부 전경	NATM구간 측벽부 내부벽체 전경
	
NATM구간 측벽부 전경	NATM구간 측벽부 내부벽체 전경

【사진 3.3.9】NATM구간 측벽부 전경

1) 조사결과

NATM구간 측벽부에 대한 외관조사 결과 파손, 박리, 백태, 타일탈락, 균열 및 누수(스며있음) 등이 조사되었고, 허용 높이 초과 차량에 의한 손상이 아닌 우수유입, 수분침투, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단된다.

NATM구간 측벽부 S52 내부벽체 백태

NATM구간 측벽부 S50 타일탈락

【사진 3.3.10】NATM구간 측벽부 손상현황

NATM구간 측벽부 S49 파손

NATM구간 측벽부 S47 내부벽체 파손

【사진 3.3.10】NATM구간 측벽부 손상현황(계속)

NATM구간 측벽부 S47 내부벽체 백태

NATM구간 측벽부 S47 내부벽체 백태

【사진 3.3.10】NATM구간 측벽부 손상현황(계속)

NATM구간 측벽부 S47 박리

NATM구간 측벽부 S46 타일탈락

【사진 3.3.10】NATM구간 측벽부 손상현황(계속)

NATM구간 측벽부 S46 내부벽체 균열 및 누수(스며있음)

NATM구간 측벽부 S45 타일탈락

【사진 3.3.10】NATM구간 측벽부 손상현황(계속)

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 측벽부에 국부적인 백태, 균열 및 누수가 조사되었고, 우수유입, 수분침투 등의 원인에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 구조적인 손상은 아니나 내구성 확보 차원의 표면처리, 주입보수를 실시하는 것이 바람직하고, 우천시 손상의 진전 여부에 대한 주의관찰을 실시하는 것이 요구된다.

② 측벽 타일부에 타일탈락이 조사되었고 시공미흡, 부착강도 저하 등의 원인에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 손상부는 사용성 확보 차원의 타일교체 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

③ 측벽부 콘크리트 파손, 박리가 일부 확인되었고, 시공이음부(조인트부) 맞닿음, 거푸집탈거시 충격 등의 원인에 의해 발생된 손상으로 차량 충돌 등에 의한 손상은 아닌 것으로 판단되며, 그 정도가 심하지 않아 콘크리트에 미치는 영향은 적으나, 내구성 확보 차원의 단면보수를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.3.9】 NATM구간 측벽부 외관조사 손상물량

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	비고
NATM구간 측벽부	타일탈락	㎡	9	18.00	정비	
	박리	㎡	1	0.10	단면보수	
	파손	㎡	3	0.50	단면보수	
	백태	㎡	4	1.59	표면처리	
	균열 및 누수(스며있음)	m	1	0.50	주입보수	

3) 사고 전・후 손상물량 비교

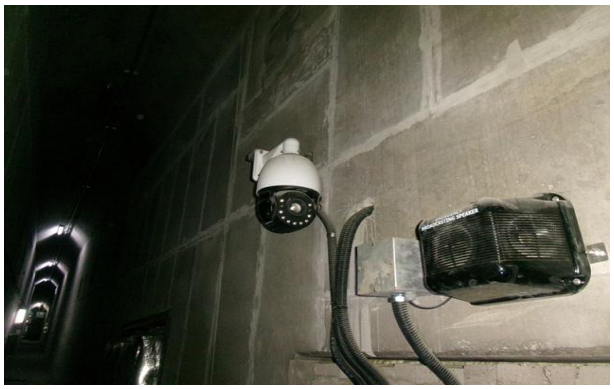
허용 높이 초과 차량 충돌 사고 이후 추가 손상은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.3.10】 NATM구간 측벽부 사고 전・후 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	충돌 전 물량	충돌 후 물량	증감	비고
NATM구간 측벽부	타일탈락	㎡	18.00	18.00	- -	하자
	박리	㎡	0.10	0.10	- -	하자
	파손	㎡	0.50	0.50	- -	하자
	백태	㎡	1.59	1.59	- -	하자
	균열 및 누수(스며있음)	m	0.50	0.50	- -	하자

바. 부대시설(S45~S60)

신월여의지하도로는 사고 발생시 안전 대피 및 비상연락이 가능토록 표시등, 소화시설, 제트팬 등이 설치되어 있고, 안전운전을 위해 조명시설, 배수시설이 설치되어 있는 것으로 조사되었고, 허용 높이 초과 차량 충돌에 의한 부대시설물 파손에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.

제트팬 전경	조명시설 전경
소화시설 전경	배수시설 전경
	
CCTV 전경	신호기 전경

【사진 3.3.11】부대시설 전경

1) 조사결과

부대시설에 대한 외관조사 결과 허용 높이 초과 차량의 충돌 사고 후 부대시설에 손상의 영향은 없는 것으로 조사되었고 유도배수관 길이 부족의 경우 시공 미흡에 의한 손상으로 판단된다.

부대시설 S57 유도배수관 길이부족

부대시설 S56 제트펜 볼트 상태양호

【사진 3.3.12】 부대시설 손상현황

부대시설 S57 비상구 표지판 상태양호

부대시설 S59 신호기 상태양호

【사진 3.3.12】 부대시설 손상현황(계속)

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 유도배수관 길이부족의 경우 시공 미흡에 의한 손상으로, 하면에 체수가 발생하고 있어 철근콘크리트에 영향을 미치므로 재설치 등의 정비를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.3.11】 부대시설 외관조사 손상물량

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	비고
부대시설	유도배수관 길이부족	m	1	1.50	정비	

3) 사고 전・후 손상물량 비교

허용 높이 초과 차량 충돌 사고 이후 추가 손상은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.3.12】 부대시설 사고 전・후 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	충돌 전 물량	충돌 후 물량	증감	비고
부대시설	유도배수관 길이부족	m	1.50	1.50	- -	하자

3.3.2 외관조사 결과

신월여의지하도로 RAMP-D S45~S60에 대한 외관조사 결과는 다음과 같다.

【표 3.3.13】 외관조사 결과

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	비고
NATM구간 천단부	균열(0.3㎜이상)	m	1	3.00	주입보수	
	균열(0.5㎜이상)	m	2	13.00	주입보수	
풍도슬래브 상면	이음부 몰탈파손	㎡	10	6.30	단면보수	
	파손	㎡	14	1.64	단면보수	
	댐퍼 변형	m	1	0.50	정비	
	댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손	EA	9	9.00	정비	
풍도슬래브 하면	파손	㎡	13	1.75	단면보수	
풍도슬래브 격벽	격벽 파손	㎡	1	0.36	단면보수	
NATM구간 측벽부	타일탈락	㎡	9	18.00	정비	
	박리	㎡	1	0.10	단면보수	
	파손	㎡	3	0.50	단면보수	
	백태	㎡	4	1.59	표면처리	
	균열 및 누수(스며있음)	m	1	0.50	주입보수	
부대시설	유도배수관 길이부족	m	1	1.50	정비	

3.3.3 사고 전·후 손상물량 비교 결과

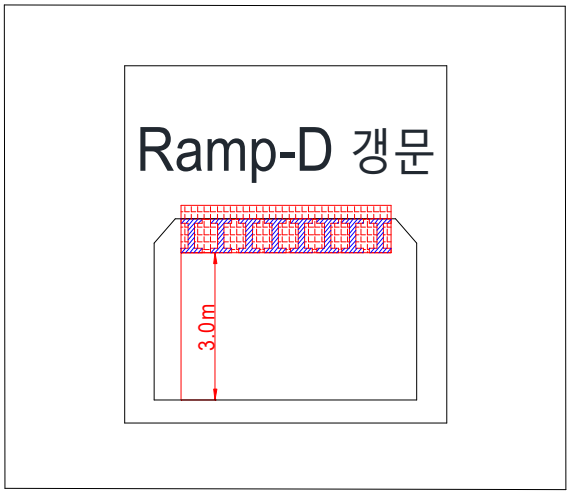
신월여의지하도로 RAMP-D S45~S60에 발생한 사고 전·후 손상물량 비교는 다음과 같다.

【표 3.3.14】 사고 전·후 손상물량 비교

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	충돌 전 물량	충돌 후 물량	증감		비고
NATM구간 천단부	균열(0.3㎜이상)	m	3.00	3.00	-	-	하자
	균열(0.5㎜이상)	m	4.00	13.00	▲	9.00	차량충돌
풍도슬래브 상면	이음부 몰탈파손	㎡	-	6.30	▲	3.90	차량충돌
	파손	㎡	-	1.64	▲	1.44	차량충돌
	댐퍼 변형	m	-	0.50	▲	0.50	차량충돌
	댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손	EA	-	9.00	▲	9.00	차량충돌
풍도슬래브 하면	파손(긁힘)	㎡	0.12	1.75	▲	1.63	차량충돌
풍도슬래브 격벽	격벽 파손	㎡	-	0.36	▲	0.36	차량충돌
NATM구간 측벽부	타일탈락	㎡	18.00	18.00	-	-	하자
	박리	㎡	0.10	0.10	-	-	하자
	파손	㎡	0.50	0.50	-	-	하자
	백태	㎡	1.59	1.59	-	-	하자
	균열 및 누수(스며있음)	m	0.50	0.50	-	-	하자
부대시설	유도배수관 길이부족	m	1.50	1.50	-	-	하자

3.3.4 차량 충돌에 의해 발생한 손상 대책

차량 충돌 사고로 인한 손상에 관하여 추후 재손상 방지를 위해 높이제한 위반차량의 출입을 제한하는 시설물의 설치가 필요하다.

구 분	세 부 내 용	
보수 예시		
	차량 높이 제한시설 보수예시	차량 높이 제한시설 보수예시
보수 예시		
	차량 높이 제한시설 보수 예상도	차량 높이 제한시설 보수 예상도
조사 결과	· 허용 높이 초과 차량의 진입 예방 ⇒ 허용 높이 초과 차량의 진입으로 인한 충돌 파손 등 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 이를 예방하기 위하여 H빔을 사용한 진입제한시설을 설치하고 유지관리가 요망된다.	

3.4 내구성 시험 및 측정 개요

3.4.1 콘크리트 내구성 조사

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 내구성조사는 허용 높이 초과 차량에 의한 풍도슬래브 충돌 사고의 영향으로 발생한 내구성 변화를 조사하고 기능 및 성능 저하의 정도를 파악하기 위하여 실시하였다.

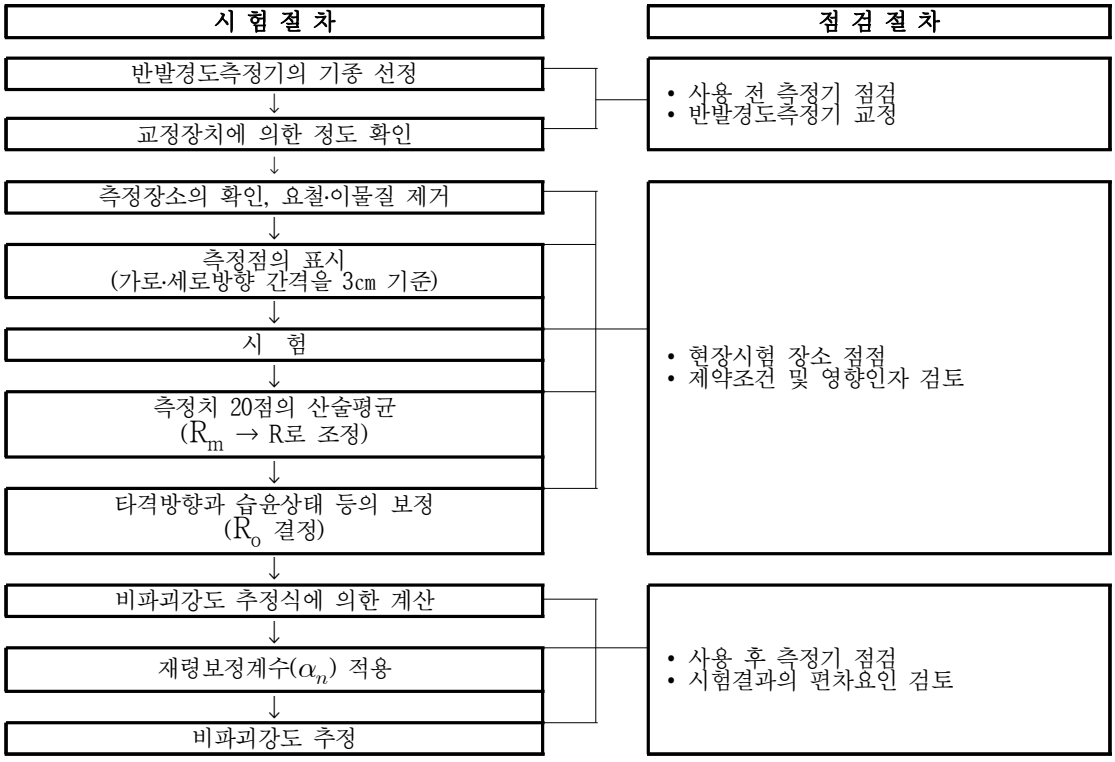
3.4.2 시험내용 및 평가기준

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 3.4.1】 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 3.4.1】 보정반발경도(Ro)

◈ 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

α / R	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 같다.

【표 3.4.2】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분	추 정 식(㎫)	비 고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회 적용(식①)
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회 적용(식②)
과학기술부	$F_c = (-112.8 \times 15.2 + R_o) \div 10$	금회 적용(식③)
시설공단제안식	$F_c = 2.304 \times R_o - 38.80$	금회 적용(식④)
※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2026. 01, 국토교통부/국토안전관리원)		

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 3.4.3】와 같으며, 2021년 08월 31일 준공이후, 800일 이상의 재령에 대해서는 0.66을 적용하였다.

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

【표 3.4.3】 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. 철근탐사시험

1) 개 요

본 시험은 전자파레이더를 이용한 철근탐사 시험기(RC Radar)를 활용하여 철근콘크리트 구조물에 배근된 철근간격, 콘크리트 피복을 측정하기 위해 실시한다.

철근콘크리트 구조물의 부재 내부에 배근되어 있는 철근의 피복두께가 지나치게 작은 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있으므로 철근탐사는 설계 당시와 같이 콘크리트 내에 배근되어 있는 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시한다. 금회, 정밀안전점검에서는 탄산화깊이 측정을 위한 피복두께측정을 위해 철근탐사를 실시하였다.

2) 측정원리

전자파레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하다. 즉, 콘크리트용 전자파레이더는 임펄스 상의 전자파를 송신안테나로부터 콘크리트 내로 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율, 도전율)이 다른 물체(철근, 매설관, 공동 등)와의 경계에서 반사한다. 이를 수신안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복전파시간으로부터 반사물체까지의 거리를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다. 원리를 아래【그림 3.4.2】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

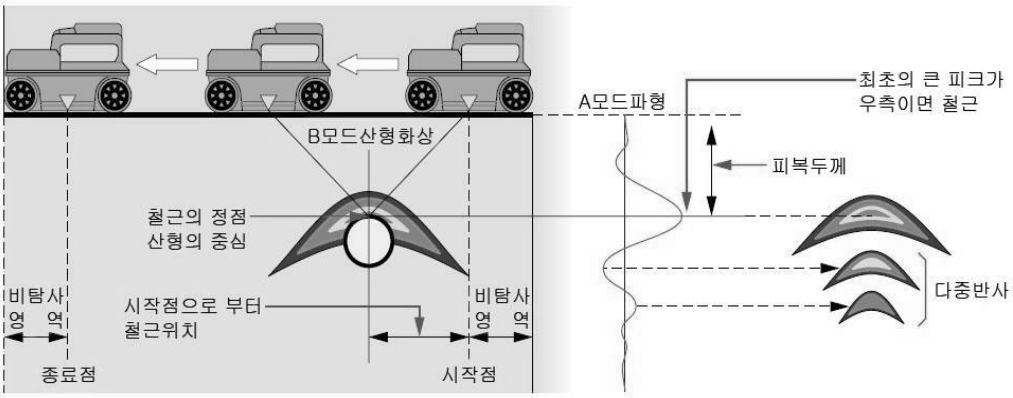
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

여기서, C : 진공 중에서 전자파의 속도(3×10^8 m/sec)

ε_r : 콘크리트의 상대유전율(6~10)

또한, 반사물체까지의 거리(D)는 송신 시각으로부터 수신 시각까지의 시간차(T)의 측정치와 콘크리트 내부의 전파속도(V)로부터 구할 수 있다.

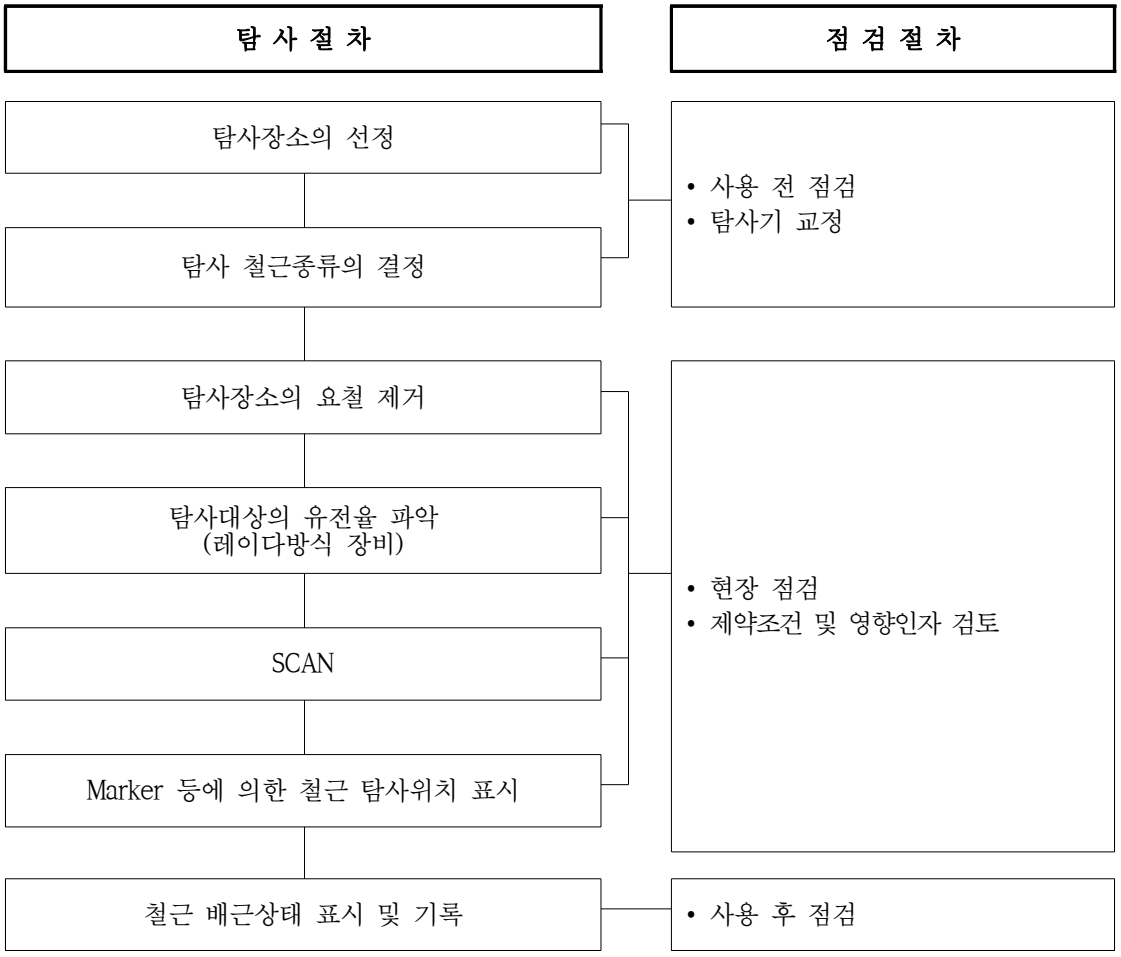
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【그림 3.4.2】 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

철근탐사시험 방법에 대한 절차는 KS F 2734 및 KS F 2735의 규정에 준한다.



【그림 3.4.3】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 탐사조건

- 적용 가능한 조건
  - 탐사심도 200㎜이내
  - 탐사대상 철근지름이 ø6㎜이상
  - 콘크리트의 질이 균일한 곳
  - 철근이 안테나 진행방향과 직교인 경우
- 적용 곤란한 조건
  - 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
  - 100㎜이하의 피치로 배근되어 있는 경우
  - 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

② 적용한계

- 탐사대상 물체의 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
- 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우
- 비유전율에 따라 피복두께의 차이가 있으므로 탐사 대상물의 비유전율을 추정하기 어려움
- 철근직경과 복철근 및 경사철근의 판독 불가능
- 탐사대상 표면에 요철이 많은 장소는 탐사결과의 신뢰성 저하
- 안테나의 사용으로 좁고, 짧은 위치의 탐사 불편

다. 탄산화깊이 측정

1) 개 요

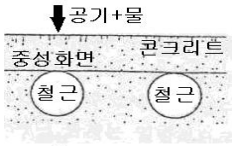
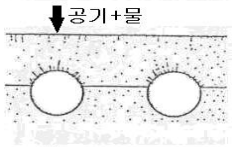
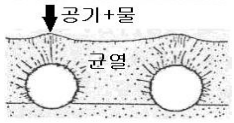
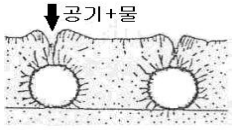
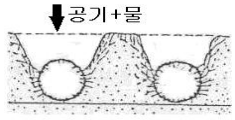
탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

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

(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 pH

가 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 3.4.4】 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 3.4.4】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인 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, 손상면위 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 3.4.5】 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	-	-

3.5 내구성 조사 결과

본 과업의 내구성조사는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2026. 01, 국토교통부/국토안전관리원)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였으며, 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험), 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3.5.1】 신월여의지하도로 RAMP-D 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목	기준수량		실시 수량 (개소)	비 고
측점분할	• 5~20m 간격(책임기술자 조정 가능)	-	-	
반발경도시험	•총수량 = (총연장÷300m)	3	10	
탄산화깊이 측정	- 철근콘크리트 구조물 • 총연장 1,000m미만 = 2개소 • 총연장 1,000m이상 = 최초 2개소 + 1,000m당 1개소 추가	2	2	
철근탐사시험		-	-	

반발경도시험(단면정리)

반발경도시험

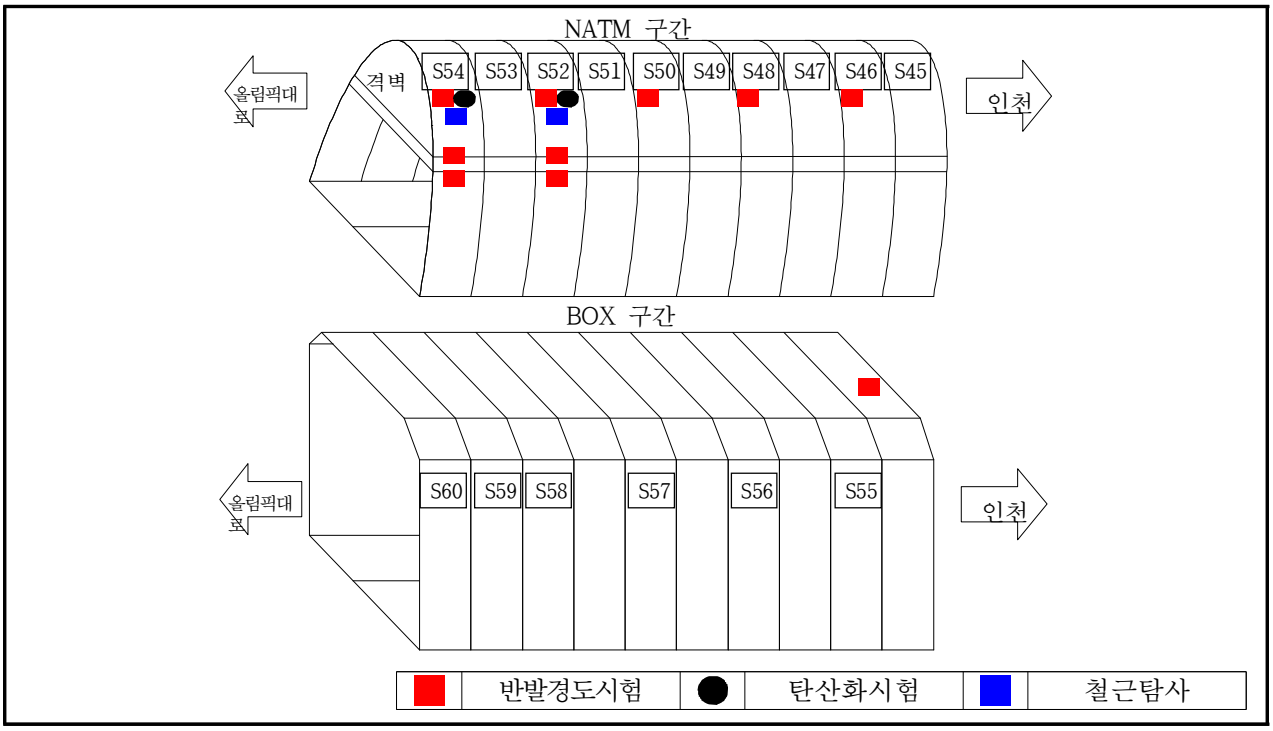
탄산화 깊이 측정(드릴링)

탄산화 깊이 측정(페놀프탈레인)

탄산화 깊이 측정

철근탐사시험

【사진 3.5.1】 콘크리트 내구성조사 전경



【그림 3.5.1】 신월여의지하도로 RAMP-D 콘크리트 내구성조사 위치도

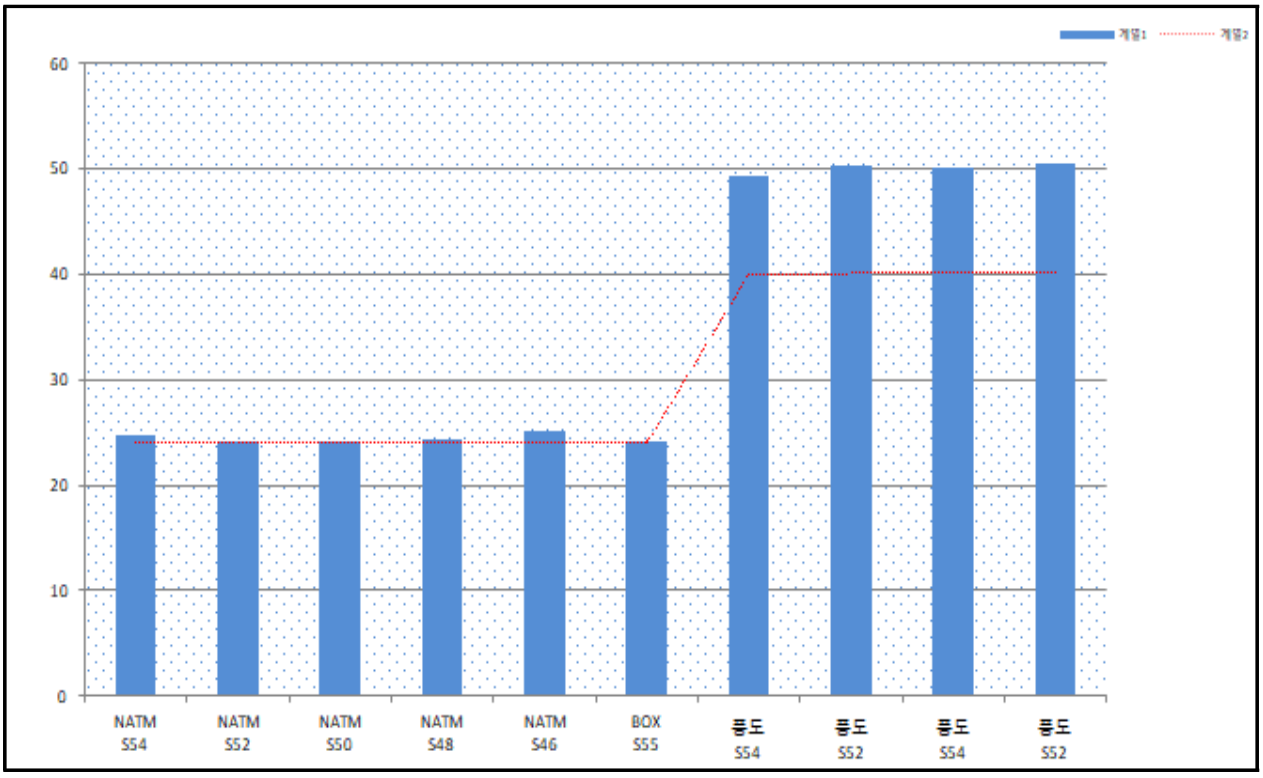
3.5.1 콘크리트 강도시험

신월여의지하도로의 콘크리트 비파괴강도시험은 반발경도법을 이용하여 허용 높이 초과 차량의 충돌 위치를 중점적으로 총 10개소(NATM 천단부 5개소, 풍도슬래브 4개소, BOX구간 슬래브 1개소)의 비파괴강도시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

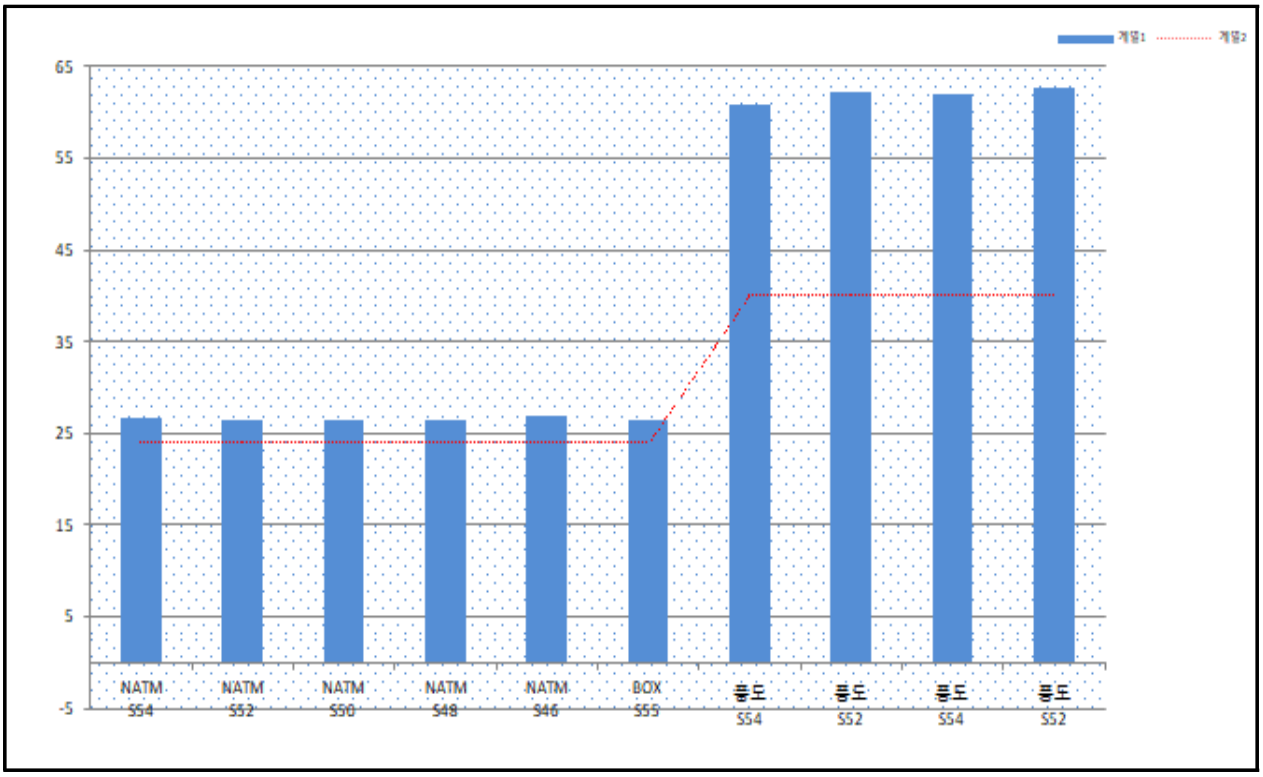
가. 비파괴강도 시험결과

【표 3.5.2】 비파괴강도 시험결과

시험위치		반발경도 (R_o)	재령 보정	반발경도법(MPa)				설계기준 강도(MPa)
				식①	식②	식③	식④	
NATM 천단부	S54	46.9	0.64	24.8	26.7	-	-	24
	S52	46.3		24.2	26.4	-	-	
	S50	46.1		24.1	26.3	-	-	
	S48	46.3		24.3	26.4	-	-	
	S46	47.4		25.1	26.9	-	-	
BOX 슬래브	S55	47.2		24.1	26.4	-	-	
풍도슬래브상면	S54	56.2		-	-	49.3	60.8	40
	S53	57.2		-	-	51.7	64.5	
풍도슬래브하면	S54	61.2		-	-	50.1	62.0	
	S53	61.6		-	-	51.1	63.6	



【그림 3.5.2】반발경도시험 압축강도 식①, 식③ 추정결과



【그림 3.5.3】반발경도시험 압축강도 식②, 식④ 추정결과

- 비파괴강도시험 검토결과, 반발경도법에 의한 콘크리트 강도는 BOX슬래브 및 NATM 라이닝 24.1~26.9MPa, 풍도슬래브 49.3~64.5MPa로 설계기준강도(라이닝: 24MPa, 풍도슬래브: 40MPa)를 상회하는 값으로 분석되었다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하 및 허용 높이 초과 차량 충돌 사고에 의한 강도의 영향은 없는 것으로 판단된다.

【표 3.5.3】 비파괴강도시험 결과분석

구 분	시험방법	추정강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
BOX슬래브, NATM라이닝	반발경도법	24.1~26.9	24.0	100.3~112.2
풍도슬래브	반발경도법	49.3~62.6	40.0	123.3~156.5

3.5.2 철근탐사 시험

철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 탄산화 깊이측정 시험을 위한 피복두께 측정을 위해 탄선화시험과 동일한 부위에서 2개소(NATM라이닝 차량 충돌 구간 1개소, NATM라이닝 상태양호 구간 1개소)의 철근탐사 시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

가. 철근탐사 시험결과

【표 3.5.5】 철근탐사 시험결과

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
NATM 라이닝 RAMP-D	S54 (차량충돌구간)	주철근	@140	60	@120	60	
		배력철근	@190	63	@200	60	
	S52 (상태양호구간)	주철근	@125	61	@120	60	
		배력철근	@215	63	@200	60	

본 과업대상에 대하여 철근탐사 수행결과, 측정된 철근배근 간격 및 피복두께는 설계치와 비교시 준공도면과 대체로 일치한 것으로 확인되었다.

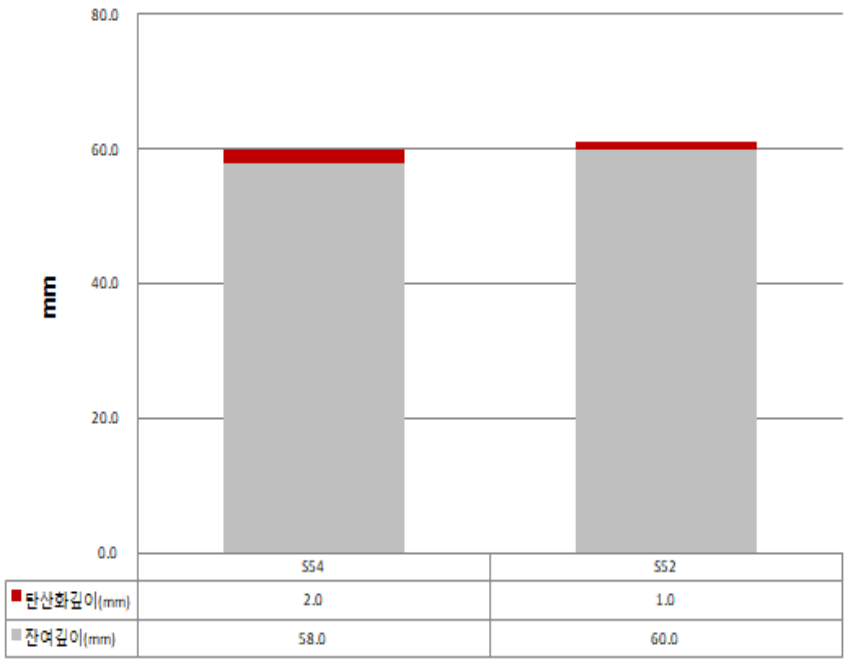
3.5.3 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 2개소(NATM라이닝 차량 충돌 구간 1개소, NATM라이닝 상태양호 구간 1개소)의 탄산화 잔여깊이를 측정하였으며, 실측 최소 피복두께를 적용하기 위해 철근탐사시험과 결과를 피복두께로 하여 결과를 평가하였고, 그 결과는 다음과 같다.

가. 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.5.6】 탄산화깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과 (등급)	잔존 수명예측 (년)	탄산화 속도계수 (A)	비 고
NATM 라이닝 RAMP-D	S54 (차량충돌구간)	60.0	2.0	58.0	a	2,697	1.155	
	S52 (상태양호구간)	61.0	1.0	60.0	a	11,160	0.577	



【그림 3.5.4】 신월여의지하도로 탄산화깊이 측정결과

콘크리트 부재에 대한 탄산화 깊이 측정결과, 실측 피복두께와 비교시 탄산화 잔여깊이가 30.0㎜ 이상으로 측정되어 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2026. 01)』의 탄산화 상태평가 기준에 의거 "a"로 평가되었으며, 철근까지의 탄산화 도달기간은 풍도슬래브 차량 충돌 구간 및 상태양호 구간 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

3.5.4 내구성조사 결과 요약

【표 3.5.8】 내구성조사 결과 요약

<table>
<tr><th>시험명</th><th>시 험 위 치</th><th colspan="5">시 험 결 과</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="5">비파괴 강도 (MPa)</td><td>시험종류</td><td colspan="2">추정강도(A)</td><td colspan="2">설계기준강도(B)</td><td>A/B×100(%)</td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">반발경도법</td><td colspan="2">24.1~26.9</td><td colspan="2">24.0</td><td>100.3~112.2</td></tr>
<tr><td colspan="2">49.3~62.6</td><td colspan="2">40.0</td><td>123.3~156.5</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨</td></tr>
<tr><td rowspan="6">철근탐사 (㎜)</td><td rowspan="2">부재</td><td rowspan="2">철근종류</td><td colspan="2">측정치</td><td colspan="2">설계치</td><td rowspan="6"></td></tr>
<tr><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td>주철근</td><td>125~140</td><td>60~61</td><td>120</td><td>60</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>190~215</td><td>63</td><td>200</td><td>60</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">■ 피복두께가 대체로 일치한 것으로 확인됨</td></tr>
<tr><td rowspan="3">탄산화 잔여깊이 (㎜)</td><td>부재</td><td colspan="2">잔여깊이</td><td colspan="2">평가</td><td>잔존수명</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>탄산화 잔여깊이</td><td colspan="2">58.0～60.0</td><td colspan="2">a</td><td>100년이상</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 "a"로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨</td></tr>
</table>

제4장 상태평가

4.1 개요

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.3 상태평가 결과

제4장 상태평가

4.1 개요

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침, 2026. 01」의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

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

과업수행 책임기술자는 「세부지침」의 상태평가 기준 및 절차에 따라 조사 및 평가하는 것을 원칙으로 한다.

상태평가 기준은 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정하게 된다.

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.2.1 상태평가 기준

가. 기본시설 및 부대시설

터널의 기본시설과 부대시설은 다음 【표 4.2.1】과 같다. 터널 부대시설 중에서 시설물의 중요도가 상대적으로 작으며 본선 구조물에 부분적으로 확폭 또는 접속된 별도공간인 비상주차대, 대피소/변압기굴, 덕트슬래브, 배전실/통신실/기재갱 등은 상태평가시 기본시설에 포함하여 평가한다.

금회 정밀안전점검의 실시범위는 기본시설물 및 공중이 이용하는 부위로 한정되어 그에 대해 상태평가를 실시하였다.

【표 4.2.1】 터널의 기본시설물과 공중이 이용하는 부위의 종류

기본시설물	공중이 이용하는 부위
· 본선라이닝	· 추락방지시설
· 갱문	· 도로포장
· 개착터널	· 도로부 신축이음부
-	· 환기구 등의 덮개

나. 상태평가 항목

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

【표 4.2.2】 터널 상태평가 항목

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

다. 결함지수 산정기준

금회 대상 시설물의 경우 NATM구간과 BOX구간으로 구분되었으며, 결함지수 산정기준은 다음과 같다.

1) NATM터널(무근콘크리트 라이닝)

【표 4.2.3】 NATM터널(무근콘크리트라이닝) 결함지수 산정기준

평가기준			a	b	c	d	e
			$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
라이닝	균 열		0 ~ 2	3 ~ 5	6 ~ 8	9 ~ 11	12 ~ 13
	누 수		0	1	2	3	4 ~ 5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질 열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터널주변	배수상태		문제가 없는 경우 : 0				
			배수불량 또는 막힘 : 1~2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문(접속부) 상태		손 상 : 0 ~ 1				
	공동구상태		문제가 없는 경우 : 0				
			덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1 ~ 3				
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{27}$, 터널결함지수(F) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{34}$							

2) NATM터널(철근콘크리트 라이닝)

【표 4.2.4】 NATM터널(철근콘크리트라이닝)결함지수 산정기준

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

3) 개착터널(철근콘크리트 구조물)

【표 4.2.5】 개착터널 결함지수 산정기준

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

4.2.2 상태평가 항목 및 기준

가. 기본시설물 상태평가항목 및 기준

1) 균열

【표 4.2.8】 균열 상태평가 기준

구 분 \ 평가기준		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	무근(균열)	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과 3.0㎜ 이하	3.0㎜ 초과
	철근(균열)	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 0.5㎜ 이하	0.5㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과
개착터널	철근(균열)	0.1㎜ 이하	0.1㎜ 초과 0.3㎜ 이하	0.3㎜ 초과 0.5㎜ 이하	0.5㎜ 초과 1.0㎜ 이하	1.0㎜ 초과
조적식 라이닝	줄눈균열	없 음	아주 경미한 줄눈깨짐	벽돌 2개소 이하	벽돌 2개소 초과 ~5개소미만	벽돌 5개소 이상

주) 진행성 균열의 경우 상태평가결과가 “d“ 이하 또는
고정 균열의 경우 면적율 20% 이상으로 “e“ 이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

<해 설>

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

※ 진행성 여부의 판별은 주기적인 점검(정기안전점검) 결과를 활용하여 균열 단부의 확대폭 및 깊이, 단차의 시간에 따른 변화를 조사하여 판단한다.

② 균열형상은 종균열, 횡균열, 경사균열, 망상균열로 구분하며 횡균열을 제외한 균열의 평가는 균열이 다음 스판(Span)에 연속적으로 이어져 있는 경우는 책임기술자의 판단에 의하여 평가결과는 하향조정할 수 있다.

(종균열) (횡균열) (경사균열) (망상균열)

③ 균열의 발생위치는 천장부, 어깨부, 측벽부로 표기하며, 균열에 의한 단차가 발생하였거나 구조체를 관통하는 균열일 경우 책임기술자의 판단에 의해 하향조정할 수 있다.

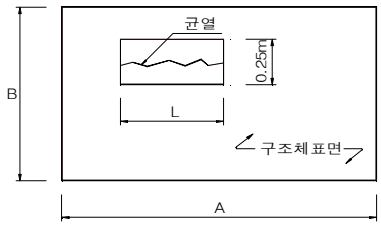
④ 구조적 균열은 설계 오류로 인한 균열, 외부 하중에 의한 균열, 단면 및 철근량의 부족에 의한 균열 등이 있다. 콘크리트 구조의 구조적 균열은 콘크리트와 철근사이의 응력, 변형률, 미끄러짐(slip), 부착응력 등에 따라 균열형성단계와 균열안정화 단계의 2단계로 형성된다. 구조적 균열발생시 면적율에 관계없이 평가는 1단계 하향조정하고, “d“이상으로 발생하였을 경우에는 안전성평가를 통하여 과하중의 양상과 그 결과의 분석을 실시하도록 한다.

⑤ 조적식 라이닝의 경우 줄눈깨짐의 연속성 정도에 따라 평가는 하향 조정하도록 한다.

⑥ 보수·보강부위는 기존의 균열폭과 길이의 변화, 새로운 균열 및 들뜸의 진행성 유무 등을 주기적인 점검(정기안전정검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다.

⑦ 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율 20% 이상과 구조적균열 및 단차균열일 경우의 평가는 a→b, b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.

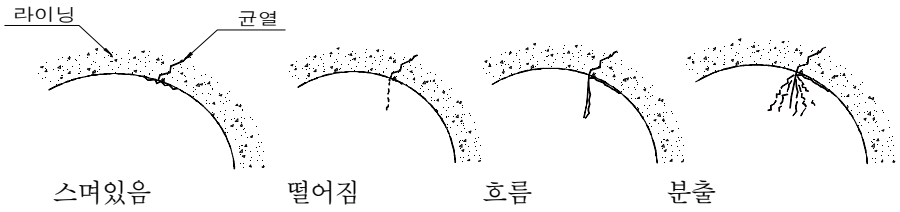
- 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하다.



$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{구조체표면(점검단위)면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이(L)}\times 0.25}{\text{A}\times\text{B(m)}} \times 100 = \quad \%$$

2) 누수

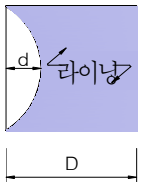
【표 4.2.9】 누수 상태평가 기준

구 분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
누 수	없 음	스며 있음	떨 어 짐	흐 름	분 출
					
해 설	1) 누수발생부위는 아치부와 측벽부, 노면으로 구분하며, 아치부에 누수가 발생하여 차량통행에 지장을 주는 경우 평가는 하향조정하도록 한다. 2) 아치부에 발생된 누수가 얼어 고드름이 형성된 경우와 측벽부에 발생된 누수가 얼어서 건축한계를 초과하여 차량통행에 지장을 주는 경우에는 평가를 하향조정 하도록 한다. 3) 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 평가를 하향조정하고, 그 원인을 정밀조사하도록 한다. 4) 누수가 배수공과 시공이음, 신축이음의 결함, 균열, 배면공동, 수맥 등의 영향으로 인하여 발생될 경우에는 수압 등에 의한 구조적 결함을 유발 시킬 수 있는지의 여부 등을 검토할 수 있다. 5) 누수는 건기시와 우기시에 따라 계절별로 차이가 발생할 수 있으므로 계절적요인을 반영하여 평가할 수 있다. 6) 보수·보강부위는 누수상태(수질, 수량, 물흐름)의 변화 유무 등을 주기적인 점검(정기안전점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다. 7) 누수형상은 점상누수, 선상누수, 면상누수로 구분하며 누수위치는 천단부, 어깨부, 측벽부, 바닥부로 구분하여 평가함				

주) 상태평가결과가 “d” 이하이며, 토립자와 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량통행에 현저한 지장을 주는 경우 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

3) 파손 및 손상

【표 4.2.10】 파손 및 손상 상태평가 기준

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

주) 파손 및 손상에 대한 면적율이 20%이상으로 상태평가결과가 “d“ 이하이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다. 여기서, 손상도 평가 시 기준면적은 설계두께의 2배와 같은 일변의 길이를 갖는 정사각형의 면적 또는 이와 동일한 면적을 갖는 독립된 부위를 말한다.

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

【표 4.2.11】 재질열화 상태평가 기준

구 분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
박 리	없 음	6㎜ 미만	6㎜ 이상 25㎜ 미만	25㎜이상 이거나 조골재 손실	박리가 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
층분리 및 박락	없 음	깊이 12㎜미만 또는 직경 75㎜미만	깊이 12~25㎜미만 또는 직경 75~150㎜미만	깊이 25㎜이상 또는 직경 150㎜이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
백 태, 재료분리	없 음	면적율 5%미만	면적율 5%이상 10%미만	면적율 10%이상 20%미만	면적율 20%이상
철근노출	없 음	면적율 1%미만	면적율 1%이상 3%미만	면적율 3%이상 5%미만	면적율 5%이상
탄산화 잔여깊이	30㎜ 이상	10㎜ 이상 30㎜ 미만	0㎜ 이상 10㎜ 미만	0㎜ 미만	-
전염화물 이온량	0.3kg/㎥이하	0.3kg/㎥ 초과 1.2kg/㎥ 미만	1.2kg/㎥ 이상 2.5kg/㎥ 미만	2.5kg/㎥ 이상	-
해 설	1) 박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 경년이나 주변 환경 영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다. 2) 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 층분리 및 박락은 콘크리트 박락된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다. 3) 박리 · 층분리 및 박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교 · 검토하여 그 원인을 조사하도록 한다. 4) 백태 및 재료분리의 경우 발생범위와 정도로부터 판단하도록 한다. 5) 철근노출은 철근콘크리트 라이닝인 경우에 적용하며, 심한 부식이 우려되는 경우에는 부식도를 측정하여 철근의 부식상태를 평가하도록 한다. 또한, 철근노출 발생 면적은 철근 노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다. 6) 탄산화 깊이에 대한 평가는 제1장 교량[표 1.28] 해설을 따른다. 〈일본구조물진단기술협회「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」(2003년)〉 7) 채취 코어의 전염화물 이온 시험결과에서 염화물에 의한 강재부식 가능성을 평가하며, 염화물 함유량은 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가기준 범위를 "a~d"로 한다. 염화물 함유량 분석은 철근 깊이까지 깊이별(10㎜ ~ 20㎜)로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 하며, 염화물 이온농도의 분포를 도시한다. 〈일본구조물진단기술협회「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」(2003년)〉 8) 박리, 층분리 및 박락의 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율이 20% 이상일 경우의 평가는 a→b, b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.				

주) 탄산화 잔여깊이 또는 전염화물 이온량에 대한 상태평가결과가 "d" 등급이고, 철근노출의 상태평가결과가 "e" 등급이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

5) 배수상태

【표 4.2.12】 배수상태 상태평가 기준

구 분	문제가 없는 경우	배수불량 및 막힘(배수시설 작동불량)
결함점수	0	1~2
해 설	1) 배수상태는 지하수를 유도하여 배수를 허용하는 배수형 터널의 경우에 한하며, 배수형터널이 아닌 경우에는 전문가의 판단에 따라 별도로 적용하도록 한다. 2) 배수된 물의 함유성분에 의한 오염이 우려되는 경우에는 수질을 조사하여 오염의 원인을 평가하도록 한다. 3) 배수된 물에 토사가 섞여 나오는 경우에는 계속적인 토사유출로 라이닝 배면에 문제가 발생할 가능성이 있으므로 토사유출량과 터널안정성에 대해 정밀조사하도록 한다. 4) 집수정이 설치된 경우 배수시설(펌프설비 등)의 작동유무, 정착상태, 전원설비상태 등을 점검하고 작동이 안되거나 정착이 불량한 경우 관리주체에 통보하여 교체 또는 수리 등의 조치가 가능하도록 하여야 한다.	

6) 지반상태

【표 4.2.13】 지반상태 상태평가 기준

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

7) 갱문(접속부)상태

【표 4.2.14】 갱문(접속부)상태 상태평가 기준

구 분	손 상	
	보통인 상태	불량한 상태
결함점수	0~0.5	1
해 설	1) 갱구부는 터널의 입출구부로서 차량의 통행에 직접적인 영향을 주기 때문에 갱문(접속부)상태를 반영하여 손상여부를 평가한다. 2) 갱문(접속부)의 평가방법은 일반 콘크리트구조물에서의 평가방법에 준하며, 특히 주변지반의 변화상태 등에 유의하여야 한다. 3) 갱문(접속부)에 심각한 손상이 발생한 경우, 주변 지반조사를 실시하여 손상원인을 규명 하도록 한다.	

주) 갱문(접속부)의 상태가 양호할 경우, 책임기술자 판단 하에 최소점수인 0점을 부여할 수 있다.

8) 공동구 상태

【표 4.2.15】 공동구상태 상태평가 기준

구 분	문제가 없는 경우	덮개파손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수
결함점수	0	0.5	1
해 설	1) 통신케이블, 신호용케이블, 전기케이블 등의 보호를 위해 터널내에 설치되는 공간을 가리키며, 일반적으로 배수시설과 병행하여 시공된다. 2) 공동구의 오염상태, 덮개파손, 이물질의 퇴적이나 침수 등을 조사하여 상태를 평가하도록 한다.		

9) 특수조건(추가점수)

【표 4.2.16】 특수조건(추가점수) 상태평가 기준

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

나. 공중이 이용하는 부위의 상태평가항목 및 기준

1) 추락방지시설

【표 4.2.17】 추락방지시설의 상태평가기준

평가기준	구분
a	○ 손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
b	○ 추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태
c	○ 추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○ 고정부 및 연결부 파손 등으로 인해 추락방지시설의 전도 및 이탈이 발생 할 수 있어 즉각적인 보수 · 보강이 필요한 상태
e	○ 추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태

2) 도로포장

【표 4.2.18】 도로포장의 상태평가기준

평가기준	구분
a	○ 포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
b	○ 포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생된 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○ 포장 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
d	○ 깊이 8cm이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 ○ 배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
e	○ 도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 사용금지가 필요한 상태

3) 도로부 신축이음부

【표 4.2.19】 도로부 신축이음부의 상태평가기준

평가기준	구분
a	○ 신축이음부에 손상이 없는 상태
b	○ 신축이음 본체의 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후, 후타재의 미세균열이 발생된 상태로 기능발휘에는 지장이 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○ 신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50cm이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○ 신축유간 밀착으로 인한 거동불량 또는 신축유간이 넓어 차량통행에 지장을 초래할 수 있어 교체가 필요한 상태 ○ 신축이음의 파손 상태가 심각하여 차량통행 시 충격이 발생하는 등 긴급한 보수·보강이 필요한 상태
e	○ 신축이음부 본체 탈락으로 차량주행 시 파손을 유발하거나, 주행 중 사고의 원인이 될 수 있는 상태

4) 환기구 등의 덮개

【표 4.2.20】 환기구 등의 덮개의 상태평가기준

평가기준	구분
a	○ 환기구 등의 덮개가 최상의 상태
b	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태 ○ 기능성에 문제가 없어 결함 및 파손에 대해 지속적 관찰이 필요한 상태
c	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태
d	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능이 상실되어 국부적인 교체 및 보강이 필요한 상태
e	○ 결함 및 파손 정도가 심각하거나 덮개 등이 탈락된 상태

4.3 상태평가 결과

4.3.1 구간분할

긴급점검(정밀안전점검)을 통한 사고영향을 조사하기 위해 구조형식별 분류 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이며, 금회 점검시 사고 지점으로부터 4 Span을 구간분할 하여 평가하였다.

4.3.2 상태평가 결과

상태평가 세부산정 내용은 부록에 수록하였다.

가. 신월여의지하도로 RAMP-D(사고구간) 상태평가

【표 4.3.1】 신월여의지하도로 RAMP-D(사고구간) 상태평가

구분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							충돌 사고 전·후 영향	
				박리	층분리 및 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	-		
S51	c	a	a	a	a	a	a	a	x	-	· 파손 a→a	· 균열 a→c
S52	c	a	b	a	a	b	a	a	a	-	· 파손 a→b	· 균열 a→c
S53	a	a	c	a	a	a	a	a	x	-	· 파손 a→c	· 균열 a→a
S54	a	a	d	a	a	a	a	a	a	-	· 파손 a→d	· 균열 a→a

· 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침에 의한 신월여의지하도로 RAMP-D S51~S54 구간 상태평가를 실시한 결과, 상태평가항목 중 균열, 파손 및 손상에서 사고전·후(a→c~d) 등급의 변화가 확인되었다.

제5장 종합평가

5.1 개요

5.2 종합평가 결과

제5장 종합평가

5.1 개요

시설물의 종합평가는 제4장에서 실시한 상태평가 결과로 갈음한다.

5.2 종합평가 결과

시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침에 의한 신월여의지하도로 RAMP-D S51~S54 구간 상태평가를 실시한 결과, 상태평가항목 중 균열, 파손 및 손상에서 사고전・후(a→c~d) 등급의 변화가 확인되었다.

【표 5.3.1】 종합평가 결과

구분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							충돌 사고 전・후 영향	
				박리	층분리 및 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	-		
S51	c	a	a	a	a	a	a	a	x	-	· 파손 a→a	· 균열 a→c
S52	c	a	b	a	a	b	a	a	a	-	· 파손 a→b	· 균열 a→c
S53	a	a	c	a	a	a	a	a	x	-	· 파손 a→c	· 균열 a→a
S54	a	a	d	a	a	a	a	a	a	-	· 파손 a→d	· 균열 a→a

제6장 보수·보강 및 유지관리방안

6.1 개요

6.2 보수・보강 방안

6.3 보수・보강 공법

6.4 유지관리 방안

제6장 보수·보강 및 유지관리방안

6.1 개 요

구조물의 잔존수명을 증가시키고 추가적인 손상을 방지하기 위해서는 외관조사 결과에서 나타난 손상에 대해 설계, 시공, 유지관리의 측면으로 구분하여 구조요소별로 적절한 보수를 실시하여야 하고, 구조내력이 부족할 경우 구조검토, 내하력평가 결과를 토대로 원상회복 및 성능향상을 위한 보강을 시행하여야 한다. 그러나 보수·보강의 여부의 결정은 경제성, 효율성, 구조성능의 회복 정도에 따른 안전성, 노선의 중요도 등을 고려하여 신중히 결정하여야 한다.

일반적으로 구조물에 발생하는 결함 및 손상은 설계, 시공, 유지관리의 원인으로 대별할 수 있다. 즉, 보수·보강방법, 재료 등을 선정함에 있어 손상원인을 정확하게 판단하여 가장 최적의 방안을 적용하는 것이 무엇보다도 중요하며, 보수·보강 대책의 효과, 시공성, 안전성, 경제성 등의 검토가 요구된다. 또한, 각 시설물은 주요부재와 보조부재로 이루어져 있으며, 이들 시설물에서 발생된 각종 결함에 대하여 보강을 보수보다, 주요부재를 보조부재보다 우선하여 보수·보강 순위를 결정하여야 한다. 이는 동일한 결함에 대해서도 구성부재의 중요도, 구조물에 미치는 영향정도에 따라 보수시기를 달리할 수 있다는 것을 의미한다. 아래의 표는 대상구조물에 적용한 보수·보강의 우선순위를 나타낸다.

【표 6.1.1】 보수·보강 우선순위 결정 기준

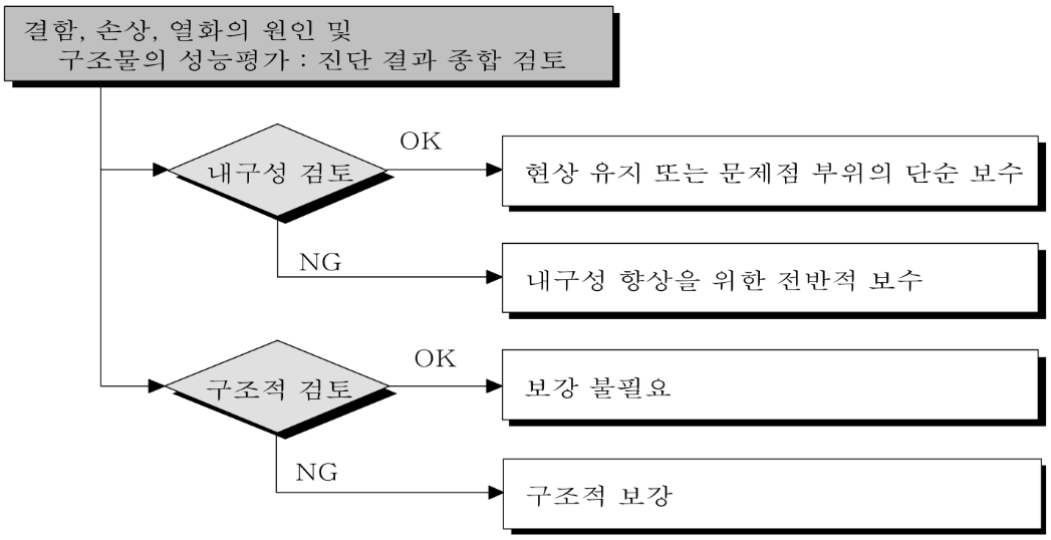
구분	순위	내 용
단기	1순위	• 『시설물의 안전관리에 관한 특별법』 제12조(중대한 결함)의 "대통령이 정하는 중대한 결함"에 포함되는 손상 - 철근콘크리트 시설물의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실 등 • 주요부재에 발생된 결함 및 손상이 커 상태평가 기준 "d" 이하인 경우 • 철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나, 부식가능성이 큰 경우 • 차량 통행에 지장을 줄 수 있는 손상
중장기	2순위	• 보조부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우 • 즉각적인 보수는 요구되지 않지만 내구성, 기능성, 사용성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우
	3순위	• 기능발휘에는 지장이 없으나, 방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성 증진을 위해 보수가 필요한 손상
주의관찰		• 1~3순위를 제외한 손상으로서 지속적인 관찰을 통해 향후 발전상태에 따라 보수·보강 여부를 판단할 수 있는 정도의 손상 - 콘크리트의 0.1㎜이하의 비구조적 미세균열(단, 균열집중구간은 제외) - 기타 경미한 손상으로서 내구성 및 사용성에 지장을 주지 않은 경우

6.2 보수 · 보강 방안

6.2.1 보수 · 보강의 필요성 판단

보수의 필요성은 발생된 손상이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하였으며, 이를 위해 각종 지침 및 기준(표준시방서 등)을 참조하였다.

보강을 할 경우 부재안전율을 각종 기준에서 정하는 수치이상으로 하기 위하여 어느 정도까지 부재단면 등을 증가하여야 하는지를 판단하였다.



【그림 6.2.1】 보수·보강 범위의 결정

6.2.2 보수 · 보강 수준 결정

조사 및 시험을 통하여 얻은 결과를 기초자료로 종합적인 평가를 실시한 후 보수·보강의 수준을 결정하게 된다. 손상 및 열화에 대하여 분포면적, 분포유형, 시설물의 안전성, 현상태의 내구성능, 보수 후의 회복목표수준 등을 고려하여 보수·보강 여부 및 수준을 아래의 경우 중에서 결정한다.

① 현상유지

② 실용상 지장이 없는 성능까지 회복

③ 초기 수준이상으로 개선

④ 개축

6.2.3 보수 · 보강 공법 선정

가. 보수·보강 공법 선정

우수한 성능의 보수·보강 공법도 적용구조물의 형식과 환경조건에 따라서 그 성능이 충분히 발휘되지 않는 경우가 있다. 따라서 보수·보강 공법 선정시에는 구조물의 중요도, 형식, 기능, 환경조건 혹은 보수 후의 내용년수 등을 고려하고 공법이 그 성능을 충분하게 발휘할 수 있는지 확인하여야 한다.

나. 보수재료의 선정

보수재료는 보수공법의 사용목적에 부합하고 시공하기에 적절한 기본적인 성능을 만족하여야 한다.

다. 보수재료의 기본 특성 설정

보수재료의 선정을 위한 기본은 구조물의 종류 및 기능, 보수재료의 종류 및 성능 규격치, 환경조건, 시공조건 및 보수부위의 내용년수 등을 설정한다.

라. 보수재료의 요구 성능 설정

보수재료의 요구 성능은 보호성능, 내구성능, 시공성능 및 기본적인 성능을 고려하여 설정한다. 일반적으로 보수재료에 요구되는 성능으로는 시공성과 내구성능이다. 보수재료는 재료 자체의 특성을 충분하게 발휘할 수 있도록 시공되어야 한다. 즉, 시공환경에서 간단하면서도 균일하게 시공이 되는 것이 중요하다. 내구성능은 보수재료의 원래의 목적이 되는 성능이지만 보수 후의 고용기간 중 소정의 수준을 만족시키는 것을 나타내는 성능이다. 재료 자체의 열화에 대한 저항성과 밀접한 관계가 있다. 부착성과 수축성 등은 보수재료가 구조물과 일체화해서 거동하는 것에 기본이 되는 성능이고, 이것이 불충분한 경우에 이들 재료는 그 본래의 목적을 달성할 수 없다.

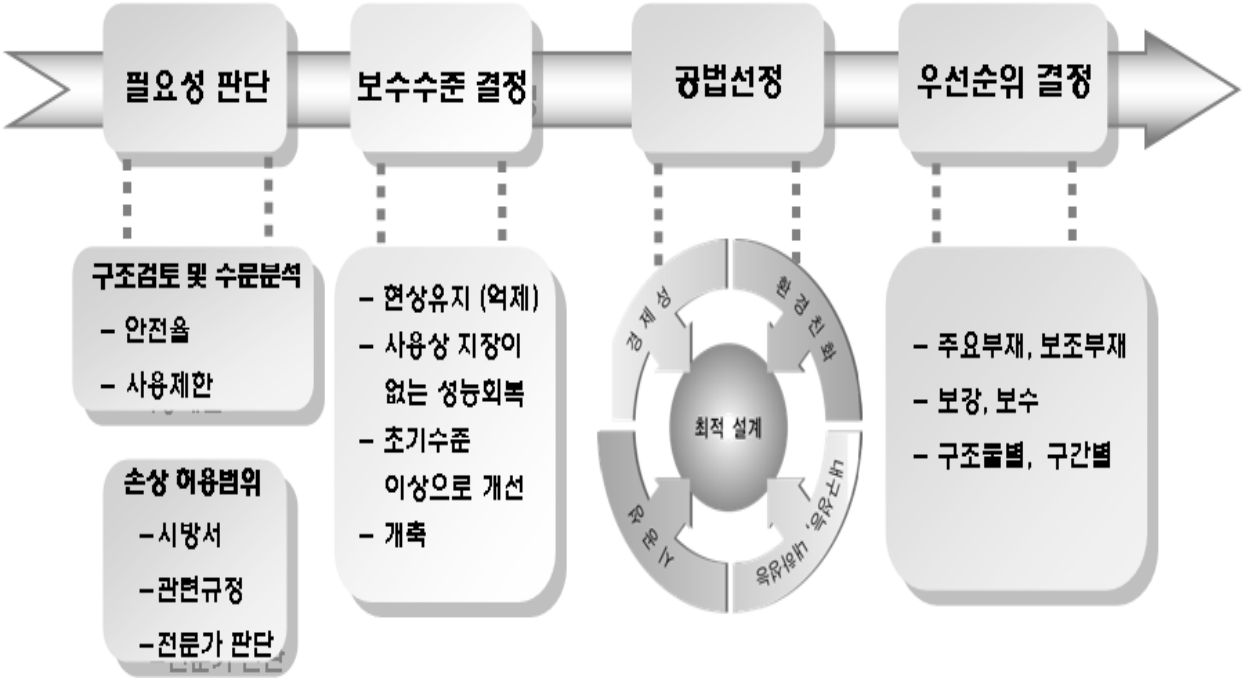
마. 적용 가능한 보수재료의 선정

구체적인 요구 성능 및 그 요구수준이 결정되면 그것을 만족시키는 재료의 후보를 선정한다. 단, 재료를 새로 설계하는 것이 곤란한 경우에는 시판 재료 중에서 요구성능을 만족시키는 것으로 생각되는 것을 선택하던지, 혹은 요구성능을 만족하도록 복수의 시판재료를 조합한 재료시스템을 구축해도 좋다. 재료를 조합해서 사용하는 경우에는 고려방법과 조합의

가능성, 문제점 등에 관해서 명확히 해둘 필요가 있다.

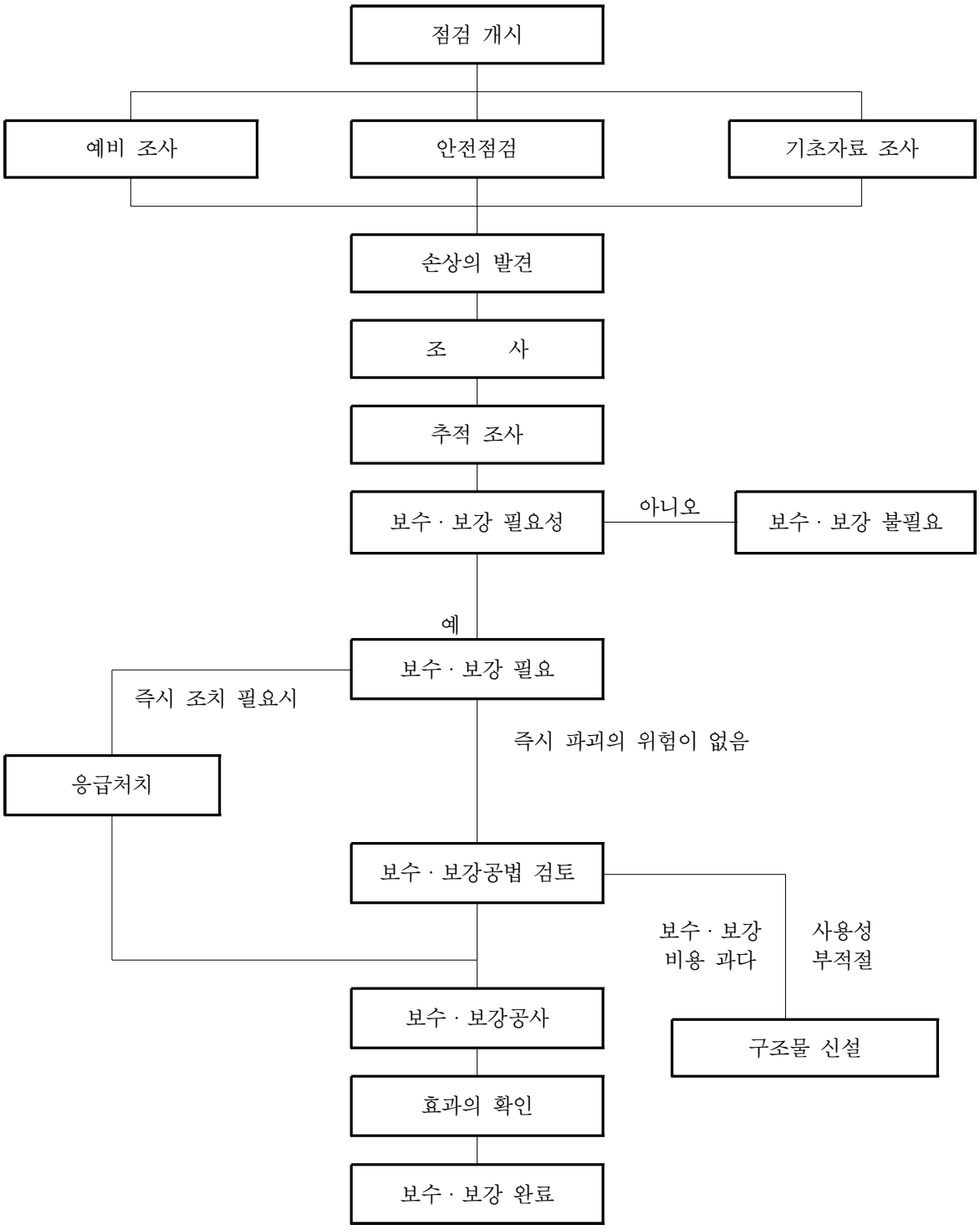
바. 보수재료의 성능조사

보수재료가 요구성능을 만족하고 있는가를 적당한 방법을 통해서 조사해야 한다. 이 조사는 설계된 재료의 성능 평가값이 요구성능의 수준 이상인 것을 확인하는 것으로 성능조사의 구체적인 방법은 다음과 같다. 첫 번째 방법으로는 재료의 다양한 특성값을 사용해서 요구성능을 직접 평가하고 그 결과를 요구수준과 비교하는 것이다. 또 다른 방법으로는 공공기관이 정한 규격시험을 통해 얻어진 재료시험 결과를 공공기관이 설정한 규격치와 비교하는 것이다.



【그림 6.2.2】 보수·보강 공법 선정 흐름도

6.2.4 보수·보강의 업무 흐름도



【그림 6.2.3】 보수·보강의 업무 흐름도

6.2.5 보수·보강 방안

【표 6.2.1】 결함내용별 보수·보강방안

구 분	결함내용 및 손상, 열화내용	단위	개소	손상물량	조치방안	우선순위
NATM구간 천단부	균열(0.3㎜이상)	m	1	3.00	주입보수	하자
	균열(0.5㎜이상)	m	2	13.00	주입보수	차량충돌
풍도슬래브 상면	이음부 몰탈파손	㎡	10	6.30	단면보수	차량충돌
	파손	㎡	14	1.64	단면보수	차량충돌
	댐퍼 변형	m	1	0.50	정비	차량충돌
	댐퍼 고정볼트 탈락 및 파손	EA	9	9.00	정비	차량충돌
풍도슬래브 하면	파손	㎡	13	1.75	단면보수	차량충돌
풍도슬래브 격벽	격벽 파손	㎡	1	0.36	단면보수	차량충돌
NATM구간 측벽부	타일탈락	㎡	9	18.00	정비	하자
	박리	㎡	1	0.10	단면보수	하자
	파손	㎡	3	0.50	단면보수	하자
	백태	㎡	4	1.59	표면처리	하자
	균열 및 누수(스며있음)	m	1	0.50	주입보수	하자
부대시설	유도배수관 길이부족	m	1	1.50	정비	하자

6.3 보수·보강 공법

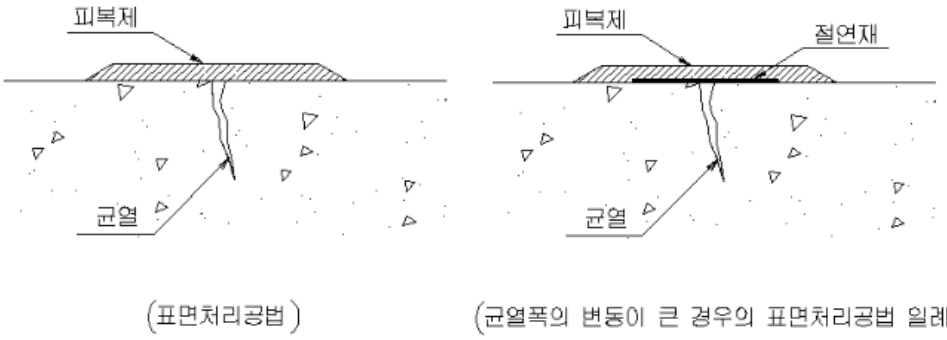
6.3.1 균열보수공법

가. 표면처리공법

1) 적용 범위

· 대상교량에 발생한 폭 0.2㎜ 이하의 균열과 백태 등의 표면손상은 진전방지 및 미관을 고려한 표면처리 보수를 실시한다.

· 폭 0.2㎜ 이하의 미세한 균열에 대해 직접 그 균열의 표면을 피복하여 방수성, 내수성을 지니도록 하는 것으로 그 효과는 균열표면의 보수에 그치므로 본 공법 적용시 균열의 진행여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다.



<사용 재료>

① 폴리머시멘트 페이스트 ③ 도막 탄성방수재 (아크릴 수지계)

② 시멘트 필러 ④ 도막 탄성방수재 (우레탄 수지계)

【그림 6.3.1】 표면처리공법 개요도

2) 시공시 주의사항

① 기존의 도막 및 이물질을 수공구 또는 샌더 등의 전동공구를 사용하여 제거한다.

② 도막을 완전히 제거한 후 고압수세정기(100～150kg/㎡)를 사용하여 표면위에 남아있는 이물질을 완전히 제거한다.(물을 사용할수 없는 경우에는 압축공기나 진공 청소기를 사용한다.)

③ 세정 순서는 위쪽에서 아래쪽으로 하고 오염된 물이 아래쪽 벽면에 부착되지 않도록 주의하여 세정한다.

④ 유지 등으로 더러워진 부분은 용제나 전용세제를 사용하여 세정한다.

⑤ 충분히 건조한 후 담당자의 확인을 받아야 한다.

⑥ 제품선정 후 제품 시방규정에 의한 표준 도포량 확인한다.

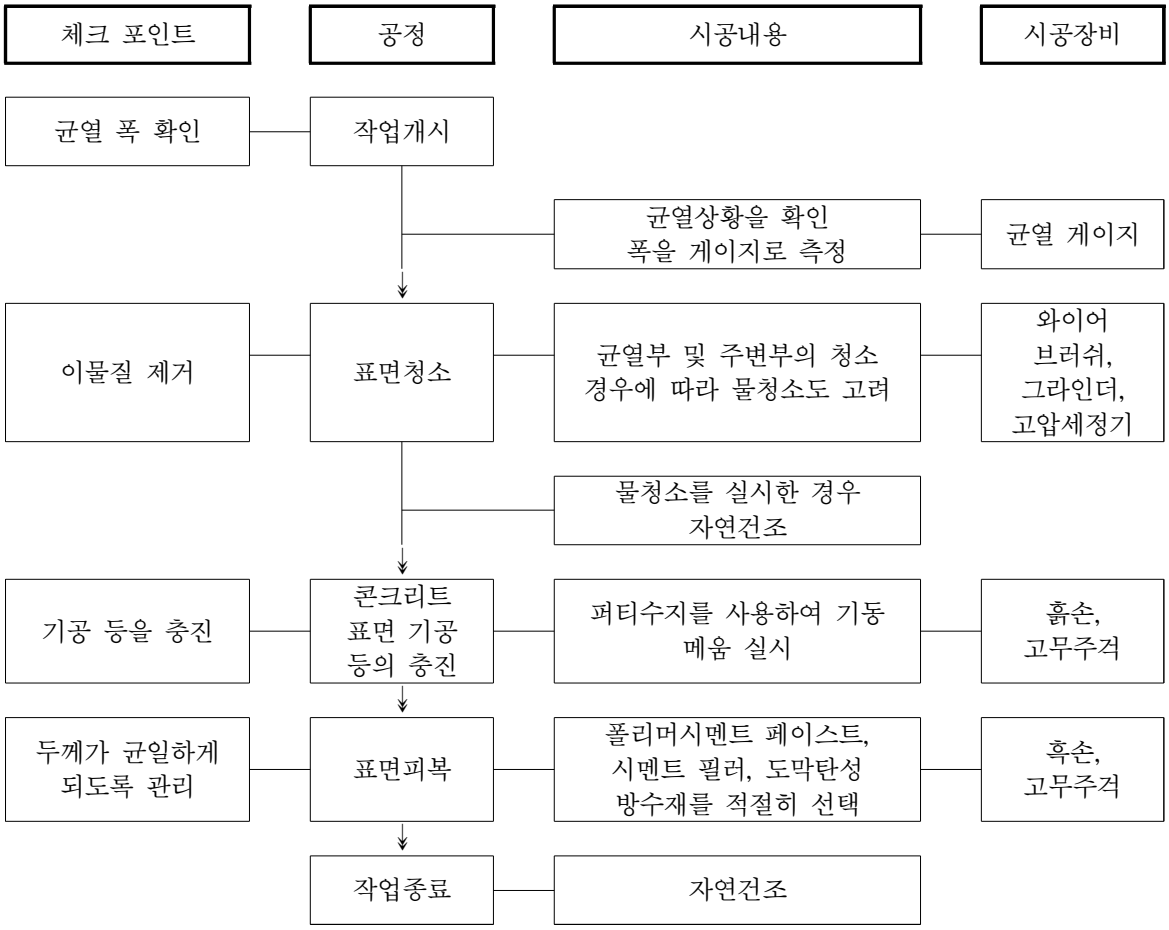
⑦ 직사광선, 바람 등이 현저한 장소에서 시공할 때는 급격한 건조를 방지하기 위한 조치를 취하여야 한다.

⑧ 동절기 시공 시에는 따뜻한 날을 선택하여 시공하여야 한다.

⑨ 혼화재는 사용 전에 수회 흔들어야 한다.

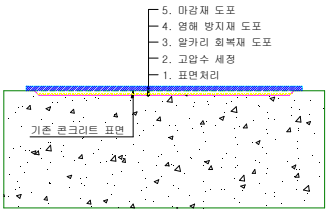
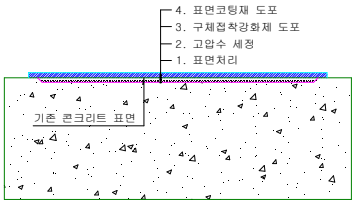
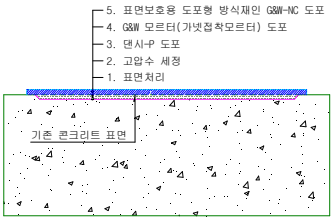
⑩ 시공완료 후 충분히 건조한 후 담당자의 확인을 받아야 한다.

3) 시공 흐름도



【그림 6.3.2】표면처리공법 시공 흐름도

【표 6.3.1】 표면처리공법 비교표

공 법 명	하이브리드(HRM) 공법	FCSM 공법	리폼시스템 공법
공법개요	친환경 재료인 메타카올린과 제올라이트를 포함하고 있어 강도 발현이 우수할뿐만 아니라 알카리 골재 반응을 억제하고, 염소이온 및 암모니아 가스 흡착 기능을 가지고 있어 내화학 기능확보가 가능하여 손상된 RC구조물을 보수하는 공법	고인성 PVA섬유의 3차원적 가교작용에 의해 몰탈에 강력한 균열저항성과 연성이 향상된 섬유복합몰탈을 이용한 콘크리트 구조물의 보수공법	구상형 용융슬래그 골재와 CORE-CELL 중합반응 수성아크릴계 폴리머를 사용하는 고성능 폴리머 시멘트를 이용하여 손상된 RC구조물을 보수하는 공법
부착강도	표준부착강도 10.0 kgf/㎠ 이상	표준부착강도 10.0 kgf/㎠ 이상	표준부착강도 10.0 kgf/㎠ 이상
장 점	•부식철근 아질산 방청성분에 의한 철근 부동태 재생, 방청 •콘크리트 표면 강화 •방청표면 피복제, CO2,가스, 산소, 수분 차단 •환경 친화적인 수성제품 •메타카올린과 제올라이트를 포함하고 있어 내화학적 기능을 확보하고 있음. •탄산화 콘크리트 알카리 회복기능	•PVA 섬유의 3차원 가교작용으로 균열억제 •우수한 휨 강성과 연성으로 보강성능 발휘 •건조수축 및 진동에 의한 균열에 강력한 저항성 •내마모성, 내충격성, 부착성이 우수 •구체와 역학적 거동이 동일하여 박리-박락 없음 •내구성 5배 이상 우수, 구조물 Life Cycle을 연장 •중성화저항성, 내화학성, 내화성이 우수 •스프레이시 리바운드가 1% 이내로 적다.	•습윤면 부착강도 매우 우수 •준기계화시공으로 공기단축(시공성, 작업성 우수) •기존 Con'c 물성치와 유사 •환경친화적임 •수밀성, 내화학성, 내마모성 우수 •투습성 및 통기성 확보 •균열발생 억제 가능 •하수관거 시공실적 많음
단 점	•전문시공 필요	•몰탈 교반시에 숙련공 필요 •시공실적이 적음	•전문시공 필요 •5 ˚C 이하 작업불가
공정순서			
시 공 성	•시공 공정 다소 복잡	•시공 공정 다소 복잡	•뿜칠시공시 1회 최대 22cm까지 시공가능하며 리바운드량이 5% 미만
구조적 안전성	양 호	양 호	양 호
사 용 성	양 호	양 호	양 호

나. 주입보수공법

1) 개요

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

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

2) 수지주입공법의 종류

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

【표 6.3.2】 수지주입공법의 종류

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

【표 6.3.3】 균열폭에 알맞은 수지의 점도

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

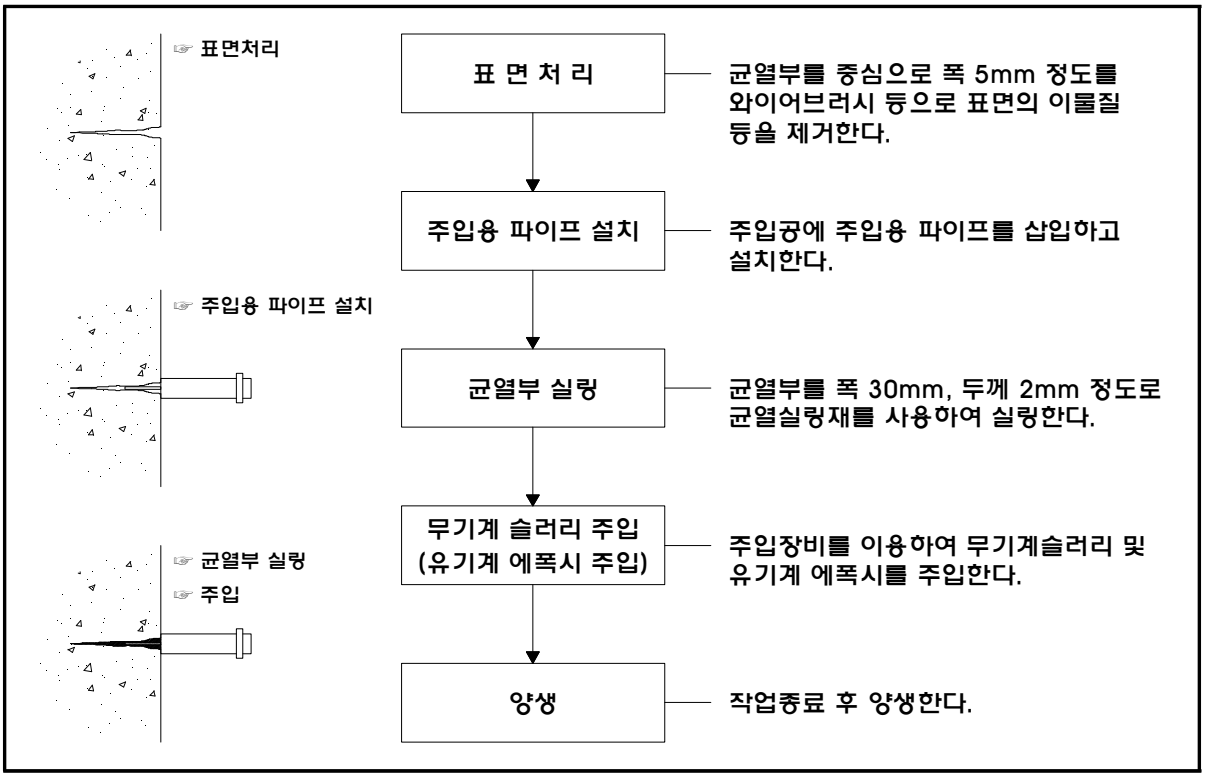
【표 6.3.4】 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격

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

【표 6.3.5】 에폭시계 수지의 규격

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

3) 시공방법



【그림 6.3.3】 균열 보수공법 개요도

4) 시공시 주의사항

① 대기온도가 10～30℃일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다.

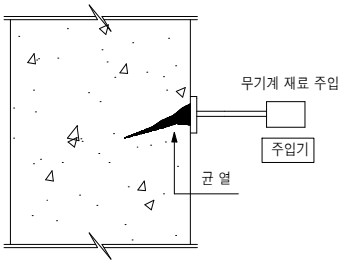
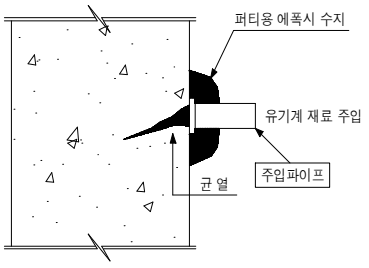
② 에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다.

③ 사용하는 에폭시계 수지는 적당한 루트마다 시험을 실시하여 품질을 확보한다.

④ 씰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

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

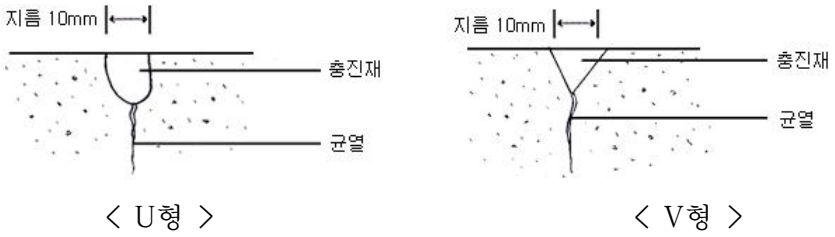
【표 6.3.6】 주입보수공법 비교표

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

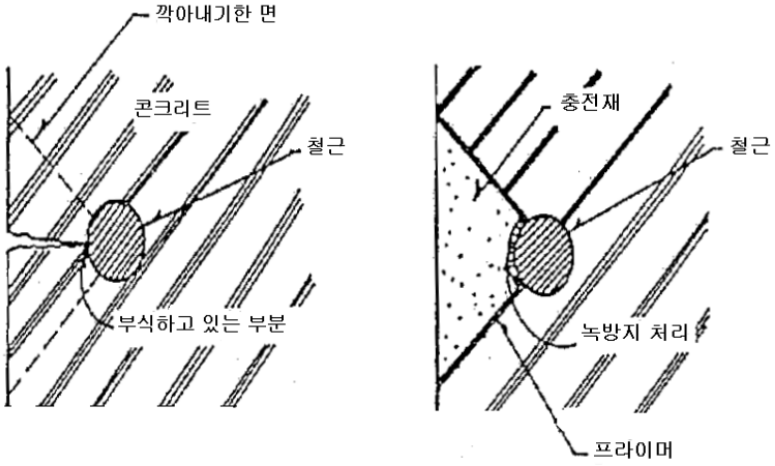
다. 충진공법

1) 개 요

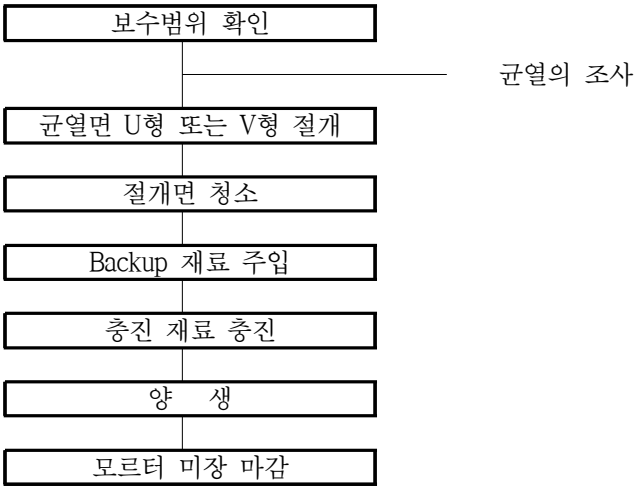
충진공법은 0.5mm이상의 비교적 큰 폭의 균열보수에 적용하는 공법으로 균열을 따라 콘크리트를 U형 또는 V형으로 잘라내고 그 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근이 부식하지 않는 경우와 철근이 부식하고 있는 경우에 따라 보수방법이 다르다.



【그림 6.3.4】 철근이 부식되지 않은 경우의 충진공법



【그림 6.3.5】 철근이 부식된 경우의 충진공법



【그림 6.3.6】 충진공법 시공순서도

2) 철근이 부식되지 않은 경우

균열을 따라 약 10mm의 폭으로 큰크리트를 U형 또는 V형으로 잘라낸 후, 이 잘라낸 부분에 시일재, 탄성형 에폭시 수지 및 폴리머 시멘트 몰탈 등을 충전하고 균열을 보수한다. U자형으로 잘라내는 경우는 균열을 따라서 양측에 커터로 구조물을 절단한 후 그 사이의 콘크리트를 깨어내는 방법으로 실시한다. 이에 비해 V자형으로 잘라내는 경우에는 전동 드릴 끝에 원추형 다이아몬드 비트를 부착하여 균열에 따라 잘라내는 방법으로 안전하지만, 폴리머 시멘트 몰탈을 충전하는 경우에는 충전한 몰탈의 박리, 박락이 일어나기 쉽기 때문에 U형을 채용하는 것이 바람직하다.

3) 철근이 부식되어 있는 경우

철근이 부식하고 있는 부분을 충분히 처리할 수 있을 정도로 콘크리트를 깨어내고, 철근의 녹을 제거하여 철근의 방청처리 후, 콘크리트에 프라이머 도포를 행한 후에 폴리머 시멘트 모르터와 에폭시 수지 모르터 등의 재료를 충전하는 방법으로 실시한다. 이 방법은 철근이 부식하고 있는 경우에 있어서 콘크리트 구조물의 내구성 회복을 목표로 한 균열 보수방법이 주류이므로 재료와 공법에 따라 크게 나누면

① 보수재료에 의해 물리적으로 부식을 방지하는 방법
② 콘크리트에 알카리성을 부여하여 화학적으로 부식을 억제하는 방법
③ ①과②를 혼용하는 방법이 있다.

4) 시공순서

충진공법의 시공은 균열의 정도와 손상상황 즉 진행성 유무, 철근 부식의 유무와 재료의 종류에 다소 차이는 있으나 일반적인 시공순서는 다음과 같다.

- 커트 범위를 확인한 후 마크를 한다
- 균열에 따라 컷터로 U자형 또는 U자형으로 커트한다. 절삭단면은 폭 10~50mm, 깊이는 10~50mm 정도로 한다.
- 커트한 부분은 압축공기 또는 고성능 진공청소기로 청소한다.
- 피착면을 건조시킨 후 전용 프라이머를 도포한다.
- 충전재를 소정의 배합비로 혼합, 교반한다.
- 프라이머 건조 후, 혼합한 충전재를 충전하고 피착체면에서 공극의 잔류여 부를 확인한 다음 공극이 있으면 공기를 빼고 채운다.
- 충전재의 표면을 주걱으로 충분히 눌러서 평활하게 마무리한다.
- 충전재가 경화할 때까지 양생한다.
- 충전재가 경화한 다음 주변의 불순물 등을 주걱, 신나, 샌더 등으로 제거하 고 청소한다.

6.3.2 단면보수공법

가. 단면보수공법(철근비노출부)

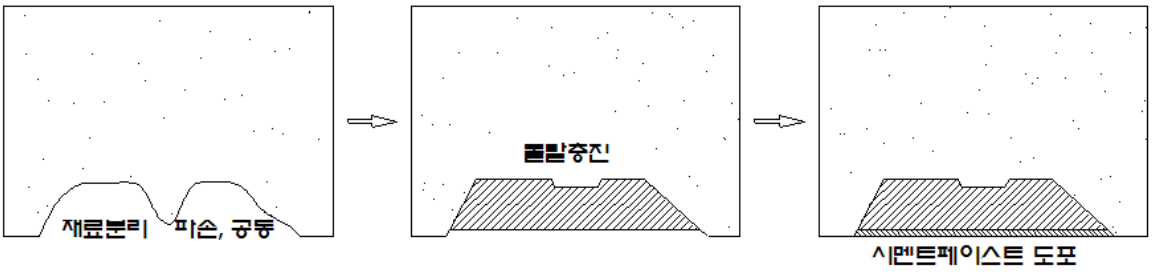
1) 개요

이 공법은 재료분리, 파손, 공동 등 단면결손부에 대하여 열화된 구체를 강화하기 위해 폴리머 몰탈 또는 무수축 몰탈 등으로 단면을 수복시키는 공법이다.

2) 시공방법

① 손상부 표면제거 - 콘크리트 건전부까지 치핑한다.
② 고압세척 및 콘크리트 접착제 도포 - 고압세정기 사용하여 이물질제거
③ 몰탈충전 - 몰탈로 단면복구
④ 표면처리 - 시멘트페이스트 등 도포

3) 개요도



4) 결손 단면복구용 재료 성질

① 장시간 보관에도 재료의 성질 변화가 없을 것
② 부착력이 높은 재료

5) 주의사항

① 고압세정기의 용량은 50～150 kg/㎠를 사용
② 1회 도포시 두께는 10mm 정도로 한다.

6) 콘크리트 충전

① 단면결손이 큰 공동에 대한 보수시 단면복구 재료는 일반 콘크리트를 단면복구재로 사용하여 충전시킨 후 단면을 복구한다.

7) 단면복구시 보수두께 기준

구 분	단면보수 두께 기준
비 철근노출	• 단면복구공법의 설계두께는 중성화상태, 철근의 노출 및 부식 상태, 원콘크리트의 상태에 따라 시공현장에서 결정해야 함 • 일반적인 재료분리, 침식, 파손의 경우 - 철근 노출이 발생되지 않은 부분의 단면복구에 대해서는 대부분 설계두께로 30㎜를 적용하고 있음 - 콘크리트 표면에 경미한 곰보, 열화발생시 평균 10㎜ 정도를 제안함 (결함 및 열화깊이가 깊은 경우 깊이는 증가될 수 있음)

8) 단면보수 후 재 탈락 방지 방안

① 모르터가 경화된 후(7일 이후) 타검봉을 두들겨 소리로 부착면의 들뜸 유무를 검사한다. 들뜸이 있다고 판단되면 코어로 확인하여 보완 등의 조치를 취해야 한다.

② 철근노출부 단면보수시 굵은 골재 최대치수 이상으로 철근을 노출하고 단면보수를 수행하여야 재 탈락이 감소한다.

③ 단면보수시 현장조사시 결함 두께를 고려하며 시공시 주의사항 및 시공순서에 따라 보수를 실시한다.

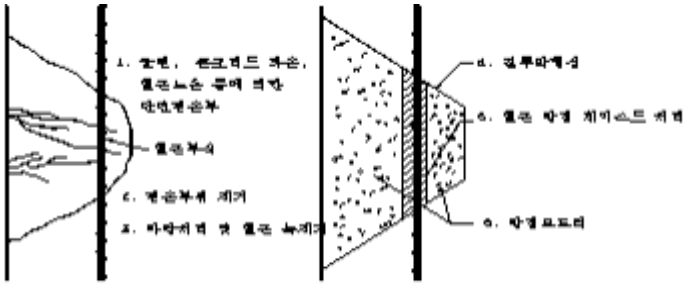
가. 단면보수(철근방청)공법

1) 적용 범위

외관조사 결과, 바닥판, 교대의 단면손상 등이 조사되었다. 이는 시공시의 다짐불량, 피복두께 부족, 공용기간의 증가로 인한 콘크리트 열화, 외부충격 등에 의하여 발생된 것으로 판단되며 일부손상에 대해서는 콘크리트 내구성 차원의 보수가 이루어져야 한다.

본 공법은 상기 단면 손상부에 대한 보수공법으로, 현재 조사된 부위의 불건전 콘크리트와 기타 이물질 부위를 제거하고, 부식이 발생된 철근은 녹을 제거하고 방청 처리를 한 후 방청모르터를 도포하는 순서로 보수시공을 진행한다.

2) 보수방법



【그림 6.3.7】 단면보수공법 개요도

3) 시공방법 및 유의사항

① 기존 콘크리트의 열화부위 및 탄산화 부분을 브레이커 등을 이용하여 제거한다.

② 콘크리트 표면제거 시 파편 및 분진이 발생되므로 보호안경을 착용 후 작업에 임한다.

③ 콘크리트 표면제거 후 고압세척기를 이용하여 고압 세척한다.

④ 콘크리트 제거 후 공기압축기를 사용하여 표면을 깨끗이 청소한다.

⑤ 기온이 5℃ 이하에서는 작업을 중지해야 한다.

⑥ 철근 부식의 원인이 되는 전해질을 제거하고 공극을 메워 콘크리트 밀도증가로 산소와 물이 차단되도록 발청 억제용 침투제를 도포한다.

⑦ 신 · 구재료의 접착력을 증진시키기 위하여 신 · 구 접착제를 도포한다.

⑧ 비가 예상되거나 습도가 80%이상일 경우, 안개가 심한 경우에는 작업을 중지하여야 한다.

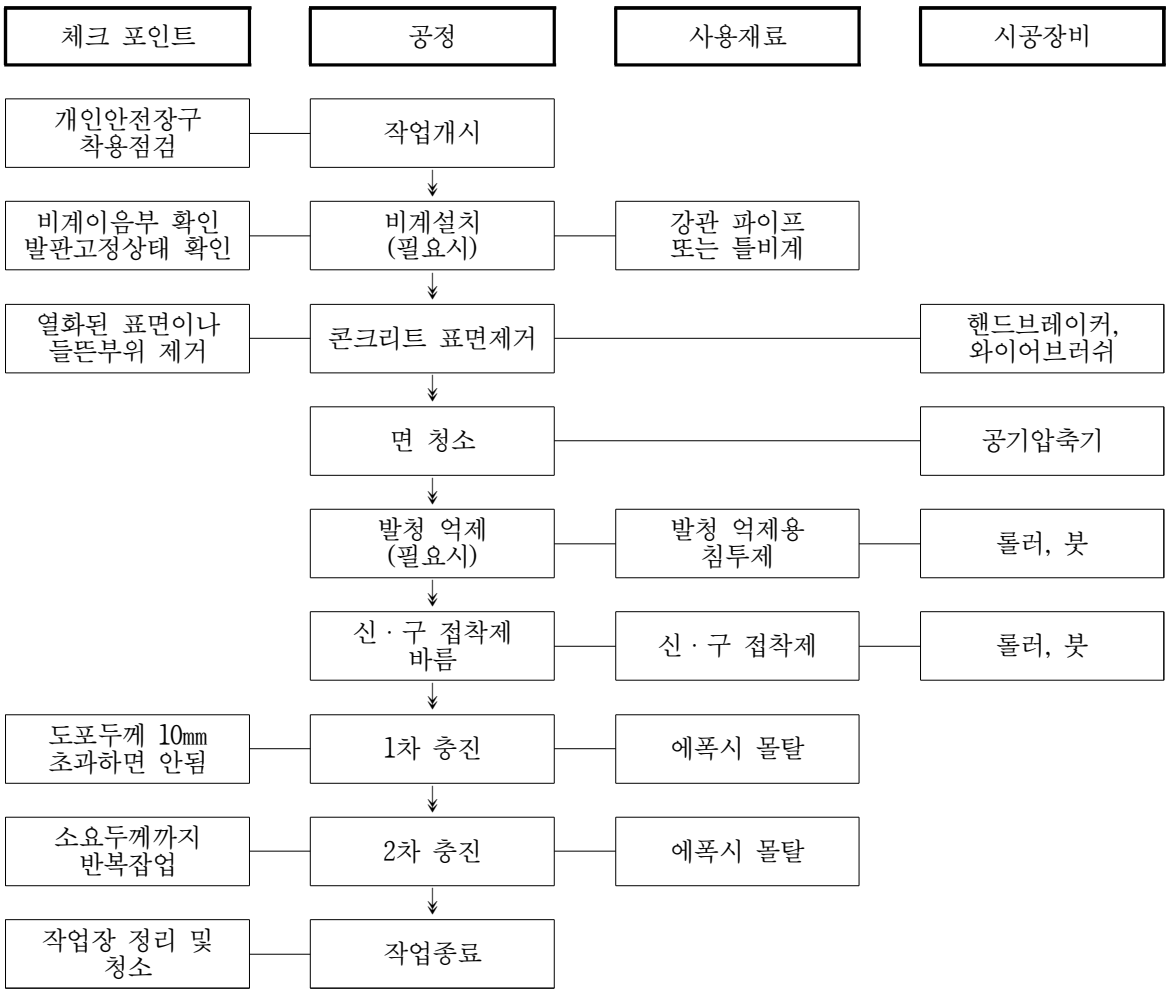
⑨ 기존 콘크리트 탈락부위에 1차 충진은 에폭시 몰탈로 실시한다.

⑩ 에폭시몰탈 시공시 미장두께는 10㎜를 넘어서서는 안 된다.

⑪ 기온이 30℃ 이하에서는 1차 충진 후 최소 2시간 경과 후에 2차 충진을 실시한다.

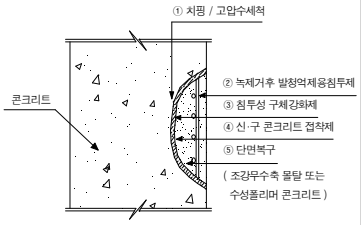
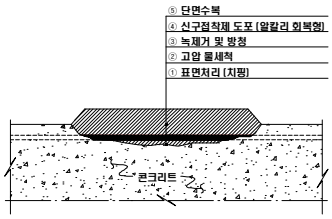
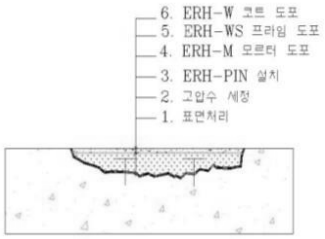
⑫ 에폭시몰탈은 상온에서 배합후 시간이 경과하면 접착력 및 강도가 저하되므로 작업종료 후 남은 것은 재사용하지 말고 버려야 한다.

⑬ 에폭시 몰탈의 혼합량은 중량비를 기준으로 저울을 이용하여 정확히 계량하여야 한다.



【그림 6.3.8】 단면보수공법 시공 흐름도

【표 6.3.7】 단면보수공법 비교표

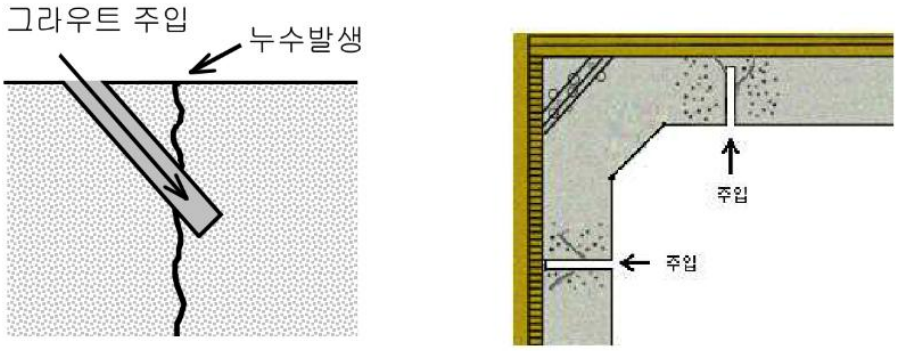
구 분	폴리머시멘트공법	PMI공법	에코플래시공법
개 요 도			
공법개요	•노출된 철근은 녹을 제거한 후 발청억제용 침투제로 방청하고 구체는 침투성 구체 강화제를 도포한 후 조강무수축 몰탈 또는 수성폴리머 몰탈을 사용하여 단면복구를 하는 방법.	•고분자 융합 신소재와 탄소나노튜브 하이브리드화 시켜 초기발생하는 수화열에 대한 저항성을 확보하여 초기균열 예방 및 내구성, 내식성이 우수한 다기능 복합 표면보수공법	•탄산화, 염해, 동해 및 화학적 부식 등의 열화원인에 대응하여 천연광물을 함유한 모르타르와 특수건식 스프레이를 이용하여 화학적 물리적으로 개보수하고 접착보강핀을 추가하여 장기부착하여 강도를 증진시킨 보수공법.
시공방법	•치핑/고압수 세척 → 노출철근의 녹제거 → 발청억제용 침투제 도포 (철근) → 침투성 구체강화제 도포 → 신·구 Con'c 접착제 도포 → 조강 무수축 몰탈 또는 수성폴리머 Con'c로 단면복구.	•손상부 치핑/고압물세척 → 철근녹제거/방청처리 → 구체 접착강화재 도포(필요시) → 모르터 도포 → 표면코팅재 도포	•표면하지처리(치핑)→고압물세척→ERH-PIN 시공 → ERH 모르타르 충전 → ERH 프라임 도포 → ERH 코트 도포
장 점	•수밀성, 내마모성, 내구성 우수함. •경화시간이 짧다. •유기성 및 무기성으로 구성되며 제품 다양. •국내실적 다수.	•수화열에 대한 저항성 우수 •내구성 및 내식성 우수 •유연성과 강한 부착력을 유지함으로서 장기적인 내구성 확보 •내화학성, 통기성, 방수성 우수 •구체와 역학적 거동 동일 박리,박락 없음 •탄산화, 염해방지 성능 우수	•소단면 대단면에 이르는 기계화(건식스프레이) 시공을 통한 우수한 품질과 공기단축 •천연재료 사용 기존 콘크리트와 물리적 성질이 유사하여 시공 후 재손상 발생가능 적음 •물리적 접착 보강핀을 통한 장기부착강도 확보 •무기코트재료 표면피복(음용수 부위적합) •리튬실리케이트를 이용한 내구성 회복 효과
단 점	•유기질 재료로 통기성 확보 어려움. •유기질재료로서 Con'c 모재와 물성의 차이가 있음.	• 숙련공 필요	• 공정이 다소 복잡 시공전문가 필요

6.3.3 누수보수공법

가. 충전 주입공법

충전 방수 주입공법은 수밀하지 못한 콘크리트 구조물의 표면에 부분적으로 스며 나오는 누수에 대한 보수공법으로

- 일부 쉬트 방수한 벽체에서 누수 시발점을 모르고 누수부위가 불분명하게 벽체면에 물기만 있는 상태로서 누수량이 모여 물방울이 되어 떨어질 때
- 누수위치가 확실한 국부적인 포인트를 보수할 때
- 콘크리트의 파취가 곤란한 부위
- 구체의 두께가 두텁고 공극 혹은 균열이 망상으로 발생했을 경우
- 누수발생 부위중 석회분이 흘러내려 백화현상이 심한 부위 등에 적용된다.

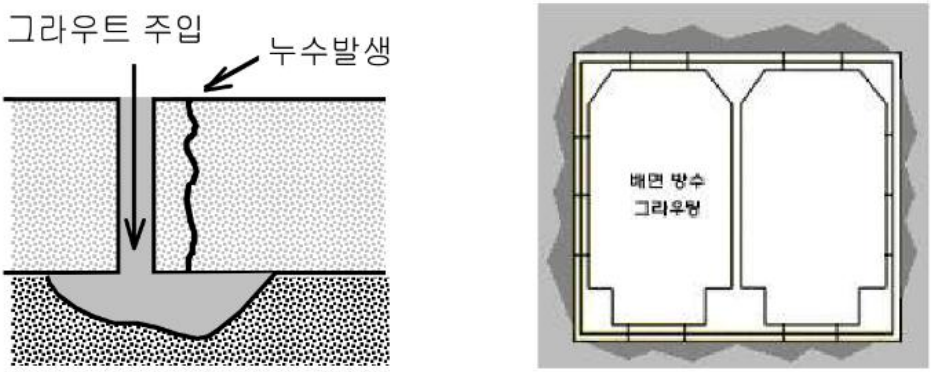


【그림 6.3.9】 충전주입방수 공법의 개요

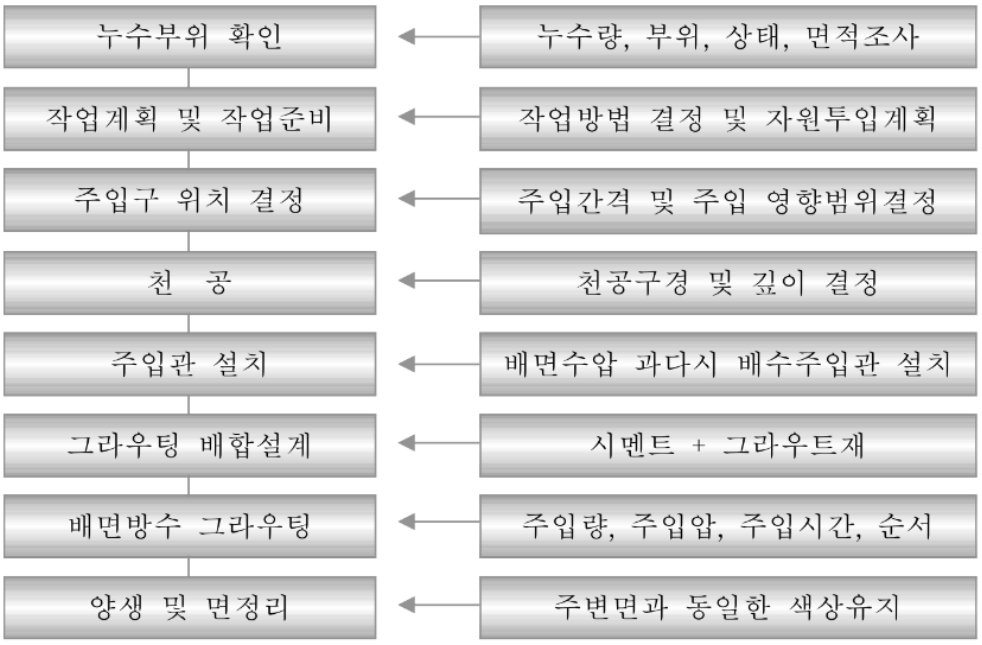
【그림 6.3.10】 충전주입방수 공법의 시공순서도

나. 배면 주입공법

배면 방수 주입공법은 누수면적이 넓으면서 누수발생 위치가 불분명하고 산발적으로 스며나오는 누수문제에 대한 보수·보강 공법이다. 배면 방수 쉬트가 파손되었던지 배면의 방수상태 불량으로 지하수가 침투되어 구조물 내부로 누수가 발생할 때 구조물 내부에서 구조체를 토사층까지 천공, 주입하여 배면 토사층을 고결시키고 지하수 유속이 없도록 지반을 불투수층화시켜 배면의 파손된 방수층을 보호하게 된다. 또한 배면에 주입된 그라우트의 주입압과 지하수로 인한 수압이 구조물에 대한 침투 압력을 증가시켜 수밀치 못한 콘크리트에서 각종 누수 원인에 따라 배면 그라우팅 주입액이 구조물 내부로 유입되어 그라우트에 의하여 유로가 막혀 공극이 충전되므로 수밀 콘크리트가 되어 방수가 되는 것이다.



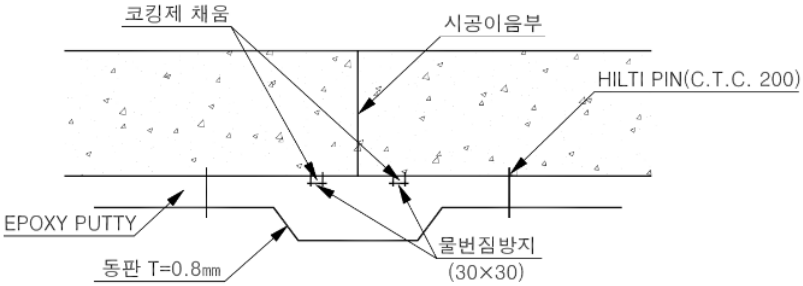
【그림 6.3.11】 배면주입방수 공법의 개요



【그림 6.3.12】 배면주입방수 공법의 시공순서도

다. 유도 배수공

시공이음부에서 누수가 발생하는 부위는 다음과 같이 동판 또는 F.R.P 판넬로 유도배수공을 설치하여 누수되는 물을 유도배수 처리한다.



【그림 6.3.13】 유도배수공(동판의 경우) 상세도

라. 누수보수공법의 적용성 검토

【표 6.3.8】 누수보수공법의 적용성 검토

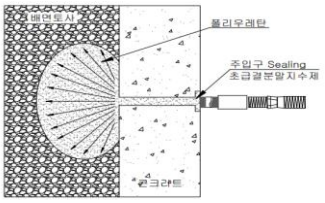
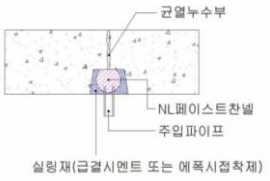
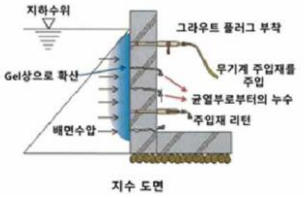
구 분	충전주입공법	배면누수공법	유도배수
공법개요	•단면(구체) 내부에 방수층 형성	•배면부에 방수층을 형성하는 공법	•유입되는 지하수를 배수처리하는 공법
장 점	•배면주입에 비해 공사비 저렴 •국부적인 누수 결함에 유리	•배면부의 손상된 방수층 재형성 가능 •누수 재발생 가능성 없음 •누수면적이 넓으면서, 산발적인 누수결함에 유리	•시공이 간단함 •공사비 저렴 •향후 유지보수가 용이함 •단면결손을 유발하지 않음
단 점	•배면부의 손상된 방수층 재형성이 어려움 •누수 재발생 가능성 있음 •누수 면적이 넓을 경우 불리	•공사비 많이 소요(배면부 공동 및 공극) •누수면적이 넓지 않을 경우 공사비 과다 투입될 가능성 있음	•미관성 저하
적 용 성	•균열부 누수 •시공이음부 누수 •면상누수(구체누수)	•균열부 누수 •시공이음부 누수 •면상누수(구체누수) •Joint부 누수	•Joint부 누수 •누수량이 다소 많은 곳
적용순서	•누수부 충전주입 → 누수여부 확인 →배면주입공법 적용 •유도배수 → 누수량이 다소 많은곳 (Joint부)		

1) 지하차도의 누수에 대하여 1차적으로 충전주입공법 적용 재 누수여부를 확인 - 2차적으로 배면주입에 의한 공법을 적용.

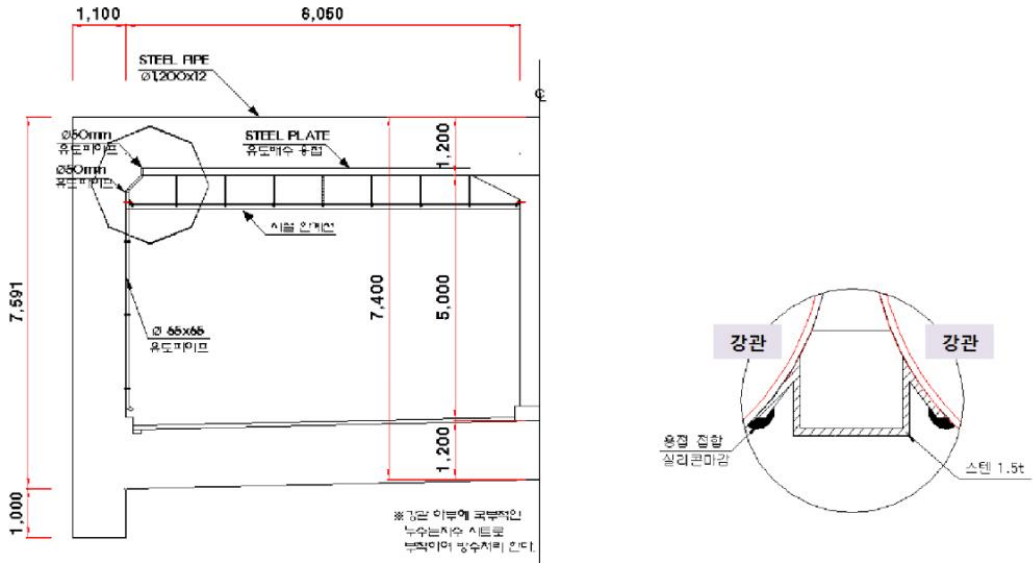
2) 1차적으로 충전주입공법시 국부적으로 미세균열부에 주입이 충실히 되지 않아 미세균열부에서 누수가 재발생되는 가능성이 있으므로 시공시 숙련된 작업공에 의하여 보수가 시행되어 정밀한 시공이 이루어져야 함.

3) 누수량이 다소 많이 발생되는 것은 유도배수를 통한 보수가 이루어져야 함.

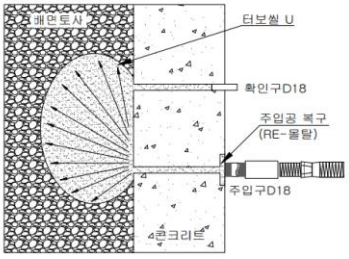
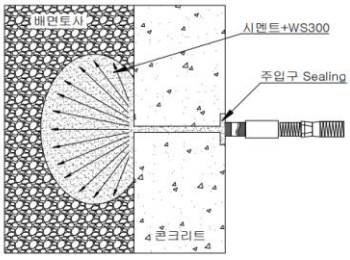
【표 6.3.9】 주입공법별 특징

구분	폴리우레탄 주입공법	핀그라우트공법	아크릴계
공법별 개요도			
공법 개요	·수압이 없는 구조물에 지수를 목적으로함 ·발포성 우레탄 주입, 크랙의 공극을 충전하는 공법	NL 페이스트(폴리우레탄계)를 균열부 등에 주입하여 충전하고 물과 반응하여 부피가 팽창시켜 누수부를 차단하는 공법	무기계 주입재(시멘트계)를 패커를 통해 습식 누수부 균열에 주입하여 재균열 방지 및 광범위하게 균열억제 등의 효과기대 배면에 약액을 주입하여 방수층을 형성하기도 함
시공방법	·누수 균열부에서 10~20cm 이격하여 천공, 주입구 설치 ·주입기의 최대 토출압력이 200kgf/㎠이 되어야 함 ·24시간이상 양생후 주입구를 제거하고 콘크리트면의 이물질을 제거후 폭 1.0m에 표면마감은 일정한 선형을 유지하여 정리	균열 및 누수부위 V 컷팅 → NL 포켓 설치 → 급결지수제로 도포 및 NL PATE를 주입 → 주입관을 밀봉한 후 지수부를 확인 → 주입관 절단 후 표면처리	·균열 부위 20~30cm 간격 패커 설치 ·à무기계 고성능 반응 촉진제 주입 ·à무기계 특수 혼화재 주입 ·à고성능 무기계 그라우트(초미립자 시멘트+SH+GH)주입
장점	·지속적이지 못하나 순간적으로 지수효과가 있음 ·사용장비가 비교적 간단 ·국부적인 누수시 재하자의 발생이 높으나 초기비용이 비교적 낮음 ·극소량으로 발생시 내구성이 없는 응급처치용으로 사용하기도 함	·물이 배어나오는 곳의 수밀성, 방수성을 회복시킴 ·수지가 저절로 콘크리트중의 물을 흡수하여 지수 ·시공이 간단하다.(그리스건) ·수압이 강하고 유동성이 있는 구조물에 대하여 유도배수가 가능한 공법과 작업성의 용이	·다소의 누수가 있어도 U컷트, V컷트 등의 도수공법을 병용하지 않고 무기계 지수 주입재만에 의해 지수 가능 ·본 공법은 0.2mm 이상의 균열 혹은 공동에도 무기계 지수 주입재를 충진해 견고한 보수를 할 수 있음
단점	·재하자의 발생율이 높음 ·다량 누수구간시 전체주입 비용이 과다 ·단면 원상복구 불가 및 지수효과 기대가 어려움 ·발포속도가 너무 빨라서 주입부근에서만 효과를 볼 수 있고, 물이 없어지면 수축현상이 일어남	·숙련된 기능공에 의한 작업이 요구됨 ·재하자의 발생율이 높음 ·다량 누수구간시 전체 주입비용 과다	·다량 누수 구간시 전체 주입비용이 증가 ·광범위한 누수부 보수는 어려움
경제성	160,000 원/㎡	180,000 원/㎡	200,000 원/㎡
검토 결과	·남태령지하차도 T.R.M구간에 적용이 어려움 ·BOX구간 누수부 적용이 가능하며, 일반적으로 폴리우레탄 주입공법 시공		

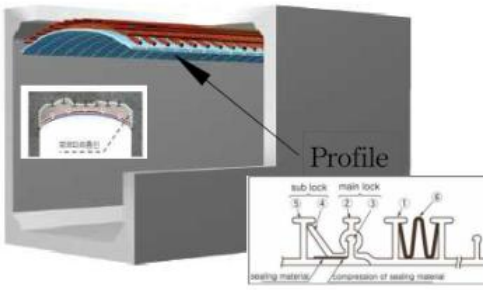
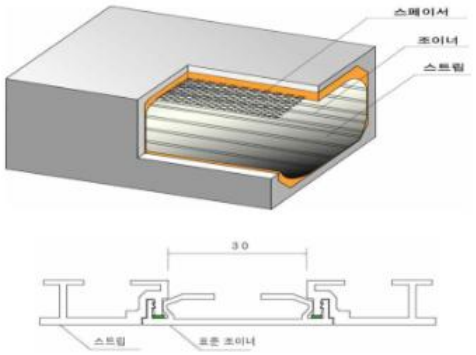
【표 6.3.10】유도배수공법 특징

구분	유도배수 공법
공법별 개요도	
공법 개요	· 누수되는 부위 및 누수가 예상되는 구간에 유도배수 파이프를 설치 · 재설치 부위는 기존 배수관 제거 후 유도배수관 설치
시공 방법	· 이물질 제거 → 강관 하면 누수부 용접 및 방수쉬트 부착(T.R.M구간) → 유도 배수로 설치 및 용접, 실리콘 마감 → 유도파이프 → 단열 → 마무리
장점	· 시공이 간단함 · 공사비 저렴 · 향후 유지보수가 용이함 · 단면결손을 유발하지 않음
단점	· 근본적인 누수 차단 방안은 아님 · 동절기 시 유도배수관이 손상될 수 있음(단열 필요) · 접합부가 많고 매연 등에 의해 수명이 짧음
경제성	· 96,000 원/㎡
검토결과	· 시공비가 저렴하고 유지보수가 용이함

【표 6.3.11】배면 그라우팅 공법별 특징

구분	비경화점착유연형계 (터보씰 방수층 형성공법)	시멘트 배면복구제
공법의 개요	·점착,유연형의 재료인 터보씰을 기존 방수층까지 천공하여 주입함으로서 방수층을 재형성하는 공법	·시멘트 계열의 그라우트제를 이용한 구체배면 또는 구체 공극에 천공 주입하는 누수 보수 공법
개요도		
구체 거동 대응력	·젤상으로 구체와 점착의 형태로 부착이 되기 때문에 구체가 거동을 하더라도 유동적으로 대처하므로 재료자체의 손상도 없음	·압축강도가 512kg/㎠(재령28일)인 경화형 재료는 습윤면, 수중상태에서 접착이 어려울 뿐 아니라 구체의 거동에 대응하기가 어려움
점도	3,000,000 cP (20℃)	-
	·높은 점도 때문에 배면에 압착의 형태를 이루면서 밀실하게 채워질 수 있고 유실될 우려가 없음	·굳기 전까지의 점도가 매우 낮기 때문에 유실될 우려가 높음
재료간의 계면분리 현상	·굳지않은 제품으로서 주입시차에 따른 재료 분리현상이 없이 연속된 방수층을 형성	·선 주입된 재료와 후속 주입된 재료의 시차에 의한 계면 분리가 생기며 그 계면은 누수의 경로가 됨
이물질과의 부착력	·이물질이 있더라도 높은 점착력으로 부착에 문제가 없어 기존방수층을 복원하는 효과가 있음	·이물질이 있는 경우 접착 불량의 문제가 발생하며 기존 방수층을 복원시키지 못함
습윤, 수중면 접착성	·고점도의 재료로서 수중, 습윤상태에서도 접착을 이룸	·습윤상태에서 접착이 불가능
위부온도 영향	·온도변화에 영향을 받지 않음	·현장의 온도가 높으면 양생과정에서 수분이 빨리 증발하므로 강도발현이 어려움
장점	·높은 점착력으로 이물질, 습윤상태의 바탕면(배면)에서도 부착이 이루어지는 특성을 가지고 있음 ·일액형의 재료로서 굳지 않는 젤상을 유지하므로 구체가 거동하더라도 방수층의 손상, 들뜸 현상이 생기지 않음 ·바탕면과 점착력이 우수하므로 누수가발생하더라도 부분보수가 가능하여 유지관리비 절감의 효과가있다. ·환경친화적소재(VOC0.02%이내) ·동절기에도시공가능 ·양생기간이 불필요하고 작업시 위험성이적음.	·시멘트 계열의 무기질계로서 콘크리트 구조물의 열팽창계수 및 탄성계수와 유사한 특성을 가지고 있고 내구성이 우수함
단점	·전용장비가 반드시 필요함 ·노출시공이 불가능함	·구체거동 시 대응력이 미약하여 방수층이 쉽게 손상된다. ·재료간의 계면분리 현상으로 인해 추가 누수 경로 제공 ·습윤상태에서의 시공이 불가능함 ·공사후 누수발생시 누수지점 확인이 어려워 부분보수가 불가능하므로 유지관리 비용이 상승한다
경제성	·285,000 원/㎡	·293,000 원/㎡
검토결과	·방수의 효과를 기대하기 위해서는 T.R.M구간 시공 필요 ·터보씰 방수층 형성공법의 경우 누수가 면에 방수층(탄성고무재)을 형성하여 신축거동시 손상 없으며, 단기간 누수 재발시 하자보수 가능	

【표 6.3.12】 전면지수 공법별 특징

구분	RPPR 공법	플로링 공법
공법별 개요도		
공법 개요	·단면에 경질염화비닐재(프로파일)를 결합하여 제관하고, 무수축 고강도 모르타르를 충진하여 일체화된 복합단면으로 누수를 방지하는 공법	·단면에 스트립라이너를 직선형으로 제관하고 고강도 특수 충전재를 주입하여 강성복합관을 형성하는 공법
시공 방법	·표면처리→앵커 및 버팀대 설치→프로파일 제관→동바리 설치→무수축 고강도 모르타르 충전→양생 및 마무리	·표면처리→스페이서 설치→스트립 및 조이너 설치→동바리 설치→특수충전재 주입→양생 및 마무리
장점	·강성복합단면으로 강도증진 및 방수효과 우수 ·내화학성, 내식성, 수밀성, 내마모성, 내구성 등 우수 ·기계화시공으로 시공속도가 빠르며, 균질한 품질확보 ·단면형상에 관계없이 제관이 가능 ·연속면 형태로 시공이음부 없음(누수차단)	·내식성, 수밀성, 내약품성, 내마모성 등 우수 ·현장상황에 따라 전체, 벽체 및 바닥 일부만 시공할 수 있으며, 종방향 지장물(통신, 상수관, 가스관 등)이 있어도 시공이 가능 ·단면형상에 관계없이 제관이 가능
단점	·손상으로 인한 해체 비용이 발생 ·기계제관으로 전문작업자가 필요 ·동바리 설치로 교통통제가 필요	·동바리 설치로 교통통제가 필요 ·작업이 복잡하고 인력에 의한 작업으로 균질성 저하
경제성	·315,000 원/㎡	·389,000 원/㎡
검토결과	·누수부에 지수작업이 선행되어야 함(배면 그라우팅 및 방수쉬트 부착) ·시공 후 강관과 몰탈사이 누수가 진행되어 동결 및 해빙이 반복될 경우 충진재가 손상되기 쉽고 손상에 따른 보수가 어려울 것으로 예상됨 ·하천수 유입시 동결 방지를 위해 추가적인 단열시설이 필요	

6.4 유지관리 방안

6.4.1 개요

구조물의 유지관리는 시설물의 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 정기점검 및 정밀점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인할 수 있고 특히, 초기에 결함을 찾아서 그 결함정도에 따라 적정한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 실시되어야 한다.

초기에 발견된 결함의 보수시기를 놓치면 장기적으로 보수가 어려울 뿐만 아니라 많은 보수비와 보수기간의 장기화로 통행차량의 불편과 동시에 물류비 증액의 원인이 된다.

따라서, 유지관리는 손상된 부분을 원상복구하며, 경과시간에 따른 시설물의 개량, 보수·보강에 필요한 활동을 하는 것으로 교량의 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 주의 깊게 점검하여 그 원인을 미리 해소하는 예방활동에 목표를 두어야 한다.

본 과업에서는 유지관리업무에 대한 일반적 사항과 긴급점검(정밀안전점검) 결과를 바탕으로한 중점유지관리 방안에 대하여 제안하였다.

6.4.2 유지관리 일반

가. 개요

구조물은 건설 후 각종 자연환경 및 인위적인 사용 환경의 영향을 받아 시간경과와 함께 물리적, 화학적으로 노후화되어 사용성 및 안전성이 저하된다. 유지관리란 이렇게 노후화되는 구조물의 기능을 항상 양호한 상태로 유지하고 이용자의 편의와 안전을 확보함은 물론 기능상 지장을 주는 요소를 사전에 발견하고 제거하고, 점검을 통하여 이상이 발견된 개소에 대하여는 보수 및 보강을 실시하는 작업을 말한다.

나. 유지관리 업무 및 흐름

1) 자료관리

자료관리는 대상구조물이 처해있는 상황을 문서를 통하여 객관적으로 확인할 수 있도록 하기위한 자료를 관리하는 업무를 말하며 일반적으로 설계도서, 구조물대장, 보수·보강대장, 사고이력 등의 자료를 정리·관리하는 일을 말한다. 자료는 구조물의 점검, 보수·보강 시마다 계속 증가하므로 수정이 편리하도록 작성되어야 하며, 이런 점에서 볼 때 관련내용을 전산화하여 관리하면 효율적이다.

일반적으로 구조물의 유지관리시 필요한 관련 자료를 열거하면 다음과 같다.

① 설계도서(시공 및 보수 도면, 구조계산서 등)

② 공사내역서 및 시방서

③ 사진 및 시험 결과

④ 보수·보강 이력

⑤ 사고기록, 점검 및 진단 이력

⑥ 상태 및 안전성 평가 기록

2) 일상관리

일상관리는 구조물의 내구적인 손상을 예방하는 차원에서 수행하는 작업을 말하는 것으로서 청소가 대표적인 경우이다. 또한, 소모성 물품의 교환, 부착물의 정비 등 간단한 작업이 여기에 포함된다.

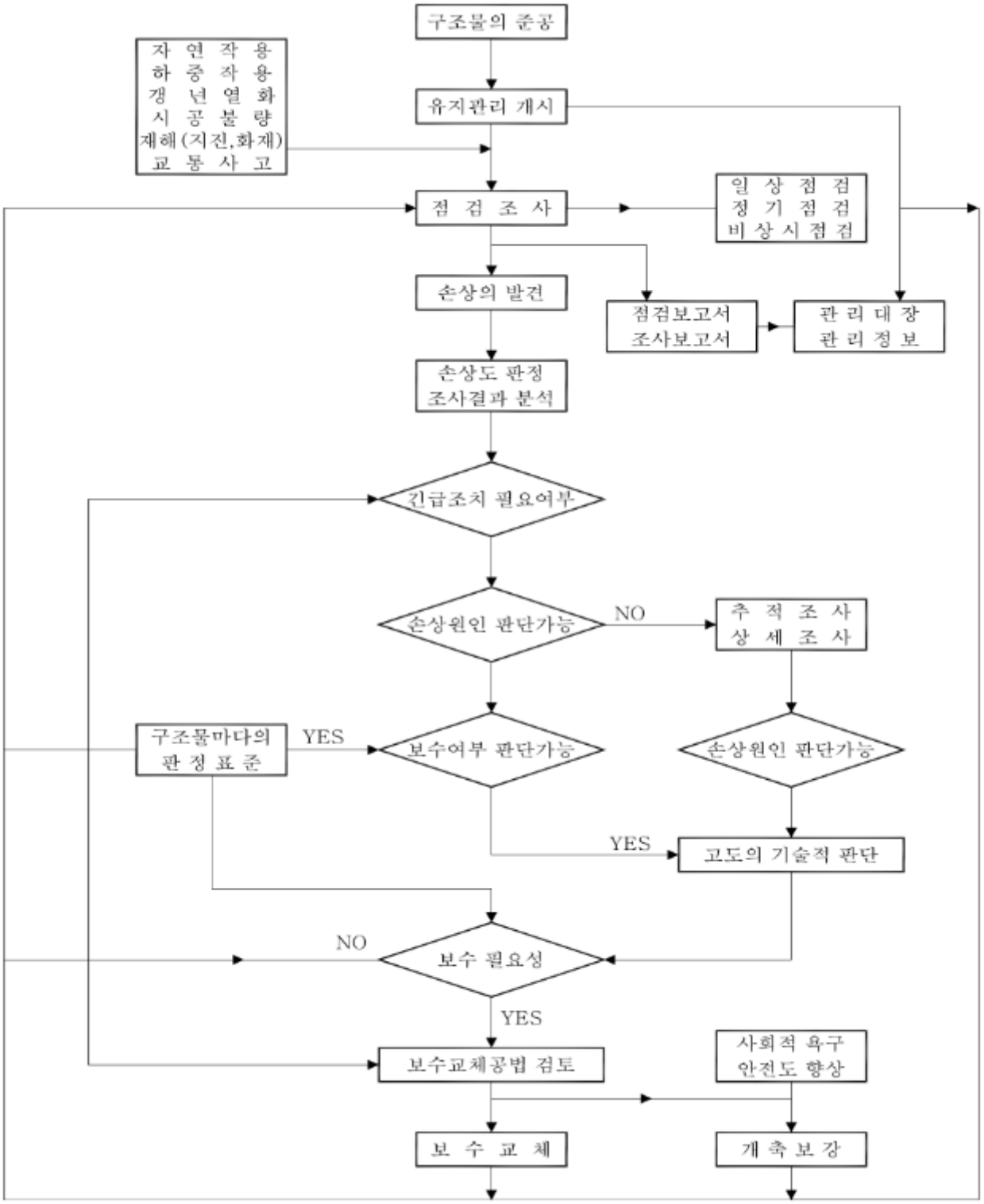
3) 점검 및 진단

점검은 구조물의 현황을 파악하여 이상 및 손상을 조기에 발견함으로서 안전하고 원활한 기능을 확보하고 합리적인 유지관리 자료를 획득하기 위하여 실시한다. 또한 유지관리상 필요한 손상과 이상의 정도를 계속적으로 파악하기 위하여도 점검이 필요하다. 점검은 일상점검, 정기점검(초기점검 포함) 및 긴급점검으로 나누며, 점검결과 이상의 정도가 심하거나 보수·보강에 대한 필요성이 있는 경우에는 상세조사를 실시한다. 또한 위의 조사를 통하여 유지관리 담당자가 대상구조물에 대한 전문적인 조사가 필요하다고 판단될 때에는 전문가에 의한 안전진단을 실시한다.

4) 보수 및 보강

점검이나 진단을 통하여 손상을 발견하였을 때는 손상의 원인을 정확히 파악하여 보수·보강 또는 신설이나 교체를 시행하여야 한다. 보수란 손상된 부위를 고쳐서 원래의 기능으로 회복시키는 작업을 의미하며, 보강은 현 상태의 손상방지는 물론 구조적 내하력 및 지지력을 현 상태 이상으로 향상시키는 것을 목적으로 실시하는 작업을 말한다.

효율적인 유지관리를 위한 흐름도는 다음과 같다.



【그림 6.4.1】 유지관리 흐름도

6.4.3 중점 유지관리사항

금회 긴급점검(정밀안전점검) 결과에 따라 조사된 손상 등에 대해 향후 점검시 중점 유지관리사항은 다음과 같다.

【표 6.4.1】 중점 유지관리사항

구 분	세 부 내 용	
NATM 구간		
	NATM구간 천단부 S54 균열	NATM구간 천단부 S54 균열
조사 결과	· 균열 등 ⇒ 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 아니나, 내구성 저하 등, 손상의 진전이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 보수가 필요 ⇒ 보수 전까지는 주행차량의 안전사고가 발생되지 않도록 지속적인 점검 필요	

【표 6.4.1】 중점 유지관리사항 (계속)

구 분	세 부 내 용	
풍도 슬래브		
	풍도슬래브 S54 파손	풍도슬래브 S53 파손
조사 결과	· 파손, 몰탈파손 등 ⇒ 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 아니나, 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 단면보수가 필요함 ⇒ 파손, 몰탈파손의 진전여부에 대하여 주의관찰이 요구됨	

【표 6.4.1】 중점 유지관리사항 (계속)

구 분	세 부 내 용	
풍도 슬래브		
	풍도슬래브 하면 S54 파손	풍도슬래브 하면 S54 파손
조사 결과	· 파손 ⇒ 파손은 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 단면보수를 실시하는 것이 필요함 ⇒ 보수 전까지는 주행차량의 안전사고가 발생되지 않도록 지속적인 점검 필요	

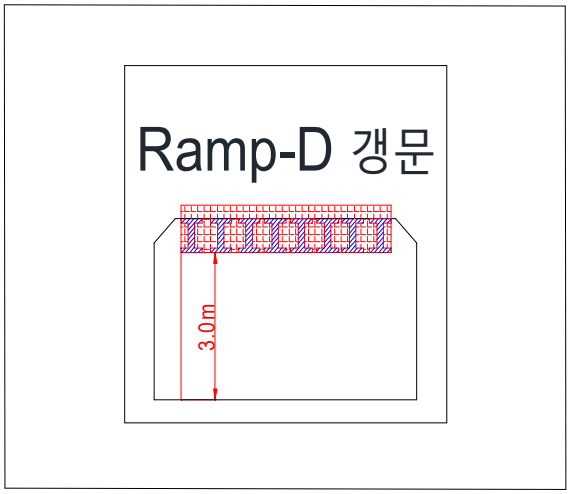
【표 6.4.1】 중점 유지관리사항 (계속)

구 분	세 부 내 용	
풍도 슬래브		
	풍도슬래브 상면 S53 댐퍼 변형 및 볼트파손	
조사 결과	· 댐퍼변형, 볼트파손 등 ⇒ 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 아니나, 내구성 저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 정비 등의 보수가 필요함	

【표 6.4.1】 중점 유지관리사항 (계속)

구 분	세 부 내 용
부대 시설	
	부대시설 S55 유도배수관 길이부족
조사 결과	· 유도배수관 누수, 유도배수관 길이부족 등 ⇒ 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 아니나, 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 보수가 필요함

【표 6.4.1】 중점 유지관리사항 (계속)

구 분	세 부 내 용	
보수 예시		
	차량 높이 제한시설 보수예시	차량 높이 제한시설 보수예시
		
	차량 높이 제한시설 보수 예상도	차량 높이 제한시설 보수 예상도
조사 결과	· 허용 높이 초과 차량의 진입 예방 ⇒ 허용 높이 초과 차량의 진입으로 인한 충돌 파손 등 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 이를 예방하기 위하여 H빔을 사용한 진입제한시설을 설치하고 유지관리가 요망된다.	

제7장 종 합 결 론

7.1 개 요

7.2 현장조사 및 시험

7.3 시설물의 상태평가

7.4 안전등급 지정

7.5 종합결론

제7장 종 합 결 론

7.1 개요

신월여의지하도로 RAMP-D는 서울특별시 영등포구 영등포동7가 94-411 일원에 위치하며 2021년 04월 15일에 준공된 신월여의지하도로 RAMP-D 구간(BOX구간 207.0m, NATM구간 467.0m) 1차로의 지하도로다.

본 과업은 2025년 상반기에 발생한 허용 높이 초과 차량의 풍도슬래브 충돌 사고로 인한 영향을 조사하기 위한 긴급점검(정밀안전점검)이며, 시공자료 분석을 포함하여, 근접 육안조사를 이용한 외관조사와 재료시험 등을 이용한 내구성조사 등 현장조사 결과를 통한 상태평가를 바탕으로 구조물을 평가하였으며, 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

7.2 현장조사 및 시험

7.2.1 신월여의지하도로 RAMP-D

가. NATM구간 천단부(S45~S54)

1) 조사결과

NATM구간 천단부 외관조사 결과 균열(0.3㎜이상, 0.5㎜이상) 등이 조사되었으며, 기 손상인 균열은 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등의 원인에 의한 손상이고, 허용 높이 초과 차량의 충돌사고로 신규 균열(0.5㎜이상)이 조사되었다.

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① NATM구간 천단부에 조사된 균열(0.3㎜이상, 0.5㎜이상)의 경우 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형, 차량 충격 등의 원인에 의해 발생된 비구조적 균열로 판단되며, 구조물의 내구성 증진을 위한 균열에 대한 주입보수를 실시하는 유지관리가 요구된다.

나. 풍도슬래브 상면(S45~S54)

1) 조사결과

풍도슬래브 상면에 대한 외관조사 결과, S52~54에 집중적으로 손상이 확인되었으며 이는 허용 높이 초과 차량의 충돌 사고로 파손, 이음부 몰탈파손, 댐퍼 변형, 볼트탈락 및 파손,

등이 조사되었다.

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 풍도슬래브 상면에 파손, 이음부 몰탈파손이 조사되었고, 손상은 허용 높이 초과 차량 충돌에 의한 파손으로 판단되며, 콘크리트에 미치는 영향은 적으나 내구성 확보 차원의 단면보수 등의 보수가 요망된다. 또한 추후 재손상 방지를 위해 허용 높이 초과 차량의 출입을 제한하는 시설물의 설치가 필요하다.

② 풍도슬래브 상면 댐퍼에 고정볼트 탈락 및 파손, 상면 댐퍼 변형이 손상 조사되었고, 통과 허용 높이를 초과한 차량 충돌에 의한 파손으로 판단되며, 볼트교체등의 정비가 필요하다. 보수작업시 손상의 정도가 심한 경우 댐퍼 교체가 필요한 것으로 사료된다.

다. 풍도슬래브 하면(S45~S54)

1) 조사결과

풍도슬래브 하면에 대한 외관조사 결과, S52~54에 손상이 집중적으로 확인되었으며 이는 허용 높이 초과 차량의 충돌 사고로 파손 등이 조사되었다.

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 풍도슬래브 하면에 파손이 조사되었고, 손상은 통과 허용 높이를 초과한 차량 충돌에 의한 파손으로 판단되며, 구조물의 안전성에 영향은 없으나 손상의 진전으로 인한 콘크리트의 잔여물 낙하시 주행 차량에 피해를 줄 수 있으므로 주행차량의 안전성 확보 차원의 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

라. 풍도슬래브 격벽(S54)

1) 조사결과

풍도슬래브 격벽에 대한 외관조사 결과 허용 높이 초과 차량의 충돌 사고로 격벽에 국부적인 파손이 조사되었다.

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 풍도슬래브 격벽에 파손이 조사되었고, 손상은 통과 허용 높이를 초과한 차량 충돌에 의한 파손으로 판단되며, 구조물의 안전성에 영향은 없으나 손상의 진전으로 인한 콘크리트의 잔여물 낙하시 주행 차량에 피해를 줄 수 있으므로 주행차량의 안전성 확보 차원의 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

마. NATM구간 측벽부(S45~S54)

1) 조사결과

NATM구간 측벽부에 대한 외관조사 결과 파손, 박리, 백태, 타일탈락, 균열 및 누수(스며있음) 등이 조사되었고, 허용 높이 초과 차량에 의한 손상이 아닌 우수유입, 수분침투, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단된다.

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 측벽부에 국부적인 백태, 균열 및 누수가 조사되었고, 우수유입, 수분침투 등의 원인에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 구조적인 손상은 아니나 내구성 확보 차원의 표면처리, 주입보수를 실시하는 것이 바람직하고, 우천시 손상의 진전 여부에 대한 주의관찰을 실시하는 것이 요구된다.

② 측벽 타일부에 타일탈락이 조사되었고 시공미흡, 부착강도 저하 등의 원인에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 손상부는 사용성 확보 차원의 타일교체 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

③ 측벽부 콘크리트 파손, 박리가 일부 확인되었고, 시공이음부(조인트부) 맞닿음, 거푸집탈거시 충격 등의 원인에 의해 발생된 손상으로 차량 충돌 등에 의한 손상은 아닌 것으로 판단되며, 그 정도가 심하지 않아 콘크리트에 미치는 영향은 적으나, 내구성 확보 차원의 단면보수를 실시하는 것이 바람직하다.

바. 부대시설(S45~S60)

1) 조사결과

부대시설에 대한 외관조사 결과 허용 높이 초과 차량의 충돌 사고 후 부대시설에 손상의 영향은 없는 것으로 조사되었고 유도배수관 길이 부족의 경우 시공 미흡에 의한 손상으로 판단된다.

2) 손상 발생원인 및 대책방안

① 유도배수관 길이부족의 경우 시공 미흡에 의한 손상으로, 하면에 체수가 발생하고 있어 철근콘크리트에 영향을 미치므로 재설치 등의 정비를 실시하는 것이 바람직하다.

7.2.2 내구성 조사결과

① 비파괴강도시험 검토결과, 반발경도법에 의한 콘크리트 강도는 BOX슬래브 및 NATM라이닝 24.1~26.9MPa, 풍도슬래브 49.3~64.5MPa로 설계기준강도(라이닝: 24MPa, 풍도슬래브: 40MPa)를 100%이상 상회하는 값으로 분석되었다.

② 따라서, 금회 시험을 실시한 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하 및 허용높이 초과 차량 충돌 사고에 의한 강도의 영향은 없는 것으로 판단된다.

③ 철근탐사 수행결과, 측정된 철근배근 간격 및 피복두께는 설계치와 비교시 준공도면과 대체로 일치한 것으로 확인되었다.

④ 탄산화 깊이 측정결과, 실측 피복두께와 비교시 탄산화 잔여깊이가 30.0㎜ 이상으로 측정되어 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2026. 01)』의 탄산화 상태평가 기준에 의거 "a"로 평가되었으며, 철근까지의 탄산화 도달기간은 차량 충돌 구간 및 상태양호 구간 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

7.3 시설물의 상태평가

구분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							충돌 사고 전·후 영향	
				박리	층분리 및 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	-		
S51	c	a	a	a	a	a	a	a	x	-	· 파손 a→a	· 균열 a→c
S52	c	a	b	a	a	b	a	a	a	-	· 파손 a→b	· 균열 a→c
S53	a	a	c	a	a	a	a	a	x	-	· 파손 a→c	· 균열 a→a
S54	a	a	d	a	a	a	a	a	a	-	· 파손 a→d	· 균열 a→a

· 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침에 의한 신월여의지하도로 RAMP-D S51~S54 구간 상태평가를 실시한 결과, 상태평가항목 중 균열, 파손 및 손상에서 사고전·후(a→c~d) 등급의 변화가 확인되었다.

7.4 종합결론

7.4.1 긴급점검(정밀안전점검) 실시결과의 종합결론

신월여의지하도로 RAMP-D의 점검결과, 외관조사에서 나타난 허용 높이 초과 차량 충돌 사고에 의한 풍도슬래브 파손 손상에 대하여 보수를 실시하고, 중점유지관리사항에 대한 지속적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 원활한 기능발휘와 더불어 건전한 상태를 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

7.4.2 정밀안전진단 및 시설물의 사용제한의 필요성 여부

차량 충돌 사고의 영향으로 인한 내구성능의 현저한 저하 또는 구조적 안전성에 문제가 될 만한 사안은 발생되지 않은 상태로서 시설물의 정밀안전진단 및 사용제한은 필요치 않은 것으로 검토되었다.

7.4.3 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

NATM구간 라이닝 및 풍도슬래브에 발생한 파손은 허용 높이 초과 차량 충돌 사고로 발생한 손상이며, 구조물에 영향을 미치는 손상은 아닌 것으로 판단되나 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 우선적인 단면보수를 실시하는 것이 필요하며, 보수 전까지는 주행차량의 안전사고가 발생되지 않도록 지속적인 점검이 요구된다.

허용 높이를 초과한 차량의 진입으로 라이닝 및 풍도슬래브에 충돌 파손 등 내구성 저하 및 주행차량 안전성저하 등이 발생될 우려가 있으므로 이를 예방하기 위하여 H빔을 사용한 진입제한시설을 설치하고 유지관리가 요망된다.

7.4.4 기타 필요한 사항

시설물의 안전성 유지는 점검 당시에는 양호한 상태로 존재하여도, 이후의 유지관리 상태 및 예기치 않던 외적요인에 의해 잔존해 있던 위험요소가 일시적으로 노출되어 안전성에 영향을 미칠 수 있으므로 지속적인 점검 등의 유지관리를 통해 기능성과 안전성을 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.